

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИКИ РАН)

УДК 630*162.5

Рег. № НИОКТР 122100700008-5

УТВЕРЖДАЮ



Директор ИКИ РАН
член-корреспондент РАН

Петрукович А.А.

М.П.

« 01 » декабря 2022 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме (проекту):

Оценка запасов и баланса углерода в лесах Российской Федерации на основе многолетних спутниковых данных дистанционного зондирования. Усовершенствованные методы спутникового мониторинга основных характеристик лесов для оценки пулов углерода в лесах. Введенная в опытную эксплуатацию первая очередь действующего прототипа национальной информационно-аналитической системы мониторинга углерода в наземных экосистемах Российской Федерации
(заключительный)

Дополнительное соглашение от 18.10.2022 № 075-03-2022-042/1 к Соглашению о предоставлении субсидии из федерального бюджета федеральному бюджетному или автономному учреждению на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ)
от 14.01.2022 № 075-03-2022-042

Книга 1

Руководитель проекта,
Доктор технических наук, профессор

С.А.Барталев

подпись, дата

Москва 2022

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

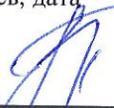
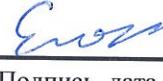
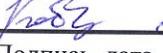
Руководитель темы,
главный научный сотрудник,
д.т.н., профессор

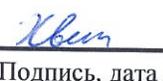
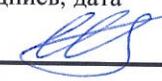
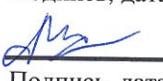
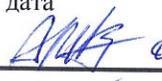
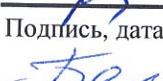
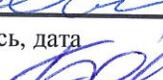
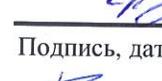
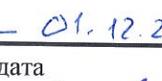
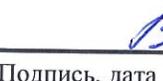
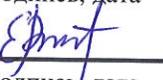
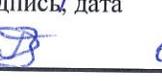
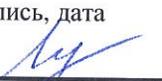
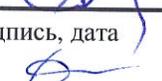
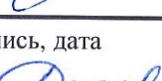


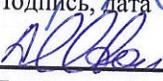
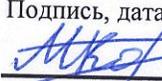
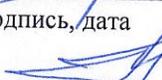
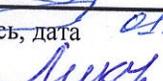
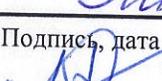
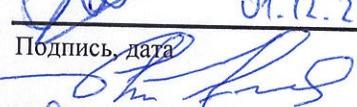
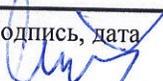
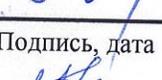
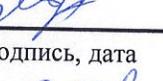
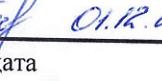
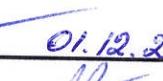
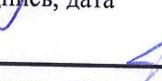
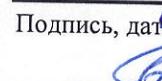
01.12.2022
Подпись, дата

Барталев С.А.
(разделы 1, 3, введение,
заклучение)

Исполнители:

- | | | |
|---|--|---|
| <p>✓ старший научный сотрудник, зав. лаб., к.т.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Балашов И.В.
(раздел 2,
Приложения А, Б, В, Г)</p> |
| <p>* научный сотрудник</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Бочарова Т.Ю.
(раздел 2)</p> |
| <p>✓ старший научный сотрудник, зав. лаб., к.т.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Бурцев М.А.
(раздел 2,
Приложения А, Б, В, Г)</p> |
| <p>✓ ведущий научный сотрудник, к.т.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Егоров В.А.
(раздел 1, 3)</p> |
| <p>✓ научный сотрудник, к.ф.-м.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Жарко В.О.
(разделы 1,3)</p> |
| <p>старший научный сотрудник, к.т.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Кашницкий А.В.
(раздел 2, Приложение А)</p> |
| <p>✓ научный сотрудник, к.т.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Кобец Д.А.
(раздел 2)</p> |
| <p>✓ старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Крашенинникова Ю.С.
(раздел 2)</p> |
| <p>✓ ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Лаврова О.Ю.
(раздел 2)</p> |
| <p>✓ ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Мазуров А.А.
(раздел 2,
Приложения А, Б, В, Г)</p> |
| <p>✓ младший научный сотрудник</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Миклашевич Т.С.
(раздел 1)</p> |
| <p>✓ старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Плотников Д.Е.
(раздел 1)</p> |
| <p>✓ старший научный сотрудник, зав. лаб., к.т.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Прошин А.А.
(раздел 2,
Приложения В, Г)</p> |
| <p>✓ старший научный сотрудник, к.т.н.</p> |  <p><u>01.12.2022</u>
Подпись, дата</p> | <p>Стыценко Ф.В.
(раздел 1, 3)</p> |

старший научный сотрудник, к.т.н.	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Толпин В.А. (раздел 2)
старший научный сотрудник, к.т.н.	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Хвостиков С.А. (разделы 1, 3)
научный сотрудник, к.т.н.	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Ховратович Т.С. (разделы 1, 3)
старший научный сотрудник, к.г.н.	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Шабанов Н.В. (раздел 1)
старший научный сотрудник, к.с-х.н.	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Шинкаренко С.С. (раздел 1)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Абдуллаева Е.Г. (раздел 1)
инженер, к.т.н.	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Андреев М.В. (раздел 2)
инженер	<u> 01.12.22</u> Подпись, дата	Антошкин А.А. (раздел 2)
ведущий инженер	<u> 01.12.22</u> Подпись, дата	Артамонова Ю.В. (раздел 2)
ведущий конструктор, к.х.н.	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Белоконь З.С. (раздел 2)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Бердов А.М. (раздел 1)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Богодухов М.А. (раздел 1)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Бриль А.А. (раздел 2)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Вечеров В.В. (раздел 1)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Волкова Е.Е. (Приложение Б)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Ворушилов И.И. (раздел 1)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Врублевский М.В. (Приложение Б)
главный специалист	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Дегай А.Ю. (раздел 2)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Денисов П.В. (раздел 2)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Дианова Д.С. (раздел 2)
инженер	<u> 01.12.2022</u> Подпись, дата	Ёлкина Е.С. (раздел 2)

инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Иванова А.А. (раздел 1)
инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Избовин С.М. (раздел 1)
инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 г. Камбалина Р.И. (Приложение В)
главный специалист, к.ф.-м.н.	 Подпись, дата	01.12.2022 Козочкина А.А. (раздел 2)
ведущий инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Колбудаев П.А. (раздел 1)
инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Константинова А.М. (раздел 2)
инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Королёва М.В. (раздел 1)
ведущий конструктор, к.г.н.	 Подпись, дата	01.12.2022 Ладонина Н.Н. (разделы 1, 3)
ведущий инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Ликучева Т.В. (Приложение В)
инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Лозин Д.В. (раздел 2, Приложение А)
заведующий отделом, д.т.н	 Подпись, дата	01.12.2022 Лупян Е.А. (раздел 2)
ведущий конструктор	 Подпись, дата	01.12.2022 Марченков В.В. (раздел 2)
ведущий инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Матвеев А.М. (раздел 2)
ведущий конструктор	 Подпись, дата	01.12.2022 Панова О.Ю. (раздел 2)
инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Полецкая А.Ю. (Приложение В)
инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Приставко О.В. (раздел 1)
техник	 Подпись, дата	01.12.2022 Пчеловодов Д.Л. (Приложение Г)
заведующий лабораторией, к.ф.-м.н.	 Подпись, дата	01.12.2022 Пырков В.Н. (раздел 2)
ведущий инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Радченко М.В. (раздел 2)
инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Рузаков Б.И. (раздел 2)
инженер	 Подпись, дата	01.12.2022 Руткевич Б.П. (раздел 2)

главный специалист,
к.ф.-м.н.

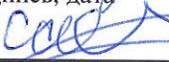
Подпись, дата

 01.12.
2022

Саворский В.П.
(раздел 2)

инженер

Подпись, дата

 01.12.2022

Сайгин И.А.
(раздел 1)

ведущий специалист

Подпись, дата

 01.12.2022

Самиуллина Г.С.
(раздел 2)

инженер

Подпись, дата

 01.12.2022

Сенько К.С.
(раздел 2)

инженер

Подпись, дата

 01.12.2022

Сидоренков В.М.
(раздел 1)

старший лаборант

Подпись, дата

 01.12.2022

Степанченко О.Е.
(Приложение Г)

инженер, к.т.н.

Подпись, дата

 01.12.2022

Стыценко Е.А.
(разделы 1,3)

ведущий инженер

Подпись, дата

 01.12.2022

Суднева О.А.
(раздел 2)

инженер,
к.г.н

Подпись, дата

 01.12.2022

Трошко К.А.
(раздел 2)

инженер

Подпись, дата

 01.12.2022

Черных В.Н.
(раздел 2)

старший лаборант

Подпись, дата

 01.12.2022

Юдин Д.А.
(раздел 2)

РЕФЕРАТ

Отчет содержит 306 с., 2 кн., 83 рис., 10 табл., 37 источника

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСОВ, БЮДЖЕТ УГЛЕРОДА, ЛЕСА РОССИИ, ЗАПАС ДРЕВЕСИНЫ, ПУЛЫ УГЛЕРОДА, ПОТОКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ, ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕСОВ

Объект исследования – методы и технологии мониторинга параметров бюджета углерода в лесах России на основе комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, информации выборочных наземных обследований и моделирования.

Цель работы – разработка национальной системы мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в лесных и других наземных экосистемах на территории Российской Федерации.

Методы проведения работы – обработка данных спутниковых наблюдений, построение и использование эмпирических моделей, программная реализация методов оценки характеристик лесов, методов оценки содержания углерода в пулах растительной биомассы, разработка и программная реализация прототипа информационной системы.

Результаты работы и их новизна:

1. Для оценки баланса углерода разработаны усовершенствованные технологии обработки данных спутникового мониторинга для дистанционного определения основных характеристик лесов;
2. Впервые проведена предварительная оценка запасов и баланса углерода в лесах РФ на основе спутниковых данных дистанционного зондирования за период 2001-2021 годы;
3. Разработана и введена в опытную эксплуатацию первая очередь действующего прототипа национальной информационно-аналитической системы мониторинга углерода в наземных экосистемах РФ.

Рекомендации по внедрению результатов НИР – использование полученных предварительных результатов при проведении научных исследованиях цикла углерода, а также в качестве справочных (сравнительных) материалов при подготовке национального кадастра парниковых газов.

Область применения НИР – дополнительный источник информации при научных исследованиях цикла углерода, при подготовке национального кадастра парниковых газов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 Методы комплексной обработки спутниковых и наземных данных для оценки основных характеристик лесов	14
1.1 Формирование опорных данных для калибровки методов и верификации результатов национального спутникового мониторинга лесов	14
1.1.1 Формирование опорных данных о запасах стволовой древесины	17
1.1.2 Формирование опорных данных о преобладающих породах лесов	26
1.1.3 Формирование опорных данных о повреждениях лесов пожарами	29
1.2 Предварительная обработка спутниковых данных среднего пространственного разрешения для мониторинга наземных экосистем России	33
1.2.1 Технология предварительной обработки спутниковых данных среднего пространственного разрешения	33
1.2.2 Восстановление непрерывных временных рядов ежедневных данных системы MODIS	51
1.3 Динамическое картографирование наземных экосистем России на основе спутниковых данных среднего пространственного разрешения	54
1.3.1 Автоматизированная технология динамического картографирования наземных экосистем по спутниковым данным среднего пространственного разрешения	54
1.3.2 Построение усовершенствованной карты наземных экосистем России	72
1.4 Формирование по спутниковым данным прототипов геоинформационных продуктов среднего пространственного разрешения для предварительной оценки углерода лесов.....	74
1.5 Заключение к разделу 1	83
2 Разработка и ввод в опытную эксплуатацию первой очереди действующего прототипа национальной информационно-аналитической системы мониторинга углерода в наземных экосистемах Российской Федерации (ИАС «Углерод-Э»).....	84
2.1 Анализ основных задач и требований к информационно-аналитической системе национального мониторинга углерода наземных экосистем России (ИАС «Углерод-Э»)	84
2.2 Выбор базовых технических и инфраструктурных решений по организации работы с данными при построении ИАС «Углерод-Э»	86
2.3 Предложения по архитектуре и составу ИАС «Углерод-Э»	87
2.3.1 Технические и функциональные требования к центральному узлу ИАС «Углерод-Э».....	89
2.3.1.1 Функциональные требования к ЦИУ.....	89
2.3.1.2 Технические требования к ЦИУ.....	90
2.3.1.3 Аппаратная инфраструктура для реализации ЦИУ	92

2.3.2	Функциональные требования к специализированным узлам ИАС «Углерод-Э»	93
2.3.3	Предложения по развитию ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в интересах обеспечения возможностей ИАС «Углерод-Э» - Создание специализированного узла для работы со спутниковыми данными	95
2.4	Разработка и ввод в опытную эксплуатацию действующего прототипа центрального узла ИАС «Углерод-Э»	96
2.4.1	Общее описание созданного действующего прототипа центрального узла ИАС «Углерод-Э».....	97
2.4.2	Специализированный блок автоматизированного ведения архивов информации о лесах.....	100
2.4.3	Базовые инструменты распределенного анализа информации о лесах получаемой на основе спутниковых данных.....	102
2.5	Заключение к разделу 2.....	110
3	Оценка запасов и баланса углерода в лесах России на основе многолетних спутниковых данных и анализ полученных результатов	111
3.1	Концепция метода и комплексной технологии национального спутникового мониторинга углерода лесов России на основе данных ДЗЗ, выборочных наземных измерений и моделирования.....	111
3.2	Метод оценки запасов и баланса углерода лесов на основе спутниковых данных ДЗЗ.....	119
3.2.1	Оценка углерода в лесах без нарушений	119
3.2.2	Оценка углерода в нарушенных лесах	124
3.3	Предварительные результаты оценки запасов и баланса углерода в лесах России	126
3.4	Оценка неопределенности результатов оценки запасов углерода в лесах России	137
3.5	Заключение к разделу 3	140
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	141
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	142
	Книга 2. ПРИЛОЖЕНИЯ	

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчете применяют следующие сокращения и обозначения:

АЦО	Актуализированная цифровая основа
БД	База данных
БПЛА	Беспилотный летательный аппарат
ВИПГЗ	Важнейший инновационный проект государственного значения
ДЗЗ	Дистанционное зондирование Земли
ГИЛ	Государственная инвентаризация лесов
ИАС	Информационно-аналитическая система
ИК	Ближний инфракрасный
ИКИ РАН	Институт космических исследований Российской академии наук
КСЯ	Коэффициент спектральной яркости
НИР	Научно-исследовательская работа
ООПТ	Особо охраняемые природные территории
ПАК	Программно-аппаратный комплекс
ПО	Программное обеспечение
ППП	Постоянные пробные площади
РП РФ	Распоряжение Правительства Российской Федерации
СИУ	Специальный информационный узел
ЦКП	Центр коллективного пользования
ЦИУ	Центральный информационный узел
ВСЕF	Biomass Conversion and Expansion Factors
BI	Business intelligence (бизнес-аналитика)
DDS	Data distribution systems
ESA	European Space Agency
GFC	Global Forest Change
IIASA	International Institute for Applied System Analysis
LAGMA	Locally-adaptive global mapping algorithm
MAE	Mean absolute error
MSI	Multispectral Instrument
MODIS	Moderate resolution imaging spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized difference vegetation index

NDSI	Normalized difference snow index
NIR	Near-infrared
OLAP	On-line analytical procesing
PMS	Process monitoring system
RGB	Red Green Blue
RdSWVI	Relative difference short-wave vegetation index
SWIR	Short-wave infrared
SWVI	Short-wave vegetation index
VIIRS	Visible infrared imaging radiometer suite

ВВЕДЕНИЕ

Лесные и другие наземные экосистемы играют важнейшую роль в процессах накопления и связывания атмосферного углерода. В процессе роста леса и другой растительности, происходит поглощение углерода и, соответственно, компенсация выбросов из техногенных и природных источников. Наоборот, при нарушении растительного покрова, включая уменьшение площади лесов, наблюдается рост эмиссии углекислого и других парниковых газов. Мониторинг углерода в наземных экосистемах является важной научной и практической задачей, требующей регулярно актуализируемых данных. К числу ключевых данных для оценки углеродного бюджета относится распределение земельного покрова по категориям покрытых и непокрытых лесом и другой древесно-кустарниковой растительностью земель, информация об основных биометрических показателях лесов, таких как запас, породно-возрастная структура и продуктивность насаждений и других характеристиках. Необходимы данные о масштабах природных (пожары, болезни и вредители, ветровалы, засухи и др.) и антропогенных (рубка, техногенные загрязнения и др.) деструктивных факторов, вызывающих повреждение и гибель лесов, а также информация о ходе процессов их последующего восстановления.

К настоящему времени значительное развитие получили возможности оценки характеристик углеродного цикла с привлечением данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Разработаны и развиваются методы спутникового картографирования параметров растительного покрова, необходимых для мониторинга углерода наземных экосистем. Имеется научно-методический задел для создания системы непрерывного национального спутникового мониторинга углерода, основанной на использовании многолетних временных рядов спутниковых данных в сочетании с выборочными наземными измерениями и моделированием.

Распоряжением Правительства Российской Федерации №2512-р от 02.09.2022 (РП РФ) предусмотрено выполнение в 2022 году научно-исследовательских работ (НИР) в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИПГЗ), направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ. В рамках ВИПГЗ предусмотрена разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, а также создание системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах. Согласно РП РФ в 2022 году предусмотрено получение

Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) следующих основных результатов:

- Оценка запасов и баланса углерода в лесах Российской Федерации на основе многолетних спутниковых данных дистанционного зондирования;
- Усовершенствованные методы спутникового мониторинга основных характеристик лесов для оценки пулов углерода в лесах;
- Введенная в опытную эксплуатацию первая очередь действующего прототипа национальной информационно-аналитической системы мониторинга углерода в наземных экосистемах Российской Федерации.

В рамках выполняемой НИР для решения задачи оценки запасов и баланса углерода в лесах Российской Федерации на основе спутниковых данных ДЗЗ за период 2001-2021 года получены актуальные данные об основных параметрах и динамике бюджета углерода во всех лесах страны (разделы 1.3, 1.4 и 3.3).

Выполненные в рамках НИР работы по усовершенствованию методов спутникового мониторинга лесов для оценки их пулов углерода позволили получить следующие результаты:

- Концепция и структура комплекса технологий автоматизированной обработки данных ДЗЗ в сочетании с выборочными наземными измерениями и моделированием для обеспечения непрерывного национального спутникового мониторинга углерода лесов России (раздел 3.1);
- Усовершенствованная технология предварительной обработки спутниковых данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения (100-500 м) для национального мониторинга углерода наземных экосистем России (раздел 1.2.1);
- Сформированные по результатам массовой обработки данных спутниковой системы MODIS (230 м) за период начиная с 2000 года и по настоящее время реконструированные ежедневные изображения на территорию России (раздел 1.2.2);
- Усовершенствованная автоматизированная технология динамического картографирования типов наземных экосистем России на основе спутниковых данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения (раздел 1.3.1);
- Усовершенствованная цифровая карта пространственного разрешения 230 м, отражающая актуальное распределение типов наземных экосистем на территории России (раздел 1.3.2);
- Разработанные подходы к формированию опорных данных для калибровки и верификации результатов национального спутникового мониторинга лесов (раздел 1.1);

– Массивы опорных данных о запасах стволовой древесины и преобладающих породах лесов (разделы 1.1.1 и 1.1.2);

– Массивы опорных данных о повреждениях лесов пожарами для калибровки и верификации результатов национального спутникового мониторинга наземных экосистем (раздел 1.1.3);

– Полученные на основе спутниковых данных ДЗЗ прототипы геоинформационных продуктов среднего пространственного разрешения для предварительной оценки углерода в пулах фитомассы лесов России за период 2001-2022 годов (раздел 1.4);

Введенная в опытную эксплуатацию первая очередь действующего прототипа национальной информационно-аналитической системы мониторинга углерода в наземных экосистемах Российской Федерации (ИАС «Углерод-Э») основана на совокупности следующих полученных результатов:

– Результаты анализа основных задач и требований к ИАС «Углерод-Э» (раздел 2.1);

– Выбранные базовые технические и инфраструктурные решения по организации работы с данными при построении ИАС;

– Предложения по архитектуре и составу ИАС;

– Технические и функциональные требования к центральному узлу ИАС;

– Функциональные требования к специализированным узлам ИАС;

– Предложения по развитию ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в интересах обеспечения возможностей ИАС;

– Введенный в опытную эксплуатацию действующий прототип центрального узла ИАС;

– Специализированный блок в составе ИАС для автоматизированного ведения архивов информации о лесах и базовые инструменты ее распределенного анализа.

Разработанная концепция в совокупности с технологиями обработки спутниковых данных и прототипом ИАС позволили получить новые научные данные об углероде лесов России, по своему составу и детальности, не имеющие аналогов в настоящее время.

1 Методы комплексной обработки спутниковых и наземных данных для оценки основных характеристик лесов

1.1 Формирование опорных данных для калибровки методов и верификации результатов национального спутникового мониторинга лесов

В качестве потенциальных источников информации для формирования опорных данных могут служить результаты следующих видов выборочных наземных обследований лесов:

- таксация лесов на пробных площадях;
- повыдельная таксация лесов;
- лесопатологическая оценка насаждений на пробных площадях;
- комплексная оценка лесов на сети тестовых полигонов.

Наиболее репрезентативная и актуальная информация получена к настоящему времени методами наземной таксации на пробных площадях в рамках проводимой силами ФГБУ «Рослесинфорг» с 2007 года Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), охватывающей всю территорию страны и способной служить основой формирования опорных данных для калибровки и верификации результатов дистанционного мониторинга бюджета углерода. По состоянию на 2021 год в рамках ГИЛ с использованием унифицированной технологии собраны данные о количественных и качественных характеристиках лесов России для более 57 тысяч пробных площадей (рисунок 1.1).

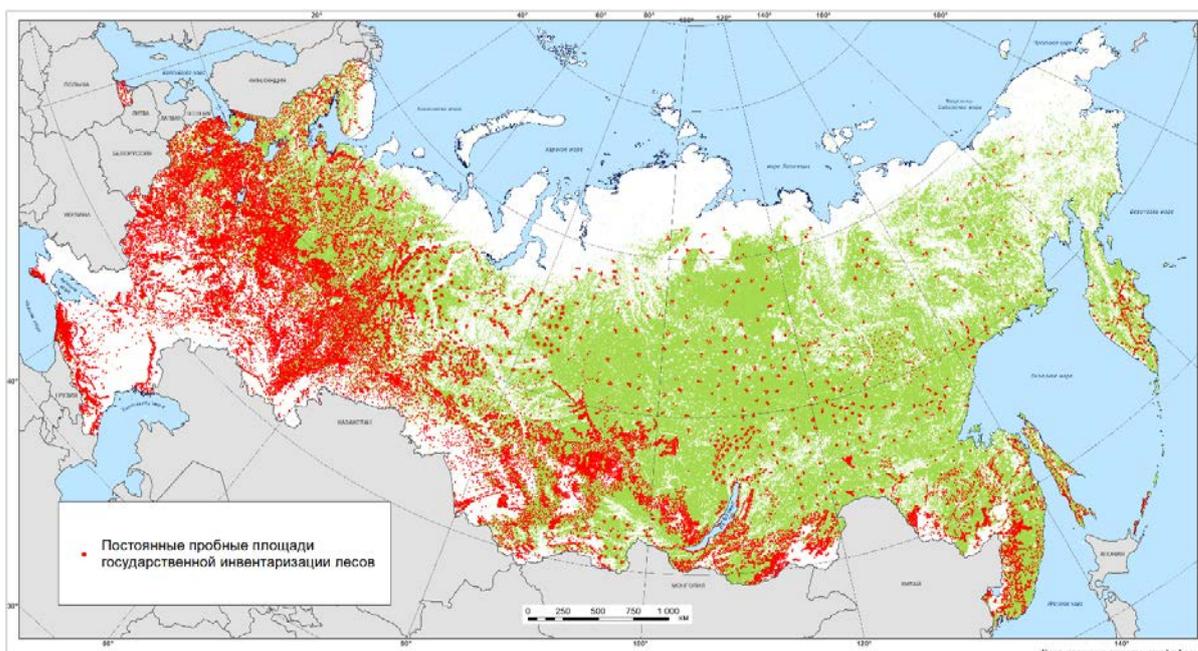


Рисунок 1.1 – Размещение пробных площадей ГИЛ (по данным ФГБУ «Рослесинфорг»)

Наряду с ГИЛ, таксация лесов на пробных площадях проводится в России и многочисленными академическими, учебными и отраслевыми научными организациями. Собираемые научными и учебными организациями данные о характеристиках лесов потенциально представляют собой важный информационный ресурс для формирования репрезентативного набора опорных данных, но нуждаются в методической унификации и систематизации получаемых результатов.

Получаемые при лесоустройстве материалы по выделной таксации также представляют собой важный источник информации при формировании опорных данных для калибровки и верификации результатов дистанционного мониторинга лесов. Несмотря на наличие известных недостатков материалов лесоустройства, включая значительную их давность на подавляющей части территории лесного фонда страны и наличие существенных систематических погрешностей оценки запаса насаждений, материалы по выделной таксации способны, при их методически обоснованном комплексировании с информацией ГИЛ, принести важный вклад в формирование репрезентативного массива опорных данных для решения задач дистанционного мониторинга лесов и их бюджета углерода. В частности, материалы лесоустройства могут служить источником опорных данных о медленно меняющихся характеристиках земного покрова, включая отдельные категории земель (например, болота, естественные редины и др.), а также класс бонитета лесов и некоторые другие показатели условий их произрастания. К преимуществам материалов лесоустройства при этом можно отнести наиболее высокий (в сравнении с другими потенциальными источниками опорных данных) уровень их пространственного охвата, поскольку ими охвачены практически вся обширная территория лесного фонда страны и особо охраняемые природные территории (ООПТ) (рисунок 1.2).

Лесопатологическая оценка на пробных площадях проводится в отношении нарушенных деструктивными факторами насаждений с целью сбора информации о степени повреждения лесов, включая показатели их дехромации и дефолиации. Информация о степени повреждений лесов различными природными и антропогенными факторами в масштабах страны собирается подразделениями ФБУ «Рослесозащита», которыми по состоянию на 2021 год заложено около 57 тысяч пробных площадей, расположенных преимущественно на транспортно доступных территориях (рисунок 1.3). При этом наземное обследование труднодоступных территорий Сибири и Дальнего востока, подверженных воздействию наиболее масштабных лесных пожаров и других деструктивных факторов, в настоящее время выполняется фрагментарно.

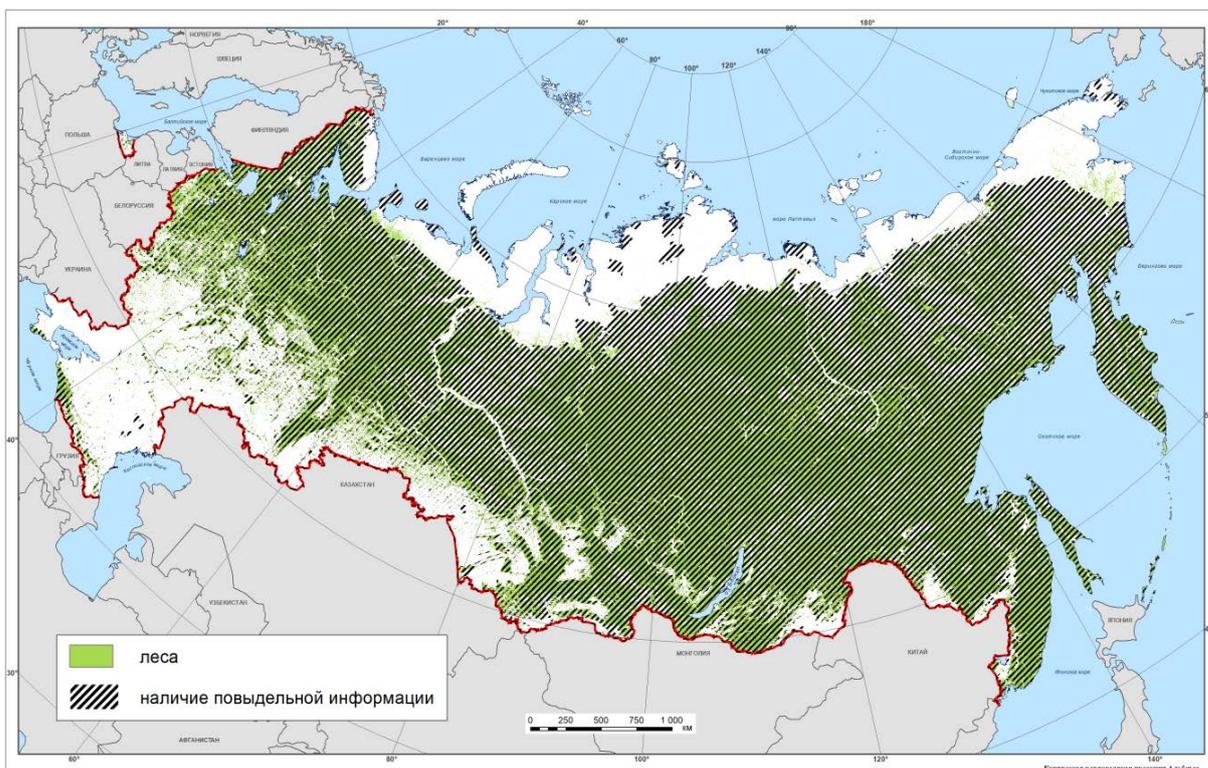


Рисунок 1.2 – Территория с наличием поведельной таксационной информации о лесах в составе актуализированной цифровой основы (АЦО) ГИЛ. Информация предоставлена ФБУ «Рослесинформ».

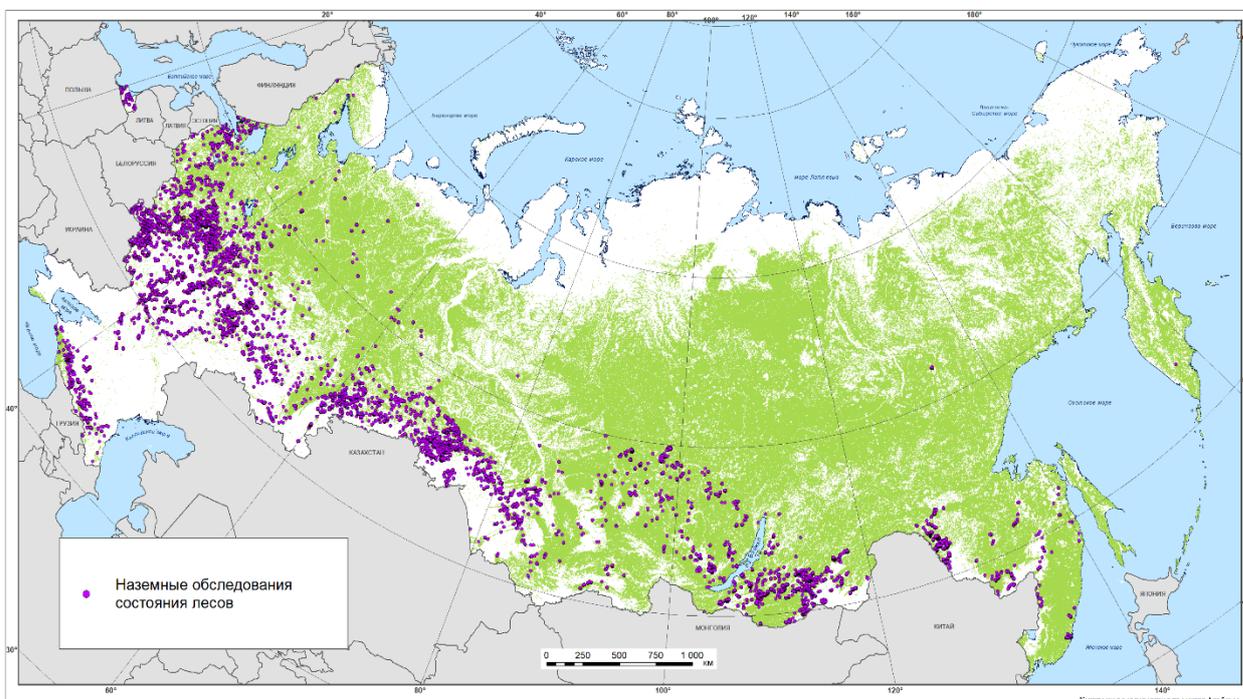


Рисунок 1.3 – Размещение пробных площадей наземного лесопатологического мониторинга лесов по данным ФБУ «Рослесозащита»

Для выполнения проекта ФБУ «Рослесинфорг» была проведена комплексная обработка данных ГИЛ с формированием опорных картографических данных для разработки технологий дистанционного мониторинга углерода лесов Российской Федерации в интересах важнейшего инновационного проекта государственного значения. Результаты обработки материалов ГИЛ включали данные растеризации актуализированной цифровой основы (АЦО) по основным таксационным характеристикам выделов и сведения о лесах на постоянных пробных площадях (ППП) с пространственной привязкой к ячейкам регулярной сети заданного размера, включая, в частности, следующую информацию:

- Дата обследования ППП;
- Коэффициенты участия древесно-кустарниковых пород по запасу;
- Удельный запас стволовой древесины насаждения (в м³/га), в том числе отдельно для сухостоя.

Результаты обработки материалов АЦО были получены в виде растеризованных с заданным пространственных разрешением повыделных данных, отражающих, в том числе, следующие характеристики лесов:

- Дата создания АЦО;
- Преобладающая древесная порода;
- Удельный запас стволовой древесины (в м³/га);
- Полнота;
- Возраст;
- Класс бонитета.

Кроме того, были получены результаты совместного анализа пространственно согласованных данных АЦО и ППП. Указанные данные были сформированы в табличном виде для ППП, попавших в пределы таксационных выделов АЦО, и содержали, в частности, совокупность всех вышеуказанных характеристик лесов в виде атрибутивной информации для каждого элемента массива данных (пары выдел-ППП). Описанные результаты обработки материалов ГИЛ были использованы при формировании опорных данных для настройки алгоритмов и верификации результатов спутникового мониторинга лесов.

1.1.1 Формирование опорных данных о запасах стволовой древесины

Материалы наземного обследования насаждений на ППП включают измерения запаса стоящих деревьев всех ярусов, в том числе сухостоя и молодняков/подроста, а

значит учитывают все пулы углерода надземной древесной фитомассы, необходимые для его мониторинга. В то же время в контексте совместной обработки с данными ДЗЗ среднего пространственного разрешения для оценки ключевых характеристик лесов страны данные ППП охватывают небольшие по размерам участки, а их количество на данный момент не позволяет напрямую использовать их как опорные данные. С другой стороны, повыдельные данные АЦО обеспечивают практически непрерывное пространственное покрытие лесов территории России, но информация о запасах древесины, содержащаяся в указанных материалах, относится только к главному ярусу насаждений. Проведенные исследования позволили разработать подход к формированию опорных данных о запасах стволовой древесины на основе совместного использования результатов обработки материалов АЦО и ППП.

На первом этапе была выполнена проверка взаимной согласованности основных характеристик лесов, доступных в материалах АЦО на уровне таксационных выделов, с использованием моделей хода роста насаждений по запасу. Указанные модели хода роста были построены на основе следующих функциональных зависимостей:

$$ZAPAS = c_1(1 - e^{-c_2*AGE})^{c_3} \quad (1.1)$$

$$c_1 = \begin{cases} c_{11} + c_{12} * BONITET + c_{13} * BONITET^2, & BONITET > BON_LIM \\ c_{11} * e^{(c_{14}*BONITET+c_{15}*BONITET^2)}, & BONITET \leq BON_LIM \end{cases}$$

где $ZAPAS$, $BONITET$, AGE – удельный запас стволовой древесины, бонитет и возраст соответственно, а c_{11-15} , c_2 , c_3 , BON_LIM – оптимизируемые параметры. Настройка параметров моделей была выполнена для основных преобладающих пород леса на основе повыдельных данных, сначала с помощью глобального (differential evolution), а затем локального (Nelder-Mead) методов оптимизации.

Для каждого выдела на основе данных о породе, возрасте и бонитете оценивались допустимые значения запаса лесов. Для этого по модели оценивалось ожидаемое значение запаса для данного класса бонитета и возраста ($ZAPAS_m$), а также допустимые значения при вариации бонитета на ± 2 класса ($ZAPAS_{-2}$, $ZAPAS_{+2}$). Выдел проходил фильтрацию, если его запас ($ZAPAS_r$) удовлетворял условию:

$$\max(ZAPAS_{-2}; 0,25 * ZAPAS_m) \leq ZAPAS_r \leq \max(ZAPAS_{+2}; 1,3 * ZAPAS_m) \quad (1.2)$$

где \max – это максимум из двух значений в скобках. Пример результатов фильтрации представлен на рисунке 1.4.

Полученные модели хода роста также использовались для дополнительных оценок наиболее динамичных характеристик насаждений, таких как запас древесины, приведенных к значениям по состоянию на опорный год (2010) для территории России.

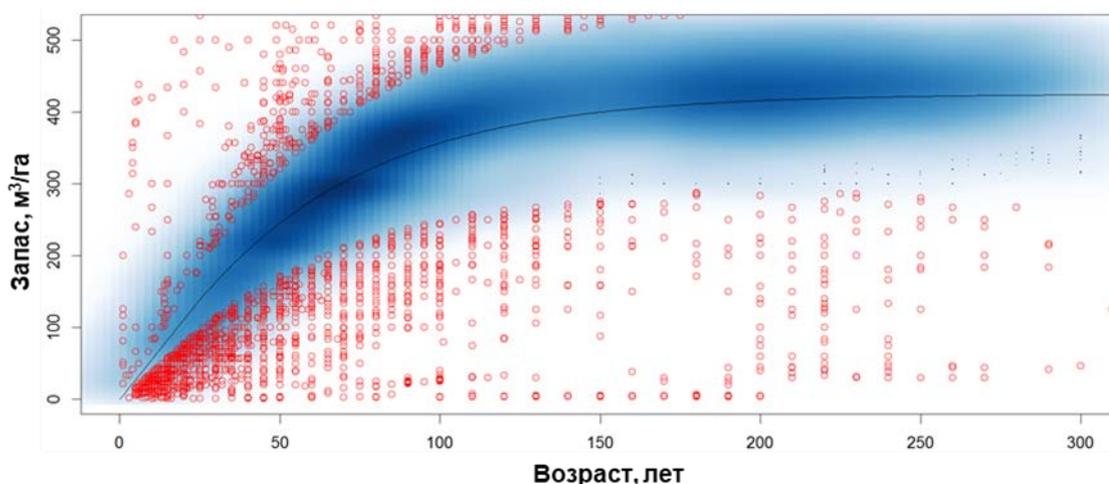


Рисунок 1.4 – Пример фильтрации материалов АЦО на уровне таксационных выделов для насаждений лиственницы 2 класса бонитета. Синее облако точек – повыдельные данные, черная кривая – модель хода роста, красные точки – отфильтрованные выдела

Для моделирования взаимосвязи удельного запаса стволовой древесины, включающего стоящие деревья всех ярусов, в том числе сухостой и молодняки/подрост, и характеристик лесов на уровне таксационных выделов в результатах совместного анализа материалов АЦО и ППП были выбраны пары выделов и находящихся в их пределах ППП на основе следующих критериев:

- Запас по данным АЦО и по данным ППП > 0 ;
- Преобладающая порода по данным АЦО и по данным ППП совпадает;
- Исключаются выдела АЦО, не прошедшие фильтрацию по моделям хода роста;
- Исключаются ППП, в непосредственной окрестности которых были зафиксированы нарушения лесного покрова по данным проекта Global forest change [1], если нарушение произошло раньше закладки ППП.

Таким образом, было отобрано около 28900 пар ППП-выдел. Соотношение удельных запасов стволовой древесины по данным ППП и выделов АЦО приведено на рисунке 1.5.

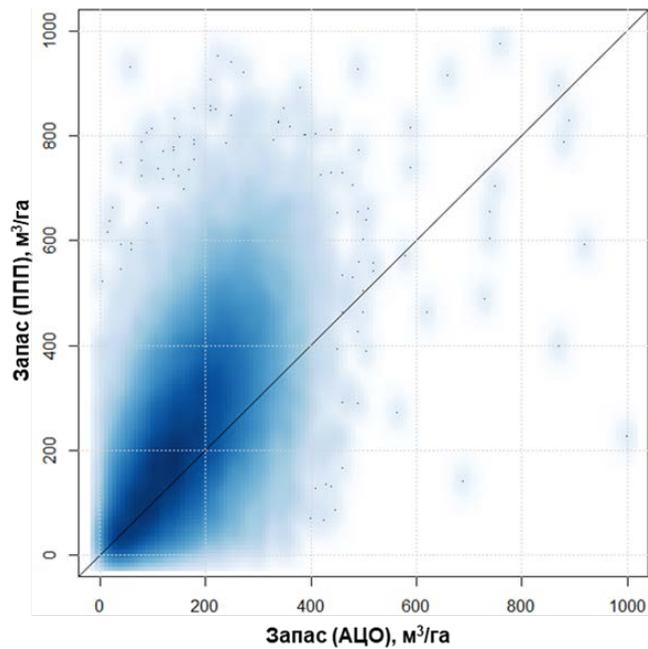


Рисунок 1.5 – Соотношение удельных запасов стволовой древесины по данным АЦО на уровне таксационных выделов и ППП

Запас древесины по данным ППП демонстрирует устойчивое превышение относительно материалов АЦО, что согласуется со сделанным ранее предположением. Более детально указанное расхождение проиллюстрировано на рисунке 1.6.

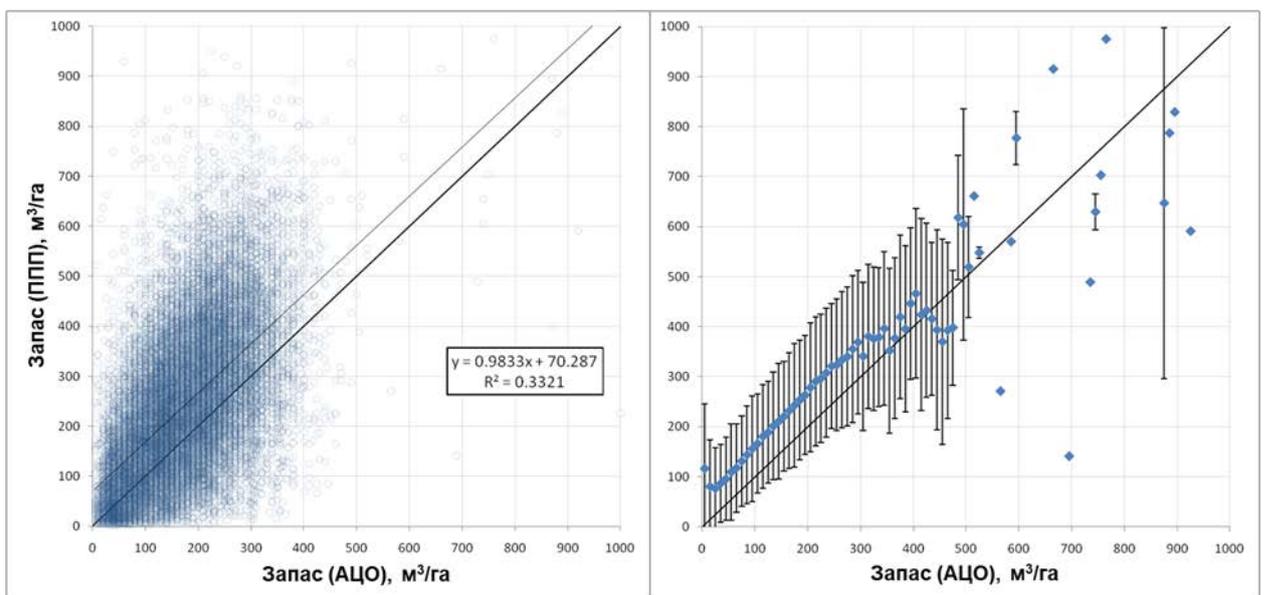


Рисунок 1.6 – Слева: диаграмма рассеяния удельных запасов стволовой древесины по данным АЦО на уровне таксационных выделов и ППП, показана линия тренда, ее уравнение и коэффициент R^2 ; справа: среднее и стандартное отклонение запасов по данным ППП для диапазонов запаса по данным АЦО с шагом $10 \text{ м}^3/\text{га}$

Было проанализировано распределение значений площади и показателя однородности лесного покрова выбранных для дальнейшего анализа выделов по данным АЦО. При этом однородность выдела оценивалась на основе композитного изображения покрытой снегом земной поверхности, построенного по спутниковым данным Sentinel-2 высокого пространственного разрешения. Данные такого рода информативны для оценки различных характеристик лесов, таких как запас стволовой древесины, породная структура и сомкнутость/полнота [2]-[4], а вариабельность яркости зимнего композитного изображения в пределах таксационного выдела отражает однородность лесного покрова. Показатель однородности рассчитывался как отношение стандартного отклонения к среднему значению отражательной способности в ближнем ИК диапазоне для каждого выдела (чем ниже значение, тем более однородный выдел). Полученные результаты представлены на рисунке 1.7.

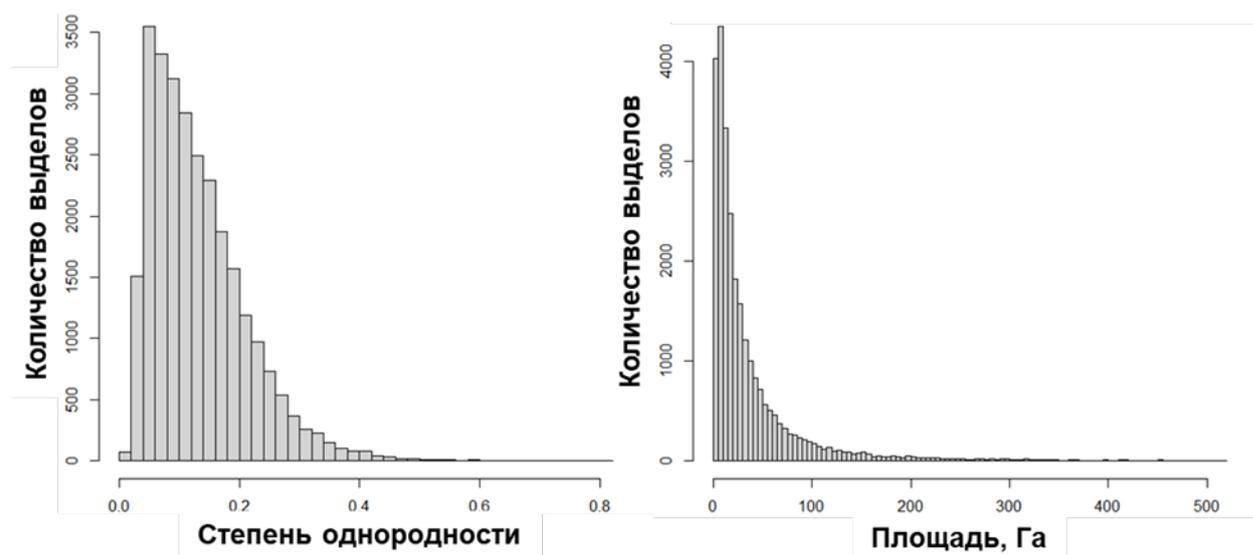


Рисунок 1.7 – Распределение отобранных выделов по значениям площади (справа) и показателя однородности лесного покрова (слева)

По результатам анализа были разработаны критерии фильтрации материалов АЦО и ППП для исключения слишком больших и/или неоднородных выделов. Информация о характеристиках лесов на выделах большой площади, как правило, имеет менее высокую точность, поскольку она с высокой вероятностью была получена в рамках лесоустройства более низкого разряда; в связи с чем были отфильтрованы выдела площадью более 35 га. Также для снижения ошибок моделирования были исключены неоднородные выдела, для которых отношение стандартного отклонения к среднему значению отражательной способности составило более 20%, поскольку измерения на ППП не описывают в полной мере вариабельность характеристик лесного покрова таких выделов. Кроме того, в рамках

предположения о том, что измерения запаса древесины на ППП содержат информацию о дополнительных фракциях насаждений относительно запаса главного яруса в материалах АЦО, были отфильтрованы данные, в которых удельный запас в выделе превышал удельный запас на ППП. В результате применения разработанных критериев фильтрации для дальнейшего использования было отобрано около 12500 пар ППП-выдел. Соотношение удельных запасов стволовой древесины по отфильтрованным данным ППП и выделов АЦО приведено на рисунке 1.8.

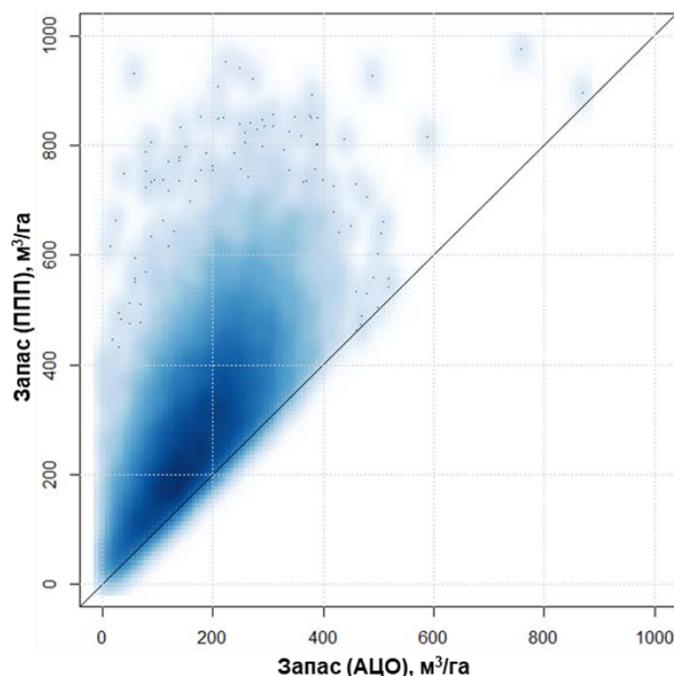


Рисунок 1.8 – Диаграмма рассеяния удельных запасов стволовой древесины по отфильтрованным данным АЦО на уровне таксационных выделов и ППП

Отобранные таким образом результаты совместной обработки материалов АЦО и ППП использованы для моделирования взаимосвязи запаса стволовой древесины, включающего всю надземную древесной биомассу, и характеристик леса на уровне таксационных выделов. В качестве зависимой переменной использовались измерения запаса всех стоящих деревьев на ППП, включая сухостой и молодняки/подрост, а в качестве независимых переменных – преобладающая порода, запас древесины главного яруса, полнота, возраст и бонитет из повыведельных данных АЦО. Кроме того, в качестве зависимых переменных также использовались уникальный код лесничества, географические координаты выдела, а также средние значения и стандартные отклонения отражательной способности в выделе по данным зимнего композитного изображения. Моделирование выполнялось на основе регрессии методом случайных лесов (random forest regression), реализованной средствами языка программирования R.

Пример результатов коррекции удельных запасов стволовой древесины в материалах АЦО для отобранных таксационных выделов на основе построенной модели приведен на рисунке 1.9.

Видно, что для большинства выделов значения запасов древесины заметно увеличились. Таким образом, разработанная модель позволила скорректировать пространственно-распределенные оценки удельных запасов в повыдельных материалах для учета всех стоящих деревьев, включая сухостой и молодняки/подрост, в дополнение к главному ярусу насаждений.

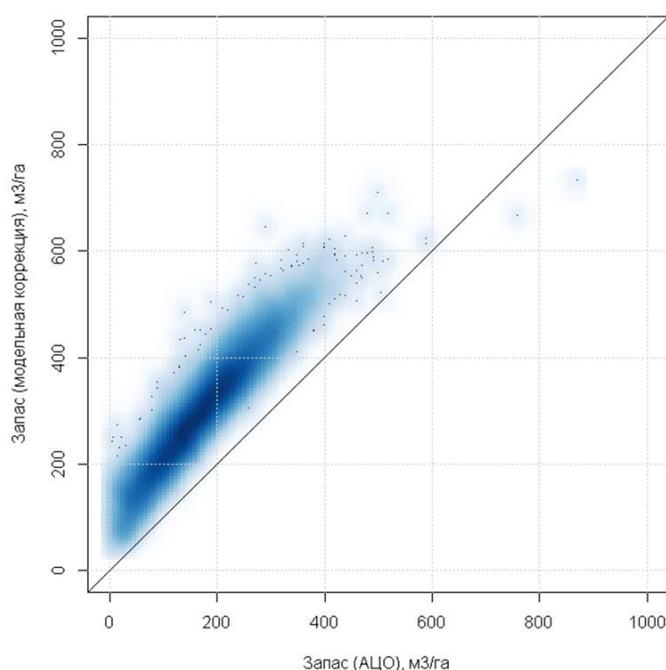


Рисунок 1.9 – Результаты коррекции повыдельных запасов леса по данным АЦО на основе информации ППП и регрессионного моделирования

Была выполнена оценка достоверности моделирования на основе кросс-валидации с использованием подхода out-of-bag. Сравнивались средние значения оценок запаса стволовой древесины на уровне лесничеств по данным ППП, не участвующих на текущем этапе обучения модели, и по результатам моделирования. Диаграмма рассеяния, полученная по результатам сравнения, приведена на рисунке 1.10. Выполненный анализ продемонстрировал согласованность средних оценок запасов на уровне лесничеств с величиной коэффициента детерминации $R^2 = 0,67$; значение средней абсолютной ошибки (mean absolute error) составило $MAE = 42,8 \text{ м}^3/\text{га}$.

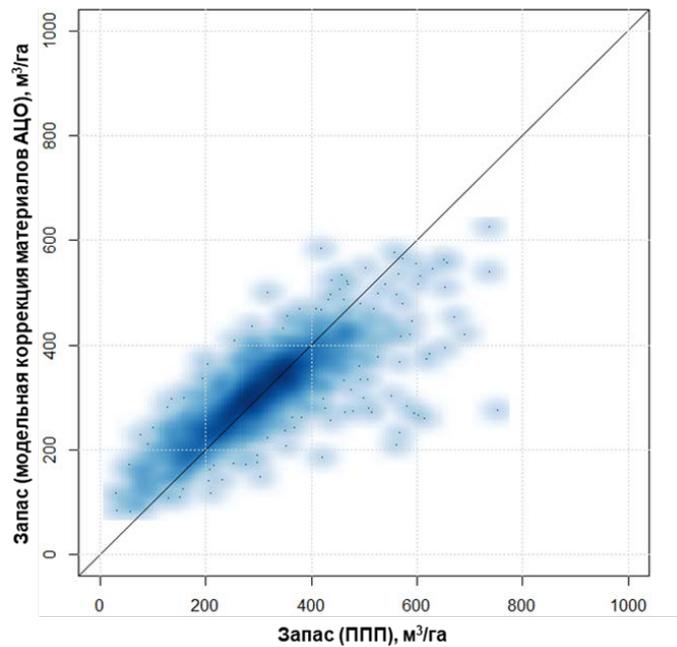


Рисунок 1.10 – Диаграмма рассеяния по результатам оценки точности модельной коррекции запаса стволовой древесины на уровне лесничеств; $R^2 = 0,67$, MAE = 42,8 м³/га

Разработанная модель была применена к растеризованным повыведельным материалам АЦО, удовлетворяющим вышеупомянутым критериям по площади и однородности выдела, а также результатам фильтрации по моделям хода роста. Таким образом были сформированы пространственно распределенные оценки удельных запасов стволовой древесины на уровне таксационных выделов, скорректированные для полного учета надземной древесной биомассы. Также необходимо отметить, что при обучении модели в качестве переменных использовались исходные значения запаса и возраста из материалов АЦО, приведенные при их формировании к датам закладки ППП. В то же время при использовании модели для коррекции значений запаса древесины в повыведельных данных АЦО использовались запас древесины и возраст, приведенные к значениям по состоянию на единый опорный год на основе моделей хода роста. Это позволило привести полученные повыведельные оценки запасов стволовой древесины, скорректированные для учета всех стоящих деревьев, включая сухостой и молодняки/подрост к единому опорному году (2010) для всей территории России.

При этом сформированные данные главным образом характеризуют распределение насаждений с достаточно высокими запасами. Для дополнения полученных данных информацией о распределении низких значений запасов использовалась карта удельных запасов стволовой древесины, разработанная Европейским космическим агентством в рамках проекта Globbiomass [5]. Указанная карта характеризует пространственное распределение запасов древесины в глобальном масштабе с разрешением 100 м по

состоянию на 2010 год. В рамках разработанного подхода данные карты Globbiomass использовались для территорий, не покрытых результатами обработки повидельных материалов АЦО, при условии значений запаса менее 100 м³/га.

Скорректированные результаты обработки повидельных материалов АЦО и данные Globbiomass использовались совместно для формирования обучающей выборки пикселей среднего пространственного разрешения (230 м) для всей территории России с расчетом удельных запасов стволовой древесины по состоянию на 2010 год в их пределах (рисунок 1.11). Полученные данные также прошли дополнительную фильтрацию на основе информации об участках нарушений лесного покрова за период с 2000 года по данным проекта Global forest change [1] и спутникового мониторинга лесных пожаров, а также экспертного анализа. На заключительном этапе обработки дополнительно применялась фильтрация краевых пикселей. Сформированные опорные данные в дальнейшем были использованы совместно со спутниковыми композитными изображениями за соответствующий период для калибровки модели оценки запасов древесины на основе данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения, полученных в условиях наличия снежного покрова на земной поверхности. Обученная модель затем применялась в совокупности со взаимно нормализованными ежегодными композитными изображениями для оценки динамики запасов стволовой древесины лесов России и мониторинга пулов и потоков их углерода.

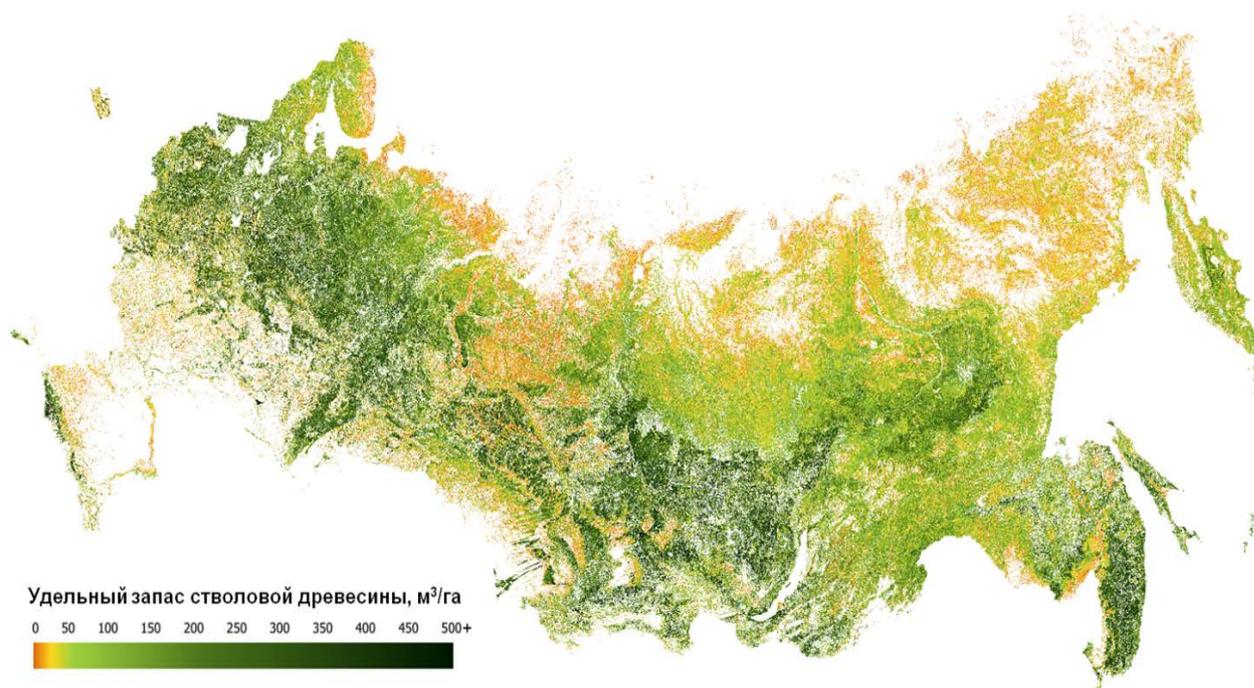


Рисунок 1.11 – Сформированные с пространственным разрешением 230 м опорные данные по состоянию на 2010 год для обучения алгоритмов и верификации результатов спутникового мониторинга запасов стволовой древесины лесов России

1.1.2 Формирование опорных данных о преобладающих породах лесов

Для формирования опорных данных для обучения алгоритма и верификации результатов спутникового мониторинга преобладающих древесных пород в лесах России использовались результаты обработки материалов АЦО.

Согласно предложенному подходу на первом этапе для каждого пикселя пространственного разрешения 230 м на основе материалов АЦО оценивается доля его площади, занимаемая выделами с преобладанием различных пород (рисунок 1.12). Дополнительно рассчитывается количество различных преобладающих пород, встречающихся в выделах, пересекающих данный пиксель. Кроме того, отмечаются пиксели, в которые попали выдела, не прошедшие фильтрацию по моделям хода роста (см. раздел 1.1.1), что может быть обусловлено ошибками любой из характеристик лесов в материалах АЦО (включая преобладающую породу), эта информация может использоваться для дополнительной фильтрации опорных данных. Пиксель среднего пространственного разрешения включается в обучающую выборку, если выполняется хотя бы одно из условий:

- Более 90% площади пикселя занято выделами с преобладанием одной древесной породы;
- Во всех пересекающих пиксель выделах одна и та же преобладающая порода.

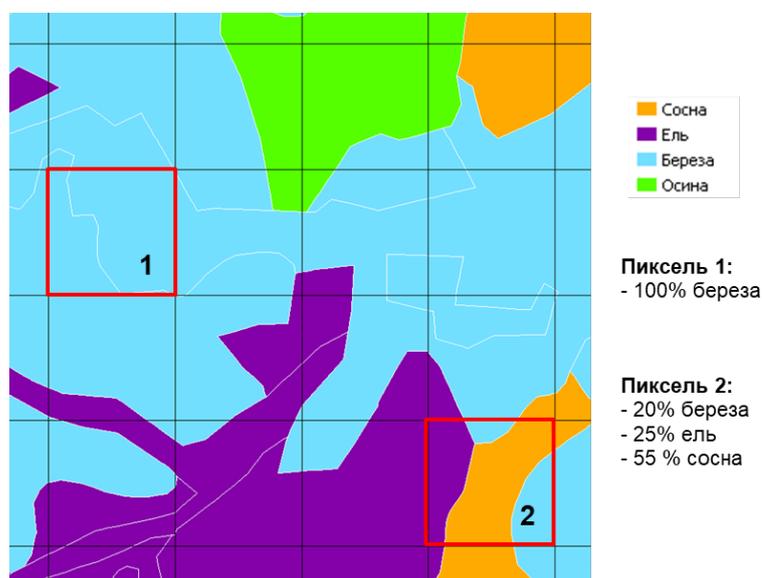


Рисунок 1.12 – Иллюстрация оценки доли различных преобладающих пород в пикселях среднего пространственного разрешения на основе материалов АЦО; черным обозначены границы пикселей среднего разрешения, белым – границы выделов

На следующем этапе выполняется фильтрация полученного набора данных на основе цифровой карты типов наземных экосистем России (см. раздел 1.3.2). Для

дальнейшего анализа отбираются только пиксели опорных данных, соответствующие тематическим классам лесных экосистем согласно вышеуказанной карте. Данная фильтрация необходима для исключения участков крупномасштабных нарушений лесного покрова, произошедших за период после формирования исходных данных АЦО, а также для исключения пикселей с низкой лесистостью, не относящихся к лесным тематическим классам в масштабах пикселя среднего разрешения. Материалы указанной цифровой карты также могут использоваться для более строгой фильтрации опорных данных на основе анализа тематического соответствия преобладающей древесной породы согласно результатам обработки материалов АЦО и типов лесных экосистем (групп пород) согласно карте. Такой подход, в частности, потенциально позволяет исключить участки лесного покрова, где произошла смена преобладающей породы после формирования материалов АЦО.

Заключительный этап обработки предусматривает фильтрацию подпиксельных нарушений в пределах пикселей среднего пространственного разрешения, отобранных для включения в обучающую выборку. Для этого используются материалы проекта Global forest change, предоставляющие информацию об участках нарушений лесного покрова и их датировке с пространственным разрешением 30 м на основе спутниковых данных ДЗЗ Landsat [1]. Для каждого пикселя среднего разрешения рассчитывается доля его площади, на которой согласно данным проекта Global forest change произошли нарушения лесного покрова за период начиная с 2000 года. Если доля площади пикселя, занятая участками нарушенных лесов, составляет более 3%, то данный пиксель исключается из обучающей выборки. Это позволяет исключить пиксели, в которых исчезновение лесного покрова (в том числе с учетом его возможного последующего восстановления и потенциальной смены породы) приводит к изменению его спектрально-отражательных характеристик, а значит может вносить ошибки в опорные данные.

В рамках разработанного подхода также предусмотрен опциональный этап дополнительной локально-адаптивной статистической фильтрации опорной выборки. В его основе лежит использование разработанного в ИКИ РАН локально-адаптивного алгоритма глобального картографирования LAGMA (locally-adaptive global mapping algorithm) [6]. Для каждой преобладающей породы, информация о которой есть в обучающей выборке, и для всей территории России выполняется локализованная оценка статистических характеристик распределения ее спектрально-отражательных характеристик на основе данных ДЗЗ, полученных в информативные периоды сезонного цикла. В случае если отражательная способность соответствующего пикселю участка в заданном числе спектральных каналов/разновременных измерений отличается от среднего

значения для данной породы более чем на определенное количество стандартных отклонений, указанный пиксель исключается из набора опорных данных. Использование описанного подхода позволяет при необходимости отфильтровать остаточные ошибки из обучающей выборки.

Разработанный подход был использован при формировании опорных данных для калибровки метода и верификации результатов спутникового мониторинга преобладающих древесных пород в лесах России (рисунок 1.13). Сформированная обучающая выборка характеризует актуальное пространственное распределение 19-ти основных преобладающих древесных пород и 4-х типов кустарниковой растительности в лесах страны с разрешением 230 м. Распределение обучающей выборки по тематическим классам приведено в таблице 1.1. Указанные типы лесных экосистем согласно данным статистики занимают более 99,8% покрытой лесом территории РФ, при этом доля ее покрытия обучающей выборкой составляет почти 50%, что говорит о репрезентативности сформированных опорных данных.

Таблица 1.1 – Распределение опорных данных по площади лесов различных преобладающих пород и типов кустарниковой растительности

Преобладающая порода	Количество пикселей	Доля площади лесной растительности*
Сосна	8983050	6.21%
Ель	6577988	4.54%
Пихта	1351949	0.93%
Лиственница	30658592	21.18%
Кедр	4074570	2.82%
Дуб	628260	0.43%
Бук	84927	0.06%
Граб	13114	0.01%
Ясень	36338	0.03%
Клен	20817	0.01%
Вяз	13552	0.01%
Береза каменная	999543	0.69%
Береза	10095643	6.98%
Осина	1491371	1.03%
Ольха серая	142185	0.10%
Ольха черная	39593	0.03%
Липа	243080	0.17%
Тополь	28711	0.02%
Ива	22151	0.02%
Кедровый стланик	2719338	1.88%
Карликовая береза	1021386	0.71%
Ива кустарниковая	76342	0.05%
Ольха кустарниковая	321415	0.22%
Всего:	69643915	48.12%

*Согласно цифровой карте типов наземных экосистем России (см. раздел 1.3.2)

Разработанный подход к формированию обучающей выборки позволяет существенно увеличить количество тематических классов по сравнению с предыдущими разработками по картографированию преобладающих пород лесов России на основе данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения. Кроме того, использование результатов обработки материалов АЦО на уровне таксационных выделов для построения набора опорных данных потенциально позволяет формировать выборку пикселей среднего пространственного разрешения для смешанных лесов, включая получение информации о соотношении насаждений различных преобладающих пород в их пределах.

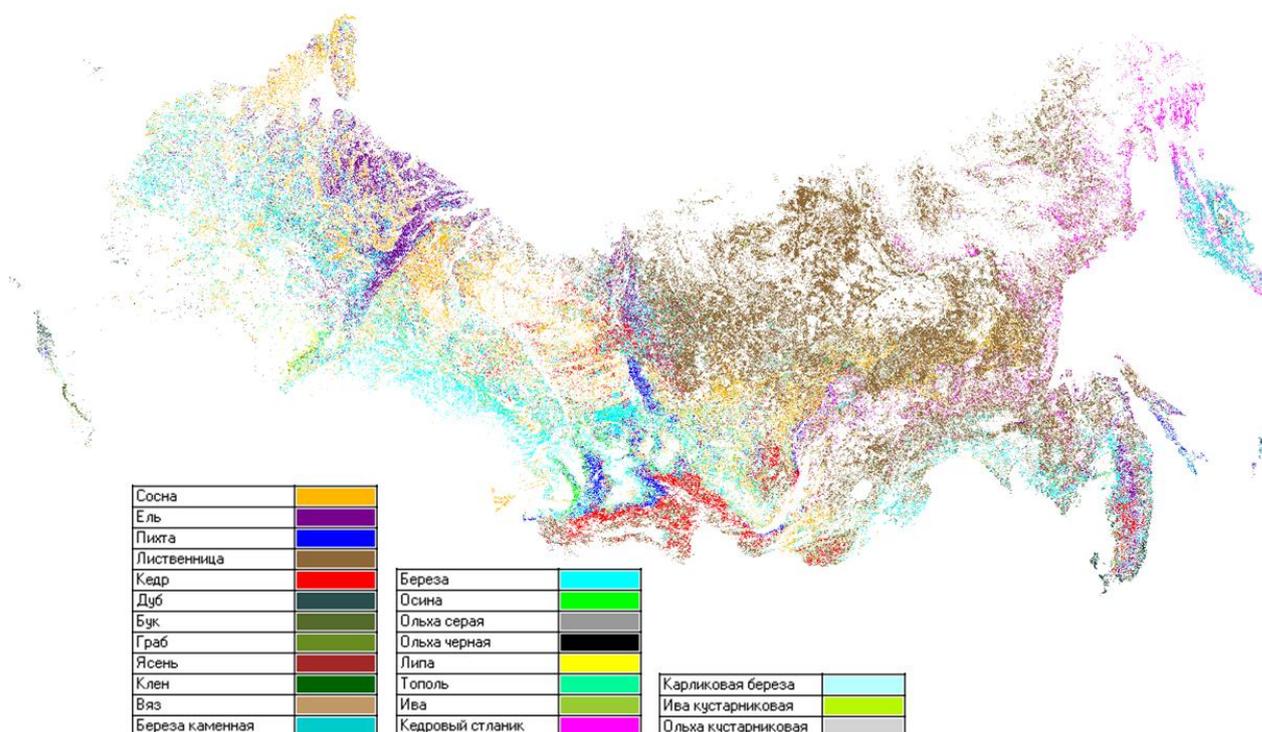


Рисунок 1.13 – Сформированные с пространственным разрешением 230 м по состоянию на 01.01.2022 опорные данные для обучения алгоритмов и верификации результатов спутникового мониторинга преобладающих древесных пород в лесах России

1.1.3 Формирование опорных данных о повреждении лесов пожарами

Формирование опорных данных для валидации результатов дистанционного мониторинга повреждения пожарами лесов может быть выполнено на основе следующих источников информации:

- Данные по выделной таксации (выдела, отнесенные к гарям);
- Данные наземной оценки степени повреждения лесов на пробных площадях с определением категории состояния насаждений;
- Данные оценки поврежденных пожарами лесов на основе данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения.

Данные по выделению таксации лесов могут быть использованы для валидации класса гарей в спутниковых картах типов наземных экосистем. В частности, в составе данных АЦО площадь гарей составляет 46,4 млн. га (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Территории, занятые лесными гарями согласно данным АЦО

В то же время карта типов наземных экосистем по состоянию на 2021 год содержит 52.5 млн га необлесенных гарей. Стоит отметить, что данные АЦО имеют разную актуальность для разных территорий, что должно быть учтено при дальнейшем анализе. Сформированная на основе АЦО база данных будет использована в дальнейшем для валидации и настройки параметров алгоритма картографирования гарей. Данные АЦО могут быть использованы для сопоставления с результатами спутникового картографирования гарей как на уровне отдельных пожаров, так и для определения погрешностей оценки их площади на региональном и национальном уровнях.

База данных наземного обследования поврежденных пожарами лесов была сформирована на основе материалов ФБУ «Рослесозащита», содержащих информацию о более чем 17 тыс. пробных площадей (рисунок 1.3), и использована для совместного анализа со спутниковыми данными и имеющимися геоинформационными продуктами (рисунок 1.15).

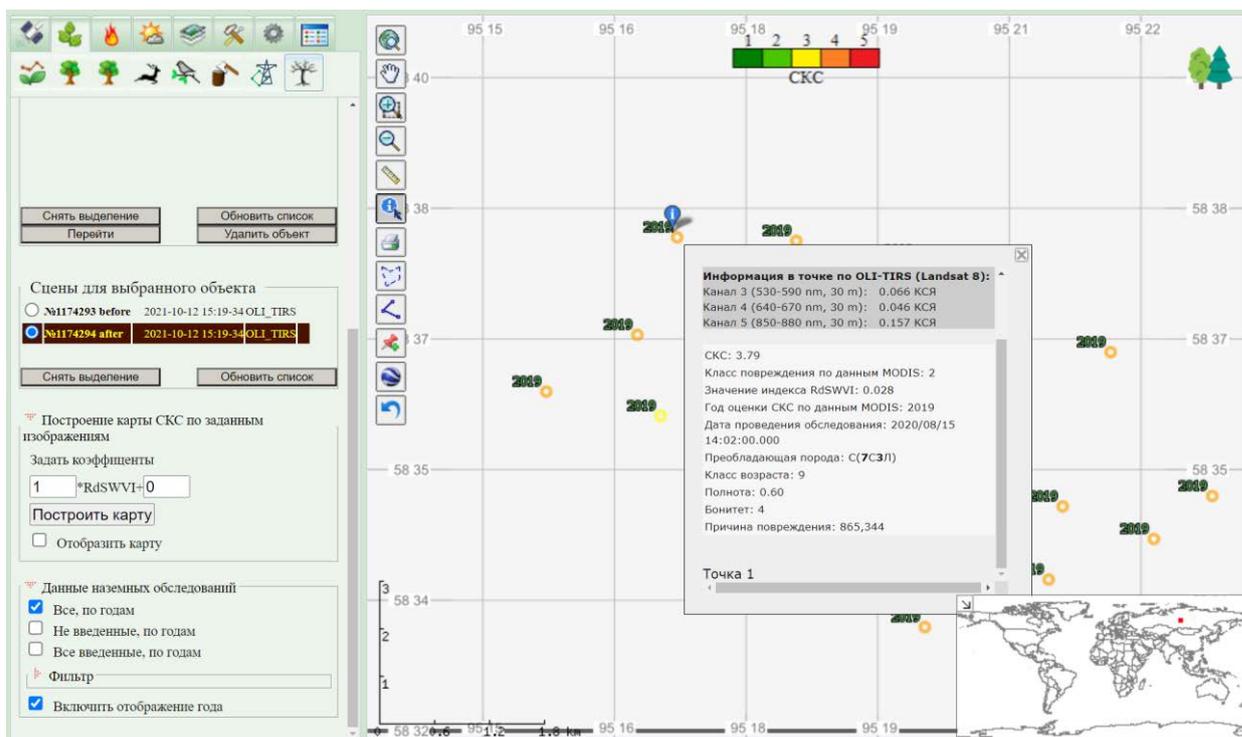


Рисунок 1.15 – Пример совместного анализа результатов наземных обследований поврежденных пожарами лесов на пробных площадях и спутниковых данных

Для каждой пробной площади представлена информация о характеристиках лесов, причинах и степени их повреждения. В качестве показателя степени повреждения лесов используется параметр их средневзвешенной категории состояния (СКС), рассчитываемой следующим образом:

$$СКС = \frac{\sum_{i=1}^4 iK_i + 5 \sum_{i=5}^6 K_i}{\sum_{i=1}^6 K_i} \quad (1.3)$$

где K_i – число деревьев i -ой категории состояния деревьев согласно лесопатологической классификации.

Оценка базируется на определении доли деревьев со следующими категориями состояния: здоровые (1), ослабленные (2), сильно ослабленные (3), усыхающие (4), сухостой текущего года (5), сухостой прошлых лет (6). При этом устанавливаются следующие верхние границы интервалов значений СКС для отнесения насаждения к различным категориям состояния: 1,5 – здоровое насаждение; 2,5 – ослабленное; 3,5 – сильно ослабленное; 4,5 – усыхающее. Насаждения со значениями СКС выше 4,5 относятся к погибшим.

Полученная база опорных наземных данных будет в дальнейшем использована для настройки и оценки точности метода определения степени повреждения лесов пожарами

[7,8,9]. Одним из подходов по сопряжению данных обследования лесов на пробных площадях со спутниковыми данными среднего пространственного разрешения (250 м) может являться выделение спектрально однородных участков на основе данных ДЗЗ пространственного разрешения 10-30 м.

Для формирования опорных данных о поврежденных пожарами лесах были подобраны пары спутниковых изображений пространственного разрешения 10-30 м, полученные в предшествующий пожару год и в год пожара. Безоблачные спутниковые изображения были подобраны в устойчивый период вегетации. При необходимости допускался подбор изображений поврежденных огнем участков на следующий после пожара год. На основе спутниковых изображений для поврежденных огнем участков рассчитывался разностный вегетационный индекс RdSWVI, согласно выражения:

$$RdSWVI = \frac{SWVI_{pre} - SWVI_{post}}{\sqrt{SWVI_{pre} + 1}} \quad (1.4)$$

$$SWVI = \frac{R_{nir} - R_{swir}}{R_{nir} + R_{swir}}$$

где R_{nir} и R_{swir} – значения коэффициента спектральной яркости в ближнем и среднем ИК диапазонах, $SWVI_{pre}$ и $SWVI_{post}$ – значения вегетационного индекса SWVI лесного покрова соответственно до и после пожара.

Выполненные ранее исследования показали наличие связи между показателем СКС и разновременным вегетационным индексом RdSWVI [7],[10],[11], на основе которой выполнялась оценка класса повреждения (рисунок 1.16).

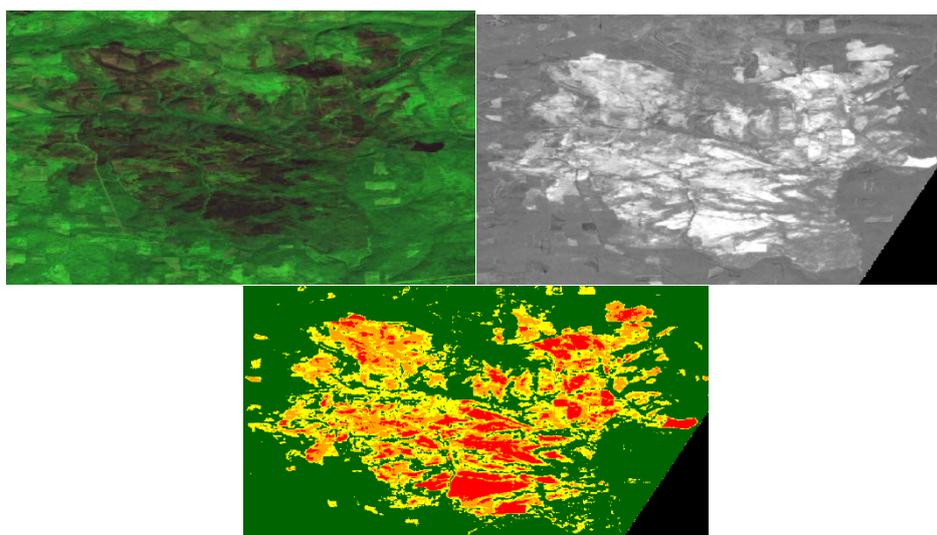


Рисунок 1.16 – Послепожарное изображение Landsat-8(а), разновременной индекс RdSWVI (б) и результат расчета СКС (в)

Было выполнено картографирование повреждений лесов пожарами на территории Республики Саха (Якутия) для 260 пожаров, составляющих 93% пройденных огнем площадей в регионе в 2021 году (рисунок 1.17). Всего была выполнена оценка повреждений лесов на площади 5.45 млн га, включая 2.81 млн га погибших и 1.46 млн га усыхающих лесов.

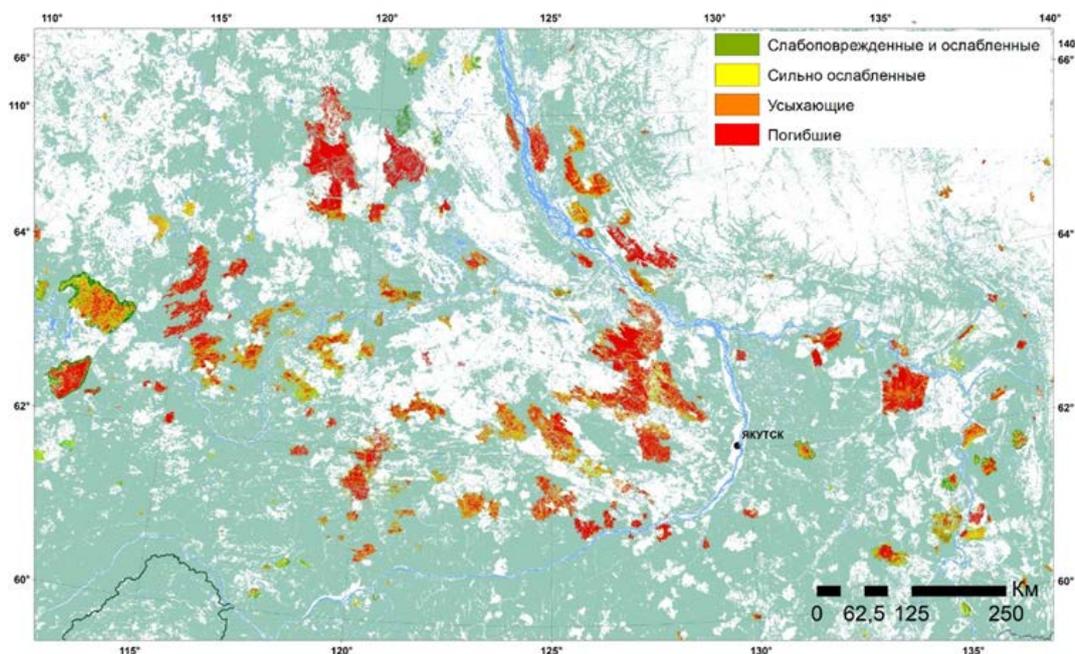


Рисунок 1.17 – Фрагмент опорной карты погибших и поврежденных пожарами лесов в Якутии по спутниковым данным высокого пространственного разрешения

Сформированная таким образом база данных, основанная на автоматизированной обработке спутниковых изображений высокого пространственного разрешения, позволит в дальнейшем провести валидацию результатов оценки поврежденных пожарами лесов.

1.2 Предварительная обработка спутниковых данных среднего пространственного разрешения для мониторинга наземных экосистем России

1.2.1 Технология предварительной обработки спутниковых данных среднего пространственного разрешения

Технология предварительной обработки спутниковых данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения служит для фильтрации эффектов влияния облачного и снежного покрова и основана на использовании измерений отраженного подстилающей поверхностью излучения в наборе спектральных каналов, представленных в системах Terra/Aqua-MODIS, SNPP-VIIRS и некоторых других.

Для создания масок облачного и снежного покрова по данным MODIS используются значения коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) в каналах, представленных в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Спектральные каналы, необходимые для построения маскирующих изображений облачного и снежного покрова по данным MODIS

Обозначения канала		λ (мкм)
RED	B01	0.620 – 0.670
NIR	B02	0.841 – 0.876
BLUE	B03	0.459 – 0.479
SWIR	B06	1.628 – 1.652

Облачный и снежный покров отличается высокой отражательной способностью в видимом и ближнем ИК спектральных диапазонах и низкой ее величиной в среднем ИК (1.6 мкм, 2.2 мкм). Для фильтрации данных наблюдений участков облачного и снежного покрова широко используется разностный нормализованный индекс снега NDSI, реализации которого различаются в зависимости от используемых каналов:

$$NDSI_{blue} = \frac{R_{blue} - R_{swir}}{R_{blue} + R_{swir}}, \quad NDSI_{red} = \frac{R_{red} - R_{swir}}{R_{red} + R_{swir}}, \quad NDSI_{green} = \frac{R_{green} - R_{swir}}{R_{green} + R_{swir}} \quad (1.5)$$

где R – значение коэффициента спектральной яркости в соответствующем канале.

Схема метода построения безоблачных композитных изображений открытой земной поверхности представлена на рисунке 1.18.

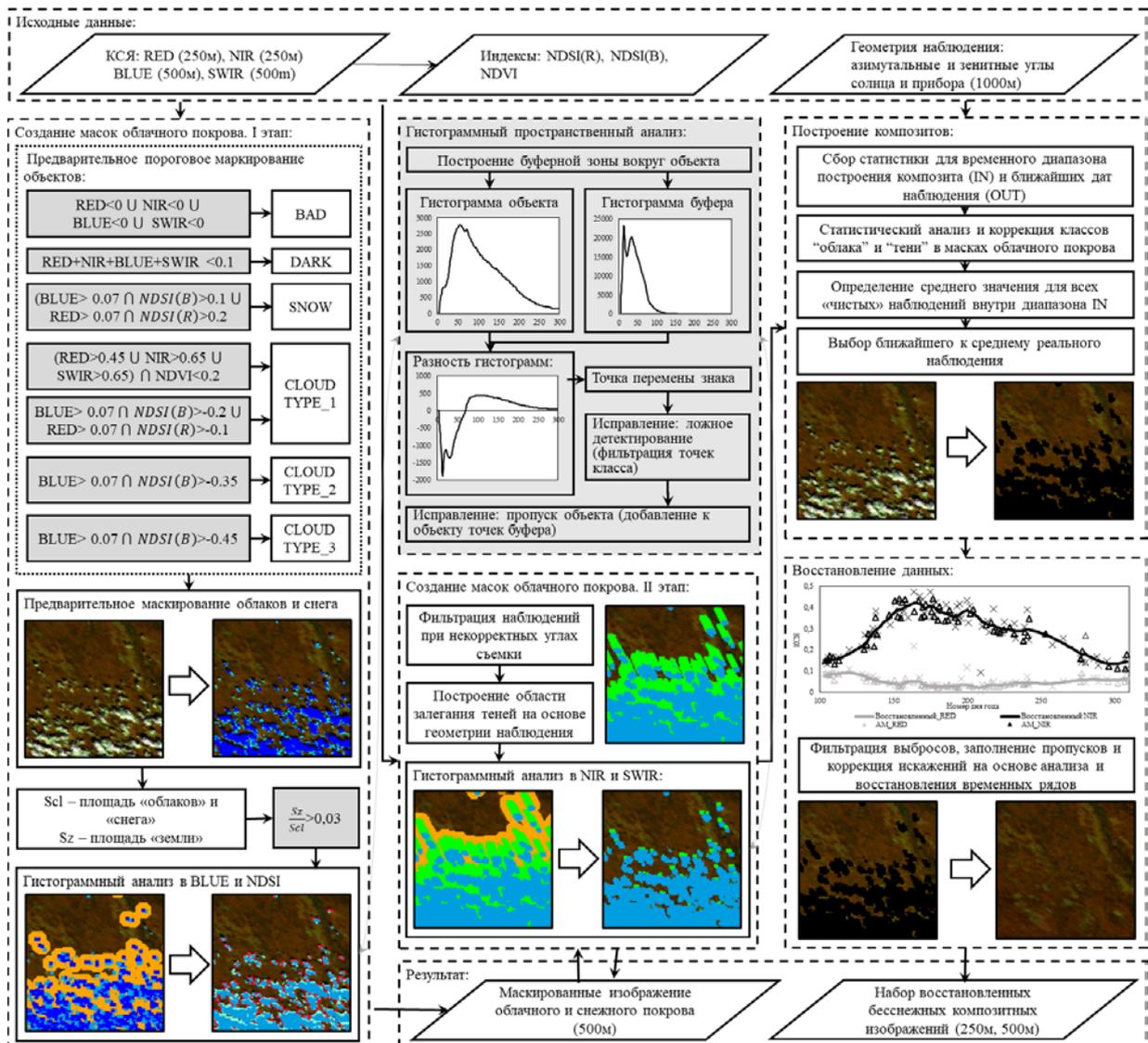


Рисунок 1.18 – Метод построения безоблачных изображений земной поверхности

При создании маски облачного покрова применяются индексы NDSI, построенные с использованием голубого (BLUE) и красного (RED) каналов. Значения индексов NDSI(R) и NDSI(B), а также КСЯ в каналах, перечисленных в таблице 1.3, используются для предварительного порогового маскирования облачного и снежного покрова.

Пример построения предварительной маски облачного и снежного покрова, изображения, представленного на рисунке 1.19а, приведен на рисунке 1.19б. Пример содержит мелкие облака, сопоставимых по размеру с пространственным разрешением данных ДЗЗ. Такие облака сложно детектировать из-за спектрального смешения облаков с подстилающей поверхностью. Для фильтрации смешанных пикселей на предварительном этапе используется оконтуривание матрицей 3x3 пикселя для облаков типа CLD и SLD (рисунки 1.19в и 1.19г).

Таблица 1.3 – Набор пороговых значений для предварительного маскирования облаков

Маркер	Характеристика	Условия маркирования
BAD	Темные объекты: водная поверхность, тени, ошибки	$B01 < 0$; $B02 < 0$ $B03 < 0$; $B06 < 0$
SNOW	Снег, сильная облачность	$B01 > 0.07$; $NDSI(R) > 0.1$ $B03 > 0.07$; $NDSI(B) > 0.1$
CLD	Высокая облачность	$B01 > 0.07$; $NDSI(R) > -0.2$ $B03 > 0.07$; $NDSI(B) > -0.2$ Оконтуривание: 3x3 пиксела
SLD	Средняя облачность	$B01 > 0.07$; $NDSI(R) > -0.35$ $B03 > 0.07$; $NDSI(B) > -0.35$ Оконтуривание: 3x3 пиксела
MLD	Дымка, смешанные пиксели	$B03 > 0.07$; $NDSI(B) > -0.45$

Недостатком порогового метода является высокий процент ошибок детектирования: ложное детектирование и пропуски цели. Возможность достоверного разделения чистых наблюдений и облачного покрова варьируется в зависимости от плотности облаков, времени года, спектрально-отражательных характеристик земного покрова. Для уточнения маскирующих изображений и повышения адаптивности метода в целом, используется пространственный гистограммный анализ значений КСЯ в голубом канале и индекса NDSI.

Методом пространственного гистограммного анализа для каждого класса облаков строится буферная зона (рисунок 1.19д), которая в дальнейшем подвергается коррекции (рисунок 1.19е). Гистограммы распределения значений внутри класса «облако» (рисунок 1.20а) и «буфер облака» (рисунок 1.20б) частично пересекаются. На рисунке 1.20в представлена нормализованная разница гистограмм распределения значений КСЯ в голубом канале для облаков типа SLD и соответствующего буфера.

Точка смены знака разностной гистограммы позволяет уточнить порог разделения классов для конкретного изображения. Полученный порог рассчитывается дважды: для фильтрации ошибок ложного детектирования внутри класса «облако», и, после перестроения буферной зоны, для детектирования облачности внутри буфера.

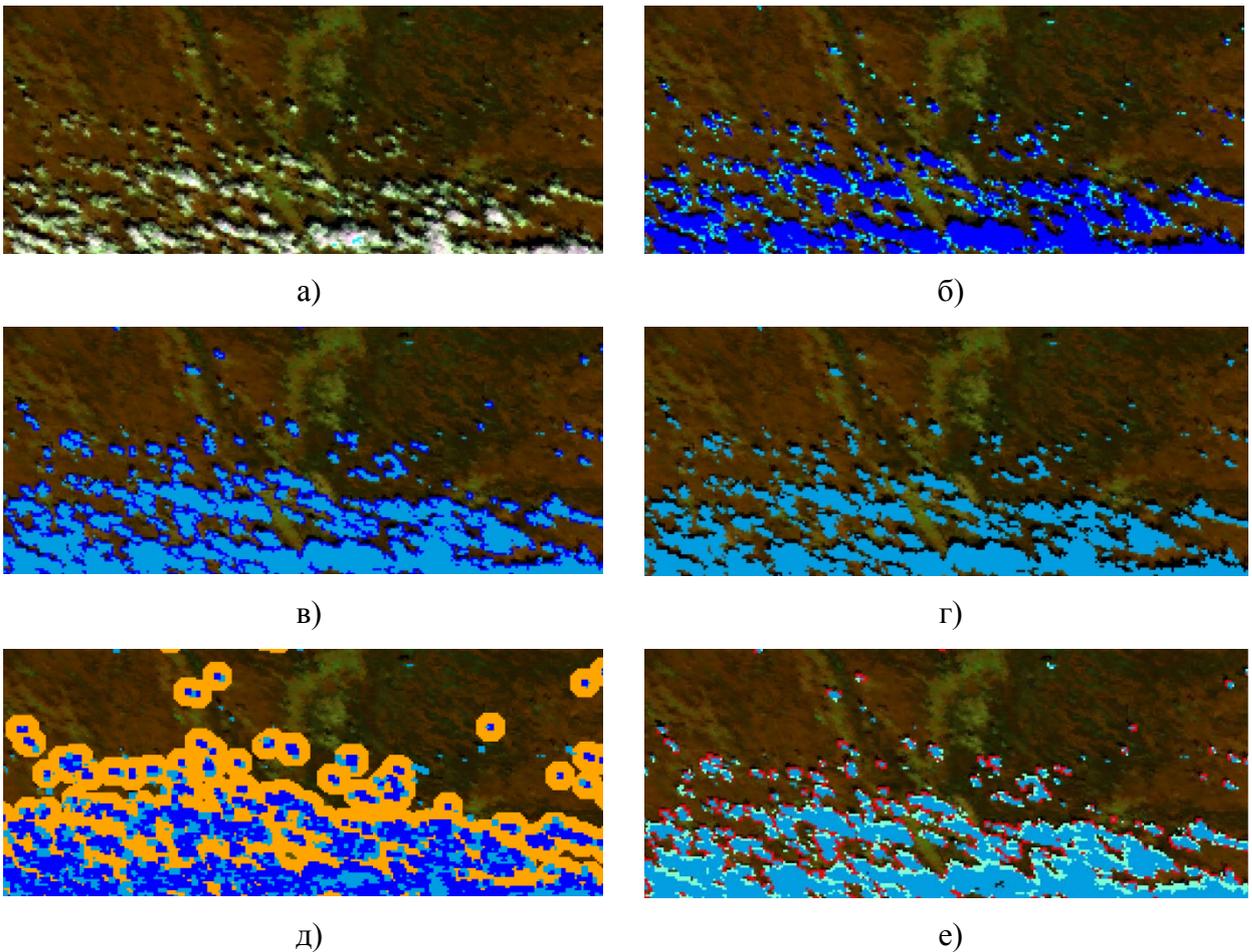


Рисунок 1.19 – а) исходные данные. RGB синтез каналов: B02, B06, B01; б) предварительное маскирование облачного покрова: темно-синий – облака типа CLD, синий – облака типа SLD, голубой – облака типа MLD; в) оконтуривание облаков типа CLD и SLD: голубой – все маркеры облачности, синий – оконтуривание облаков; г) предварительное маскирование облачного покрова; д) построение буферной зоны (оранжевый) вокруг облаков типа CLD(синий); е) коррекция буферной зоны (красный) облачного покрова

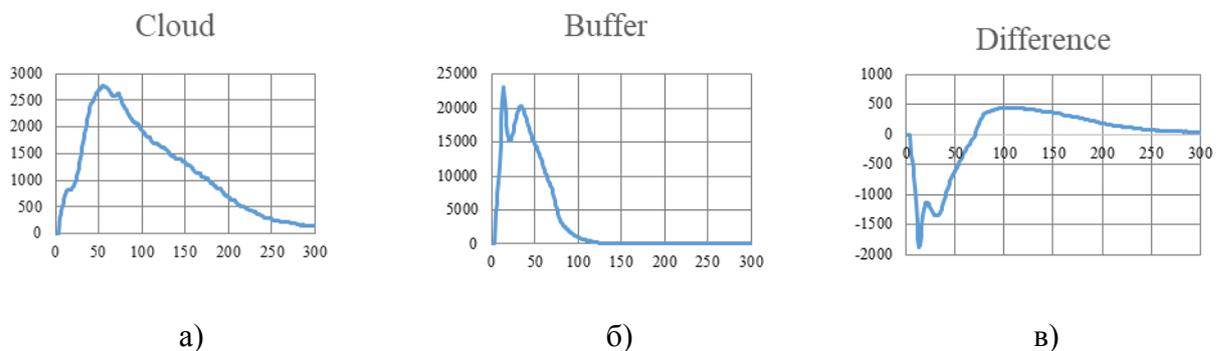


Рисунок 1.20 – а) гистограмма КСЯ в канале B03 для облаков типа SLD; б) гистограмма КСЯ в голубом канале B03 для буферной зоны; в) разностная гистограмма объектов класса «облако» и «буфер облака»

Неотъемлемым следствием присутствия облачности на спутниковых изображениях является наличие теней от облаков. Для маскирования теневых участков помимо яркостных характеристик используется и информация о геометрии наблюдений. Направление теней определяется исходя из геометрии взаимного расположения Солнца и прибора ДЗЗ в момент съемки. Длина теневых участков зависит от высоты облачного покрова. На предварительном этапе, при построении геометрического направления тени, высота облаков принимается не ниже 8км.

На рисунке 1.21а приведен пример построения теней от облаков с использованием маски облачного покрова и данных об азимутальных и зенитных углах Солнца и прибора ДЗЗ. При этом область влияния теней заведомо избыточна, относительно реальной ее величины. Приведенный выше метод пространственного гистограммного анализа используется также и для коррекции класса «тени». Для класса «тени» также строится буферная зона (рисунок 1.21б). Разностные гистограммы распределения значений КСЯ в NIR и SWIR каналах позволяют получить пороги разделения классов «тени» и «чистая поверхность» для выбранного изображения. При этом исправляются только ошибки ложного детектирования.

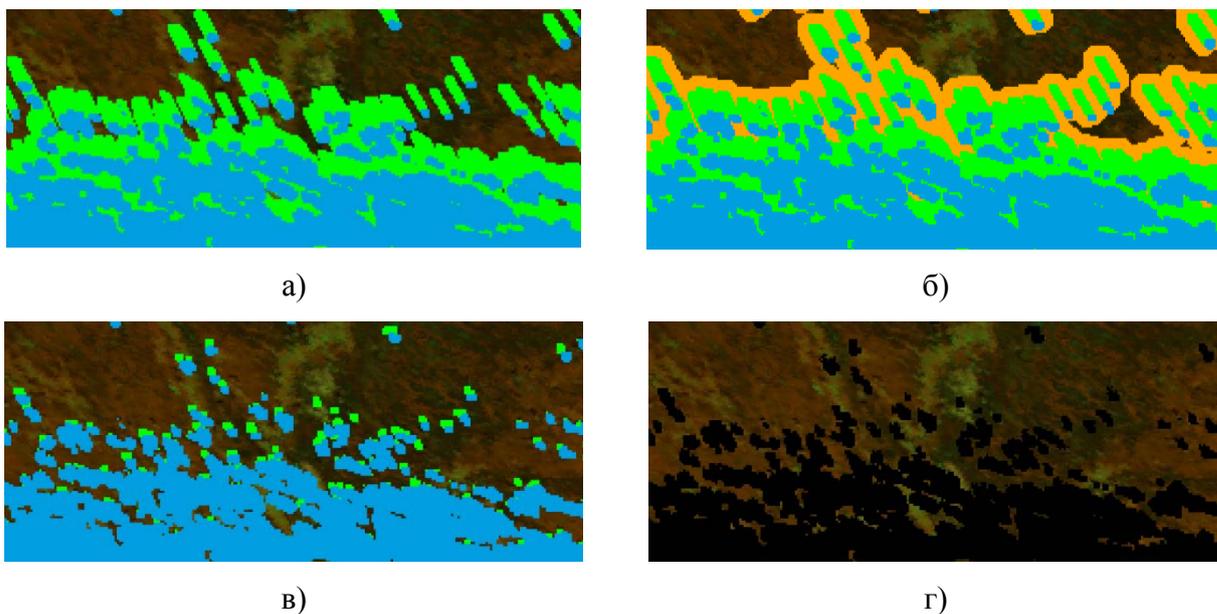


Рисунок 1.21 – а) построение теней (зеленый) от облаков (голубой); б) построение буферной зоны (оранжевый) вокруг теней (зеленый); в) маскирующее изображение снежного, облачного, покрова и теней от облаков; г) фильтрация искаженных данных (черный)

На рисунке 1.21в приведен результат построения маскирующего изображения облачного и снежного покрова, теней от облаков, шумов и т.д. Маски используются для фильтрации наблюдений, непригодных для анализа состояния земного покрова. При этом, как видно на рисунке 1.21г, это приводит к пропускам в наблюдениях.

Поскольку в течение каждого дня может быть несколько сеансов наблюдений, создание композитных изображений позволяет частично заполнить пропуски в данных. Для различных задач могут быть использованы однодневные, либо многодневные синтезированные изображения. Для построения композитных изображений используются данные сеансов наблюдения внутри выбранного временного интервала, а также наблюдения в расширенном временном диапазоне для статистической фильтрации наблюдений в каждой точке.

Построенные композитные изображения в зависимости от выбранного временного разрешения все еще могут содержать пропуски в данных и возможные остаточные отклонения от ряда наблюдений. На заключительном этапе предварительной обработки данных происходит анализ временных рядов для фильтрации выбросов, заполнения пропусков и сглаживания данных. Метод восстановления данных включает в себя построение интерполирующих полиномов второй степени в скользящем окне динамического размера в p значащих точек. Число значащих точек зависит от временного разрешения данных, а длина полинома по оси абсцисс зависит от числа пропусков. На рисунке 1.22 приведен набор аппроксимирующих полиномов для временного ряда ежедневных композитных изображений КСЯ NIR.

Результаты записываются в интерполяционную матрицу IM . Для каждой точки временного ряда получается набор интерполяционных оценок значения характеристики: при $p=5$ до 4 оценок для пропуска и до 5 для значащей точки во временном ряду. Реальные наблюдения сравниваются с интерполяционными оценками. При отклонении в две дисперсии от среднего наблюдение считается искаженным и фильтруется. После фильтрации выбросов интерполяционная матрица оценок перестраивается, и пропуски заполняются усредненными значениями интерполяционных оценок.

$$IM = \begin{pmatrix} a_1^{11} & a_2^{21} & b_3^1 & a_4^{31} & a_5^{41} & a_6^{51} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & a_2^{12} & b_3^2 & a_4^{22} & a_5^{32} & a_6^{42} & a_7^{52} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & a_4^{13} & a_5^{23} & a_6^{33} & a_7^{43} & b_8^3 & a_9^{53} & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_5^{14} & a_6^{24} & a_7^{34} & b_8^4 & a_9^{44} & a_{10}^{54} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_6^{15} & a_7^{25} & b_8^5 & a_9^{35} & a_{10}^{45} & a_{11}^{55} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_7^{16} & b_8^6 & a_9^{26} & a_{10}^{36} & a_{11}^{46} & a_{12}^{56} & \dots \\ \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

В матрице IM элементы a_T^{ij} соответствуют полученным оценкам в значащих точках, а элементы b_T^i – пропущенным данным. T – порядковый номер наблюдения во временном

ряду, i – положение значащей точки в окне интерполяции, j – шаг окна интерполяции (совпадает с номером строки), а величина окна выбрана $p=5$.

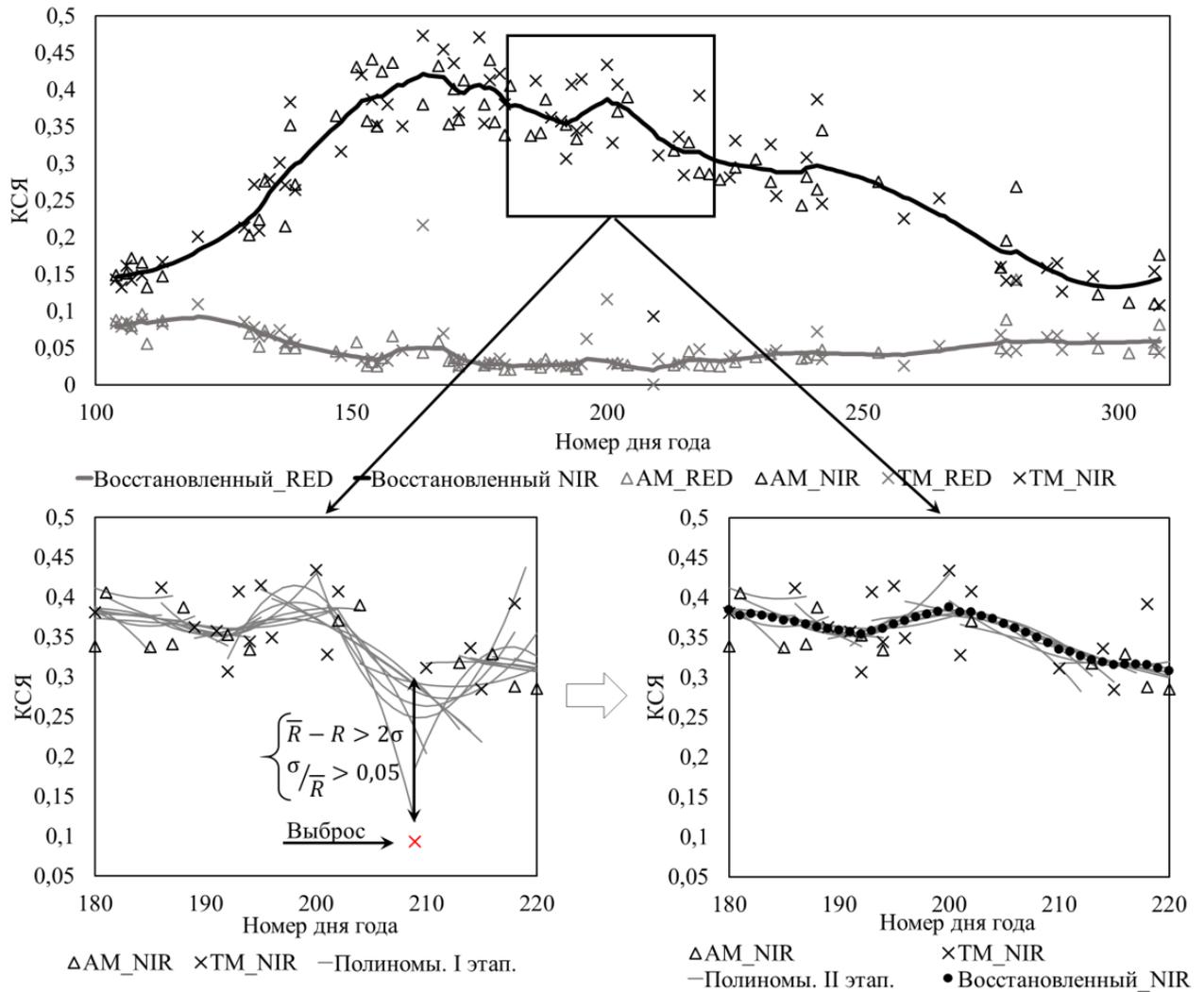


Рисунок 1.22 – Интерполяционный алгоритм восстановления ежедневного временного ряда композитных изображений КСЯ в спектральном канале NIR

На рисунке 1.23 проиллюстрированы ключевые этапы предварительной обработки данных.

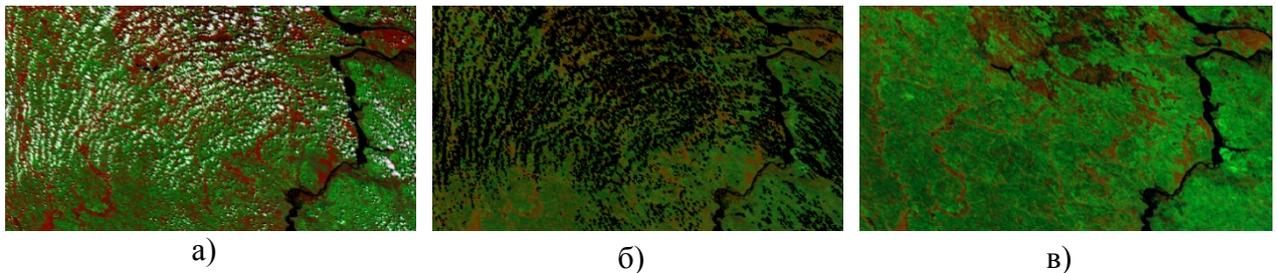


Рисунок 1.23 – а) исходные данные; б) однодневное композитное изображение; в) синтезированное изображение

Описанная выше технология предварительной обработки данных спутниковых наблюдений позволяет получать изображения, очищенные от влияния шумов, облачного и снежного покрова, теней, а также влияния их краевых эффектов, и других мешающих факторов. В результате обработки временных серий данных ДЗЗ получаются непрерывные ряды изображений, необходимые при дальнейшем мониторинге и анализе состояния растительного покрова.

Метод построения безоблачных композитных изображений покрытой снегом земной поверхности, логическая схема которого представлена на рисунке 1.24, включает в себя следующую последовательность основных этапов обработки данных ДЗЗ:

- первичная пороговая классификация одномоментных спутниковых изображений с выделением таких классов, как облака, отбрасываемые ими на земную поверхность тени и свободные от снега участки, территории с открытым снежным покровом, леса с наличием снега на земле и/или кронах;

- статистический анализ временных рядов данных ДЗЗ со взаимной переклассификацией ошибочно отнесенных на предыдущем этапе к классам открытого снежного покрова и лесов пикселей, а также с последующей фильтрацией результатов классификации на основе критериев внутриклассовой изменчивости спектрально-отражательных характеристик;

- статистический анализ временных рядов данных ДЗЗ для пикселей класса лесов с выявлением и фильтрацией измерений спектральной яркости, полученных при наличии снега на кронах деревьев;

- реконструкция временных рядов данных ДЗЗ с восстановлением спектрально-отражательных характеристик земной поверхности в пикселях спутниковых изображений, находящихся под влиянием облаков или исключенных из рассмотрения по результатам статистической фильтрации на предыдущих этапах обработки;

- выбор наиболее статистически репрезентативных в заданном временном интервале значений спектрально-отражательных характеристик покрытой снегом земной поверхности и формирование соответствующих композитных изображений.



Рисунок 1.24 – Логическая схема метода построения безоблачных композитных изображений покрытой снегом земной поверхности на основе временных рядов данных ДЗЗ

Выполняемая на первом шаге первичная пороговая классификация одномоментных спутниковых изображений направлена на выделение таких классов как (1) облака, (2) тени от облаков и свободная от снега земная поверхность, (3) открытый снег и (4) лесной покров с наличием снега на земной поверхности и/или на кронах деревьев. Соответствующие пикселям классов (1) и (2) данные ДЗЗ совокупно исключаются из использования при дальнейшем построении композитных изображений. Для первичной классификации используется двумерное распределение значений R_b и R_{sw} коэффициента спектральной яркости (КСЯ), измеренных соответственно в голубом и среднем ИК диапазонах спектра. В данном пространстве значений КСЯ участки с наличием снега, в том числе, находящемуся под кронами деревьев, характеризуются в видимой области спектра более высокой отражательной способностью по сравнению со свободной от снежного покрова земной поверхностью. Предварительное построение гистограммы двумерного распределения значений R_b и R_{sw} с участием данных спутниковых наблюдений зимнего периода (пример изображения приведен на рисунке 1.25) позволило оценить пороговые значения для разделения заданных классов.

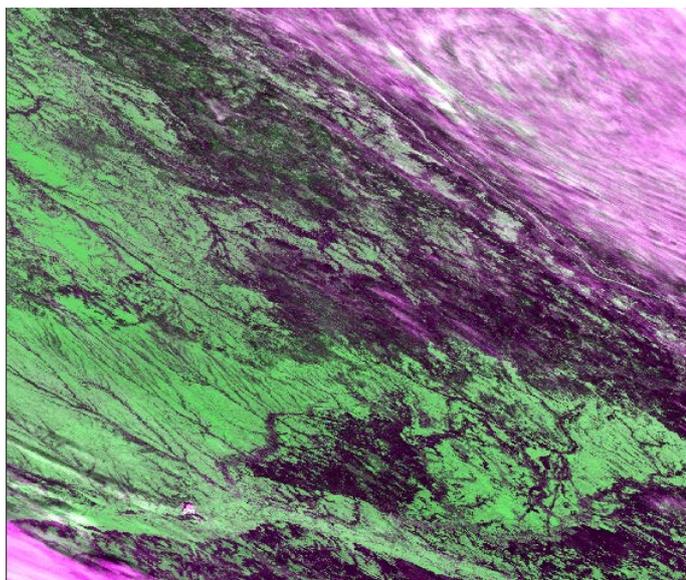


Рисунок 1.25 – Пример спутникового изображения территории с наличием снега на земной поверхности по данным съемки Terra-MODIS (продукт MOD09, RGB: Red-NIR-Red). Облака отображаются светло-розовыми оттенками, покрытые снегом безлесные территории - в оттенках зеленого, а занятые лесом земли - темными цветами)

При этом непосредственное использование для этой цели в качестве разделяющего признака нормализованного разностного индекса снега $NDSI$ (формула 1.7) не является оптимальным, поскольку леса высокой сомкнутости (прежде всего, хвойных вечнозеленых пород) и лишенные снежного покрова безлесные территории характеризуются близкими его значениями:

$$NDSI = (R_b - R_{sw}) / (R_b + R_{sw}) \quad (1.7)$$

Следует отметить, что в выбранном пространстве признаков использование $NDSI$ в качестве параметра может быть выражено в виде:

$$R_b = R_{sw} (1 + NDSI) / (1 - NDSI), \quad R_b = R_{sw} \text{ при } NDSI = 0 \quad (1.8)$$

При этом наличие снега приводит к снижению значений КСЯ земной поверхности в среднем ИК диапазоне, а эффект снижения отражательной способности снежного покрова проявляется уже на длине волны 1,2 мкм и возрастает на длинах волн 1,6 и 2.2 мкм.

Представленная на рисунке 1.26 двумерная гистограмма значений КСЯ в голубом и среднем ИК диапазонах спектра иллюстрирует возможности разделения по данным ДЗЗ необходимых классов на основе задания следующих пороговых значений:

– «снег», если $R_b > 0,05$ и $0,03 < R_{sw} < 0,2$;

– «облачность, тени и прочие территории», если $R_{sw} < 0,03$ или $R_{sw} > 0,2$ или $R_b < 0,05$.

Заданные пороговые значения КСЯ обеспечивают умеренно консервативную фильтрацию пикселей гарантированно соответствующих облакам и свободным от снега

участкам земной поверхности. Однако близость КСЯ некоторых типов облаков и открытого снега не позволяет обеспечить их разделение по одномоментным спутниковым изображениям с достаточной степенью надежностью.

Дальнейшее разделение указанных объектов и фильтрация пикселей для покрытых лесом территорий с наличием снега на кронах деревьев достигается на основе анализа временных рядов КСЯ участков, отнесенных на этапе первичной классификации спутниковых изображений к снежному покрову.

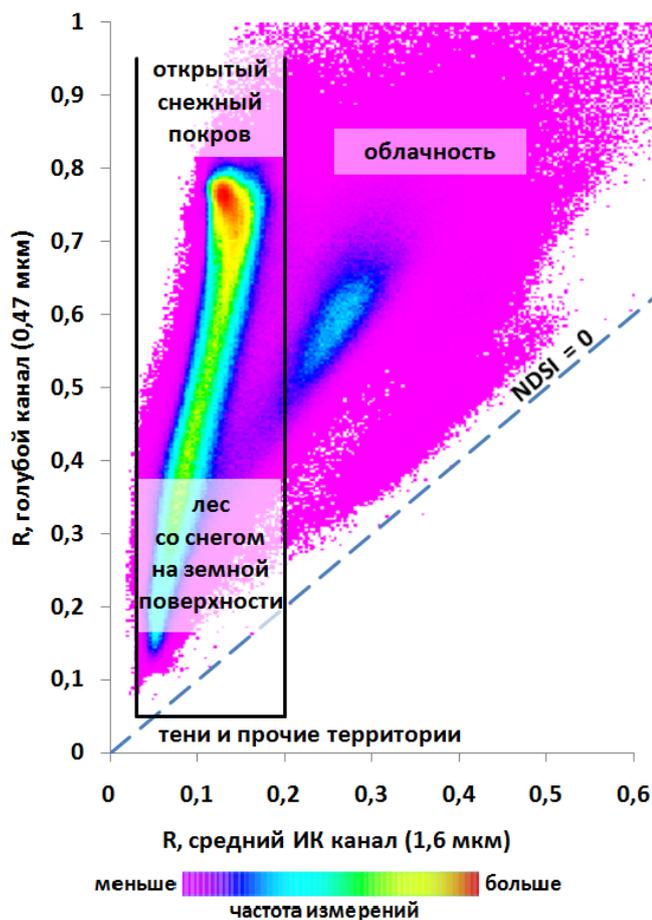


Рисунок 1.26 – Иллюстрация пороговой классификации одномоментных спутниковых изображений в двумерном пространстве значений КСЯ в голубом и среднем ИК диапазонах спектра на примере данных системы MODIS

Статистический анализ временного ряда значений КСЯ $R(x, y, t)$ в точке с координатами (x, y) в момент времени t на выявленных с наличием снега участках исходит из предположения значительно большего числа наблюдений свободных от маскирующего влияния облаков в сравнении зашумленными. При этом для повышения уровня репрезентативности статистического анализа возможно использование спутниковых данных ДЗЗ, полученных в соседние годы. При этом необходимо учитывать возрастающую возможность проявления негативного влияния фактора межгодовых

деструктивных изменений лесного покрова. Для снижения влияния этого фактора предпочтительно включать в анализ дополнительные данные ДЗЗ, полученные в предшествующие годы. Временные ряды данных КСЯ используются для оценки их средней величины $M_R(x, y, t_1: t_2)$ и стандартного отклонения $\sigma_R(x, y, t_1: t_2)$ в данной точке за период времени с t_1 по t_2 . Необходимость использования временных рядов данных спутниковых наблюдений обусловлена низким уровнем разделимости по одномоментным изображениям в пространстве признаков R_b и R_{sw} устойчивого снежного покрова на земной поверхности и снежного облачного фронта в атмосфере. Выделение участков с высоким уровнем случайного шума в точке $R(x, y, t)$ осуществляется отдельно по данным измерений КСЯ в красном (R_{red}) и ближнем ИК (R_{NIR}) спектральных диапазонах на основе критерия (1.9):

$$|R(x, y, t) - M_R(x, y, t_1: t_2)| > 2 * \sigma_R(x, y, t_1: t_2) \quad (1.9)$$

Необходимо отметить, что прошедшие фильтрацию временные ряды данных спутниковых наблюдений могут существенно отличаться в различные годы характером внутригодового распределения данных измерений КСЯ снежного покрова. Указанные отличия в датах спутниковых измерений, в свою очередь, проявляются в вариациях значений КСЯ земной поверхности, прежде всего, за счет влияния различий высоты Солнца. Характерные для зимнего периода года низкие значения последней приводят к повышенному вкладу теней от деревьев, форм рельефа и некоторых других вертикальных элементов местности в межгодовые различия спектрально-отражательных характеристик земной поверхности. Для компенсации этого фактора при построении композитных изображений покрытой снегом земной поверхности предусмотрена процедура реконструкции временных рядов данных на участках пропусков, образовавшихся после фильтрации зашумленных измерений. Указанная процедура включает в себя детектирование и фильтрацию остаточных шумов, а также заполнение пропусков и сглаживание временных рядов данных ДЗЗ, обеспечивая получение регулярных и непрерывных во времени значений КСЯ земной поверхности.

В результате проведенной предварительной обработки данных ДЗЗ значительно снижается влияние мешающих факторов, что дает возможность построения композитных изображений покрытой снегом земной поверхности. Построение композитных изображений осуществляется по данным восстановленных рядов КСЯ в каждом спектральном канале на основе поиска значения, соответствующего минимальному отклонению $\Delta_{MIN}(x, y, t_1: t_2)$ от средней величины $M_R(x, y, t_1: t_2)$, вычисленной по данным заданного временного интервала $(t_1: t_2)$. В результирующие композитные

изображения для заданного спектрального диапазона включаются значения КСЯ, для которых выполняется условие:

$$\left[|R(x,y,t) - M_R(x,y,t_1:t_2)| = \Delta \right]_{\text{MIN}}(x,y,t_1:t_2) \quad (1.10)$$

Приведенные на рисунке 1.27 в качестве примеров фрагменты композитных изображений покрытой снегом земной поверхности получены на участок территории в Республике Татарстан по данным съемки в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах в период с 1 января по 30 апреля спутниковыми системами различного пространственного разрешения, а именно Terra-MODIS (230 м, 2021 год) и Proba-V (100 м, 2018 год).

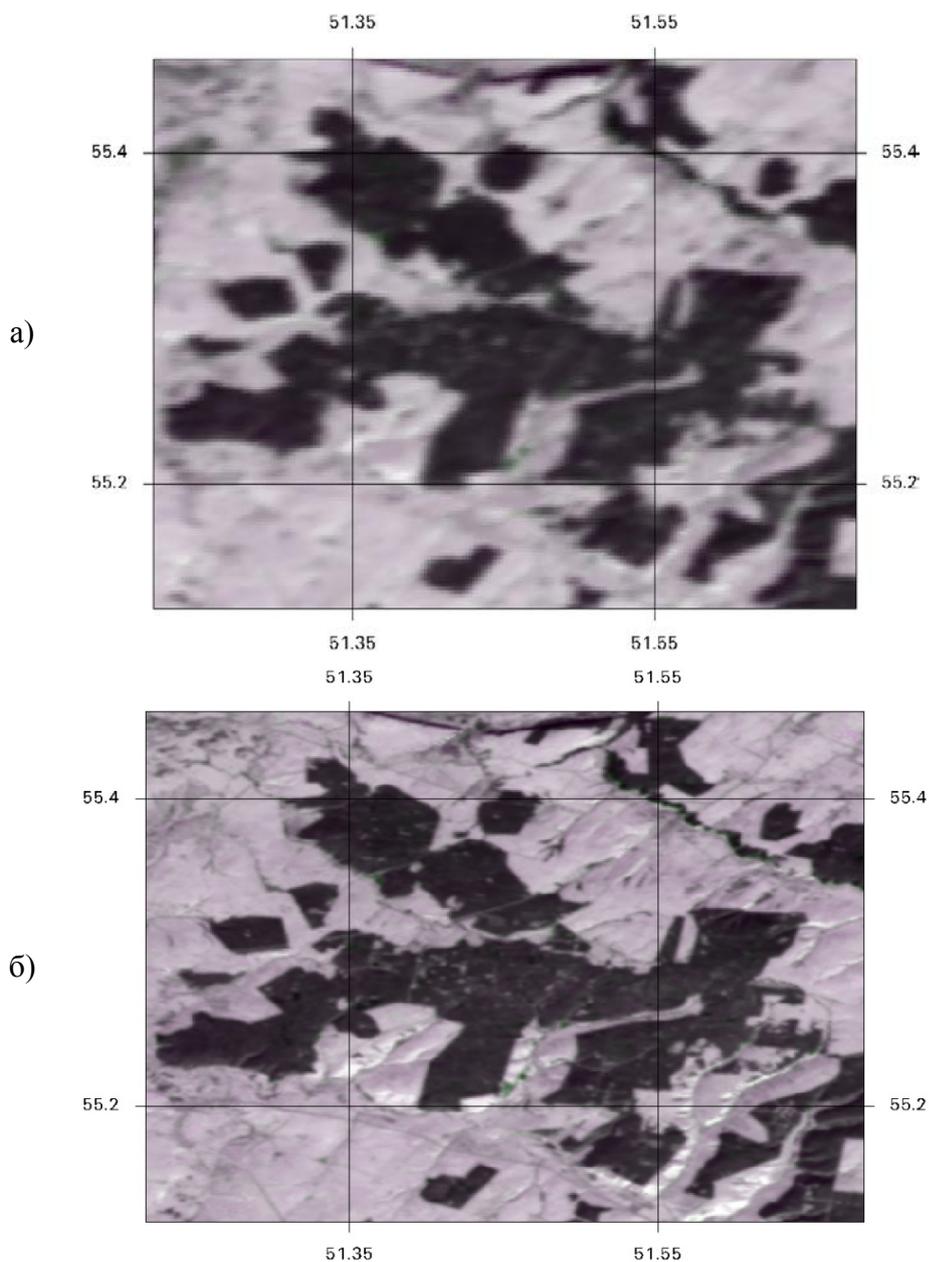


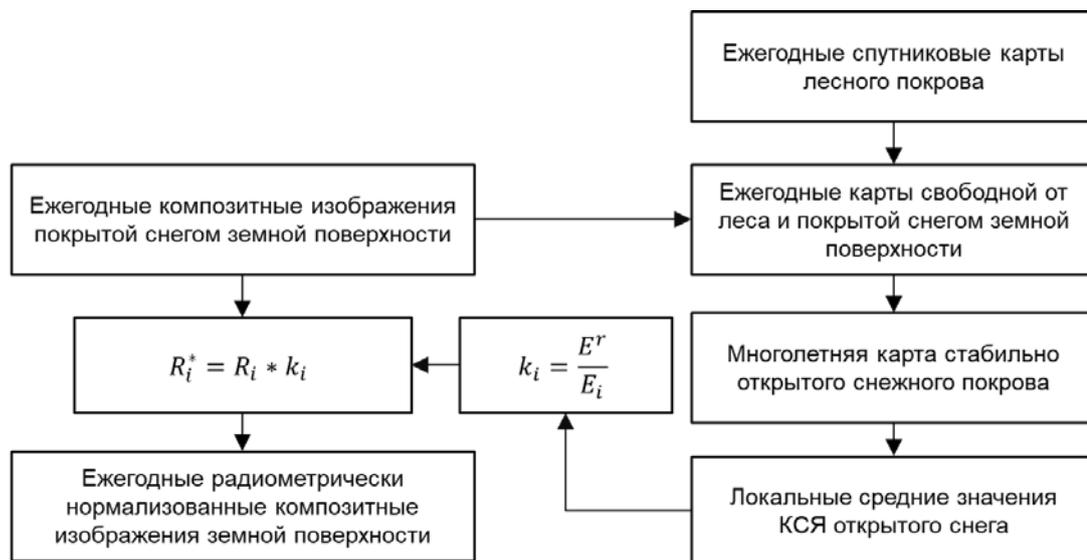
Рисунок 1.27 – Пример композитного изображения покрытой снегом земной поверхности (R_{red} (R), R_{NIR} (G), R_{red} (B)): а) по данным MODIS (230м); б) по данным Proba-V (100м)

Описанный выше подход позволяет получать многолетние временные ряды очищенных от маскирующего влияния облаков композитных спутниковых изображений, характеризующих спектрально-отражательные свойства покрытой снегом земной поверхности. Вместе с тем, анализ ежегодных композитных изображений показывает наличие межгодовых вариаций значений КСЯ, обусловленных, как уже отмечалось выше, не только динамикой лесов, но и изменчивостью отражательных характеристик снежного покрова, вызванных влиянием различных факторов, включая, наличие ледяной корки, уровень влагосодержания снега, степень шероховатости его поверхности. Наличие такого рода факторов вариабельности значений КСЯ может приводить к искажению результатов многолетнего анализа композитных изображений, в частности, при решении задач оценки характеристик и дистанционного мониторинга лесов. Кроме того, к числу факторов потенциально способных приводить к искажению результатов анализа многолетних спутниковых данных можно отнести и изменение радиометрических характеристик сенсора съемочной системы ДЗЗ, вызванных, как правило, постепенным снижением его чувствительности на протяжении жизненного цикла эксплуатации.

Для компенсации влияния вышеуказанных факторов межгодовой вариабельности многолетних композитных изображений покрытой снегом земной поверхности разработан метод их взаимной радиометрической нормализации, логическая схема которого представлена на рисунке 1.28. В основе метода лежит локально-адаптивная оценка на свободных от леса территориях КСЯ открытого снега в предположении полного покрытия им участков, соответствующих пикселям изображений. Для этого из используемого для радиометрической нормализации композитных изображений множества пикселей необходимо исключить участки с наличием древесно-кустарниковой растительности.

Локально-адаптивная оценка КСЯ покрытых снегом безлесных участков осуществляется методом LAGMA в узлах регулярной пространственной сети. Для отбора опорных участков используются ежегодно обновляемые спутниковые карты растительного покрова. По ежегодным композитным изображениям определяются максимальные значения КСЯ в красном и ближнем ИК диапазонах спектра на занятых лесом территориях с последующим исключением из рассмотрения участков с более низкой отражательной способностью. Дополнительная пространственная фильтрация направлена на исключение из рассмотрения участков, непосредственно примыкающих к покрытым лесом территориям или расположенных в буферной зоне заданной ширины. Для взаимной радиометрической нормализации многолетних композитных изображений в качестве опорных территорий отбираются участки открытого снега, остающиеся

свободными от древесной растительности на протяжении всего рассматриваемого периода спутниковых наблюдений.



E_i и E^r - локальные средние значения КСЯ открытого снежного покрова, полученные на регулярной сети с использованием композитных изображений произвольного i - го и опорного годов; R_i и R_i^* - значения КСЯ в пикселах исходного и радиометрически нормализованного композитных изображений; k_i - заданные на регулярной сети значения коэффициентов радиометрической нормализации композитного изображения.

Рисунок 1.28 – Логическая схема радиометрической нормализации композитных изображений покрытой снегом земной поверхности

Таким образом, на вход алгоритма LAGMA поступают опорная выборка пикселей, соответствующих стабильно безлесным территориям и временной ряд композитных спутниковых изображений покрытой снегом земной поверхности. На основе ежегодных данных проводится вычисление локализованных средних значений КСЯ открытого снежного покрова E_i с их присвоением узлам регулярной сети с заданным размером ячейки. При этом территория локализованного сбора статистики значений КСЯ по опорной выборке пикселей должна заведомо превышать заданные размеры ячейки регулярной сети. С использованием полученных локализованных средних значений КСЯ открытого снега проводится вычисление коэффициентов радиометрической нормализации k_i . При этом коэффициенты радиометрической нормализации временного ряда изображений вычисляются относительно года, выбранного в качестве опорного, т.е.:

$$k_i = \frac{E^r}{E_i} \quad (1.11)$$

Последующая процедура радиометрической нормализации временного ряда композитных изображений (исключая опорный год) выполняется согласно выражения:

$$R_i^* = R_i * k_i \quad (1.12)$$

На рисунке 1.29 отображены гистограммы разности исходных и радиометрически нормализованных значений КСЯ в ближнем ИК диапазоне для территории России по данным съемки MODIS 2010 и 2012 годов. Сравнение представленных гистограмм показывает, что процедура радиометрической нормализации композитных изображений позволяет существенно уменьшить величину систематического смещения между двумя распределениями КСЯ. При этом следует учитывать, что в рассматриваемый период на территории происходили и реальные изменения площади и характеристик лесов, также оказавшие влияние на распределение разности сравниваемых изображений.

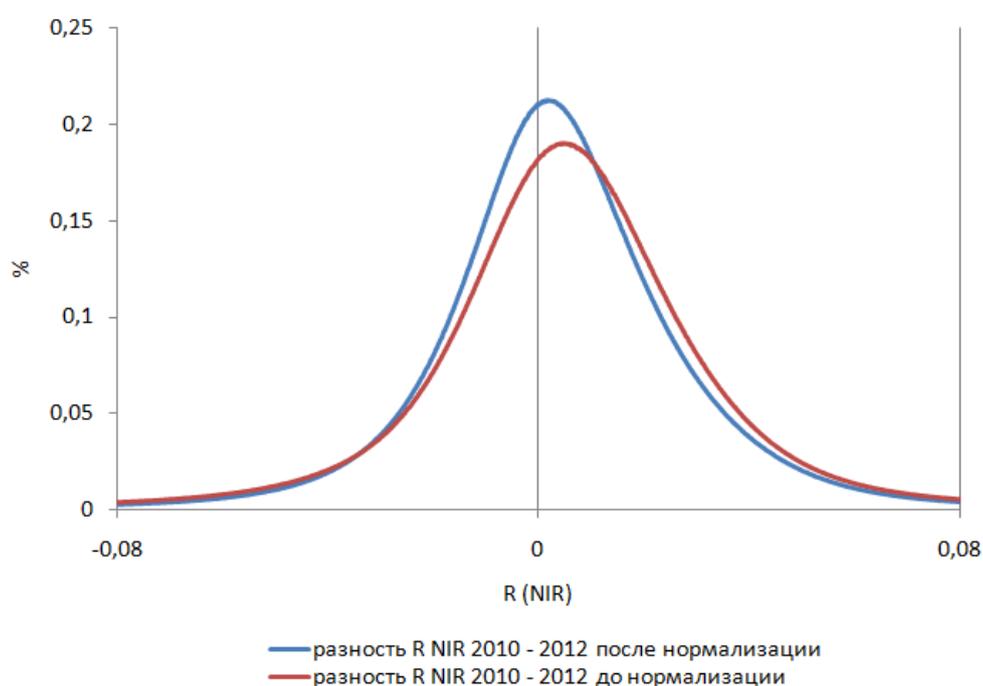


Рисунок 1.29 – Гистограммы распределения разностей КСЯ в ближнем ИК диапазоне по данным MODIS 2010 и 2012 годов с использованием исходных и радиометрически нормализованных композитных изображений территории России с наличием снежного покрова на земной поверхности

Оценка результатов радиометрической нормализации изображений также проводилась по стабильным участкам тундры на территории России, отобранным с использованием карт растительного покрова. В каждом пикселе полученных по данным MODIS 2001-2019 годов ежегодных композитных изображений были рассчитаны величины стандартного отклонения КСЯ в красном и ближнем ИК диапазонах до проведения радиометрической нормализации $\sigma_R(x, y, 2001: 2019)$ и после нее $\sigma_R^*(x, y, 2001: 2019)$. Влияние радиометрической нормализации композитных изображений

может характеризоваться коэффициентом снижения их межгодовой вариабельности, вычисляемым по соотношению величин стандартных отклонений $\sigma_R(x, y, 2001: 2019)$ и $\sigma_R^*(x, y, 2001: 2019)$:

$$D = \sigma_R(x, y, 2001: 2019) / \sigma_R^*(x, y, 2001: 2019) \quad (1.13)$$

Гистограмма распределения величины D для изображений, полученных по данным измерений КСЯ в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах, построенная по территории стабильных участков тундр (рисунок 1.30), свидетельствует о том, что разработанный метод радиометрической нормализации позволил снизить межгодовые вариации КСЯ для подавляющего большинства (93%) пикселей композитных изображений рассматриваемой территории, соответствующих области гистограммы, лежащей по оси абсцисс справа от порогового значения $D = 1$. Для большинства пикселей межгодовая вариабельность после нормализации снизилась примерно на 20%. Оценка распределения величины D для покрытых лесом на протяжении всего рассматриваемого временного интервала территорий также показывает близкое снижение межгодовых вариаций КСЯ в результате радиометрической нормализации.

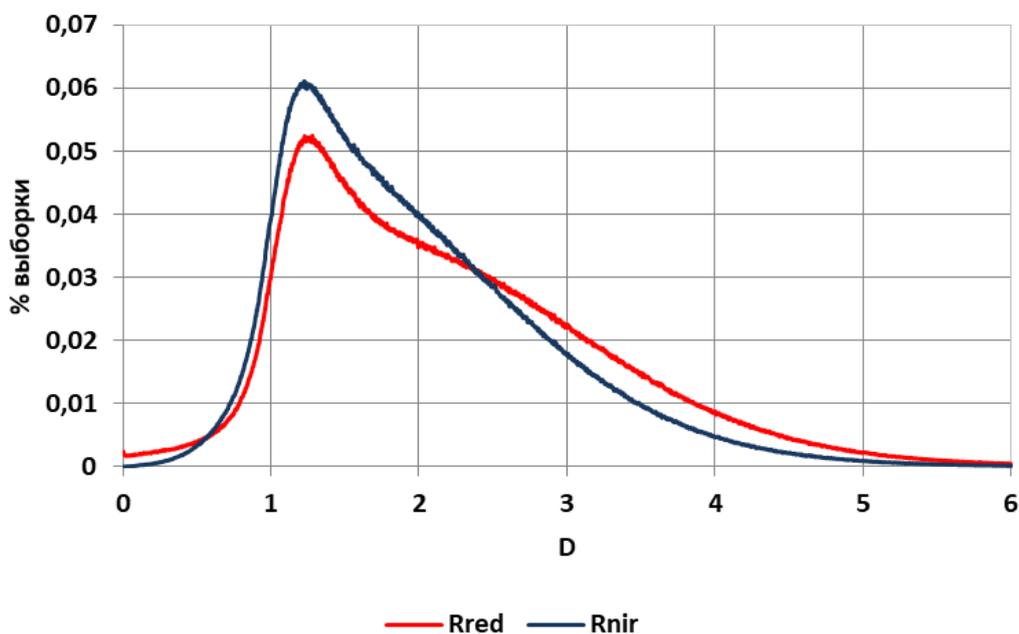


Рисунок 1.30 – Гистограммы распределений величины коэффициента снижения межгодовой вариабельности D композитных изображений по данным измерений КСЯ системой MODIS в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах

1.2.2 Восстановление непрерывных временных рядов ежедневных данных системы MODIS

Описанная выше (раздел 1.2.1 отчета) технология была использована для предварительной обработки многолетнего архива спутниковых данных, получаемых системой Terra/Aqua-MODIS. Исходные данные представлены в свободном доступе Центра распределенного активного архива наземных процессов NASA в виде стандартных продуктов MOD09. Продукты состоят из набора данных измерений в спектральных каналах (таблица 1.4) и сопутствующей геометрической информации положения прибора и Солнца в каждой точке наблюдения в синусоидальной проекции.

Таблица 1.4 – Набор спектральных каналов системы Terra/Aqua-MODIS

Номер канала	Длина волны, мкм	Пространственное разрешение, м
1	0.620-0.670	~ 231
2	0.841-0.876	~ 231
3	0.459-0.479	~ 462
4	0.545-0.565	~ 462
5	1.230-1.250	~462
6	1.628-1.652	~ 462
7	2.105-2.155	~ 462

– Набор каналов системы полностью отвечает требованиям предложенной технологии предварительной обработки данных ДЗЗ. В результате обработки были получены однодневные композитные изображения, очищенные от влияния снежного покрова, облачности и сопутствующих теней, отдельно для каждого прибора:

– Terra-MODIS: 2001-2022 г;

– Aqua-MODIS: 2003-2022 г.

Поскольку однодневные композитные изображения, как правило, содержат пространственные пропуски наблюдений вследствие влияния различного рода мешающих факторов, к ним был применен алгоритм восстановления данных. Он включал в себя построение интерполирующих полиномов второй степени в скользящем окне с использованием ежедневных измерений с обоих приборов. Этот подход позволил синтезировать многолетний непрерывный ряд ежедневных бесснежных наблюдений за период 2001-2022 годов, а также увеличить окно измерений внутри каждого года на

территории России. Примеры полученных однодневных временных срезов представлены на рисунке 1.31.

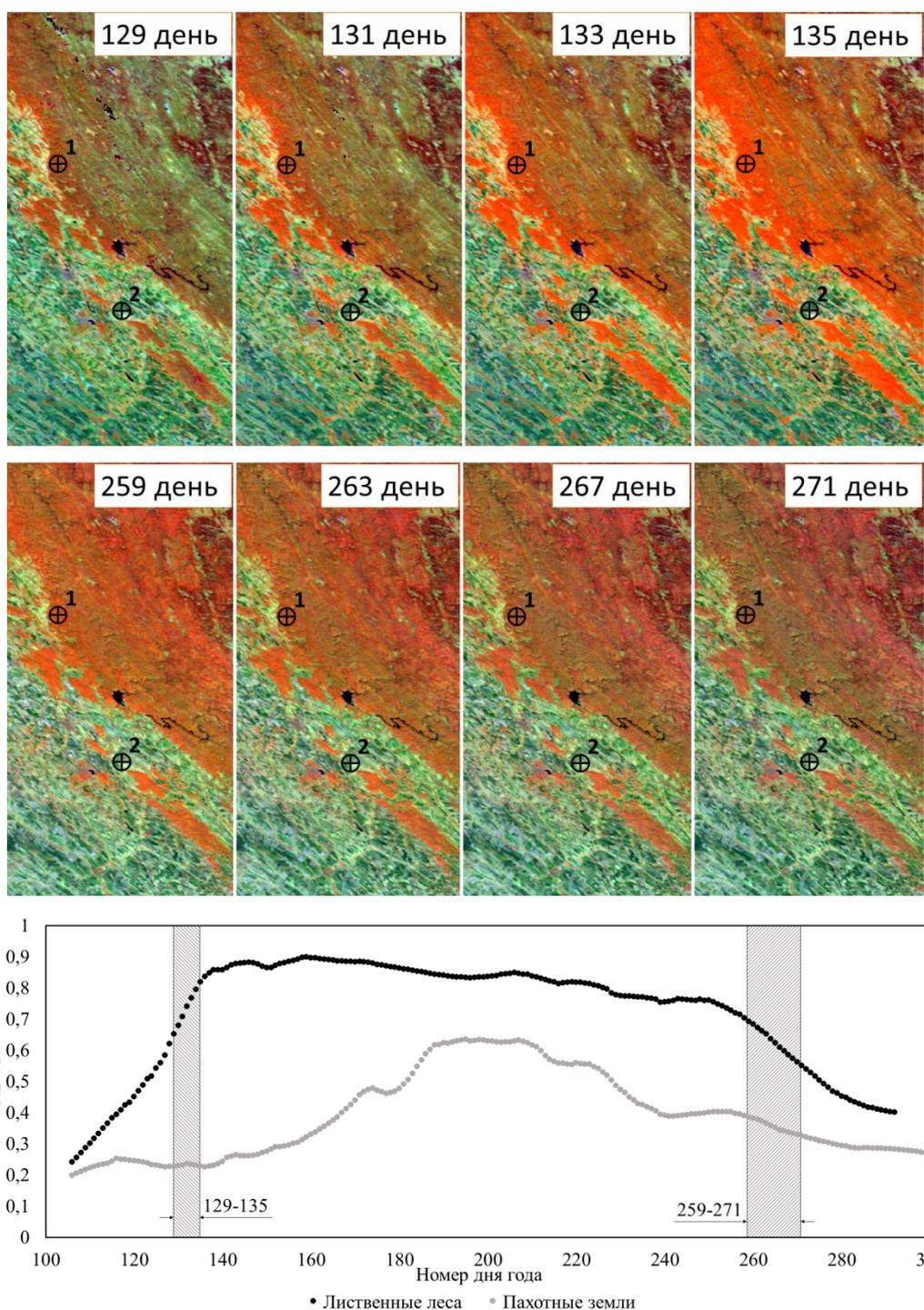


Рисунок 1.31 – Восстановленные ряды спутниковых изображений, характеризующих фенологические изменения в лиственных лесах весной и осенью 2021 года. Сравнение сезонной динамики индекса NDVI для лиственного леса (точка 1) и пахотных земель (точка 2). RGB синтез каналов 2-6-1

Для решения задач проекта необходимо использование спутниковых изображений, полученных в условиях наличия снежного покрова на земной поверхности, как фактора, способствующего оценке структурных характеристики древесной растительности. С

учетом этого данные MODIS были обработаны с целью построения серий композитных изображений земной поверхности с наличием снежного покрова на основе данных красного (0.65 мкм) и ближнего ИК (0.85 мкм) спектральных каналов с пространственным разрешением 230 м. Значительные различия в геометрии наблюдения и освещения в зимний период времени не позволяют использовать совместные измерения Terra-MODIS и Aqua-MODIS, поэтому были построены отдельные композитные изображения открытого снежного покрова за период январь-апрель на территорию России отдельно для каждого прибора:

- Terra-MODIS: 2001-2022 г;
- Aqua-MODIS: 2003-2022 г.

Метод радиометрической нормализации был применен для временного ряда композитных изображений покрытой снегом земной поверхности, полученных по данным MODIS за период 2001-2022 годов. Для проведения радиометрической нормализации изображений в качестве опорного был выбран 2010 год.

Представленный на рисунке 1.32 временной ряд полученных композитных изображений позволяет оценить многолетнюю динамику лесного покрова.

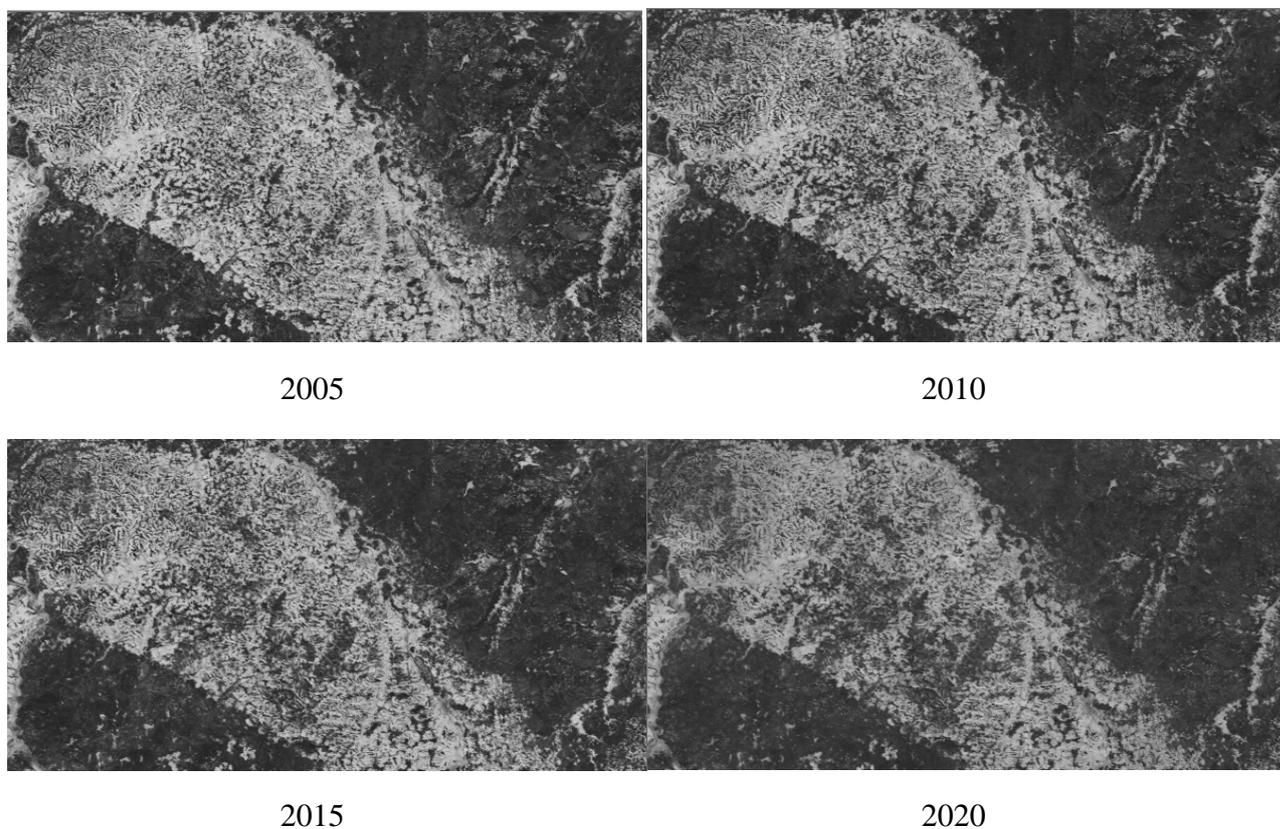


Рисунок 1.32 – Динамика лесного покрова на границе Кировской области и Удмуртской Республики за период 2005-2020 г на основе композитных изображений земной поверхности с наличием снежного покрова по данным системы Aqua-MODIS

1.3 Динамическое картографирование наземных экосистем России на основе спутниковых данных среднего пространственного разрешения

Одним из ключевых информационных продуктов, необходимых для мониторинга углерода в лесах, является динамическая карта типов наземных экосистем. Такого рода карта дает возможность оценки многолетних изменений лесов под воздействием природных и антропогенных факторов, включая деструктивные нарушения в лесах, процессы возобновления и сукцессионной динамики растительного покрова [10].

Работы по спутниковому картографированию наземных экосистем ведутся в ИКИ РАН на протяжении ряда лет [2],[12],[13]. Проведенные в рамках проекта исследования позволили предложить усовершенствованный метод динамической актуализации необходимой для картографирования наземных экосистем обучающей выборки, свободный от эффекта ее нарастающей деградации [9],[14]. В данной главе описана автоматизированная технология динамического картографирования типов наземных экосистем на основе спутниковых данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения и ее применение при построении усовершенствованной цифровой карты для территории России.

1.3.1 Автоматизированная технология динамического картографирования наземных экосистем по спутниковым данным среднего пространственного разрешения

Ключевым этапом автоматизированной технологии динамического картографирования земного покрова России на основе данных ДЗЗ MODIS, является формирование и актуализация выборки для обучения классификатора, представляющей собой репрезентативное множество пикселей с известными классами [2],[10].

Исходная версия метода актуализации обучающей выборки включала ежегодную статистическую фильтрацию, сформированного на начальном этапе построения временного ряда карт, множества пикселей, демонстрирующих значительные межгодовые изменения спектрально-отражательных характеристик земного покрова, а также маскирование пройденных пожарами территорий по результатам их независимого спутникового мониторинга [15], [16]. К недостаткам такого подхода необходимо отнести монотонно нарастающую деградацию обучающей выборки, проявляющуюся в уменьшении ее объема и, как следствие, в возможном снижении уровня ее репрезентативности. В силу особенностей используемого алгоритма классификации LAGMA [6] и присущего ему механизма локально-адаптивного формирования сигнатур

классов, деградация обучающей выборки может, в свою очередь, приводить к расширению области сбора опорных данных и, как следствие, к снижению уровня локализации значений признаков распознавания.

Был предложен и апробирован новый подход к динамической актуализации обучающей выборки, свободный от эффекта ее нарастающей деградации (рисунок 1.33). Метод динамической актуализации обучающей выборки предполагает ее рекурсивное формирование для рассматриваемого года на основе результатов картографирования земного покрова в предшествующем году с фильтрацией на основе данных ДЗЗ претерпевших изменения пикселей и имеющейся вспомогательной информации о воздействии на леса различных деструктивных факторов.

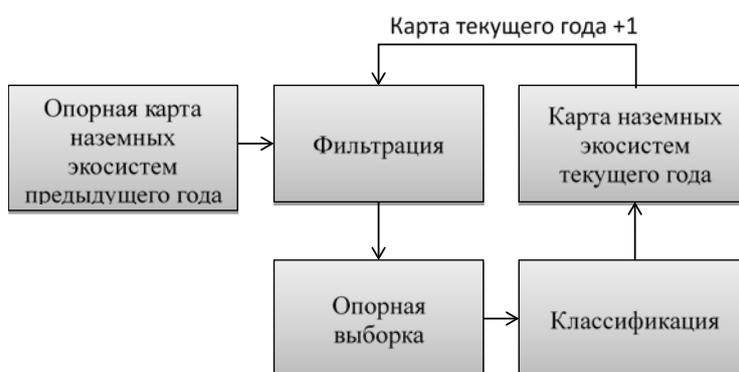


Рисунок 1.33 – Базовая схема динамической актуализации обучающе выборки

В качестве опорных данных используется карта, полученная по спутниковым данным предыдущего года. В основе подхода лежит статистическая фильтрация опорных данных с использованием информации об отражательной способности земной поверхности по спутниковым изображениям текущего года и привлечении дополнительных тематических продуктов об изменениях лесного покрова. При таком подходе, опорная выборка может обновляться ежегодно без тенденции к ее сокращению. Общая схема технологии картографирования типов наземных экосистем, представленная на рисунке 1.34, включает следующие основные этапы:

- 1) предварительная обработка данных ДЗЗ;
- 2) формирование опорной выборки для обучения классификатора;
- 3) классификация;
- 4) картографирование необлесенных гарей и погибших насаждений;
- 5) включение в карту классов с использованием внешних информационных продуктов;
- 6) постобработка данных.

Ниже представлено более подробное описание отдельных элементов разработанной технологии.

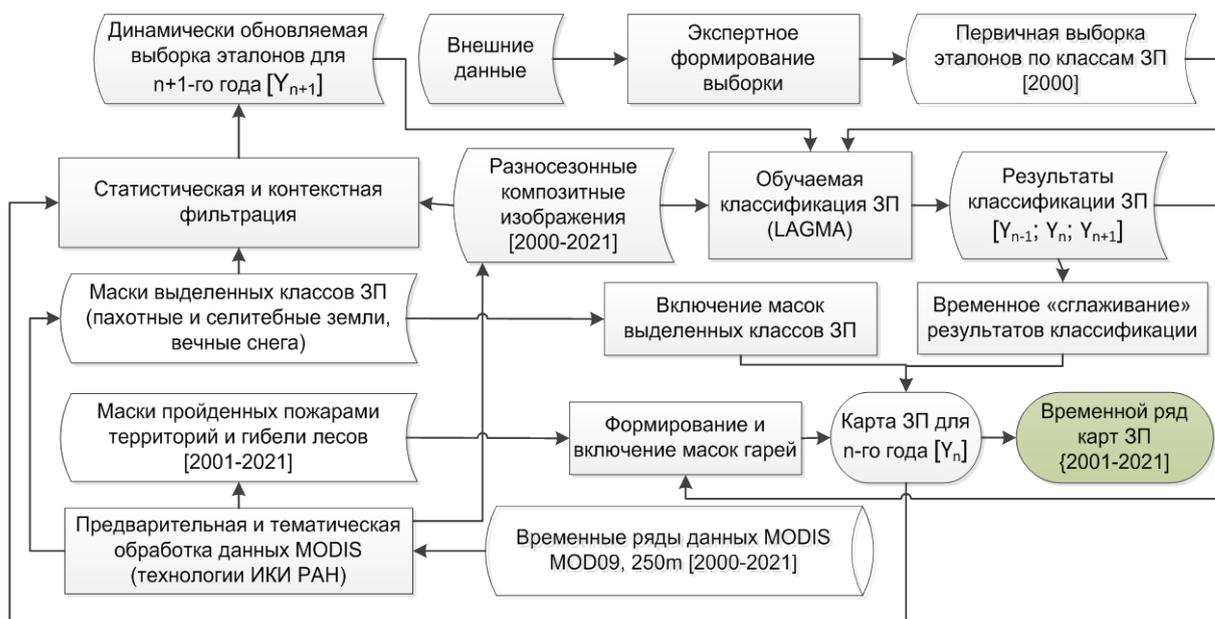


Рисунок 1.34 – Общая схема технологии спутникового картографирования наземных экосистем с применением метода динамической актуализации обучающей выборки

Обработка данных MODIS

Возможности определения характеристик лесов и их динамики в значительной мере определяются качеством предварительной обработки данных ДЗЗ, направленной на фильтрацию шумов, восстановление однородных временных рядов спутниковых измерений спектрально-отражательных характеристик земного покрова, их радиометрическую нормализацию и решение ряда других задач обеспечения качества исходных данных. Вопросы восстановления и коррекция временных рядов данных ДЗЗ включая заполнение пропусков, фильтрацию выбросных значений и сглаживание, достаточно подробно рассмотрены в разделе 1.2 настоящего отчета.

Технология картографирования растительного покрова основана на использовании в качестве признаков классификации спектрально-отражательных характеристик земной поверхности, измеряемых на основе очищенных от влияния облаков и других мешающих факторов композитных изображений, полученных по данным MODIS в следующих спектральных каналах:

- 0.620 – 0.670 мкм, Red - красный канал;
- 0.841 – 0.876 мкм, NIR - ближний ИК канал;
- 1.628 – 1.652 мкм, SWIR - средний ИК канал.

Для классификации растительного покрова используются разносезонные композитные изображения, получаемые по данным MODIS. При этом композитные изображения летнего, осеннего и весеннего периодов используются с включением данных измерений во всех трех спектральных каналах Red, NIR и SWIR, в то время как использование композитных изображений зимнего периода ограничено каналами Red и NIR.

Первичная выборка эталонов различных типов наземных экосистем

В качестве опорной карты для формирования обучающей выборки была использована спутниковая карта растительного покрова России по состоянию на 2000 год, созданная с использованием карты наземных экосистем Северной Евразии [17]. При формировании начальной обучающей выборки проведена статистическая и контекстная фильтрация, описанные ниже, с целью исключения макроскопических ошибок. Прошедшие предварительную фильтрацию материалы АЦО были использованы в качестве опорных для нескольких типов кустарников, спектрально делимых по данным MODIS, а также болот. При этом класс болот был разделен на 6 спектрально различных подклассов. Легенда карты включает 25 основных классов наземных экосистем, представленных в таблице 1.5.

На рисунке 1.35 представлено распределение первичной выборки по площади различных классов.

Полученная на основе алгоритма классификации LAGMA [2], [6] карта наземных экосистем России 2000 года, в дальнейшем была использована для актуализации обучающей выборки на основе описанной ниже методики. Обработка данных, начиная с 2001 года, выполнялась в автоматическом режиме. В дальнейшем, в полученную временную серию карт за 2001-2021 годов были интегрированы независимо полученные маски гарей, пахотных земель, вечных снегов и урбанизированных территорий.

Таблица 1.5 – Состав классов карты наземных экосистем

№ класса	ЛЕСА
1	<p align="center">Темнохвойные вечнозеленые</p> <p>Насаждения, в пологе которых не менее 80% площади крон составляют теневыносливые виды хвойных деревьев, включая ель, пихту и сибирскую сосну (кедр).</p>
2	<p align="center">Светлохвойные вечнозеленые</p> <p>Насаждения, в пологе которых не менее 80% площади крон составляют деревья сосны обыкновенной.</p>
3	<p align="center">Широколиственные</p> <p>В пологе насаждения не менее 80% площади занимают кроны широколиственных пород, включая дуб, липу, ясень, клен, вяз и некоторые другие виды.</p>
4	<p align="center">Мелколиственные</p> <p>В пологе насаждения не менее 80% площади занимают кроны мелколиственных пород, включая березу, осину и некоторые другие виды.</p>
5	<p align="center">Смешанные леса с преобладанием хвойных</p> <p>Кроны хвойных пород деревьев занимают от 60 до 80%, а лиственных от 20% до 40% площади полога насаждений.</p>
6	<p align="center">Смешанные</p> <p>Площади крон хвойных и лиственных пород деревьев представлены примерно в равных пропорциях (40-60 %) в пологе насаждений.</p>
7	<p align="center">Смешанные с преобладанием лиственных</p> <p>Кроны лиственных пород деревьев занимают от 60 – 80% , а хвойных от 20% до 40% площади полога насаждений.</p>
8	<p align="center">Хвойные листопадные (лиственничные)</p> <p>В пологе насаждений кроны деревьев лиственницы занимают более 80% площади.</p>
9	<p align="center">Редины хвойные листопадные (лиственничные)</p> <p>Участки, занятые отдельно стоящими деревьями или разреженными насаждениями лиственницы с проективным покрытием крон менее 20%.</p>
ТРАВЯНО-КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ	
10	<p align="center">Луга</p> <p>Травяная растительность с продолжительностью вегетационного сезона более 5 месяцев. Видовой состав характеризуется господством многолетних трав, главным образом злаков и осоковых, в условиях достаточного увлажнения. Площадь проекции крон деревьев и кустарников на земную поверхность составляет менее 20%.</p>
11	<p align="center">Степи</p> <p>Травяной покров образован преимущественно засухоустойчивыми многолетними дерновинными злаками (ковыль, типчак, полынь, житняк и др.). Встречается большое разнообразие видов степных кустарников и полукустарников, а также короткоцветущих эфемероидов и эфемеров.</p>
12	<p align="center">Хвойные вечнозеленые кустарники</p> <p>Кустарниковые заросли или низкоствольные леса из кедрового стланика.</p>
13	<p align="center">Лиственные кустарники</p> <p>Сообщество низкорослых или стелющихся кустарников (кустарниковых или карликовых берез, полярных ив и др.).</p>

Таблица 1.5 – Состав классов карты типов наземных экосистем (продолжение)

	ТУНДРА
14	Кустарничковая Сухая тундра с редкой фрагментарной растительностью, среди которой доминирует виды арктических кустарничковых сообществ высотой менее 15 см. Распространены также мохово-лишайниковый покров и разнотравье.
15	Травянистая Тундра представлена главным образом различными видами трав и мхов, произрастающими на сырых почвах и образующими сплошной растительный покров. Часто встречаются кустарнички высотой до 40 см.
16	Кустарниковая Доминируют кустарники (карликовая береза и различные виды ивы) высотой более 40 см, иногда с примесью можжевельника, ольхи или кедрового стланика.
	ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
17	Болота Территории, характеризующиеся избыточным увлажнением с преобладанием мхов, лишайников, тростника, осоки и некоторых других видов. Часто встречаются участки с наличием редкого (< 20%) древесного полога.
18	Прибрежная растительность Гидрофильная травяная и древесно-кустарниковая растительность по берегам водоемов, часто периодически затопляемая.
	ПРОЧАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ
19	Свежие гари Погибшие или сильно поврежденные от воздействия огня лесные насаждения и тундровая растительность.
20	Пахотные земли Регулярно возделываемые на протяжении последних 5-ти лет пахотные земли.
	НЕ ПОКРЫТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЛИ
21	Вечные снега и льды Земли, покрытые снегами и льдами в течение всего года.
22	Открытые грунты и выходы горных пород Земли, суммарное проективное покрытие которых растительностью всех видов не превышает 20%.
23	Реки и водоемы Открытые водные объекты, включая моря, озера, водохранилища и реки.
24	Урбанизированные территории Населенные пункты, дороги и другие образования антропогенного происхождения.

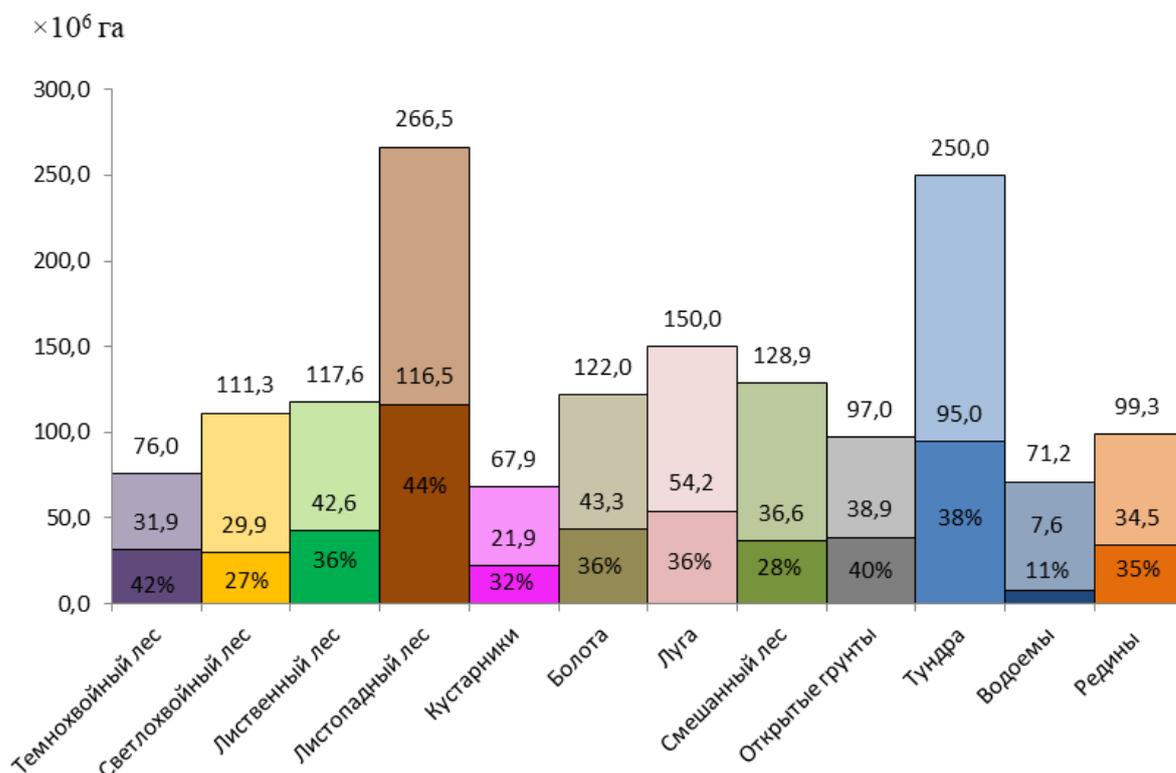


Рисунок 1.35 – Распределение обучающей выборки по типам наземных экосистем

Статистическая и контекстная фильтрация обучающей выборки

В качестве источников данных для формирования обучающей выборки текущего года использовались карты, полученные за предыдущий год. Однако при использовании карт в таком контексте, необходимо учитывать, что получаемая на их основе обучающая выборка, как правило, требует предварительной фильтрации в силу возможного наличия ошибок картографирования и изменений земного покрова.

Для формирования опорной выборки для картографирования земного покрова по состоянию на рассматриваемый n -ый год, используется карта, полученная по состоянию на год $n-1$, по отношению к которой выполняется фильтрация.

При этом формирование начальной обучающей выборки предусматривало несколько этапов фильтрации пикселей опорной карты с целью исключения макроскопических ошибок:

- Маскирование пикселей выборки, соответствующих участкам пожаров, пахотных земель, урбанизированных территорий и вечных снегов;
- Статистическая фильтрация обучающей выборки;
- Фильтрация граничных пикселей.

Маскирование пикселей выборки, соответствующих участкам пожаров, пахотных земель, урбанизированных территорий и вечных снегов

На первом этапе производится маскирование пикселей, соответствующих участкам пожаров, усыханиям, пахотных земель, городской инфраструктуры, и вечных снегов. Следует отметить, что некоторые из этих классов являются относительно быстро меняющимися, в силу чего они не представлены в опорной выборке, а интегрируются из внешних источников [2], [12]. Процедура дальнейшей фильтрация полученных данных направлена на формирование на их основе опорной выборки и предполагает исключение масштабных изменений в лесах, под воздействием таких факторов, как пожары, ветровалы и другие.

Такого рода маскирование производится с использованием ранее разработанной версии карт растительного покрова, результатов оценки степени повреждения лесов пожарами [7] и картографирования пахотных земель [12], [18] по данным MODIS. На данном этапе из обучающей выборки исключаются пиксели, соответствующие упомянутым выше классам земного покрова в n-ом и n+1 годах.

Фильтрация граничных пикселей

Из полученной выборки удаляются граничные пиксели классов с помощью морфологической операции эрозии скользящим окном 3x3 пиксела (рисунок 1.36). Целью применения данного фильтра является отбор пикселей, расположенных внутри областей одного из классов растительного покрова исходя из предположения, что смешанные пиксели с большей вероятностью расположены на границах участков, относящихся к одному классу.

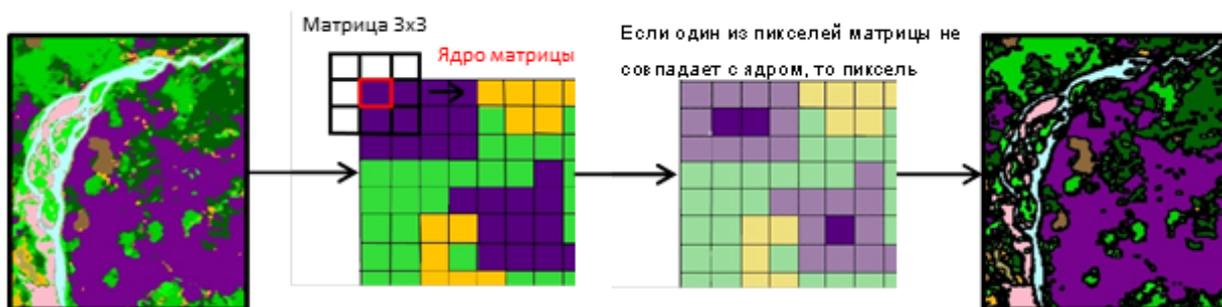


Рисунок 1.36 – Пространственная фильтрация опорной выборки

Статистическая фильтрация опорной выборки

Данный этап предусматривает исключение из обучающей выборки пикселей класса, имеющих по своим спектрально-отражательным характеристикам существенные отличия от статистического большинства. Применение гистограммной фильтрации

оправдано при условии, что большинство пикселей опорой карты не претерпело изменений и не содержит ошибок распознавания, а ошибочно распознанные пиксели в действительности принадлежат к одному из классов ближайшего окружения. В основе алгоритма лежит построение на основе обучающей выборки многомерных гистограмм значений признаков для множества классов, представленных в скользящем окне 23×23 км.

Для статистической фильтрации обучающей выборки двумерное пространство композитных изображений разбивается на регулярные ячейки 100×100 пикселей с последующей оценкой в них для каждого класса земного покрова и спектрального канала значений среднего (M_i) и среднеквадратического отклонения (σ_i) коэффициента спектральной яркости (КСЯ_i). Если в заданном окне отсутствует необходимое для сбора статистики количество пикселей, то оно последовательно расширяется до достижения установленного порога репрезентативности выборки. Радиусы расширения, полученные для первого года обучения применяются для всего временного ряда карт типов наземных экосистем. Далее значение каждого пиксела, принадлежащего определенному классу земного покрова, проверяется на принадлежность к интервалам значений ($M_i - 1.5 * \sigma_i$, $M_i + 1.5 * \sigma_i$) с использованием каждого из разносезонных многоспектральных изображений. Пиксель исключается из опорной выборки, если его значение выходит за границы заданных интервалов (рисунок 1.37) для 3-х и более признаков.

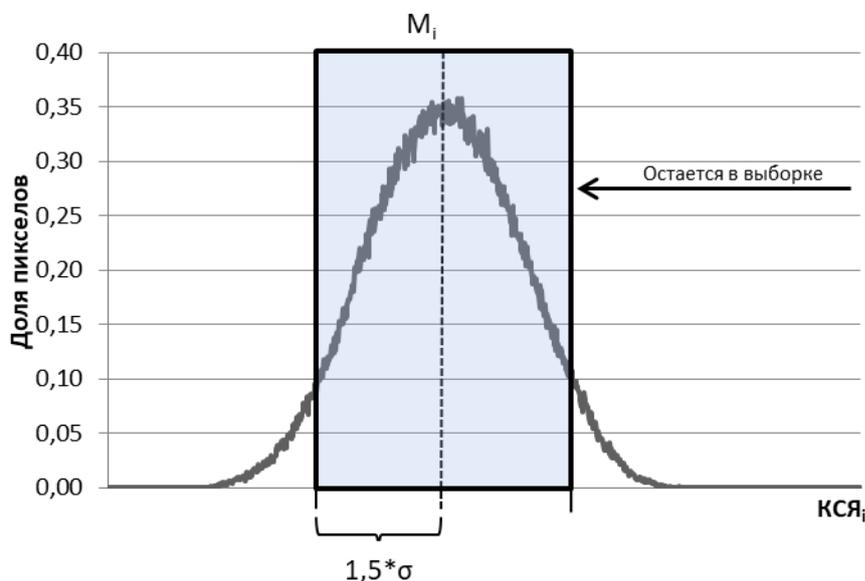


Рисунок 1.37 – Пример локальной гистограммы распределения КСЯ

Сравнительная фильтрация обучающей выборки

Для повышения уровня устойчивости классификации применяется методика сравнительной фильтрации. Полученная ранее выборка используется для параллельной

классификации на основе спутниковых данных за предыдущий, рассматриваемый и последующий годы.

На данном этапе фиксируются радиусы сбора спектральных сигнатур в узлах регулярной сети алгоритма LAGMA. Для повышения стабильности классификации, уникальный для каждой ячейки и класса радиус сбора спектральных сигнатур классов не менялся при получении карт за разные годы. Радиусы сбора сигнатур, полученные при построении первой карты растительного покрова многолетнего временного ряда, применялись для построения карт за все последующие годы.

Для дальнейшей классификации в качестве эталонных используются только те пиксели, для которых совпадают классы растительности, оцененные на основе трех последовательных классификаций. Кроме того, выполняется сравнение с опорной картой с исключением пикселей, для которых классы наземных экосистем отличаются (рисунок 1.38).

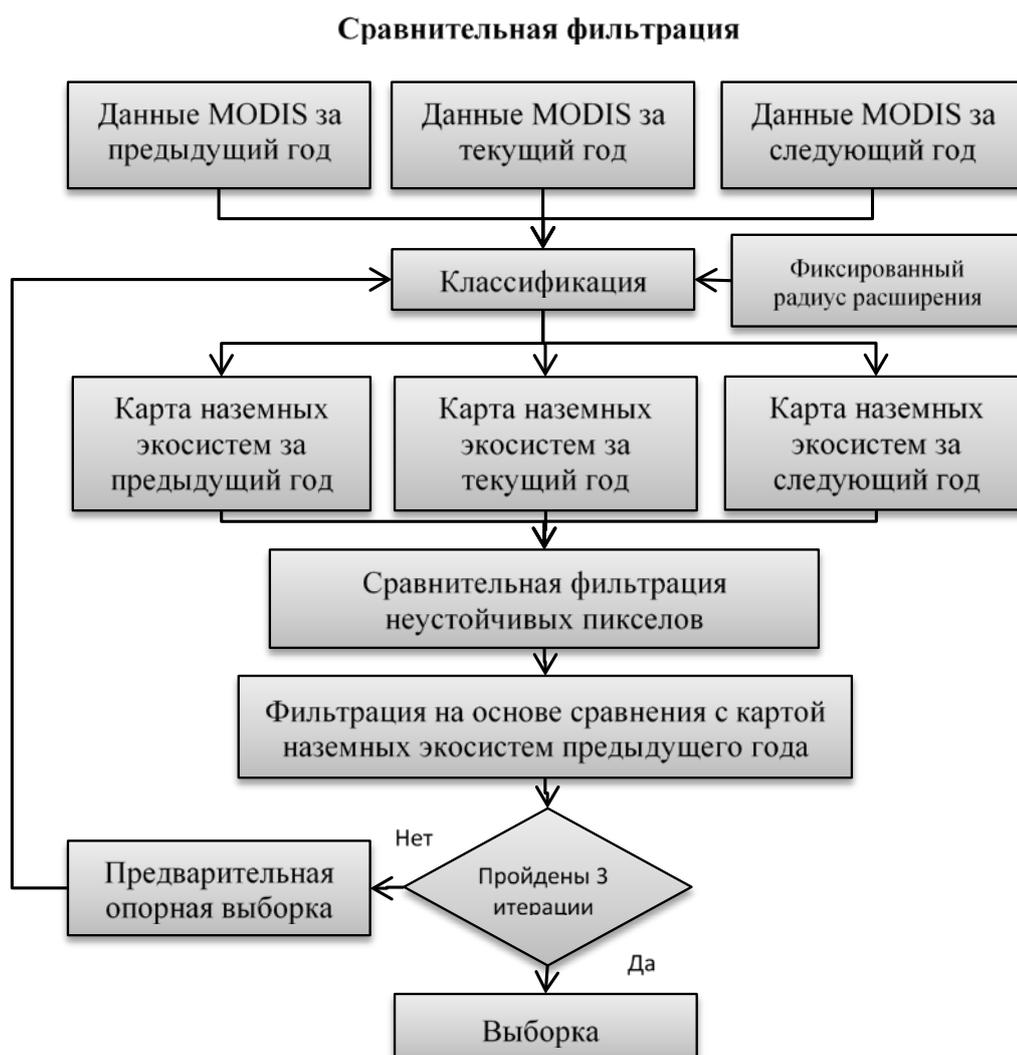


Рисунок 1.38 – Схема сравнительной фильтрации опорной выборки

Процедура сравнительной фильтрации является итеративной с последовательным использованием полученной выборки для повторной фильтрации. Всего применяется 3 итерации, поскольку экспериментально было установлено, что после 3-ей итерации фильтруется менее 1% пикселей (таблица 1.6). Полученная выборка используется для дальнейшей классификации.

Таблица 1.6 – Процент отфильтрованных пикселей

	Процент отфильтрованных пикселей, %		
	После первой итерации (включая фильтрацию граничных пикселей)	После второй итерации	После третьей итерации
Темнохвойный лес	51,4	5,3	1,4
Светлохвойный лес	60,4	12,2	0,5
Лиственный Лес	49,2	14	0,6
Хвойный листопадный лес	49,8	5	1,5
Хвойный кустарник	63,7	3	1,1
Болота	57,2	6,6	0,7
Луга	53,9	9,6	0,4
Смешанный с преобладанием хвойных	64,7	5,8	1,1
Открытые грунты + степи + прибрежная растительность	52,6	6,5	0,8
Кустарничковая тундра	56,8	4,7	0,5
Водоемы	87,4	1,9	0
Редины хвойные листопадные	52,9	10	2,4

Классификация

Классификация выполняется с применением алгоритма LAGMA [2], [6]. Алгоритм LAGMA позволяет разбивать всю исследуемую территорию на регулярные ячейки и формирует для каждого узла регулярной сети локальную выборку для каждого класса с дальнейшей независимой классификацией внутри каждой ячейки. Данный подход позволяет учитывать географическую изменчивость выявляемых классов и выполнять классификацию на больших территориях. Результатом применения технологии является временной ряд карт, содержащих 23 класса типов наземных экосистем. В дальнейшем, в полученные карты интегрируются независимо полученные маски гарей, пахотных земель, вечных снегов и урбанизированных территорий. Отдельным этапом технологии является алгоритм картографирования необлесенных гарей, описанный ниже.

Постобработка временных серий карт

Полученные многолетние временные ряды карт типов наземных экосистем проходят фильтрацию единичных выбросов с применением скользящего временного окна шириной три года. Если пиксел в середине скользящего окна демонстрирует смену класса, а затем возвращается в исходный класс, он считается случайным выбросом и значение класса меняется на первоначальное. Для фильтрации карт за первый и последний год наблюдений значение класса сравнивается с последующими/предшествующими двумя значениями соответственно и при отличии заменяется на значение преобладающего класса. В случае применения данной схемы увеличивается устойчивость временного ряда карт. Доля отфильтрованных таким образом пикселей составляет в среднем 0.43%.

Временной ряд карт, полученный на основе представленной технологии дает возможность оценки многолетних изменений лесов под воздействием природных и антропогенных факторов, процессов возобновления и сукцессионной динамики растительного покрова, необходимых для оценки и мониторинга бюджета углерода.

Алгоритм картографирования не восстановившихся гарей

Одним из основных факторов, вызывающих изменения спектральных свойств наземных экосистем, являются природные пожары на лесных и нелесных территориях, значительные площади которых требуют адекватного картографирования.

Существуют два базовых подхода для учета лесных гарей при картографировании наземных экосистем: (а) использование внешних картографических данных или спутниковых продуктов, отражающих пройденные огнем площади и (б) формирование отдельного класса гарей, получения для него опорной выборки с последующей классификацией. Каждый из подходов имеет свои недостатки и ограничения. В рамках проекта разработан комбинированный подход выделения гарей, предполагающий проведение классификации в пределах многолетней маски пройденных огнем площадей и использование динамической опорной выборки погибших от пожаров лесов разных лет.

Подход основан на использовании спектральных сигнатур различных лесных, нелесных и постпожарных классов с последующей классификацией. Пиксел, соответствовавший лесу до воздействия огня, относится к классу необлесенных гарей при условии попадания в один из постпожарных или нелесных классов. В случае отнесения пиксела к одному из лесных классов, он считается возобновившимся лесом.

Одной из особенностей метода является учет различий скорости восстановления экосистем после воздействия огня, которая отличается для лесных и нелесных типов растительности. При этом на лесных и нелесных территориях, поврежденных огнем,

межгодовая динамика спектральных характеристик значительно отличается. С учетом этого выполнялись независимые классификации для участков повреждения на лесных и нелесных территориях. Логическая схема методики классификации необлесенных и нелесных гарей представлена на рисунке 1.39.

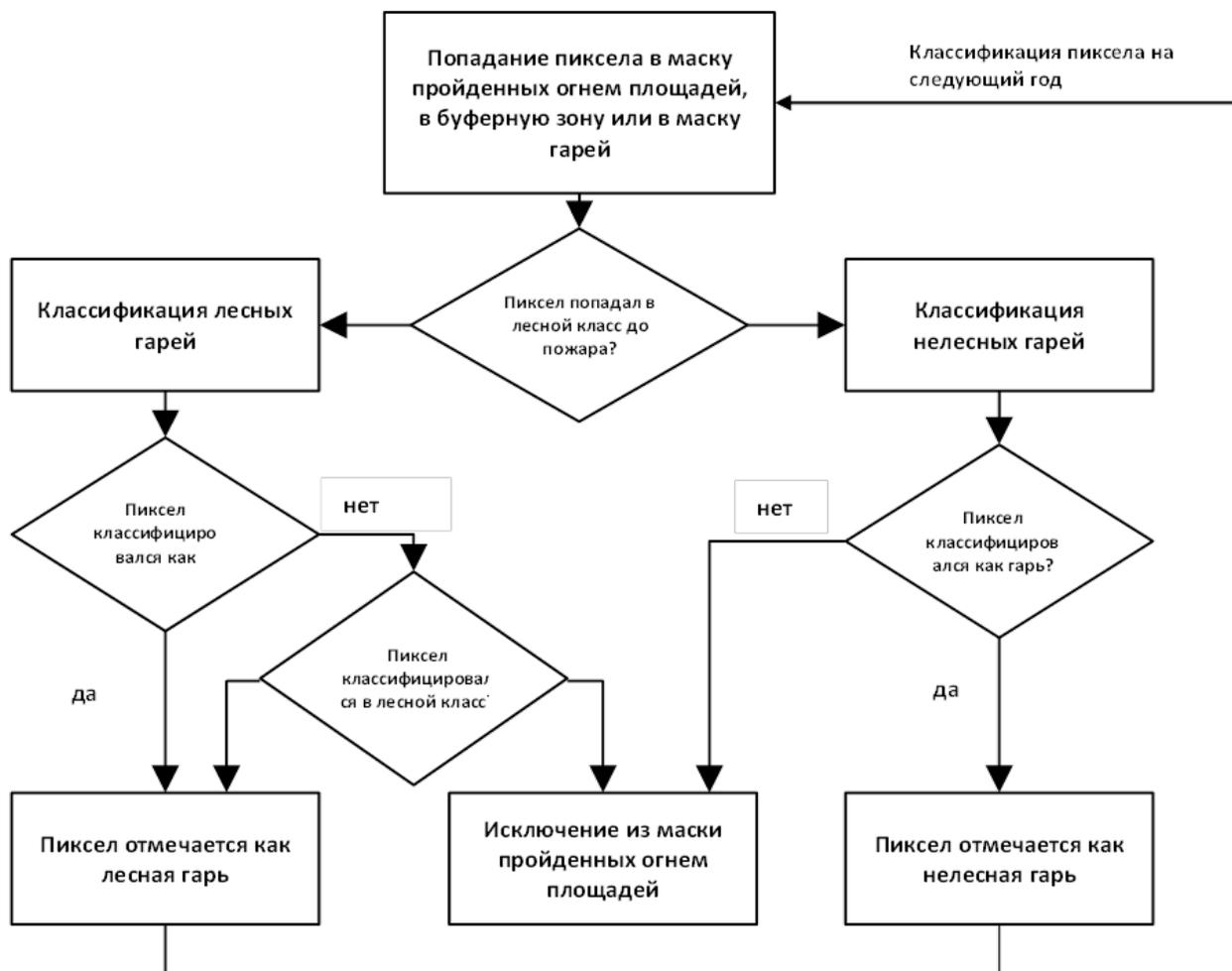


Рисунок 1.39 – Логическая схема метода классификации лесных и нелесных гарей

Используемые данные и общая логическая схема метода

Разработанный метод динамического картографирования гарей основан на использовании разносезонных спутниковых данных MODIS [10], [11], [13] и алгоритма локально-адаптивной классификации LAGMA [6]. Использование разносезонных данных позволяет учитывать особенности вегетационного развития различных типов растительного покрова, повышая точность распознавания классов. Разносезонные композитные изображения формируются по данным MODIS, полученным в следующие периоды времени:

1 марта – 31 мая: весеннее композитное изображение;

1 июня – 31 августа: летнее композитное изображение;

1 сентября – 31 ноября: осеннее композитное изображение;

Процедура картографирования необлесенных и нелесных гарей включает в себя следующие этапы (рисунок 1.40):

- Формирование области классификации;
- Разделение поврежденных огнем территорий на два подкласса с учетом различий скорости зарастания;
- Формирование выборки гарей для 3-х стадий зарастания;
- Классификация;
- Постобработка.

Формирование области классификации и разделение поврежденных огнем территорий по скорости зарастания

Одной из особенностей метода выявления необлесенных гарей является использование маски территорий, пройденных огнем. В качестве исходных данных для выделения потенциальной области интереса использовались ежегодные карты пройденных огнем площадей, полученных по данным MODIS с пространственным разрешением 230 метров [10]. Область интереса также расширялась с применением буферной зоны с использованием плавающего окна размером 7x7 пикселей. Для дальнейшей классификации в область интереса объединялись полученные маски гарей текущего и предыдущих лет. При этом, если пиксел классифицируется три года подряд как лесной класс (для лесных гарей), то он исключается из рассмотрения в последующие годы. Для нелесных территорий отнесение пиксела к отличному от гарей классу приводит к исключению его из дальнейшего рассмотрения.

Как было отмечено выше, скорость восстановления экосистем зависит от класса поврежденной растительности. Для разделения территорий по скорости зарастания используется карта наземных экосистем в предшествующий пожару год. Последующая обработка проводится независимо для двух выделенных на данном этапе групп гарей.

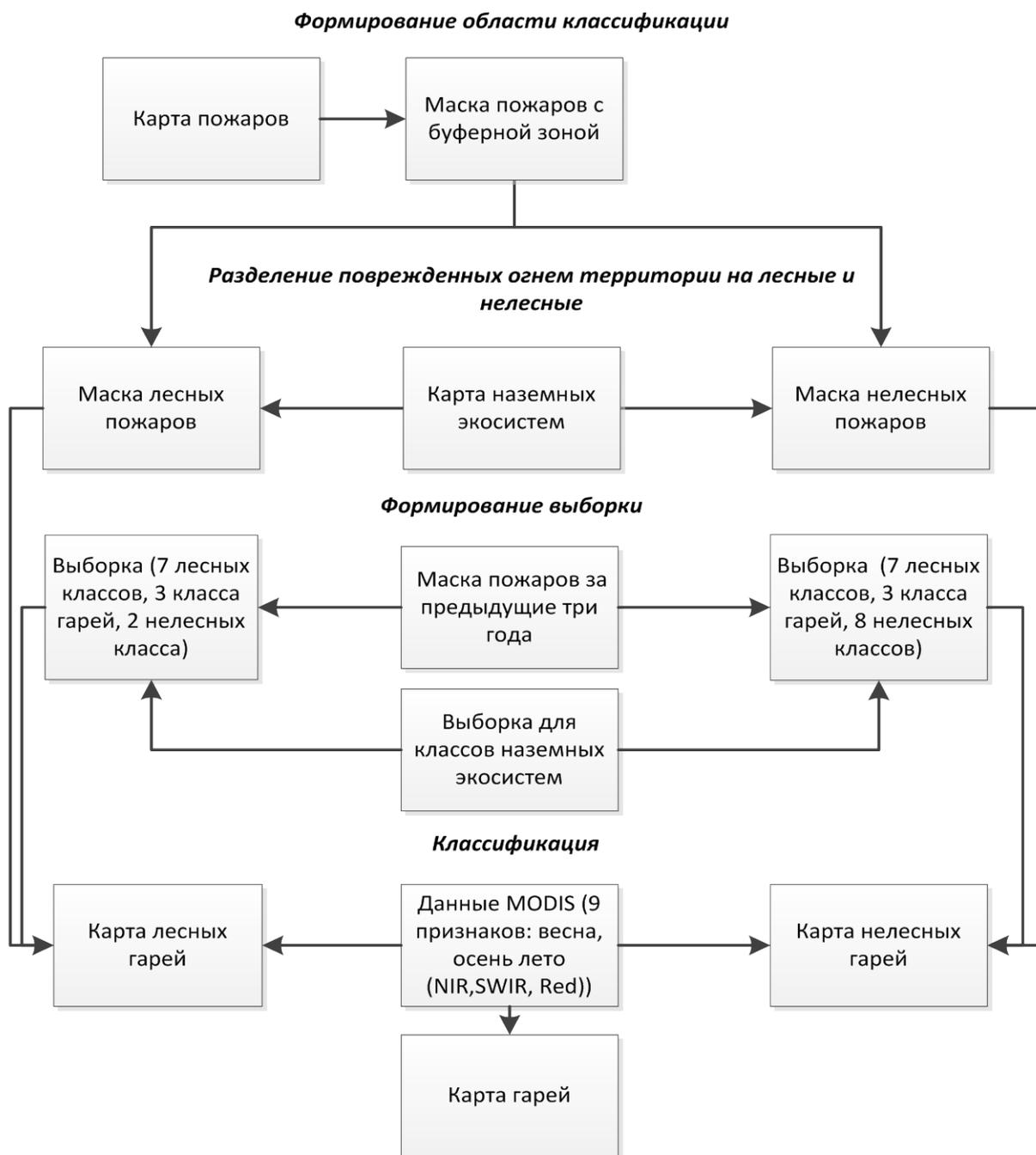


Рисунок 1.40 – Схема алгоритма картографирования гарей

Формирование выборки для выявления необлесенных гарей

Для классификации необлесенных гарей создается выборка с 12 классами: 7 лесных классов (темнохвойный лес, светлохвойных лес, лиственный лес, лиственничный лес, и три класса смешанных лесов), 3 постпожарных класса (погибшие лесные насаждения от пожаров, произошедших в текущем и двух предшествующих годах) и дополнительные классы открытой почвы и лугов. Постпожарные классы получены на основе информационного продукта, отражающего степень повреждения лесов пожарами [7]-[9]. В качестве выборки гарей с различной степенью восстановления использовались классы

погибших и усыхающих лесов, выявленные в текущем и двух предшествующих годах, при этом выборка формировалась динамически с ежегодным обновлением. В качестве опорной выборки классов леса, открытой почвы и лугов используются динамически обновляемые опорные выборки, описанные выше. Предложенный подход предполагает ежегодную классификацию выявленных ранее гарей, а также пройденных в текущем году огнем территорий, при этом классификация пиксела в один из классов леса рассматривается как восстановление леса либо как отсутствие гари.

Формирование выборки для выявления нелесных гарей

Для детектирования сильно поврежденных и не возобновившихся после пожара нелесных экосистем создана выборка, включающая 18 классов: 3 постпожарных класса, 7 лесных классов, упомянутых выше и 8 классов нелесных экосистем (3 класса тундр, редины, открытая почва, луга, хвойный кустарник, лиственный кустарник).

Классификация и постобработка временных серий карт

Классификация гарей в полученной области интереса выполняется алгоритмом LAGMA методом максимально правдоподобия, результатом работы которого является карта, содержащая 12 и 18 классов для поврежденных лесных и нелесных экосистем соответственно.

В качестве признаков классификации использовались композитные изображения MODIS за весенний, летний и осенний периоды (спектральные каналы NIR, SWIR и Red). В ходе исследований установлено, что использование зимних данных может приводить к ошибкам из-за наличия сухостойных деревьев спектрально слабо отличимых от неповрежденных листопадных лесов. Как следствие, зимние композитные изображения не используются для классификации гарей. Полученные результаты двух независимых классификаций объединялись в одну карту с присвоением всем постпожарным классам класса гарей.

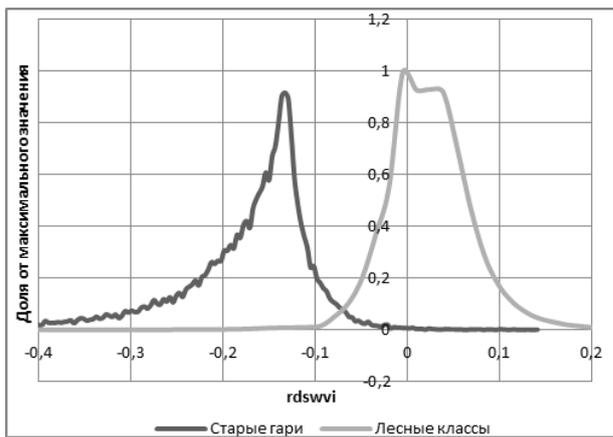
Результаты выявления гарей за период 2001-2021 годов в дальнейшем включаются во временной ряд карт наземных экосистем в качестве отдельного класса. Полученные многолетние временные ряды карт в дальнейшем проходили процедуру фильтрации единичных выбросов с применением скользящего временного окна шириной в 3 года. Если пиксел в центре скользящего окна демонстрирует смену класса, а затем возвращается в предыдущий класс наземных экосистем, он считается случайным выбросом.

Алгоритм картографирования старых гарей

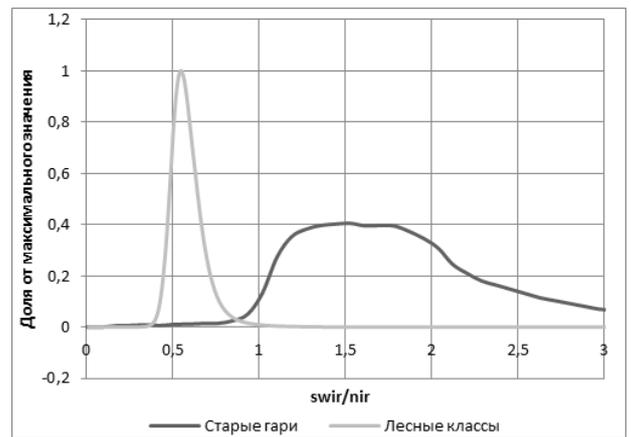
Описанный выше подход направлен на выявление необлесенных и нелесных гарей, произошедших в период, ограниченный доступными данными прибора MODIS с 2001 по 2021 гг., и не включает выявление более старых гарей. На основе полученных карт было проведено исследование возможности классификации гарей, вызванных пожарами до 2001 года.

Для этого были проанализирована динамика спектральных характеристик гарей, выявленных в 2001-2005 годах с использованием спутниковых данных 2006-2020 годов. Были выявлены два наиболее информативных признака для разделения гарей и неповрежденных огнем лесных классов, а именно вегетационные индексы RdSWVI [19] и SWIR/NIR [20]. Разностный индекс RdSWVI строился по данным 2006 и 2020 гг., т.е. через непродолжительное и значительное время после пожара, и отражал, по сути, восстановление лесной растительности на участках гарей. Индекс SWIR/NIR строился по данным 2006 г. и отражал спектральные характеристики через непродолжительное время после пожара. Таким образом, предложенный подход предполагает выявление участков, спектрально близких к гарям на момент оценки, а также, демонстрирующих устойчивое восстановление растительности в относительно долгосрочном периоде. Очевидным недостатком, является выпадение из рассмотрения старых лесных гарей, на которых, процессы лесовосстановления по тем или иным причинам не наблюдаются.

На рисунке 1.41 представлены гистограммы данных индексов для гарей 2001-2005 годов, а также для стабильных лесных территорий, не подвергавшихся негативному воздействию за период 2001-2020 гг. Обнаружено, что лесные классы и гари по данным признакам достаточно хорошо разделимы. Так для признака RdSWVI порог разделения составляет -0.06, а для SWIR/NIR оптимальное значение порога соответствует 0,9. С использованием данных порогов, были выявлены гари, предположительно произошедшие до 2001 года, для чего использовались спутниковые данные 2001 и 2015 гг. Всего было выявлено старых гарей на площади 18 млн. га, которые были также включены в область интереса на начало периода наблюдений.



а)



б)

Рисунок 1.41 – Гистограммы гарей и неповрежденных лесных классов в пространстве индексов: а) RdSWVI; б) SWIR/NIR

На основе предложенного метода был получен временной ряд карт необлесенных гарей за период 2001-2021 гг. На рисунке 1.42 представлена карта необлесенных гарей в России по состоянию на 2021. Основная часть лесных и нелесных гарей расположена в Сибири, наибольшие площади, ожидаемо наблюдаются в Якутии и в Красноярском крае

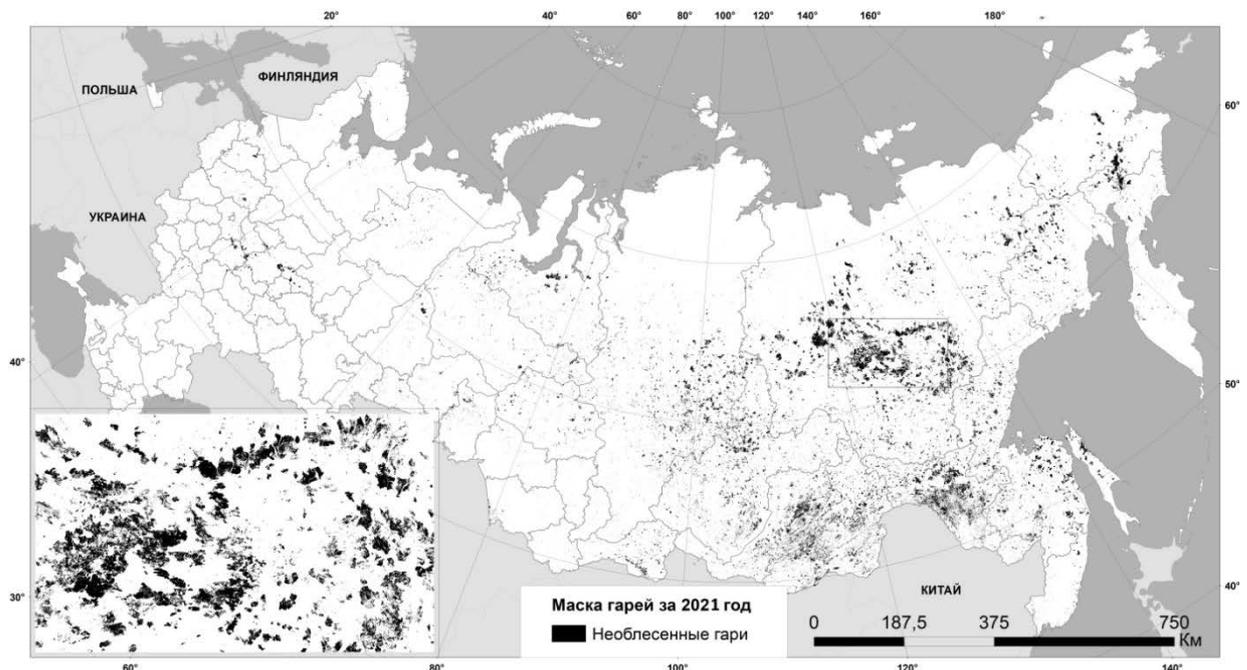


Рисунок 1.42 – Карта необлесенных гарей по состоянию на 2021 год

Выявленные участки необлесенных гарей используются в качестве отдельного класса для включения в карты типов наземных экосистем.

1.3.2 Построение усовершенствованной карты наземных экосистем России

На основе разработанной технологии был построен усовершенствованный цифровой ряд карт типов наземных экосистем с пространственным разрешением 230 м, включающий актуализированные данные за период 2000-2021 гг. (рисунок 1.43). Легенда карт подробно описана выше в разделе 1.3.1.



Рисунок 1.43 – Карта типов наземных экосистем России по состоянию на 2021 год

Распределение основных типов наземных экосистем по состоянию на 2021 год представлено на рисунке 1.44. Общая доля площади лесных классов составила 51%, при этом наиболее представленным являются хвойные листопадные леса, занимающие 17% территории страны и 36% покрытой лесом площади. Значительные площади также занимают классы тундры (16%), лугов (10%) и болот (8%).

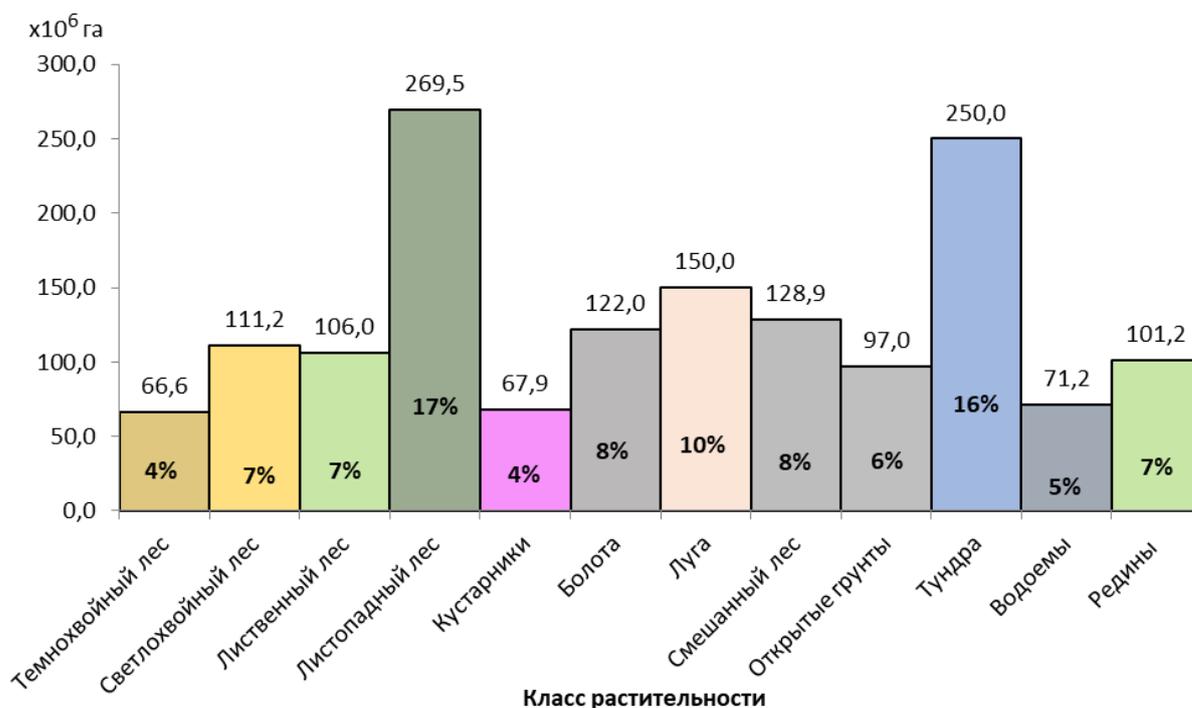


Рисунок 1.44 – Распределение типов наземных экосистем России по их площади по состоянию на 2021 год

Представленные на рисунке 1.45 предварительные оценки динамики площади лесов, полученные на основе карт типов наземных экосистем демонстрируют тенденцию к уменьшению лесной площади со среднегодовой скоростью $\sim 1,4$ млн. га \times год⁻¹.

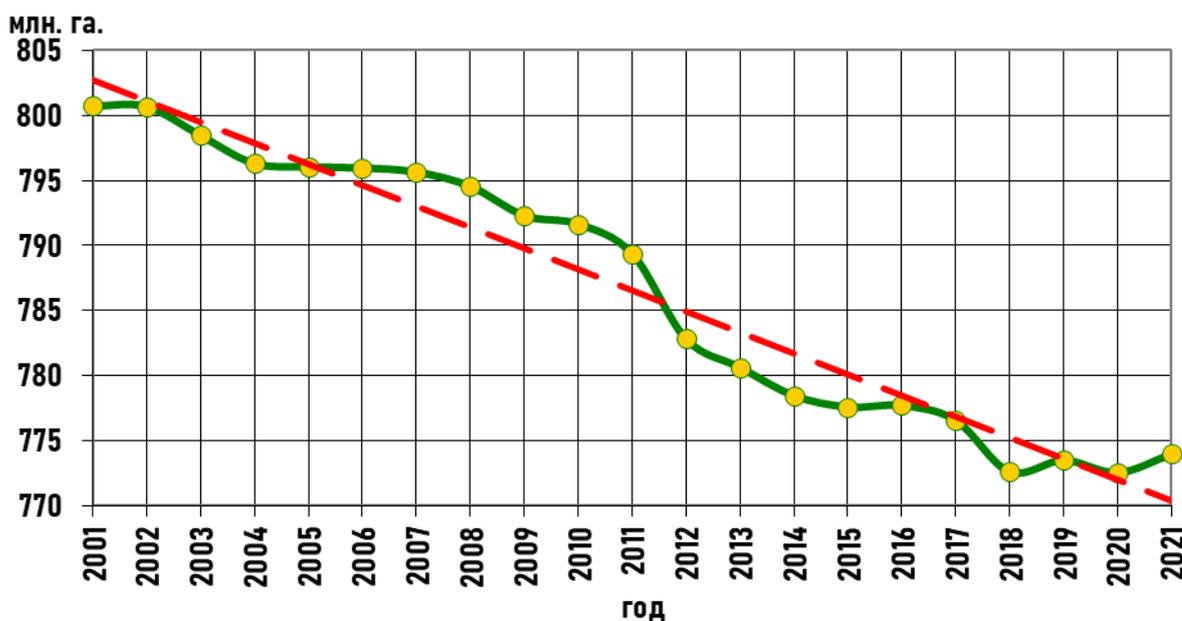


Рисунок 1.45 – Динамика площади лесов России в 2001-2021 годах

На рисунке 1.46 представлен пример выявления изменений наземных экосистем, вызванных пожаром.

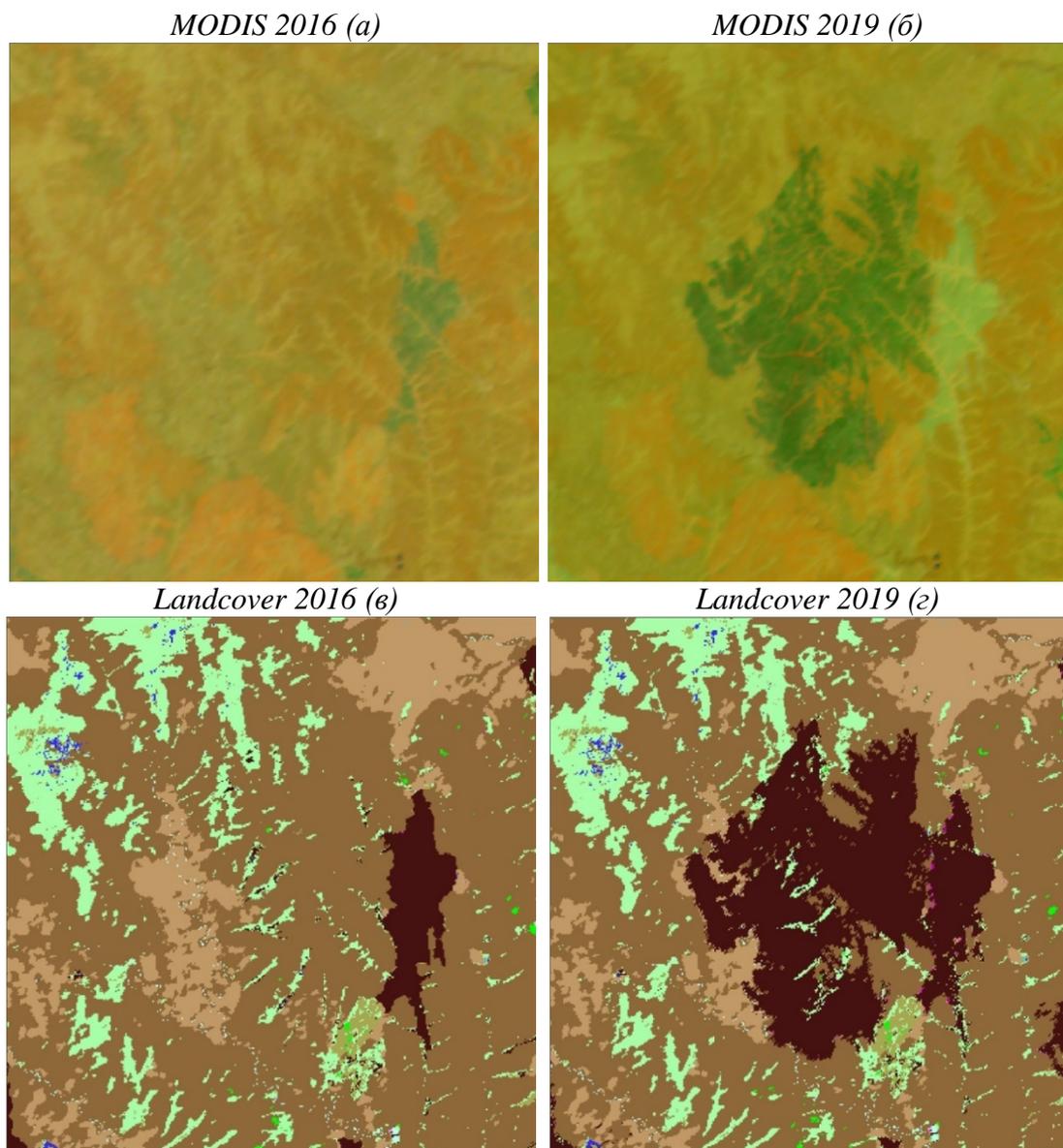


Рисунок 1.46 – Пример вызванной пожаром динамики наземных экосистем между 2016 (в) и 2019 (г) годами. Темно-коричневым цветом показаны гари. RGB синтез: NIR, SWIR, Red

1.4 Формирование по спутниковым данным прототипов геоинформационных продуктов среднего пространственного разрешения для предварительной оценки углерода лесов

Наряду с описанной выше картой типов наземных экосистем России, в рамках настоящего проекта на основе спутниковых данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения был получен ряд геоинформационных продуктов, отражающих ключевые характеристики лесов России для оценки их пулов углерода в соответствии с

разработанной Концепцией (раздел 3.1). В основу сформированных продуктов легли также результаты ранее выполненных исследований и разработок в рамках проекта Российского научного фонда № 19-77-30015 «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».

Метод картографирования преобладающих древесных пород леса основан на особенностях динамики их фенологического развития, проявляющихся в различиях эволюции их спектрально-отражательных характеристик в течение вегетационного сезона, что позволяет разделять насаждения с преобладанием различных пород по данным ДЗЗ высокого временного разрешения [2].

Метод включает формирование временных рядов еженедельных композитных изображений спектральной отражательной способности земной поверхности в красном и ближнем ИК каналах по данным ежедневных спутниковых наблюдений прибором MODIS, установленным на спутнике Terra. При этом наличие облачности и недостаток чистых наблюдений в течение 7-дневного периода могут приводить к наличию пропусков и шумов в композитных изображениях. В связи с этим для формирования временных рядов композитных изображений в течение вегетационного сезона используются многолетние данные Terra/MODIS. При этом характерное значение отражательной способности лесов в рассматриваемый 7-дневный период года рассчитывается как медиана ее многолетних значений по композитным изображениям, сформированным для данного периода текущего года и шести предыдущих лет, внутри скользящего временного окна размером 3 недели. Дополнительная обработка временных рядов данных ДЗЗ также включает в себя их сглаживание, фильтрацию шумов и заполнение пропусков на основе алгоритма полиномиальной аппроксимации динамическим скользящим окном [21]. Кроме того, были сформированы зимние композитные изображения покрытой снегом земной поверхности в красном и ближнем ИК каналах, характеризующие тип и структуру лесного покрова, что делает их информативными при распознавании древесных пород.

Построенные по многолетним данным Terra/MODIS временные ряды композитных изображений земной поверхности в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах, отражающие характерную сезонную динамику лесного покрова России, используются в качестве признаков распознавания преобладающих древесных пород на основе контролируемой классификации методом максимального правдоподобия с применением локально-адаптивного подхода [6].

На основе описанного метода сформирован прототип карты преобладающих древесных пород в лесах России с пространственным разрешением 230 м. Данная карта характеризует актуальное пространственное распределение 12-ти основных преобладающих древесных пород с разрешением 230 м (рисунок 1.47).



Рисунок 1.48 – Прототип цифровой карты преобладающих древесных пород лесов

Метод формирования временного ряда карт запасов стволовой древесины в лесах основан на взаимосвязи между величинами запасов и яркостными характеристиками лесов в наиболее стабильный для наблюдений зимний период. Наличие снежного покрова приводит к маскированию на спутниковых изображениях различных типов земного покрова за исключением древесной растительности. Снег имеет высокую отражательную способность в видимой части спектра, а вариации яркости лесов по спутниковым данным зимнего периода определяются главным образом долей проективного покрытия земной поверхности кронами деревьев и их тенями. Это, в свою очередь, обуславливает тесную взаимосвязь отражательной способности покрытого снегом земного покрова и удельного запаса стволовой древесины [$\text{м}^3/\text{га}$], за счет зависимости от количества и высоты деревьев

в пикселе данных среднего разрешения. Оценка основывается на построении калибровочных взаимосвязей яркость-запас с применением регрессионного алгоритма Random Forest.

Информация о яркостных характеристиках лесов получается на основе зимних композитных изображений в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах по данным Terra-MODIS. Для устранения межгодовых вариаций, вызванных состоянием снежного покрова и изменением характеристик сенсора, была проведена межгодовая нормализация изображений, основанная на яркостных характеристиках безлесных территорий. При этом в качестве признака для оценки запасов древесины используется усредненное значение яркости в красном и ближнем ИК каналах, что позволяет минимизировать влияние зеленой хвои на яркостные характеристики земного покрова в зимний период для вечнозеленых лесов. Кроме того, данный признак подразумевает совместное использование значений отражательной способности в красном и ближнем ИК диапазонах в выбранном регрессионном алгоритме.

В качестве входных данных для построения обучающей выборки были использованы результаты обработки материалов ГИЛ, включая данные АЦО на уровне таксационных выделов и данные ППП, содержащие, в том числе, информацию о запасах стволовой древесины. Совместная обработка указанных данных позволила получить пространственно распределенные оценки запасов на уровне таксационных выделов по состоянию на 2010 год, скорректированные для учета стоящих деревьев всех ярусов, в том числе сухостоя и молодняков/подроста. В области низких значений запасов, менее представленных в данных АЦО, выборка была дополнена результатами проекта ESA Globbiomass [5]. Этот продукт характеризует величины запасов стволовой древесины на территории России в 2010-м году с пространственным разрешением 100 м. Для совмещения с набором используемых признаков все данные были приведены к пространственному разрешению 230 м. Более подробное описание подхода к формированию опорной выборки приведено в разделе 1.1.1.

На вход алгоритма Random Forest подаются обучающая выборка и спутниковые данные за 2010 год с последующим формированием ансамбля регрессионных деревьев. Затем построенная на основе случайных лесов регрессионная модель применяется для обработки спутниковых данных и построения карт за весь период наблюдений 2001-2021 гг. На рисунке 1.48 представлен прототип карты запасов древесины за 2021 г., характеризующей распределение удельного запаса стволовой древесины [$\text{м}^3/\text{га}$] с пространственным разрешением 230 м.



Рисунок 1.48 – Прототип цифровой карты запасов стволовой древесины лесов

В ходе проведённых исследований разработаны методы оценки показателей горизонтальной структуры лесов, а именно относительной полноты лесов и лесистости территории, в основе которых также лежит использование алгоритма множественной непараметрической регрессии Random forests [22]. Регрессионная зависимость восстанавливается между значениями обучающей пространственно распределенной по исследуемой территории выборки целевого показателя и соответствующими им значениями признаков, описывающих состояние земной поверхности. В качестве признаков выбраны ежегодные композитные спутниковые изображения:

- полученные максимизацией ежедневных значений нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI в течение вегетационного сезона в семи спектральных диапазонах (каналы b1 – b7) съемки прибора MODIS в видимой, ближней ИК и средней ИК областях;

- полученные усреднением значений яркости ежедневных значений данных MODIS при наличии снежного покрова на земной поверхности в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах (каналы b1, b2) [23].

Таким образом, для восстановления зависимости были использованы как спутниковые данные в период максимума вегетации, характеризующие тип леса или

земного покрова, так и данные вне вегетационного сезона, информативные при определении структуры и наличия древесного полога.

Основой для построения опорной выборки значений лесистости служат данные высокого пространственного разрешения Tree Cover 2010 [1] и композитное изображение по данным Sentinel-2 за 2019 год, сформированное на основе результатов наблюдений в период наличия снежного покрова на земной поверхности [23]. Построение опорной выборки лесистости происходит в несколько этапов. На первом этапе по данным Tree Cover 2010 с помощью порогового правила строится бинарная карта лесных и не покрытых лесом территорий (порог – 30% проективного покрытия полога леса). На следующем этапе полученная карта вместе с изображением Sentinel-2 используется для восстановления бинарной маски леса на 2019 год методом максимального правдоподобия с применением локально-адаптивного подхода. На третьем этапе из полученной маски лесных и непокрытых лесом территорий удаляются изменённые территории с помощью маски леса за 2010 год и данных Global Forest Change [1], после чего маска лесов по данным Sentinel-2 приводится к пространственному разрешению данных MODIS. На четвёртом заключающем этапе из обучающей выборки удаляются пиксели, покрытые маской данных высокого разрешения менее, чем на 85%, и проводится ее пространственная фильтрация. В результате строится пространственно-распределенная однородная по времени обучающая выборка, используемая для оценки лесистости территории России.

Для создания опорной выборки относительной полноты используется маска пикселей среднего пространственного разрешения из набора опорных данных о запасах стволовой древесины, процесс построения которой описан в разделе 1.1.1. Для каждого пикселя маски рассчитывается значение относительной полноты на основе растеризованных с высоким разрешением выдельных материалов АЦО с учётом площади леса в пикселе данных. Полученная опорная выборка используется для настройки параметров регрессии и восстановления значений относительной полноты. После маскирования непокрытых лесом территорий строится итоговый прототип продукта относительной полноты с пространственным разрешением 230 м (рисунок 1.49).



Рисунок 1.49 – Прототип цифровой карты относительной полноты лесов

Еще один показатель, необходимый для оценки пулов углерода – класс бонитета (продуктивности) лесных насаждений. Прототип геоинформационного продукта, характеризующего бонитет насаждений, основан на опорной выборке, построенной с использованием результатов обработки поведельных материалов АЦО, а также данных о рельефе, полученных ранее картах удельного запаса стволовой древесины и преобладающих пород леса, и значениях красного и ближнего ИК каналов по данным Terra/MODIS в момент достижения максимума индекса NDVI. Все вышеперечисленные информационные продукты, за исключением рельефа местности, получены за период 2001-2021 годов.

Для сокращения числа признаков был использован метод главных компонент, позволивший выделить 3 главные компоненты, описывающие 92% вариации всех признаков за 20 лет. Две из этих компонент характеризовали среднее в красном и в ближнем ИК каналах, еще одна компонента описывала динамику в красном канале спутниковых данных. Данные по запасу древесины не редуцировались, так как предполагалось, что именно динамика прироста запаса наиболее важна для оценки продуктивности насаждений.

Для обучения использовался метод случайных лесов (Random Forest) в режиме регрессии из библиотеки sklearn [24]. На вход метода подавалось 3 млн. случайно выбранных пикселей с опорными данными. Так как случайные леса имеют тенденцию к исключению крайних значений в режиме регрессии, то был применен метод коррекции Empirical distribution matching [25]. В основе метода коррекции лежит модификация гистограммы с помощью перцентилей. Коррекция гистограммы производилась на основе 20 млн. элементов контрольной выборки, по которым также анализировалась точность метода.

Для итогового классификатора коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,7$, стандартное отклонение бонитета – 0,9 (то есть $\pm 0,45$ класса бонитета). Оценка бонитета была получена для всех территорий, на которых в период 2001-2021 годы хотя бы раз по данным вышеописанных карт среднего разрешения был лес или кустарник, или для 921 млн. га территории России. Прототип карты классов бонитета представлен на рисунке 1.50.

Полученный прототип карты классов бонитета позволяет оценить возраст лесных насаждений. Метод оценки возраста основывается на таблицах хода роста [26] и дистанционных оценках запаса стволовой древесины по спутниковым данным. С целью обеспечения сопоставимости запасов на основе данных ДЗЗ и таблиц хода роста вышеописанный подход был использован для получения спутниковых оценок запаса древесины главного яруса насаждений (на основе отдельно сформированной по результатам обработки материалов АЦО обучающей выборки), которые затем корректировались на дистанционно измеренные значения полноты и лесистости по соответствующим прототипам геоинформационных продуктов среднего пространственного разрешения.

Таблицы хода роста описывают связь возраста и запаса стволовой древесины при известных значениях породы и класса бонитета лесов. Соответственно по значениям запаса, бонитета и преобладающей породы можно однозначно установить возраст. Стоит отметить, что запас по данным спутниковых оценок также включает и сухостой. Поэтому при оценке запаса необходимо исключить сухостой, что достигается с помощью моделей, описанных в разделе 3.2 данного отчета.

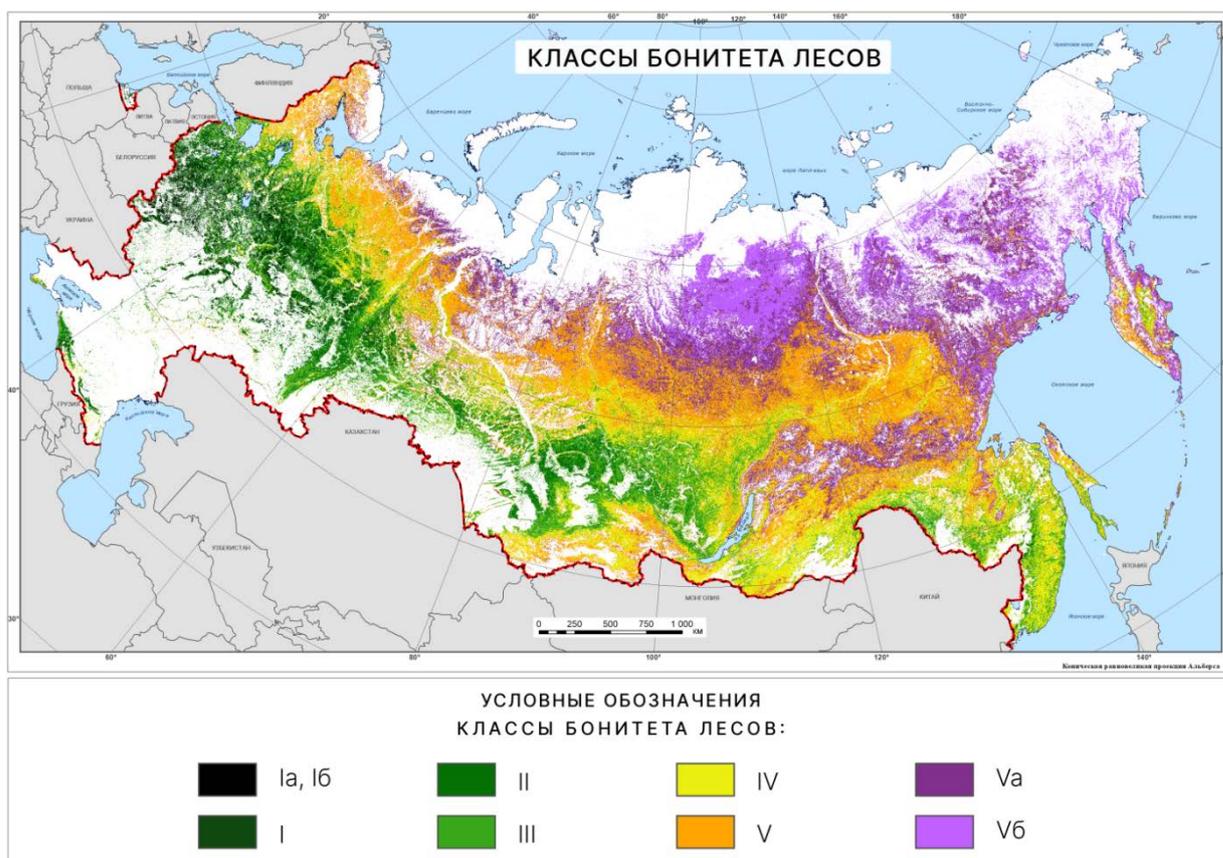


Рисунок 1.50 – Прототип цифровой карты продуктивности (классов бонитета) лесов

Модели хода роста и модель сухостоя не могут применяться для нарушенных лесов, в связи с чем была проведена дополнительная постобработка карты возраста с использованием карт нарушений. Год нарушения определялся по первому году появления гари, или по первому году, когда доля рубок или усыханий превысила половину пикселя MODIS. Считалось, что лесовозобновление начиналось сразу после нарушения, возраст леса в нарушенных лесах устанавливался с учетом этого предположения. Полученный прототип карты возраста представлен на рисунке 1.51.

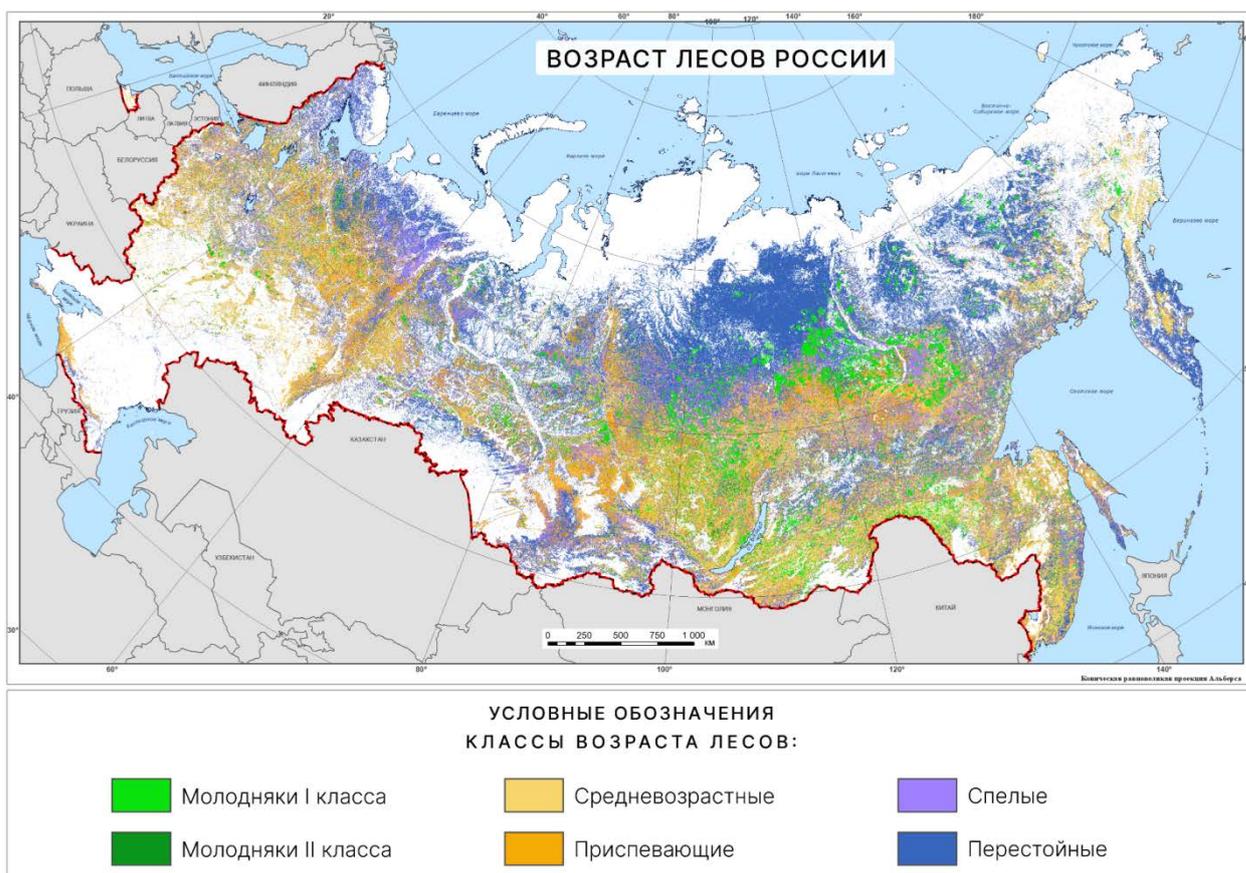


Рисунок 1.51 – Прототип цифровой карты возраста лесов

1.5 Заключение к разделу 1

Выполненные исследования позволили сформировать наборы опорных данных запасов стволовой древесины, преобладающих пород лесов и данных о повреждениях лесов пожарами, необходимых для настройки алгоритмов и верификации результатов национального спутникового мониторинга лесов. Создана усовершенствованная технология предварительной обработки спутниковых данных среднего пространственного разрешения и восстановлены непрерывные временные ряды ежедневных данных системы MODIS для мониторинга наземных экосистем России за период, продолжительностью 21 год. На основе полученных временных рядов спутниковых данных среднего пространственного разрешения разработана усовершенствованная автоматизированная технология и проведено динамическое картографирование наземных экосистем России. На основе ранее разработанных методов и улучшенного набора спутниковых данных сформированы прототипы геоинформационных продуктов характеристик лесов, необходимых для оценки запасов и бюджета углерода лесов России.

2 Разработка и ввод в опытную эксплуатацию первой очереди действующего прототипа национальной информационно-аналитической системы мониторинга углерода в наземных экосистемах Российской Федерации (ИАС «Углерод-Э»)

Настоящий раздел посвящен вопросам построения национальной информационно-аналитической системы мониторинга углерода в наземных экосистемах Российской Федерации (ИАС «Углерод-Э»). В ней, в том числе:

- рассматриваются основные задачи и требования к системе, предложена архитектура построения системы;
- рассмотрены технологические и технические решения, которые будут являться основой для построения системы;
- формулируются технические и функциональные требования к основным элементам системы (центральному узлу и специализированным узлам);
- описываются задачи и возможности созданной и введенной в опытную эксплуатацию первой очереди действующего прототипа ИАС «Углерод-Э» в составе действующего прототипа центрального узла системы и действующего прототипа специализированного узла, обеспечивающего получение и автоматизированную обработку спутниковой информации в интересах системы.

2.1 Анализ основных задач и требований к информационно-аналитической системе национального мониторинга углерода наземных экосистем России (ИАС «Углерод-Э»)

В результате проведенного анализа основных задач и требований к ИАС «Углерод-Э» определено, что основными задачами ИАС «Углерод-Э» являются:

- Формирование и ведение архивов данных наземных и дистанционных наблюдений, необходимых для организации мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах. К таким архивам в первую очередь относятся:
 - Архивы данных, получаемых на пробных площадях и тестовых полигонах, ориентированных на мониторинг пулов углерода;
 - Архивы данных, получаемых на пробных площадях и тестовых полигонах, ориентированных на мониторинг потоков углерода;
 - Архивы данных наблюдений с БПЛА территорий пробных площадей и тестовых полигонов;
 - Архивы результатов обработки спутниковых данных по территории РФ и сопредельным территориям.

– Обеспечение возможностей комплексной обработки информации, получаемой из различных источников, для разработки методов и мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах;

– Обеспечение возможностей распределенного автоматизированного и интерактивного анализа данных для разработки методов и мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах, в том числе, для оптимального планирования и функционирования наблюдательной сети;

– Автоматизированное формирование отчетных форм, необходимых для проведения мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах, в том числе для формирования национальной отчетности, включая реестр парниковых газов;

– Создание и поддержка распределенных вычислительных ресурсов, обеспечивающих:

- ведение долговременных распределенных архивов данных наземных и дистанционных наблюдений;
- проведение распределенной обработки информации из различных источников для решения задач проекта и обеспечения мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах;
- обеспечение возможностей распределенного автоматизированного и интерактивного анализа данных (в том числе коллективного) для решения задач проекта и ведения мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах;
- автоматизированное формирование отчетных форм, необходимых для мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах, в том числе для формирования национальной отчетности, включая реестр парниковых газов.

– Обеспечение работы распределенной информационной среды для эффективного взаимодействия участников проекта (в том числе, проведения научных мероприятий и рабочих совещаний).

В результате проведенного анализа были сформулированы следующие основные требования к ИАС «Углерод-Э»:

– Система должна обеспечивать работу с различными архивами данных и результатами их обработки, формируемыми в организациях, участвующих в проекте;

– Система должна обеспечивать технические возможности как проведения обработки и анализа отдельных видов информации, так и проведения их комплексного анализа;

- Система должна обеспечивать возможности распределенного доступа, обработки и анализа данных;
- Должно быть обеспечено непрерывное функционирование базовых элементов системы;
- Архитектура системы должна быть открытой с возможностью ее расширения и развития по мере выполнения проекта, в том числе обеспечивать возможность включения в систему блоков разработанных в рамках различных направлений проекта;
- Система должна обеспечивать возможности взаимодействия с внешними информационными ресурсами и системами, в том числе, уже созданными, поддерживаемыми и развиваемыми участниками проекта;
- Система должна обеспечивать технические возможности эффективного взаимодействия участников проекта (в том числе, проведения научных мероприятий и рабочих совещаний распределенных научных коллективов);
- В рамках системы должен быть реализован блок распределенного управления и контроля работоспособности ее элементов.

2.2 Выбор базовых технических и инфраструктурных решений по организации работы с данными при построении ИАС «Углерод-Э»

Для оптимизации работ по разработке и вводу в эксплуатацию системы в ее основу целесообразно положить имеющиеся технические разработки ИКИ РАН в области информационных систем дистанционного мониторинга [27]. В настоящее время данные разработки позволили создать и поддерживать несколько десятков специализированных информационных систем дистанционного мониторинга. Для этого в ИКИ РАН созданы специальные технологии [28], в том числе обеспечивающие ведение сверхбольших архивов спутниковых данных по всей территории РФ и сопредельным территориям [29]. Также при разработке системы должны быть максимально задействованы технические решения, которые сегодня уже реализованы в организациях-участниках проекта для организации работы с данными, получаемыми на тестовых полигонах и пробных площадях и в районах их расположения (данные БПЛА).

При выборе инфраструктурных решений также особое внимание, на наш взгляд, следует уделить вопросу максимального использования уже имеющейся инфраструктуры, которая может стать основой для реализации узла ИАС «Углерод-Э». Так, предлагается максимально задействовать решения, обеспечивающие работу с данными в организациях-участниках проекта, которые в настоящее время используются для сбора, обработки,

хранения и анализа информации на тестовых полигонах. Как базовую инфраструктуру работы со спутниковыми данными предлагается использовать возможности Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений Института космических исследований Российской академии наук для изучения и мониторинга окружающей среды (ЦКП «ИКИ-Мониторинг», <http://ckp.geosmis.ru/>) [30]. Это позволит функционально включить ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в ИАС «Углерод-Э» и обеспечить возможность работы системы с долговременными архивами спутниковых данных, накопленных в системе, чтобы сосредоточиться на развитии в рамках проекта специализированных архивов спутниковых данных и результатов их обработки, необходимых для решения задач проекта. Подробное описание возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» приведено в Приложении А.

Особо следует отметить, что использование технологий ИКИ РАН и выбранных инфраструктурных решений позволили уже на настоящем этапе создать действующий прототип центрального узла ИАС «Углерод-Э» и разработать функциональные требования к специализированным узлам ИАС «Углерод-Э». Возможности созданного прототипа будут описаны ниже. Подробное описание выбранных технических и инфраструктурных решений приведено в Приложении Б.

2.3 Предложения по архитектуре и составу ИАС «Углерод-Э»

На основе анализа основных задач и требований к ИАС «Углерод-Э» предложено реализовать архитектуру системы на основе модульного принципа. Система строится на основе нескольких специализированных узлов, ориентированных на решение задач по отдельным направлениям, а также центрального узла, обеспечивающего взаимодействие различных специализированных информационных узлов, стратификацию и интеграцию данных из всех источников системы, резервное хранение данных системы и функционирование системы в целом. Такой принцип позволяет декомпозировать задачи, стоящие перед системой, обеспечить выбор оптимальных подходов для решения каждой конкретной задачи и их параллельную реализацию и в то же время обеспечить целостность системы и согласованную работу ее основных элементов (информационных узлов). На основе выбранного подхода была предложена архитектура системы в составе следующих основных информационных узлов:

- Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач мониторинга пулов углерода (организации работы с данными тестовых полигонов);

– Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач мониторинга потоков углерода (организация работы с данными измерений потоков углерода в атмосфере);

– Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач организации работы с данными наблюдений БПЛА в районах расположения пробных площадей и тестовых полигонов;

– Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач организации автоматизированной обработки спутниковых данных для формирования различных информационных продуктов для решения задач проекта и обеспечения мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах. Создается с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>);

– Центральный информационный узел ИАС «Углерод-Э» (в том числе обеспечивает: ведение долговременных архивов данных, формирование комплексных информационных продуктов, поддержку системы распределенной обработки и анализа данных, автоматизированное формирование различных информационных форм и отчетов в интересах проекта и мониторинга бюджета углерода, поддержку информационной среды для ведения проекта, распределенное управление элементами системы).

Общая архитектура системы приведена на рисунке 2.1. В рамках разработанной архитектуры специализированные информационные узлы (СИУ) выступают в роли поставщиков информации, на основе которой строятся тематические информационные продукты, необходимые для мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах. Центральный информационный узел (ЦИУ) в том числе выступает в роли интегратора, который обеспечивает получение предварительно обработанной информации от СИУ.

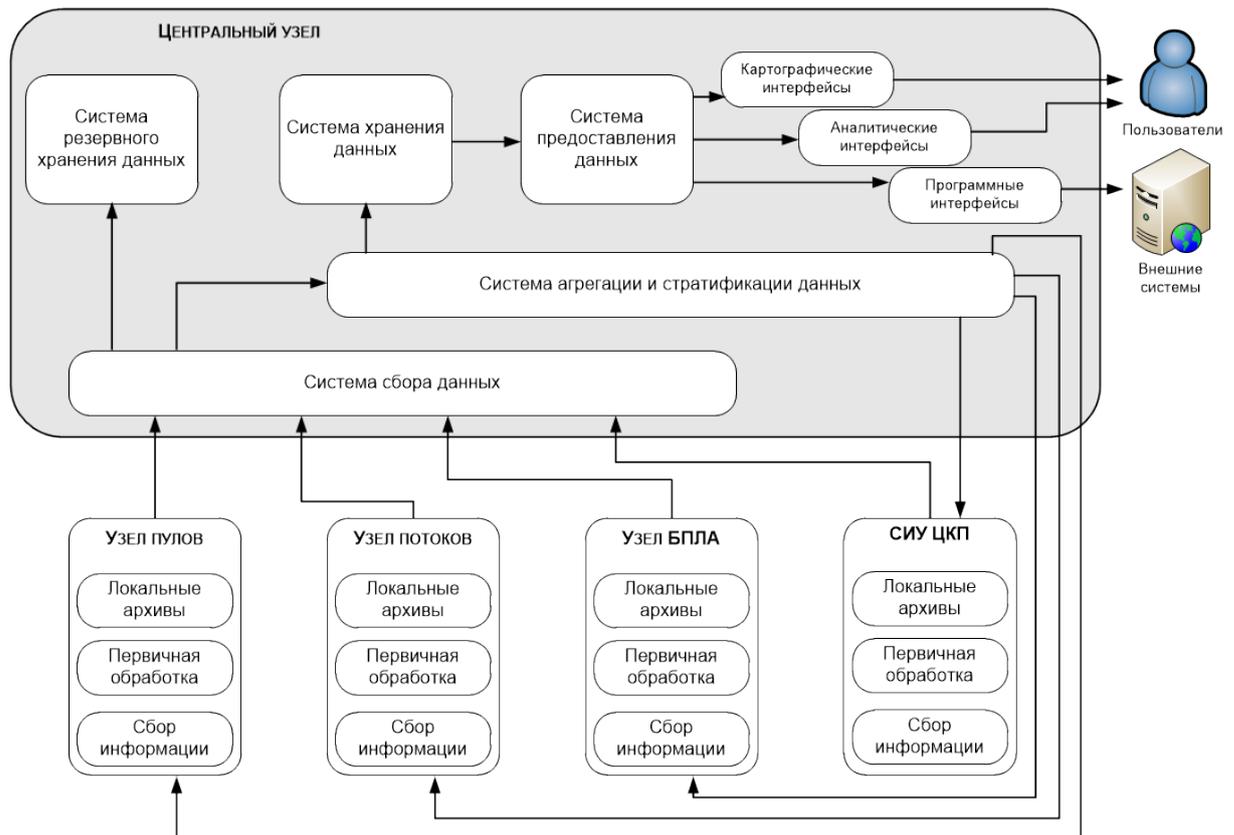


Рисунок 2.1 – Гистограммы Архитектура ИАС «Углерод-Э»

Взаимодействие между информационными узлами системы осуществляется на основе возможностей действующих телекоммуникационных сетей Интернет.

2.3.1 Технические и функциональные требования к центральному узлу ИАС «Углерод-Э»

2.3.1.1 Функциональные требования к ЦИУ

Центральный информационный узел (ЦИУ) ИАС «Углерод-Э» предназначен для обеспечения функционирования всей ИАС в целом, организации взаимодействия специализированных узлов (СИУ) между собой, интеграции данных, собираемых из специализированных узлов. В ЦИУ осуществляется комплексная обработка информации, поступающей из различных СИУ, в том числе автоматизированный контроль качества получаемой информации. В ЦИУ организуется ведение долговременных архивов данных, включая автоматизированное резервное копирование данных СИУ, критически важных для проекта. В ЦИУ организуются и поддерживаются централизованные вычислительные ресурсы, обеспечивающие решение задач проекта, включая обработку данных, распределенный доступ к данным и результатам их обработки и автоматизированный обмен информацией между узлами системы. Кроме того, в рамках ЦИУ реализуется блок

автоматизированного контроля и управления различными элементами ИАС «Углерод-Э».

ЦИУ должен обеспечивать реализацию следующих основных функций:

- Сбор данных СИУ;
- Проведение автоматизированной агрегации (включая контроль качества) и комплексной обработки данных, полученных из различных источников для формирования информационных продуктов, необходимых для решения задач проекта и мониторинга бюджета и пулов углерода;
- Автоматизированное ведение долговременных архивов данных и результатов их обработки;
- Автоматизированное резервное копирование архивов данных СИУ, критически важных для выполнения проекта и осуществления мониторинга бюджета и пулов углерода;
- Поддержка подсистемы, обеспечивающей распределенный доступ и анализ данных и результатов их обработки участниками проекта. В том числе обеспечение распределенного доступа к результатам комплексной обработки данных для проведения их анализа с использованием табличных, графических и картографических web-интерфейсов, а также обеспечение автоматизированного доступа СИУ к данным с использованием программных интерфейсов;
- Автоматизированное формирование различных интегрированных характеристик (отчетов), необходимых для решения задач мониторинга бюджета и пулов углерода;
- Поддержка централизованных вычислительных ресурсов для сбора, хранения, обработки и представления данных и результатов их обработки;
- Поддержка вычислительных и программных ресурсов, необходимых для работы информационной среды управления и выполнения проекта, включая проведение распределенных обсуждений, семинаров и конференций;
- Поддержка автоматизированного взаимодействия с внешними информационными систем и ресурсами;
- Обеспечение контроля и управления элементами системы.

Исходя из функциональных требований были определены технические требования к реализации ЦИУ.

2.3.1.2 Технические требования к ЦИУ

Для реализации заданных функций ЦИУ должен включать в себя следующие компоненты:

- Система работы с данными;
- Система представления и анализа данных;

Рассмотрим эти компоненты и их состав подробнее.

Система работы с данными

Система работы с данными должна включать в себя:

- Блок сбора (усвоения) данных;
- Блок архивации данных;
- Блок обработки данных;
- Блок резервного хранения информации, формируемой в специализированных узлах.

Блок сбора (усвоения) данных должен обеспечивать:

- Усвоение растровых и векторных продуктов обработки спутниковых данных;
- Получение данных из СИУ и других внешних источников.

Блок архивации данных обеспечивает ведение архивов следующих типов данных:

- Растровые и векторные результаты высокоуровневой обработки спутниковых данных следующих пространственных уровней;
 - Уровень страны;
 - Уровень отдельных тестовых полигонов.
- Промежуточные продукты, необходимые для проведения высокоуровневой обработки, в том числе различные временные композитные изображения;
- Данные, необходимые для настройки алгоритмов и верификации формируемых информационных продуктов;
- Статистические данные:
 - Агрегированные результаты обработки, необходимые для формирования отчетности, в том числе в виде BI/OLAP-кубов;
 - Информация о сети тестовых полигонов;
 - Данные наземных обследований, полученных из СИУ.

Блок обработки данных должен обеспечивать:

- Взаимодействие с архивами спутниковых данных для получения входных данных и возврата результатов обработки;
- Процедуры обработки данных для получения различных характеристик наземных экосистем, в том числе:
 - на уровне страны;

- на уровне тестовых полигонов;
- Процедуры обработки для получения агрегированных статистических данных.

Система представления и анализа данных

Система представления и анализа данных должна включать в себя:

- Блок анализа данных;
- Блок общей информации по проекту;
- Блок управления проектом.

Блок анализа данных должен включать в себя:

- Картографический интерфейс для отображения и анализа растровых и векторных тематических информационных продуктов, спутниковых данных и сопутствующей картографической информации;
- Блок VI-форм для отображения и анализа агрегированных данных о наземных экосистемах;
- Блок форм отчётности.

Блок общей информации по проекту должен включать в себя:

- Сайт проекта;
- Статическую информацию об ИАС «Углерод-Э»;
- Руководства пользователя ИАС «Углерод-Э»;
- Открытые справочники по ИАС «Углерод-Э», в т.ч. об участниках проекта, сети тестовых полигонов и т.п..

Блок управления проектом включает в себя:

- Интерфейсы контроля состояния компонент ИАС «Углерод-Э»;
- Панель экспресс-анализа состояния системы;
- Внутренние справочники по компонентам и подсистемам ИАС «Углерод-Э»;
- Интерфейс для координации участников и ведения проекта;
- Средства поддержки распределенных совещаний и обсуждений.

2.3.1.3 Аппаратная инфраструктура для реализации ЦИУ

Для реализации ЦИУ и выполнения его функций требуется высокопроизводительная вычислительная и коммутационная инфраструктура, которая должна обеспечивать:

- Резервируемое распределённое хранение сверхбольших объёмов данных, в первую очередь спутниковых, с возможностью прямого доступа к произвольным фрагментам данных;

- Ведение больших, высоконагруженных баз данных для ведения каталогов архивов спутниковых данных, хранения и агрегирования производных и статистических данных, обеспечения быстрого доступа к данным;

- Обработку больших массивов данных, в том числе распределённую;

- Высокоскоростную коммутацию всех инфраструктурных компонент;

- Сетевую безопасность и защиту от потенциальных угроз;

- Проведение видеоконференций и координационных мероприятий.

2.3.2 Функциональные требования к специализированным узлам ИАС «Углерод-Э»

В составе ИАС «Углерод-Э» запланировано создание следующих специализированных узлов:

- Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач мониторинга пулов углерода;

- Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач мониторинга потоков углерода;

- Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач организации работы с данными наблюдений БПЛА в районах расположения пробных площадей и тестовых полигонов;

- Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач организации работы со спутниковыми данными и результатами их обработки.

Основными задачами этих узлов является сбор данных из соответствующих источников, их предварительная обработка и передача результатов обработки в ЦИУ. С учётом специфики данных можно сформулировать функциональные требования для каждого из представленных узлов.

Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач мониторинга пулов углерода, должен обеспечивать выполнение следующих функций:

- Предоставление информации, необходимой для формирования наземной сети обследований, планирования и проведения работ на тестовых полигонах, включая информацию, получаемую на основе спутниковых данных и результатов их обработки;

- Сбор данных наземных обследований по заданным тестовым полигонам и пробным площадям;

- Ведение локальных тематических архивов по собираемым и анализируемым параметрам, в т.ч. по результатам таксации лесов, геоботанических обследований, сбору и анализу почвенных образцов и т.д.;

- Предварительная обработка собираемых данных, в том числе, контроль качества поступающих данных, их временная и пространственная агрегация и т.п.;

- Подготовка и передача обработанных данных в ЦИУ;

- Предоставление информационных и вычислительных ресурсов организациям, выполняющим работу на тестовых полигонах для обработки собираемых данных, автоматизированного формирования и ведения архивов данных наблюдений.

Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач мониторинга потоков углерода, должен обеспечивать выполнение следующих функций:

- Предоставление информации для организации наблюдений в интересах проекта и мониторинга бюджета углерода, включая информацию, получаемую на основе спутниковых данных и результатов их обработки;

- Сбор данных о потоках углерода, полученных с национальной сети эколого-климатического мониторинга;

- Сбор данных о потоках углерода, полученных по наблюдениям национальной сети мониторинга почвенной эмиссии парниковых газов;

- Ведение локальных тематических архивов по собираемым и анализируемым параметрам;

- Предварительная обработка собираемых данных, в том числе, контроль качества поступающих данных, их временная и пространственная агрегация;

- Подготовка и передача обработанных данных в ЦИУ.

- Предоставление информационных и вычислительных ресурсов организациям, выполняющим работу по измерению потоков углерода на национальной сети эколого-климатического мониторинга и национальной сети мониторинга почвенной эмиссии парниковых газов, включая предоставление централизованных ресурсов для обработки данных, автоматизированного формирования и ведения архивов данных наблюдений.

Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач организации работы с данными наблюдений БПЛА в районах расположения тестовых полигонов, должен обеспечивать выполнение следующих функций:

- Предоставление информации, необходимой для организации наблюдений с использованием БПЛА в интересах решения задач проекта;

- Сбор данных аэросъёмки видимого диапазона с БПЛА;

- Сбор данных мультиспектральной аэросъёмки с БПЛА;

- Сбор данных лидарной аэросъёмки с БПЛА;
- Ведение локальных архивов исходной съёмки всех видов;
- Обработка данных аэросъёмки для получения высокодетальных тематических продуктов по характеристикам наземных экосистем;
- Подготовка и передача обработанных данных в ЦИУ;
- Предоставление информационных и вычислительных ресурсов организациям, выполняющим работу по съёмкам с использованием БПЛА в интересах проекта, включая предоставление централизованных ресурсов для обработки собираемых данных и автоматизированного формирования и ведения архивов данных наблюдений.

Специальный информационный узел, ориентированный на решение задач организации работы со спутниковыми данными и результатами их обработки, должен обеспечивать выполнение следующих функций:

- Обеспечение доступа к различным видам спутниковых данных на основе использования возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг»;
- Осуществление обработки спутниковых данных в интересах проекта;
- Ведение специализированных архивов результатов обработки спутниковых данных;
- Обеспечение распределенного доступа к архивам результатов обработки спутниковых данных для решения задач проекта;
- Подготовка и передача информации, получаемой на основе обработки спутниковых данных в ЦИУ.

Более подробно предложения по созданию данного специализированного узла рассмотрены в следующем разделе настоящего отчёта.

2.3.3 Предложения по развитию ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в интересах обеспечения возможностей ИАС «Углерод-Э» - Создание специализированного узла для работы со спутниковыми данными

В рамках ИАС «Углерод-Э» на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг» должен быть создан специальный информационный узел, ориентированный на решение задач организации работы со спутниковыми данными и результатами их обработки в интересах выполняемого проекта. Данный информационный узел должен обеспечивать решение следующих задач:

- Сбор (организация доступа) спутниковых данных различного пространственного разрешения для получения тематических информационных продуктов в интересах

решения задач проекта, организации и ведения мониторинга бюджета и пулов углерода, включая поддержку автоматизированного взаимодействия с архивами ЦКП «ИКИ-Мониторинг»;

– Проведение предварительной обработки спутниковых данных различного пространственного разрешения в интересах решения задач проекта, организации и ведения мониторинга бюджета и пулов углерода;

– Формирование и автоматизированное ведение архивов результатов обработки спутниковых данных в интересах решения задач проекта, организации и ведения мониторинга бюджета и пулов углерода;

– Автоматизированное предоставление получаемых результатов обработки спутниковых данных различным узлам ИАС «Углерод-Э» в интересах решения задач проекта, организации и ведения мониторинга бюджета и пулов углерода;

Данный специализированный информационный узел должен обеспечивать возможность работы с информацией по всей территории Российской Федерации, а также территориям, получение информации по которым необходимо для решения задач проекта и организации мониторинга бюджета углерода в наземных экосистемах России.

Узел должен создаваться на базе и с учетом технических возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

В рамках первой очереди системы должен быть создан действующий прототип данного узла, работоспособность которого должна быть продемонстрирована на примере организации автоматизированной обработки, хранения и представления спутниковых данных среднего пространственного разрешения (200-300 м) для получения временных рядов безоблачных композитных изображений, необходимых для формирования информационных продуктов в интересах решения задач проекта и организации мониторинга бюджета и пулов углерода.

2.4 Разработка и ввод в опытную эксплуатацию действующего прототипа центрального узла ИАС «Углерод-Э»

В рамках предложенной архитектуры был реализован действующий прототип центрального узла ИАС «Углерод-Э». В составе первой очереди узла были реализованы его основные элементы, в том числе:

- Первая очередь системы работы с данными, в т.ч. блоки автоматизированной обработки спутниковых данных и ведения архивов информации о лесах, получаемой на их основе;

- Первая очередь система представления и анализа данных, в том числе специализированный набор инструментов для распределённого анализа информации о лесах, получаемой на основе спутниковых данных, включая базовые возможности их предоставления для ведения национальной отчетности, в том числе формирования реестра парниковых газов.

В рамках проекта был создан в соответствии с разработанными предложениями (см. п. 2.3.3) действующий прототип специализированного информационного узла, обеспечивающего работу со спутниковыми данными в интересах ИАС «Углерод-Э».

Действующий прототип в настоящее время реализован на вычислительных мощностях ЦКП «ИКИ-Мониторинг», для его дальнейшего развития организована закупка технических ресурсов, обобщенный состав которых представлен в настоящем разделе.

2.4.1 Общее описание созданного действующего прототипа центрального узла ИАС «Углерод-Э»

Архитектура действующего прототипа центрального узла «ИАС Углерод-Экосистем» представлена на рисунке 2.2. Сплошными линиями показаны реализованные блоки, пунктирными – запланированные к реализации.

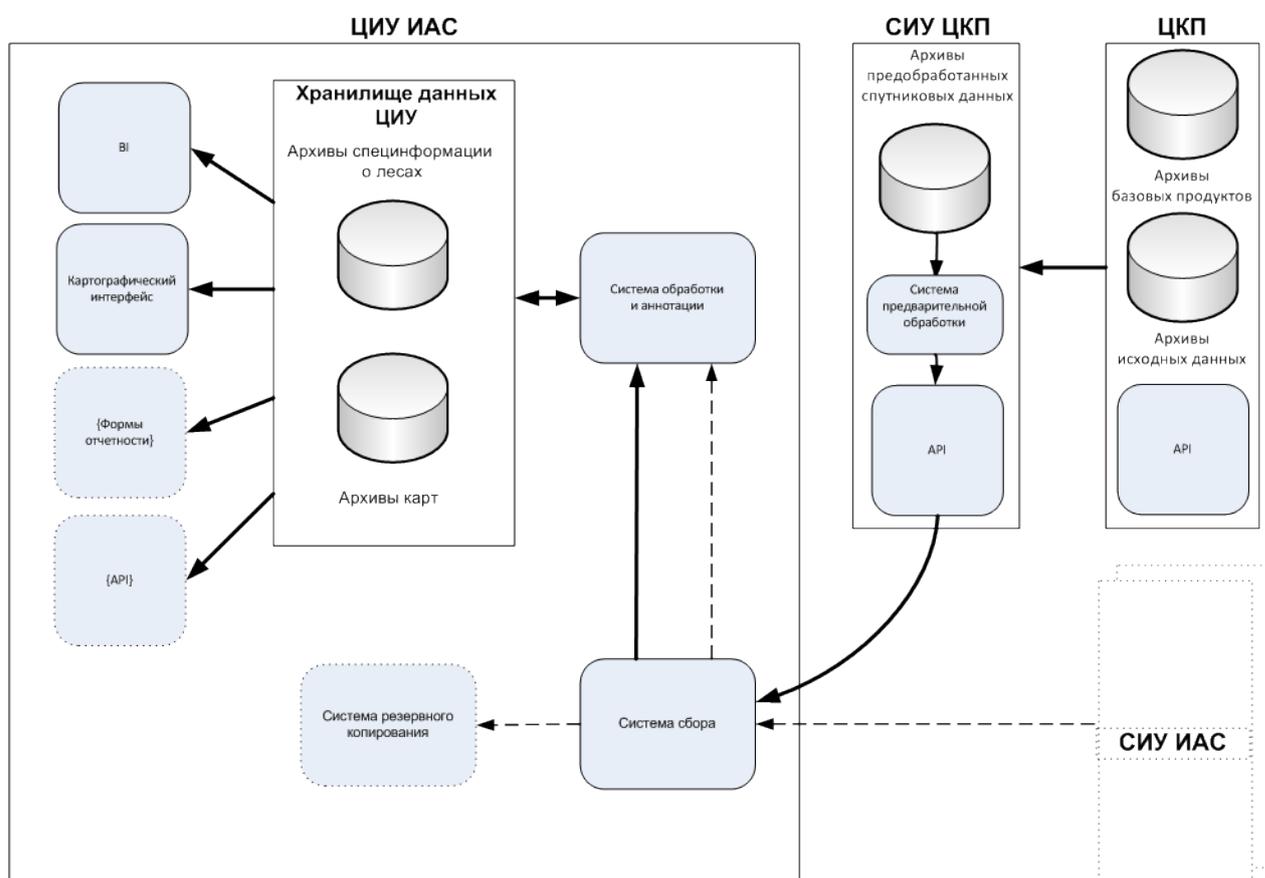


Рисунок 2.2 – Архитектура действующего прототипа ЦУ ИАС «Углерод-Э»

В рамках построения действующего прототипа были реализованы следующие функции:

- Сбор спутниковых данных низкого, среднего и высокого пространственного разрешения с КА серий Terra, Aqua, Suomi NPP, Landsat, Sentinel-2 для обеспечения исходной информации для дальнейшей обработки;

- Предварительная обработка собранных данных для получения базовых композитных изображений, необходимых для получения карт характеристик наземных экосистем;

- Ведение архивов спутниковых данных и результатов их обработки на примере различных карт характеристик наземных экосистем;

- Проведение агрегации полученных карт характеристик наземных экосистем и других данных для получения сводных статистических данных;

- Ведение специализированных архивов агрегированной информации о состоянии наземных экосистем;

- Предоставление растровых и векторных тематических информационных продуктов, спутниковых данных и сопутствующей картографической информации посредством картографического интерфейса;

- Предоставление агрегированной информации о состоянии наземных экосистем в виде OLAP-кубов посредством BI-интерфейсов;

- Предоставление в составе интерфейсов анализа данных инструментов распределенного анализа информации о лесах, получаемой на основе спутниковых данных.

Подробное описание структуры и возможностей информационного сервера действующего прототипа ЦИУ приведено в Приложении В, здесь же будут даны краткие характеристики его возможностей и наиболее значимых элементов.

Как уже отмечалось, действующий прототип ЦИУ в настоящее время реализован на вычислительных мощностях ЦКП «ИКИ-Мониторинг», его интерфейсы на момент создания отчёта доступны по адресу <http://carbon.geosmis.ru> (в ходе дальнейшего развития ИАС веб-адрес системы может измениться). В то же время, на основе анализа необходимого функционала, который должен реализовываться в рамках ЦИУ ИАС, была подобрана необходимая конфигурация программно-аппаратных комплексов (ПАК), способных обеспечить выполнение требуемых функций. Ядром аппаратной инфраструктуры является набор ПАК гиперконвергентной виртуализации для обеспечения доступа и ведения баз данных, сопряженный с высокопроизводительной расширяемой дисковой системой хранения для архивации данных. Также в состав

аппаратной инфраструктуры входит выделенный комплекс платформ для вычислений, система обеспечения безопасности, а также комплекс обеспечения управления и координации ИАС. Список оборудования, входящего в состав аппаратной инфраструктуры, приведён в Таблице 2.1

Таблица 2.1 – Аппаратная инфраструктура действующего прототипа
ЦИУ ИАС «Углерод-Э»

Тип	Наименование	Кол-во
<i>Ядро системы</i>	ПАК Гиперконвергентной виртуализации "Helius" minimum	5
<i>Вычислительная</i>	Сервер U2 Гравитон C1041И (VROC) / Xeon 6248R, RAM 96G, 4x960G NVMe U.2, Intel VROC key, 10G NIC	2
<i>Хранение</i>	ПАК СХД (Raidix) ПХ424И24БМ-РЭ (Всего HDD 336 x 18T HGST)	1
	Дисковая корзина расширения JBOD 78 (-6 hs disks per unit)	4
<i>Сетевая коммутация</i>	Коммутатор ELTEX MES5448	4
<i>Электропитание</i>	ИБП 20 кВА СИП380А20КД.10-33/БПС - 1 шт. + БМСИПБ15-20КД - 6 шт.	1
<i>Общая</i>	АРМ ПК	10
<i>Вычислительная</i>	Сервер U2 QSRV-261202R/ 2xXeon 6248R, RAM 768G, HDD 12x4T SATA, RAID-card, SSD 2x1T, 10G NIC	14
<i>Сетевая коммутация</i>	Коммутатор QSW-3310-28TX 4x10G,24x1G	4
<i>Безопасность</i>	ПАК Сетевой шлюз безопасности UTM	2
<i>Общая</i>	Видеостена (Средства связи, выполняющие функцию цифровых транспортных систем) комплект	1

Полная спецификация закупаемых программно-аппаратных комплексов приведена в Приложении Г.

2.4.2 Специализированный блок автоматизированного ведения архивов информации о лесах

В состав действующего прототипа центрального узла ИАС «Углерод-Э» входят средства для ведения архивов информации о лесах различных типов. В рамках прототипа реализуются архивы векторной информации о пройденных пожарами площадях; архивы растровой информации (карт); архивы данных, сформированные для поддержки работы аналитических инструментов анализа.

В состав блока входит специализированное ПО, предназначенное для ведения соответствующих архивов, и общесистемное, реализующее управление и мониторинг процессов [31], а также ПО, обеспечивающее диспетчеризацию файловых потоков.

Программные средства представлены наборами утилит и скриптов, ориентированных на работу в консольном режиме под управлением операционной системы UNIX (FreeBSD). Запуск и контроль за выполнением утилит осуществляется средствами программного пакета мониторинга процессов PMS (Process Monitoring System). Диспетчеризация файловых потоков реализована с использованием пакета DDS (Data Distribution System).

Ведение архива пройденных пожарами площадей

Входной для архива пройденных пожарами площадей является информация об отдельных термических аномалиях, детектированных на основе наблюдений различными спутниковыми системами, в файловом формате. Средства пополнения БД в полностью автоматическом режиме обрабатывают информацию исходных данных и формируют следующие векторные наборы данных, аннотированные по картам лесов:

- полигоны отдельных термических аномалий;
- полигоны очагов горения, объединенные по сеансам наблюдений;
- полигоны пожаров, объединяющие предшествующие очаги горения по критерию пространственно-временной близости.

В число формируемых характеристик векторных объектов входят пройденная огнем лесная площадь [32], а также максимальные значения радиационной мощности пожаров [33].

Следующим этапом обработки информации о пройденных пожарами площадях является ее аннотация по картам территориального деления, в частности, карте субъектов Российской Федерации. Блок аннотации в автоматическом режиме производит ведение БД отчетности о пожарах, пополняя ее данными аннотации, такими как площади, пройденные

пожарами в границах субъектов РФ за каждые сутки наблюдения, данными о точках возникновения пожара и другими.

Ведение архивов растровой информации о лесах

Базовой технологией ведения архивов растровой информации о лесах является применяемая при построении ЦКП «ИКИ-Мониторинг» технология и ПО «UNISAT» [29]. Входными данными для архива растровой информацией являются растровые файлы в форматах GeoTIFF, ERDAS Imaging и др., дополненные метаданными, описывающими базовые атрибуты комплектов данных – идентификаторами продукта, сведениями о фрагментах и т.д. Входящий поток данных может быть сформирован как автоматическими средствами, обеспечивающими поступление информации с различных источников, так и в автоматизированном режиме, подразумевающим размещение файлов данных с аннотацией во входных директориях оператором. Ведение архивов производится путем автоматического выполнения утилит импорта данных для пополнения БД архива, а также внесением информации (описания) импортируемых информационных продуктов в БД каталога.

Ведение баз данных BI-аналитики

Для обеспечения работы создаваемых в рамках прототипа узла аналитических инструментов в блоке ведения архивов проводится консолидация растровых и векторных картографических материалов. Информация из специализированных реляционных БД, таких как БД пожаров и отчетности, преобразуется в многомерные OLAP-кубы посредством инструментов и утилит, ориентированных на работу с ПО Contour BI Portal, Contour Reporter как в автоматическом, так и автоматизированном режиме [34], [35].

Для пополнения архивов, предназначенных для обеспечения работы BI-аналитики, в блоке используются:

- Утилита предобработки и ввода в базу данных (БД) информационных растровых карт различных характеристик лесов (растровых карт), производящая разбиение исходной карты на тайлы размером 256x256 пикселей, загрузку тайлов в таблицы БД (с сохранением информации об их геопривязке), а также расчет метаданных для работы последующих блоков;

- Утилита предобработки и ввода в БД полигонов векторных карт, в границах которых предполагается осуществлять анализ растровых карт, которая обеспечивает загрузку массивов полигонов (формата .shp) в БД (с сохранением информации об их

геопривязке) и нарезку загруженных полигонов на фрагменты (путем пересечения их с границами тайлов растровых карт);

– Средство анализа характеристик растровых карт в границах полигонов векторных карт, проводящее анализ наличия пикселей каждой группы в пределах границ частей всех полигонов и подсчет их количества, а также расчет площадей, занимаемые каждой группой пикселей. Вся полученная в результате работы блока информация заносится в БД в виде, ориентированном на ее анализ инструментами BI-аналитики.

2.4.3 Базовые инструменты распределенного анализа информации о лесах получаемой на основе спутниковых данных.

В рамках действующего прототипа ИАС «Углерод-Э» создан набор инструментов, обеспечивающий распределенную работу с информацией, получаемой на основе спутниковых данных. Данные инструменты обеспечивают, в частности, следующие возможности:

совместный распределенный анализ пространственной информации, поступившей в архивы центрального узла, средствами картографического интерфейса;

распределенный анализ информации, представленной в виде табличных форм;

применение средств BI-аналитики, позволяющих проводить гибкий анализ данных о лесах в форме таблиц, картограмм и графиков.

Ниже представлено краткое описание основных возможностей и особенностей инструментов, реализованных в действующем прототипе системы. Более подробно описание данных возможностей представлено в Приложение В.

Картографический веб-интерфейс

Анализ и обработка различных пространственных данных осуществляется в системе с помощью картографического веб-интерфейса, созданного на основе технологии и ПО «GEOSMIS». Стандартные возможности картографического интерфейса прототипа узла, в частности, позволяют:

проводить выбор данных, просматривать, сравнивать и формировать для последующего анализа наборы спутниковых данных UNISAT, накопленных как в центральном узле ИАС, так и в распределенном архиве ЦКП «ИКИ-Мониторинг»;

анализировать изменения земного покрова на территории России на основе временных рядов карт типов наземных экосистем;

проводить с помощью специализированных инструментов интерактивный анализ и обработку доступных спутниковых данных (в том числе, разновременных) и результатов их обработки с использованием удалённых вычислительных ресурсов, предоставляемых системой. В качестве примера можно привести инструменты обучаемой и необучаемой классификации, сегментации, расчёта спектральных индексов, цветовой коррекции и т.д.;

анализировать с помощью графиков временные ряды, а также пространственные и спектральные профили данных;

проводить измерение характеристик протяженности и площади различных объектов, а также расчёт их статистических характеристик;

готовить презентационные материалы на основе имеющихся данных для иллюстрации различных явлений и процессов.

Картографический интерфейс с включённым отображением карты типов наземных экосистем России приведён на рисунке 2.3.

Инструменты табличного анализа данных

Одним из инструментов, позволяющих численно оценивать не только оперативную информацию, но и исследовать накопленные данные о лесах, производя пространственно-временной анализ, является система отчетности. Инструменты позволяют формировать отчеты по имеющимся в архивах ИАС данным в табличном виде, обеспечивать возможность их экспорта в форматы .xls и .pdf. В частности, пользователям доступны инструменты просмотра сводных отчетов о лесных пожарах, ведомости наблюдения активного горения в сутках, а также, сравнительный отчет о лесных пожарах за разные годы. Пример сводного отчёта о пожарах на территорию Курской области приведён на рисунке 2.4

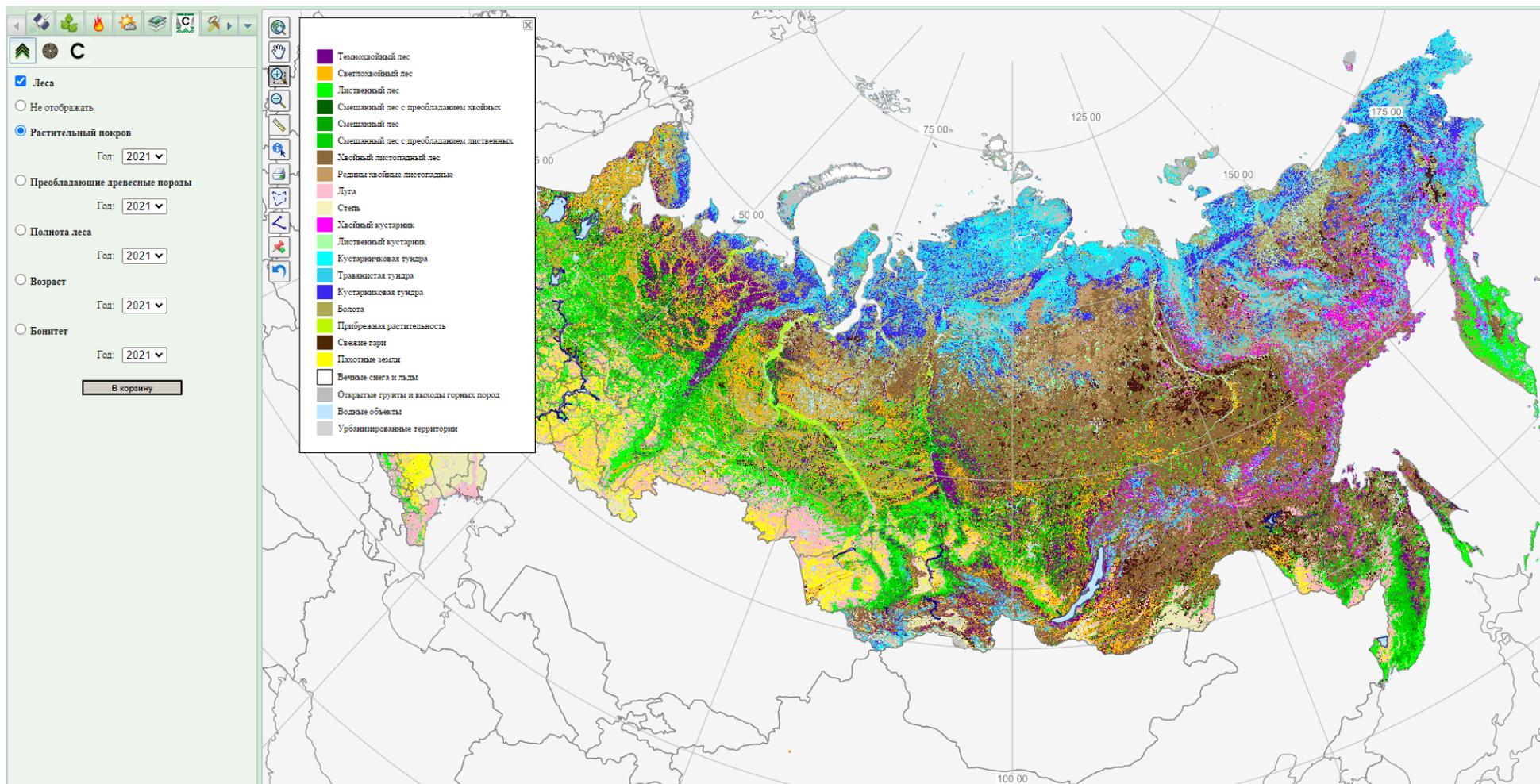


Рисунок 2.3 – Картографический интерфейс ЦИУ ИАС «Углерод-Э»

VI-инструменты для анализа данных

Для анализа информационных продуктов высокого уровня обработки на базе VI-технологий в рамках прототипа реализуются специальные инструменты, обеспечивающие пространственный и временной анализ данных. Инструменты позволяют проводить оценку динамики характеристик лесного покрова на различных уровнях интеграции от отдельных участков до субъектов Российской Федерации, в том числе для оценки повреждений лесов пожарами и определения площади погибших лесов, что необходимо для подготовки национального кадастра парниковых газов. Пространственный и временной анализ информации возможен в табличной, графической и картографической формах. Инструмент позволяет гибко управлять атрибутивными разрезами данных и их фильтрацией. Интерактивные формы позволяют сохранить полученный результат, экспортировав его в один из форматов (word, excel, html, pdf для табличных данных, либо png для карт и графиков). Пример интерфейса VI-аналитики для анализа запасов углерода, агрегированных по регулярной сетке на всю территорию России, приведён на рисунке 2.5.

Инструменты анализа временных серий

При решении конкретных задач показал востребованность и эффективность инструмент анализа данных, представляющих протяженные серии из большого количества отдельных наблюдений в виде графиков. Применение таких инструментов позволяет оценивать временной ход различных индикаторов, построенных по многолетним данным о лесах и по спутниковым данным архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг», в том числе о повреждениях и площадях погибших лесов. Примеры интерфейса анализа графиков временной динамики повреждений лесов на примере Дальневосточного Федерального округа и соответствующая ему табличная форма приведены на рисунках 2.6 и 2.7.

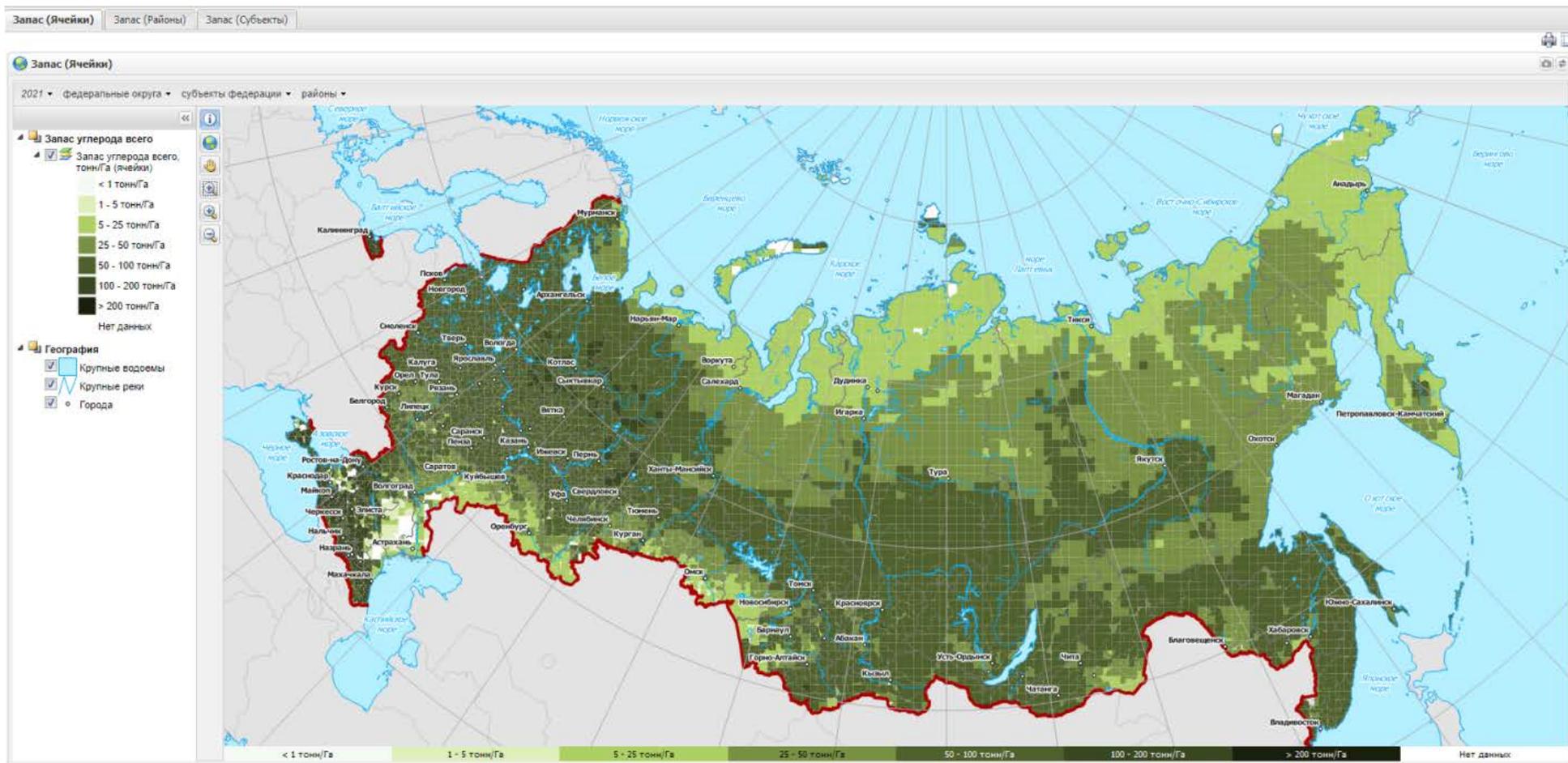


Рисунок 2.5 – Интерфейс картографической VI-аналитики

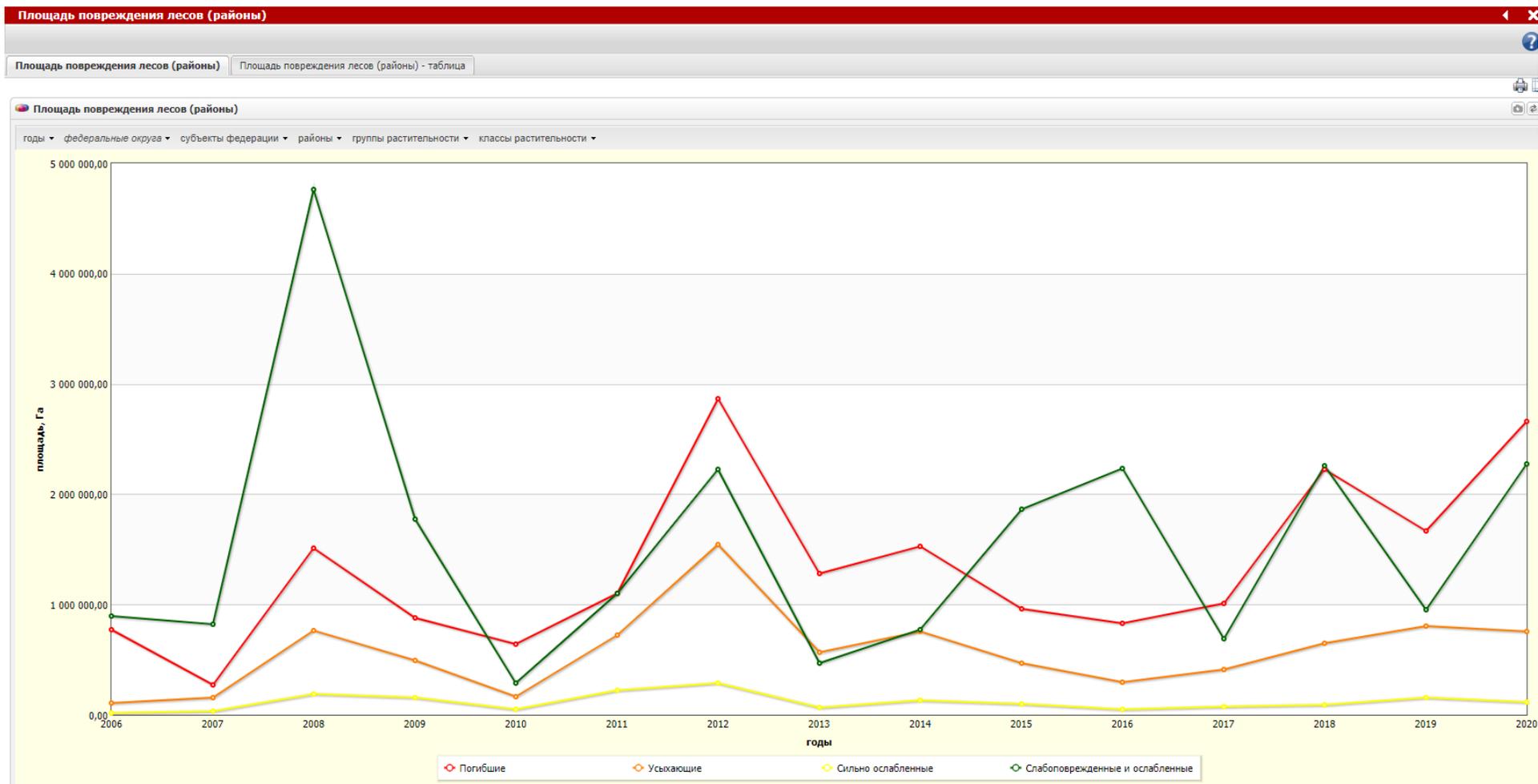


Рисунок 2.6 – Интерфейс анализа графиков временной динамики площади повреждений лесов пожарами

Площадь повреждения лесов (районы)

Площадь повреждения лесов (районы) - таблица

Навигатор полей

Фильтры

федеральные округа: Дальневосточный федеральный округ

субъекты федерации: Амурская обл.; Еврейская а.обл.; Забайкальский край; Камчатский край; Магаданская обл.; Приморский край; Республика Бурятия...

районы: Абыйский; Агинский; Акшинский; Алданский; Александрово-Заводский; Александровск-Сахалинский; Аллаиховский; Амгинский; Амурский...

группы растительности: Леса

Строки

классы растительности: Все

Колонки

годы: Все

Площадь повреждения лесов (районы) - таблица

классы растительности		годы										Итого
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Итого	7,82	3 148 560,39	6 924 768,70	2 388 905,81	3 178 570,56	3 396 666,68	3 401 237,24	2 182 807,41	5 219 050,52	3 583 075,70	5 809 705,47	53 967 289,24
 Слабовожденные и ослабленные	14,93	1 098 976,34	2 227 857,05	469 582,72	770 419,73	1 860 667,57	2 229 221,87	692 000,77	2 253 741,02	952 967,05	2 277 530,15	23 375 340,91
 Сильно ослабленные	09,75	225 422,77	284 628,45	69 579,37	130 075,81	101 605,03	49 964,05	71 330,36	89 284,62	158 086,36	117 231,69	1 742 949,20
 Усыхающие	15,41	720 185,89	1 547 044,63	565 220,63	753 179,62	471 381,32	294 457,27	412 958,56	650 416,08	802 397,78	758 601,87	8 653 863,39
 Погибшие	27,73	1 103 975,39	2 865 238,57	1 284 523,09	1 524 895,40	963 012,76	827 594,05	1 006 517,72	2 225 608,80	1 669 624,51	2 656 341,76	20 195 135,74

Рисунок 2.7 – Табличная форма анализа временной динамики площади повреждений лесов пожарами

2.5 Заключение к разделу 2

Таким образом, на настоящем этапе в соответствии с техническим заданием выполнены следующие основные работы:

- Проведен анализ основных задач и требований к ИАС «Углерод-Э»;
- Проведен выбор базовых технических и инфраструктурных решений по организации работы с данными при построении ИАС «Углерод-Э»;
- Разработаны предложения по архитектуре и составу ИАС «Углерод-Э»;
- Разработаны технические и функциональные требования к центральному узлу ИАС «Углерод-Э»;
- Разработаны функциональные требования к специализированным узлам ИАС «Углерод-Э»;
- Разработаны предложения по развитию ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в интересах обеспечения возможностей ИАС «Углерод-Э»;
- Разработан и введен в опытную эксплуатацию действующий прототип центрального узла ИАС «Углерод-Э»;
- Реализован функционал дистанционной оценки повреждений лесов пожарами и определения площади погибших лесов для предоставления информации, необходимой для подготовки национального кадастра парниковых газов;
- Подготовлены предложения по развитию ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в интересах обеспечения возможностей ИАС «Углерод-Э», в том числе организована закупка технических ресурсов для его дальнейшего развития.

Созданная и введенная в опытную эксплуатацию первая очередь действующего прототипа ИАС «Углерод-Э» позволяет работать со значительным объемом информации, получаемой на основе спутниковых данных и необходимой для мониторинга запасов углерода в лесных экосистемах, что позволяет не только решать задачи проекта, связанные с разработкой методов и подходов к сбору, обработке и анализу данных, но и отрабатывать новые подходы и методики подготовки национальной.

3 Оценка запасов и баланса углерода в лесах России на основе многолетних спутниковых данных и анализ полученных результатов

3.1 Концепция метода и комплексной технологии национального спутникового мониторинга углерода лесов России на основе данных ДЗЗ, выборочных наземных измерений и моделирования

Необходимость получения регулярно актуализируемой информации о запасах и динамике углерода в лесах России требует разработки комплексной технологии мониторинга, способной обеспечить ежегодный охват всей территории страны, отвечающей требованиям полноты и пространственной детальности оценок параметров углеродного бюджета при известном уровне их неопределенности. Достижение этой цели в современных условиях может быть обеспечено на основе оптимального сочетания данных ДЗЗ из космоса, выборочных наземных измерений и комплекса моделей, совокупное использование которых создает необходимые предпосылки для получения информации о породно-возрастной структуре лесов, их биомассе и продуктивности, деструктивных нарушениях вследствие природных и антропогенных воздействий, служит основой для оценки параметров бюджета углерода (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Концептуальная схема организации мониторинга углерода лесов

В рамках предлагаемой концепции основным источником данных для получения ежегодных карт характеристик лесов и информации об их повреждении являются спутниковые данные (рисунок 3.1). Для решения задач мониторинга углерода в лесах необходимо использовать данные ДЗЗ, отвечающие следующей совокупности требований:

- наличие данных радиометрически калиброванных и скорректированных на влияние атмосферы измерений отраженного земной поверхностью излучения в необходимом наборе спектральных диапазонов, позволяющих, в частности, оценивать характеристики растительности (красный и ближний инфракрасный - ИК), выявлять вызванные нарушениями отклонения в ее состоянии (средний ИК);

- высокое временное разрешение спутниковой съемки, обеспечивающее полное ежедневное покрытие территории страны данными ДЗЗ и, как следствие, возможность мониторинга быстрых изменений спектрально-отражательных характеристик земного покрова, вызванных, в частности, фенологической динамикой лесной и другой растительности, изменениями ее состояния под воздействием природных и антропогенных деструктивных факторов;

- наличие однородного многолетнего архива данных спутниковой съемки, способного обеспечить возможности долгосрочного мониторинга характеристик лесов и ассимиляции получаемой информации в модели роста древостоев для оценки параметров, не подлежащих непосредственной оценке дистанционными методами.

При этом при рассмотрении множества спутниковых систем ДЗЗ, удовлетворяющих совокупности вышеприведенных требований, целесообразно стремиться к использованию данных с наиболее высоким пространственным разрешением. В настоящее время совокупности указанных требований в наибольшей степени отвечают следующие функционирующие спутниковые системы ДЗЗ:

- MODIS, спутники Terra и Aqua, пространственное разрешение 250 м и 500 м;
- VIIRS, спутник Suomi NPP, пространственное разрешение 375 м;
- MSI, спутник Sentinel-3, пространственное разрешение 300 м.

Регулярная дистанционная оценка показателей лесов, необходимых для мониторинга параметров их бюджета углерода, предполагает использование непрерывных временных рядов данных спутниковых измерений спектрально-отражательных характеристик земного покрова, описывающих его динамику в различные сезоны года, включая фенологические периоды активной вегетации и состояния зимнего покоя растительности. Формирование такого рода непрерывных временных рядов спектрально-отражательных характеристик достигается проведением на первом этапе специализированной предварительной обработки данных ДЗЗ, направленной на

выявление и фильтрацию измерений, искаженных влиянием облаков или отбрасываемых ими теней, наличием неустойчивого или фрагментарного снежного покрова (включая, снег на кронах деревьев), аномальными геометрическими условиями наблюдения. Очищенные от влияния факторов, искажающих измерения спектрально-отражательных характеристик земного покрова, данные ДЗЗ служат основой дальнейшей реконструкции непрерывных многолетних временных рядов многоспектральных композитных спутниковых изображений [2], [21]. Полученные в зимний период времени данные спутниковой съемки используются для построения радиометрически нормализованных безоблачных композитных спутниковых изображений покрытой снегом земной поверхности, характеризуемые повышенным яркостным контрастом между древесной растительностью и свободной от нее территорией, а также снижением вариабельности их спектрально-отражательных характеристик [23]. Формируемые в результате предварительной обработки временные ряды ежедневных композитных изображений на всю территорию России используются при построении и динамическом обновлении спутниковых карт ключевых характеристик лесов страны для национального мониторинга углерода наземных экосистем.

Настройка параметров алгоритмов классификации земного покрова, калибровка моделей оценивания характеристик лесов, а также верификация получаемых методами ДЗЗ результатов, предусматривает использование набора опорных данных, отвечающих требованиям репрезентативности: статистической, тематической (представленность полного набора распознаваемых классов и диапазона значений оцениваемых характеристик) и географической (охват различных лесорастительных условий). В качестве потенциальных источников информации для формирования опорных данных могут служить результаты следующих видов выборочных наземных обследований лесов:

- таксация лесов на пробных площадях;
- поведельная таксация лесов;
- лесопатологическая оценка насаждений на пробных площадях;
- комплексная оценка лесов на сети тестовых полигонов.

Следует отметить, что упомянутые информационные источники характеризуются существенными ограничениями при их использовании для формирования опорных данных с целью калибровки и верификации результатов дистанционного мониторинга лесов, а именно:

- типичные размеры пробных площадей (как правило, диаметр составляет 25-30 м) во многих случаях не позволяют репрезентативно характеризовать лесной покров участков, соответствующих пикселям спутниковых изображений пространственного

разрешения 250-500 м, наиболее часто используемых для решения задач мониторинга бюджета углерода лесов в масштабах страны;

– лесоустроительные данные по выделной таксации лесов, помимо упомянутых ранее ограничений по актуальности и точности данных, характеризуются пространственно нерегулярной агрегацией характеристик лесов, ограничивающей возможности непосредственного их сопоставления с пикселями спутниковых изображений, имеющих регулярную структуру и, как правило, более высокую пространственную детальность;

– состав собираемых на типичных пробных площадях данных и материалы лесоустройства, как правило, позволяют характеризовать пулы углерода древесной растительности, но не несут информации, необходимой для оценки пулов живого напочвенного покрова и почв.

Указанные ограничения имеющихся источников информации с целью формирования опорных данных для дистанционного мониторинга бюджета углерода лесов могут быть частично преодолены путем специализированной пространственной фильтрации, направленной на селекцию пробных площадей с высокой степенью спектрально-яркостной однородности их ближайшего окружения или на отбор внутренне однородных по спектрально-отражательным характеристикам выделов. При этом в качестве основы для проведения такого рода фильтрации могут быть использованы спутниковые изображения более высокого (10-30 м) пространственного разрешения.

Вместе с тем наиболее системное перспективное решение проблемы формирования опорных данных, в более полной мере отвечающих требованиям проведения калибровки и верификации результатов дистанционного мониторинга углерода лесов, может быть обеспечено созданием на территории страны сети тестовых полигонов, характеризующихся достаточно большим площадным охватом (2x2 км и более), пространственной регулярностью эталонных значений требуемых показателей и высоким уровнем их достоверности, что может быть достигнуто за счет глубокого комплексирования материалов выборочных наземных измерений на пробных площадях, аэросъемки с БПЛА (многоспектральная съемка, лазерное сканирование и др.) и спутниковой съемки высокого (10-30 м) разрешения. При этом комплексное использование материалов спутниковой съемки и репрезентативной информации выборочного наземного обследования позволит обеспечить непрерывное регуляризованное покрытие опорными данными достаточно больших по площади тестовых полигонов при одновременном сохранении высокого уровня их пространственной детальности, тематической полноты и достоверности.

Предлагаемой концепцией предусмотрено использование выборочных наземных данных для обучения моделей и классификаторов с целью определения основных характеристик лесов, необходимых для оценки их пулов и бюджета углерода, на основе спутниковых данных ДЗЗ, а также валидации полученных результатов (рисунок 3.1). Как уже упоминалось выше, важным источником опорной информации могут являться материалы ГИЛ, включая таксационные данные на уровне выделов (АЦО) и постоянных пробных площадей (ППП). Необходимая многоэтапная фильтрация предусматривает отбор наиболее достоверных данных АЦО с исключением ошибок и претерпевших изменения выделов на основе существующих геоинформационных продуктов, отражающих типы земного покрова и участки нарушенных лесов (с указанием года нарушения). Использование моделей хода роста лесов дает возможность дополнительной проверки взаимной согласованности различных характеристик насаждений. Кроме того, применение моделей хода роста позволяет компенсировать влияние фактора одновременности сбора наземных данных при лесоустройстве за счет приведения некоторых наиболее динамичных характеристик леса, таких как, например, запас стволовой древесины, к скорректированным значениям на единый для всей территории страны опорный год.

Прошедшие предварительную фильтрацию материалы АЦО могут служить, в частности, источником опорной информации для обучения классификатора при картографировании различных типов земного покрова и преобладающих пород древесно-кустарниковой растительности по данным ДЗЗ. При этом формирование опорных данных по материалам АЦО необходимо проводить таким образом, чтобы площадь всего или большей части отбираемых опорных участков, согласованных по размерам с пространственным разрешением используемых для картографирования данных ДЗЗ, соответствовала одному типу земного покрова и насаждениям одной преобладающей породы. Кроме того, материалы АЦО позволяют формировать опорные выборки по таким характеристикам лесов, как их относительная полнота и класс бонитета.

Формирование опорной выборки данных о запасах стволовой древесины лесов предусматривает совместный анализ результатов обработки материалов АЦО и ППП ГИЛ. При этом необходимо построение модели взаимосвязи измерений запаса на ППП (включающих деревья всех ярусов, в том числе сухостой и подрост) и известных по выдельным характеристикам леса согласно АЦО, включая запас основного яруса насаждений, преобладающую породу, бонитет, возраст и полноту. Применение указанной модели к результатам обработки материалов АЦО позволяет получить пространственно распределенные оценки запасов древесины на уровне таксационных выделов,

скорректированные для учета всех пулов углерода надземной древесной фитомассы. Скорректированные материалы АЦО могут использоваться для формирования обучающей выборки, согласованной с размерами пикселей спутниковых данных ДЗЗ, применяемых для картографирования лесов страны.

Решение задач дистанционной оценки повреждений лесов пожарами и другими деструктивными факторами требует соответствующих опорных данных, формируемых с использованием материалов наземного обследования. Как упоминалось выше, одним из возможных источников такого рода данных могут служить материалы сети пробных площадей лесопатологического мониторинга поврежденных лесов, включающие оценку степени дефолиации и дехромации крон деревьев. При использовании такого рода выборочных данных для дистанционной оценки повреждений лесов требуется предварительная фильтрация пробных площадей по критерию спектрально-отражательной однородности участков леса, соответствующих пикселям спутниковых изображений пространственного разрешения 250-500 м. Такого рода фильтрация по критерию однородности требует проведения дополнительного анализа ближайшей окрестности пробных площадей по данным высокого (10-30 м) пространственного разрешения. В качестве опорных данных о гибели лесов может также использоваться информация лесоустройства, включающая категории гарей и погибших насаждений в материалах по выделной таксации насаждений, а также результаты экспертной оценки степени повреждения лесов на основе данных высокого пространственного разрешения.

В рамках предлагаемой концепции оценки углеродного баланса растительной биомассы лесов предполагается моделировать накопление углерода в наборе пулов, которые касаются накопления углерода в фитомассе, стволах, листьях, ветвях корнях, подросте и живом надпочвенном покрове, и в пулах накопления древесной мортмассы: в сухостое, валеже, пнях и древесном отпаде. Метод оценки углеродного баланса лесов наряду с рядом лесотаксационных характеристик лесов, получаемых на основе спутниковых данных, также использует ряд моделей, таких как:

- модели хода роста лесов, связывающие ряд лесотаксационных показателей в процессе роста насаждения;
- модели конверсии объема стволовой фитомассы в углерод;
- модели объема древесной мортмассы;
- модели живого надпочвенного покрова и подроста.

Входными параметрами моделей служат динамические карты характеристик лесов, получаемых по данным спутниковой съемки. Разработанные к настоящему времени методы ДЗЗ из космоса обеспечивают возможность регулярного получения ряда

ключевых характеристик, необходимых для оценки бюджета углерода лесов в масштабах страны, включая их запас стволовой древесины, породную и возрастную структуру, класс бонитета (продуктивности). Комплексное использование данных ДЗЗ с результатами выборочных наземных измерений характеристик древостоев на репрезентативной сети пробных площадей открывает возможности получения верифицированных оценок параметров бюджета углерода в растительной биомассе лесов России, обладающих высоким уровнем пространственной детальности при их ежегодной актуализации.

Предлагаемая концепция комплекса технологий национального спутникового мониторинга углерода лесов России, структура которого представлена на рисунке 3.2, основана на совместном использовании данных из различных источников и моделей, описывающих динамику насаждений и взаимосвязи между различными их характеристиками.

Практическая реализация предлагаемой концепции мониторинга углерода в лесах России сопряжена с необходимостью разработки комплекса автоматизированных технологий, обеспечивающих предварительную и тематическую обработки данных ДЗЗ с использованием выборочных наземных обследований и моделей, которые сгруппированы согласно решаемым задачам (рисунок 3.2).

Технологии предварительной обработки спутниковых данных позволяют регулярно формировать временные ряды данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения (100-500 м) и высокого пространственного разрешения (10-30 м) для решения задач национального мониторинга углерода наземных экосистем.

Блок оценки характеристик ненарушенных лесов включает следующий ряд технологий:

- технологии динамического картографирования типов наземных экосистем;
- технология динамического картографирования преобладающих древесных пород лесов;
- технология динамического картографирования относительной полноты лесов;
- технология динамического картографирования запасов стволовой древесины лесов;
- технология картографирования классов возраста лесов;
- технология картографирования классов бонитета лесов.

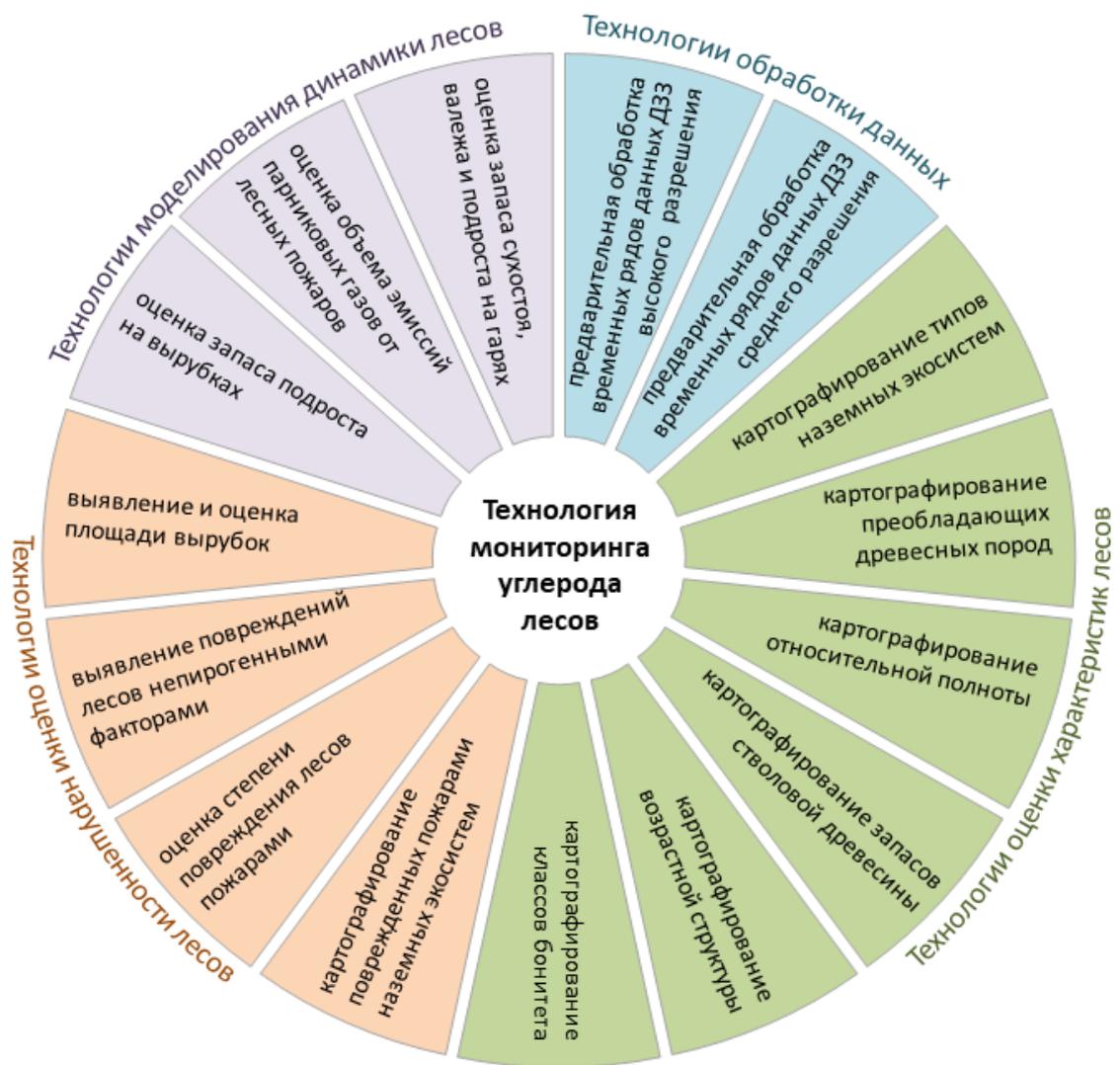


Рисунок 3.2 – Структура комплекса технологий национального спутникового мониторинга углерода лесов России

Отдельный блок касается оценки нарушений лесов и состоит из следующего набора технологий:

- технология динамического картографирования поврежденных пожарами наземных экосистем;
- технология оценки степени повреждения лесов пожарами;
- технологии выявления повреждений лесов непирогенными деструктивными факторами;
- технология выявления и оценки площади сплошных рубок в лесах на основе временных рядов спутниковых данных ДЗЗ высокого (10-30м) пространственного разрешения.

Последний блок технологий касается моделирования характеристик лесов, которые невозможно оценить напрямую на основе исходных данных ДЗЗ или продуктов их тематической обработки, и включает следующие технологии:

– технология ежегодной оценки объема стволовой древесины сухостойных деревьев, валежной древесины и древесного подроста на гарях на основе временных рядов данных ДЗЗ и моделей хода роста лесов;

– технология оценки объема прямых (во время горения) и послепожарных эмиссий в атмосферу парниковых газов от лесных пожаров;

– технология ежегодной оценки объема стволовой древесины подроста на вырубках лесов на основе временных рядов спутниковых данных ДЗЗ среднего и высокого пространственного разрешения, а также моделей хода роста лесов.

Результаты работы всех представленных технологических этапов позволяют сформировать необходимые входные данные для автоматизированной технологии ежегодного мониторинга углерода в пулах растительной биомассы лесов России.

Описанные в настоящей концепции методические подходы и технологии в своей совокупности обеспечивают возможность ежегодного получения оценок различных пулов углерода в лесах России на основе комплексного использования методов ДЗЗ из космоса, данных выборочных наземных наблюдений и комплекса моделей.

3.2 Метод оценки запасов и баланса углерода лесов на основе спутниковых данных ДЗЗ

Предложенный метод оценки запасов и баланса углерода в лесах России основывается на динамически обновляемых спутниковых картах лесов, описанных в разделе 3.1, и наборе актуальных моделей, связывающих характеристики насаждений между собой. Метод оценки включает в себя следующие, описанные в следующих разделах отчета, этапы:

- 1) вычисление запаса углерода различных пулов фитомассы и мортмассы лесов;
- 2) моделирование нарушений в лесах.

3.2.1 Оценка углерода в ненарушенных лесах

В основе оценки запасов и баланса углерода лежит набор методов вычисления углерода фитомассы и мортмассы в ненарушенных лесах. Подробная схема вычисления представлена на рисунке 3.3. На схеме выделяются три основных компонента – оценка

запасов углерода в пулах фитомассы, оценка объема фракций мортмассы и запасов углерода их пулах и моделирование запасов углерода подроста и напочвенного покрова.



Рисунок 3.3 – Схема оценки запасов углерода в пулах фитомассы и мортмассы ненарушенных лесов

Оценка объема и углерода пулов мортмассы

Метод позволяет оценить запасы углерода следующих пулов мортмассы – сухостой, валеж (элементы свыше 1 см), пни и сухие ветви. Схема оценки показана в нижнем левом углу рисунка 3.3 и базируется на регрессионных моделях, ранее разработанных в ИААСА (International Institute for Applied Systems Analysis). Объем всех четырех пулов мортмассы вычисляется с помощью коэффициентов конверсии на основе данных о сырорастущем запасе стволовой древесины в лесах.

Для сухостоя и валежа коэффициент конверсии оценивается в два этапа. Сначала оценивается средний коэффициент $R_{\text{сух/валеж}} C = a11 \cdot \exp(-b11 \cdot A) + a12 \cdot \exp(b12 \cdot A)$, где A – возраст, C – средний класс бонитета, а $a11$, $b11$, $a12$, $b12$ – модельные коэффициенты, рассчитанные для разных пород и экорегионов России на основе данных наземных наблюдений.

Затем проводится коррекция на продуктивность (бонитет) насаждений используя величину межбонитетного интервала $\Delta = a21 \cdot \exp(-b21 \cdot A) + a22 \cdot \exp(b22 \cdot A)$, и корректирует

на него среднее соотношение на основе формулы $R_{(сух/влж)}SI=R_{(сух/влж)}C+(SI-C)\Delta$. В этих формулах SI – класс бонитета, a_{21} , b_{21} , a_{22} , b_{22} – модельные коэффициенты для конкретных пород и регионов.

Стоит отметить, что данные ДЗЗ позволяют оценивать совокупный запас стволовой древесины живых деревьев и сухостоя. Для выделения сырораствующего запаса из результатов обработки данных ДЗЗ используется формула $GSV_{сыр} = GSV_{ДЗЗ} * (1/(1 + R_{сух}SI))$. После этого запас сухостоя и запас валежа может быть получен умножением коэффициента на сырораствующий запас $GSV_{сух} = GSV_{сыр} R_{сух}SI$ и $GSV_{вал} = GSV_{сыр} * R_{влж}SI$.

В предложенном методе запас сухих ветвей зависит только от породы и возраста леса, а конверсионный коэффициент для него оценивается по формуле:

$$R_{ветви} = c_0 + c_1 * Age + c_2 * Age^2 + c_3 * Age^3 \quad (3.1)$$

где Age – возраст, а c_{0-3} – коэффициенты, зависящие от породы. Тогда объем ветвей равен $GSV_{ветви} = GSV_{сыр} * R_{ветви}$.

Коэффициент соотношения для пней берется из таблиц с данными по разным породам и регионам, а их объем получается по формуле:

$$GSV_{пни} = GSV_{сыр} * R_{пни}(порода, регион). \quad (3.2)$$

Для каждого пула мортмассы были составлены таблицы плотности, одержащие коэффициенты конверсии полученных объемов в массу фракций мортмассы для разных пород и регионов страны. Углерод пулов мортмассы получается умножением массы фракции на 0,5.

Оценка углерода пулов фитомассы

Схема оценки углерода пулов фитомассы приведена в средней верхней части рисунка 3.3. Стоит отметить, что для ее использования необходимы данные о сырораствующем запасе насаждений, получаемые вычитанием из значения полученного по данным ДЗЗ общего запаса лесов величины пулов сухостоя.

Для оценки пулов углерода фитомассы использовались разработанные в ПАСА коэффициенты VCEF [36]. Коэффициенты VCEF были оценены по данным более чем 8000 наземных наблюдений, включающих деструктивные измерения биомассы лесных насаждений. Эти измерения позволили для каждой породы и региона России построить регрессионную зависимость вида:

$$\logit VCEF_{fr} = a_0 + a_1 * \log A + a_2 * \log SI + a_3 * \log RS + a_4 * A + a_5 * RS \quad (3.3)$$

где $BCEF_{fr}$ - конверсионный коэффициент фракции фитомассы fr (ствол с корой, ветви, листья, корни); A - средний возраст древостоя; RS - относительная полнота; SI - класс бонитета; и a_0 - a_5 обозначают коэффициенты модели, полученные на основе наземных данных для территории России.

На основе созданных спутниковых карт различных характеристик лесов можно получить все необходимые для выражения 3.3 входные данные и оценить коэффициенты конверсии. Умножение сырорастущего запаса на коэффициенты конверсии позволяет получить массу ствола, ветвей, корней и листьев: $MASS_{fr} = BCEF_{fr} * GSV_{сыр}$. Углерод данных фракций получается стандартным умножением на величину 0,5.

Пример того, как меняются соотношения разных фракций фитомассы со временем, представлен на рисунке 3.4.

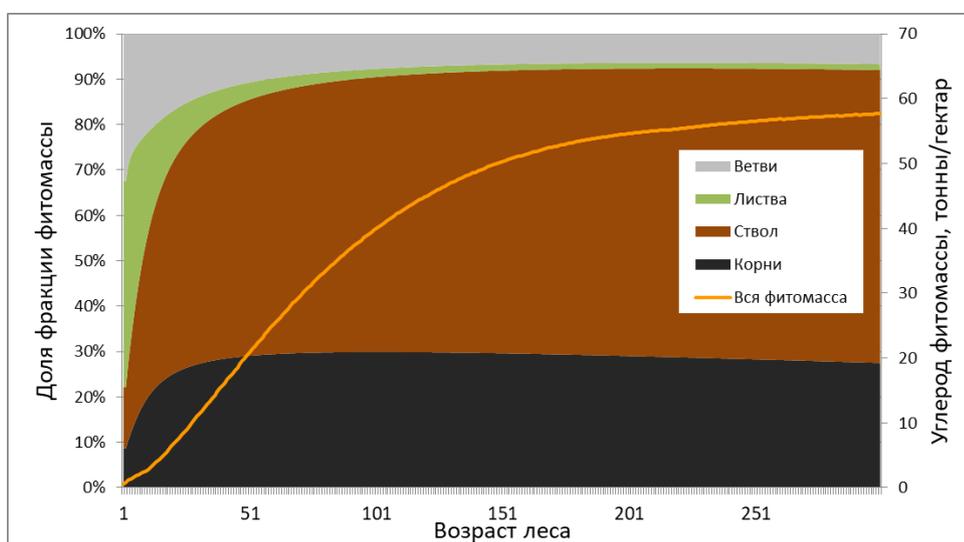


Рисунок 3.4 – Пример динамики суммарного углерода и его доли в различных пулах фитомассы для лиственницы

Моделирование углерода подроста и напочвенного покрова

Метод оценки углерода подроста и наземного покрова приведен в правом нижнем углу рисунка 3.3. Он использует модели динамики фитомассы, описанные в таблицах хода роста [26]. Модели характеризуют зависимость углерода в подросте или наземном покрове от породы, бонитета, полноты и возраста лесов, выраженную в виде уравнения:

$$R_{fr} = c_0 SI^{c_1} A^{(c_2 + c_3 * RS + c_4 * RS^2)} \quad (3.4)$$

где R_{fr} - соотношение массы фракции (подрост или наземный покров, M_{fr}) к сырорастущему запасу (GS), c_0 - c_4 - коэффициенты, зависящие от породы, SI - код бонитета, A - возраст древостоя, а RS - его относительная полнота. Таким образом, масса

подроста и наземного покрова считалась как $M_{fr} = R_{fr} * GSV_{сыр}$, углерод получался умножением на константу 0,5. Примеры динамики запасов углерода в живом напочвенном покрове и подросте представлены на рисунках 3.5 и 3.6.

Стоит отметить, что оцененный методами ДЗЗ запас стволовой древесины включает оценку подроста, в связи с чем углерод подроста не оценивался с помощью модельного подхода.

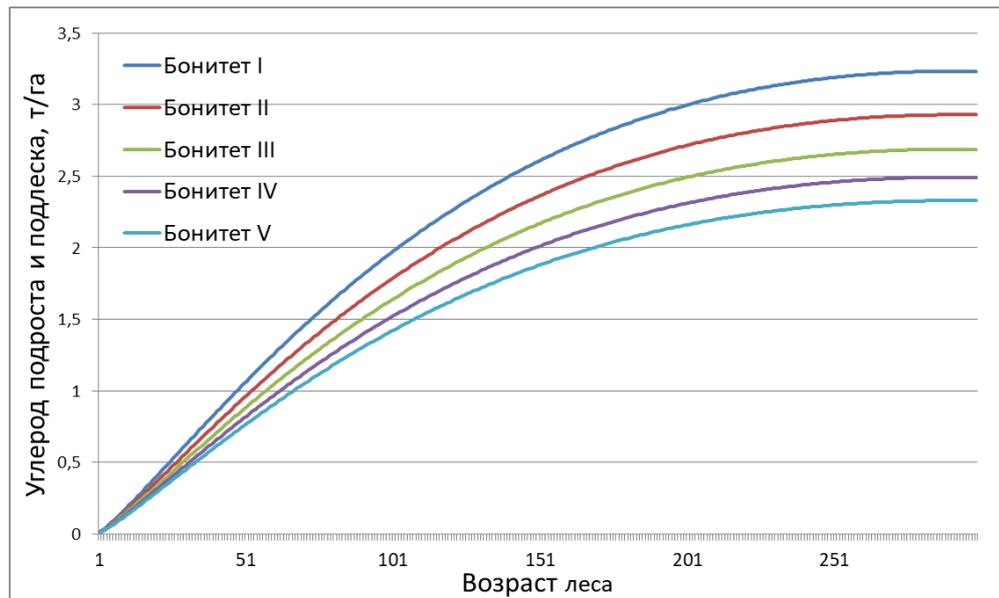


Рисунок 3.5 – Пример динамики углерода в подросте для соснового насаждения с полнотой 0,6

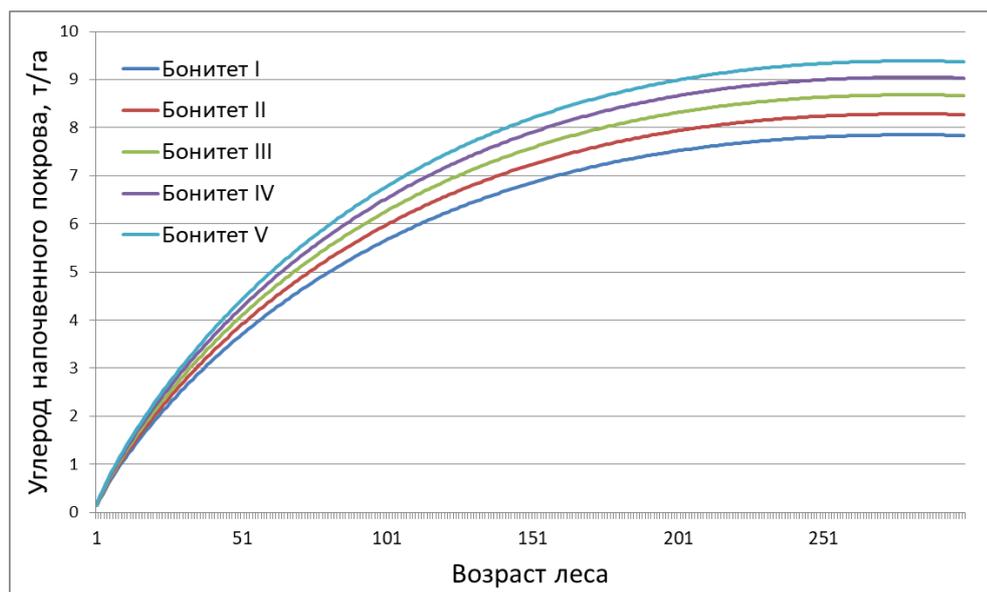


Рисунок 3.6 – Пример динамики углерода в живом напочвенном покрове для соснового насаждения с полнотой 0,6

3.2.2 Оценка углерода в нарушенных лесах

Представленные в разделе 3.2.1 соотношения между сырорастущим запасом стволовой древесины, с одной стороны, и запасом сухостоя, валежа и других фракций, с другой стороны, действительны только для ненарушенных лесов. Оценка углерода в нарушенных лесах требует специального подхода, а общая схема такой оценки представлена на рисунке 3.7. В соответствии с предложенной схемой сначала проводится перераспределение фракций объема фитомассы и мортмассы, а затем моделирование их динамики после нарушения с учетом вывала сухостоя, разложения органических остатков и процессов лесовосстановления.



Рисунок 3.7 – Схема оценки запасов углерода в пулах фитомассы и мортмассы нарушенных лесов

Для реализации этой схемы используются данные оценки гарей, усыханий и рубок, полученные для всех лесов России с 2001 по 2021 годы. Для усыханий и рубок используются ежегодные оценки доли площади в пикселах MODIS. В случае детектирования гарей, приводящих к гибели лесов, их доля принимается равной 100% площади пиксела.

В поврежденных лесах выполняется перераспределение запаса между фракциями. При этом запас валеж остается в соответствующем пуле, а запас пней и сухих ветвей добавляются в пул валежа, что позволяет оценить их долгосрочную динамику. На гарях сырораствующий запас стволовой древесины переводится в сухостой, дополняя советуемый ему пул. На рубках величина сырораствующего запаса изымается, а значение запаса сухостоя добавляется в пул валежа.

Так как оценка углерода выполняется на уровне пикселей пространственного разрешения 230 м, то важно учитывать долю площади нарушенных лесов в пикселе. Метод предполагает разделение запаса в пикселе на две части в соответствии с долей площади нарушенных лесов. В одной части находятся ненарушенные леса, в другой – поврежденные, в отношении которых проводится описанное выше перераспределение запаса. Для нормальных лесов используются значения запасов всех фракций в год предшествующий нарушению, эти значения умножаются на долю площади ненарушенных лесов в пикселе. Учитывается, что доля площади нарушений может увеличиваться со временем, что приводит к уменьшению пулов ненарушенных лесов и росту пулов сухостоя и валежа в нарушенных лесах.

После учета нарушений и перераспределения запасов в пулах фитомассы и мортмассы лесов выполняется оценка их последующей динамики. Так как после возникновения нарушений в лесах данные MODIS в силу низкого пространственного разрешения не позволяют оценить динамику остающихся ненарушенными лесов, для них проводится моделирование динамики на основе моделей хода роста [26] с использованием данных о возрасте, бонитете и породе лесов, имевших место до их повреждения. Модельная оценка прироста запаса ненарушенной части лесов добавляется к его запасу до момента деструктивного воздействия, формируя их ожидаемую динамику.

Для нарушенной части лесов проводится моделирование трех процессов. Во-первых, по моделям хода роста оценивается ход естественного лесовозобновления, считая, что подрост начинает расти сразу после нарушения. Для гарей и усыханий лесов моделируется процесс выпадения сухостоя с использованием оценки динамики запаса по данным ДЗЗ, из которой вычитается запас части ненарушенных лесов и лесовосстановления. Оставшаяся часть запаса при этом может быть отнесена к пулу сухостоя. Кроме этого проводится моделирование процесса разложения сухостоя с применением соответствующих таблиц.

Полученный объем пулов фитомассы и мортмассы лесов позволяет оценить их запасы углерод с использованием выше изложенных подходов (раздел 3.2.1). Для ненарушенных и восстанавливающихся лесов применяются все описанные выше этапы

оценки. Для сухостоя и валежа в нарушенных лесах их пулы углерода оцениваются с помощью таблиц плотности. Таким образом, предложенный метод позволяет получить запас углерода в нарушенных лесах с учетом влияния нарушений, процессов лесовосстановления и разложения органических остатков растений после нарушения.

Стоит отметить, что предложенный метод также позволяет оценить, как развивались бы леса без нарушений. Для этого нужно для всех нарушенных лесов установить площадь нормальной, ненарушенной части равной всему пикселу, таким образом полностью заменив фактическую динамику запаса после нарушения на его модельную оценку по таблицам хода роста. Можно назвать такую оценку углерода потенциальной, предполагающей полное отсутствие нарушений в лесах. Сравнение потенциальной и реальной оценки баланса и динамики углерода позволяет оценить влияние различных типов нарушений на пулы углерода лесов.

3.3 Предварительные результаты оценки запасов и баланса углерода в лесах России

Практическое применение предложенных концепции и метода (разделы 3.1 и 3.2 отчета) комплексного использования спутниковых данных ДЗЗ, выборочных наземных наблюдений и моделирования позволило получить уникальные картографические продукты и количественные данные ежегодного определения запасов углерода в растительной биомассе лесов России за период 2001-2021 годов, включая оценки его пулов в различных фракциях фитомассы и мортмассы. Представленная в качестве примера на рисунке 3.8. карта несет информацию о пространственном распределении удельных запасов углерода в растительной биомассе лесов России (без учета его содержания в лесных почвах) по состоянию на 2021 год.

Согласно полученным данным в 2021 году в растительной биомассе лесов России в целом содержалось около $55,76 \times 10^9$ тонн углерода (т С). При этом, согласно приведенным на рисунке 3.9 данным, наибольший вклад в общий запас углерода лесов вносит пул фитомассы деревьев (включая, древостой, подрост и подлесок), совокупно содержащий около $42,1 \times 10^9$ т С (73,7%). Доля запаса углерода в фитомассе живого напочвенного покрова составляет около 11,3%, в то время как различные фракции мортмассы совокупно содержат около 14,9% общего запаса углерода в растительной биомассе лесов.



Рисунок 3.8 – Карта общего запаса углерода в растительной биомассе лесов России по состоянию на 2021 год

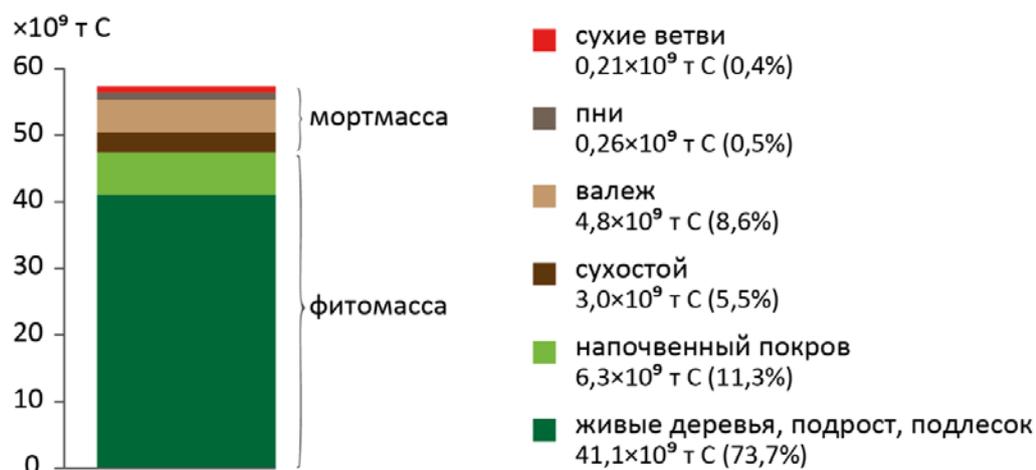


Рисунок 3.9 – Распределение запаса углерода по фракциям растительной биомассы в лесах России в 2021 году

Анализ временного ряда ежегодных карт общего запаса углерода лесов России позволил установить, что за период с 2001 по 2021 годы его общая величина выросла на 7,8%, т.е. с $51,7 \times 10^9$ т С до $55,8 \times 10^9$ т С (рисунок 3.10, таблица 3.1), наглядно демонстрируя наличие положительного тренда со среднегодовой скоростью нарастания около $210,5 \times 10^6$ т С год⁻¹. При этом, среднемноголетние изменения запасов (средний

ежегодный баланс) углерода в лесах России за рассматриваемый период составили около $200,6 \times 10^6$ т С год⁻¹.

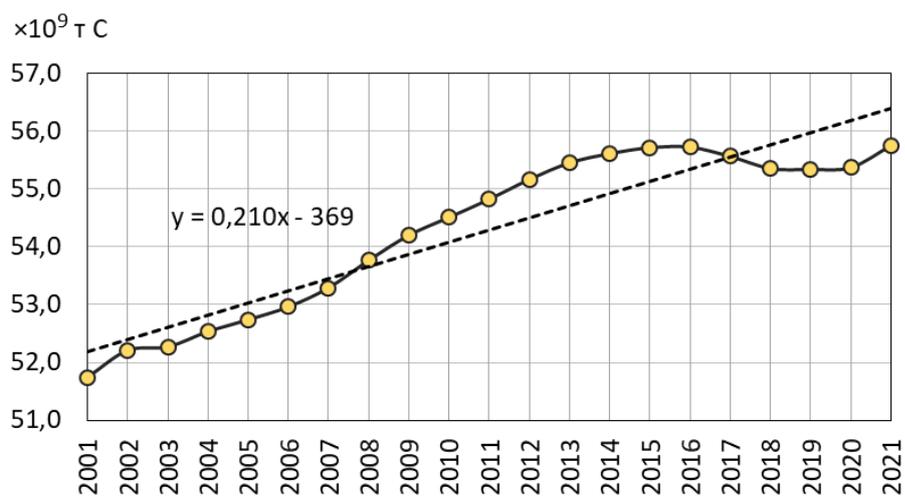


Рисунок 3.10 – Динамика общего запаса углерода в растительной биомассе лесов России

Таблица 3.1 содержит данные ежегодной оценки запасов углерода в различных пулах растительной биомассы лесов России за период 2001-2021 годы. При этом отдельное рассмотрение пулов углерода в фитомассе и мортмассе лесов (рисунок 3.11) демонстрирует существенные различия их динамики с наличием выраженного тренда нарастания запасов углерода в мертвой древесине. В то же время запас углерода в фитомассе лесов характеризуется отсутствием выраженного роста с 2012 года, а период 2016-2020 годов отличается существенным его снижением. Представленные на рисунках 3.12 и 3.13 карты отражают пространственное распределение запасов углерода в фитомассе и мортмассе лесов России по состоянию на 2021 год.

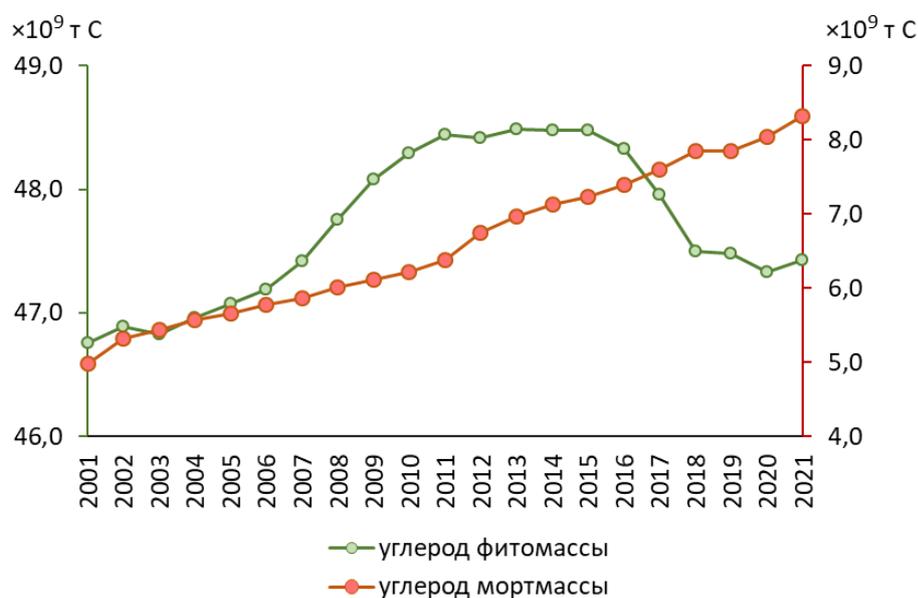


Рисунок 3.11 – Динамика запаса углерода в фитомассе и мортмассе лесов России

Таблица 3.1 – Динамика запаса углерода в пулах растительной биомассы лесов России

Годы	Запас углерода в фитомассе, $\times 10^9$ т С			Запас углерода в мортмассе, $\times 10^9$ т С					Запас углерода растительной биомассы лесов
	Деревья, подрост, подлесок	Живой напочвенный покров	Всего в фитомассе	Сухостой	Валёж	Пни	Сухие ветви	Всего в мортмассе	
2001	40,54	6,22	46,75	2,30	2,19	0,25	0,25	4,99	51,74
2002	40,68	6,22	46,89	2,38	2,43	0,25	0,25	5,32	52,21
2003	40,59	6,23	46,83	2,42	2,53	0,25	0,25	5,45	52,27
2004	40,71	6,24	46,96	2,45	2,63	0,25	0,25	5,58	52,54
2005	40,82	6,26	47,08	2,47	2,70	0,25	0,24	5,66	52,74
2006	40,92	6,27	47,19	2,49	2,79	0,25	0,24	5,77	52,96
2007	41,13	6,29	47,42	2,51	2,87	0,25	0,24	5,87	53,29
2008	41,45	6,30	47,75	2,54	2,98	0,26	0,24	6,01	53,77
2009	41,77	6,32	48,08	2,57	3,06	0,26	0,24	6,12	54,20
2010	41,96	6,33	48,29	2,60	3,13	0,26	0,23	6,22	54,51
2011	42,10	6,35	48,45	2,65	3,23	0,26	0,23	6,38	54,83
2012	42,08	6,33	48,42	2,80	3,46	0,26	0,23	6,75	55,17
2013	42,15	6,33	48,49	2,86	3,62	0,26	0,23	6,97	55,46
2014	42,15	6,34	48,48	2,89	3,75	0,26	0,23	7,13	55,62
2015	42,13	6,35	48,48	2,90	3,84	0,26	0,23	7,23	55,72
2016	41,98	6,35	48,33	2,93	3,98	0,26	0,22	7,40	55,73
2017	41,61	6,35	47,96	2,98	4,15	0,26	0,22	7,61	55,57
2018	41,16	6,33	47,50	3,04	4,35	0,26	0,22	7,86	55,36
2019	41,13	6,35	47,48	3,00	4,39	0,26	0,22	7,86	55,34
2020	40,99	6,34	47,34	3,00	4,57	0,26	0,21	8,04	55,37
2021	41,11	6,32	47,43	3,05	4,81	0,26	0,21	8,33	55,76



Рисунок 3.12 – Карта удельного запаса углерода в фитомассе лесов в 2021 году



Рисунок 3.13 – Карта удельного запаса углерода в мортмассе лесов России в 2021 году

Наибольшие абсолютные запасы углерода сосредоточены в растительной биомассе древостоев таких древесных пород, как лиственница – 40%, сосна – 19%, береза – 17% (рисунок 3.14а). К древесным породам, характеризующимся наибольшими удельными запасами углерода в лесах, относятся бук, ель, кедр, пихта (рисунок 3.14б).

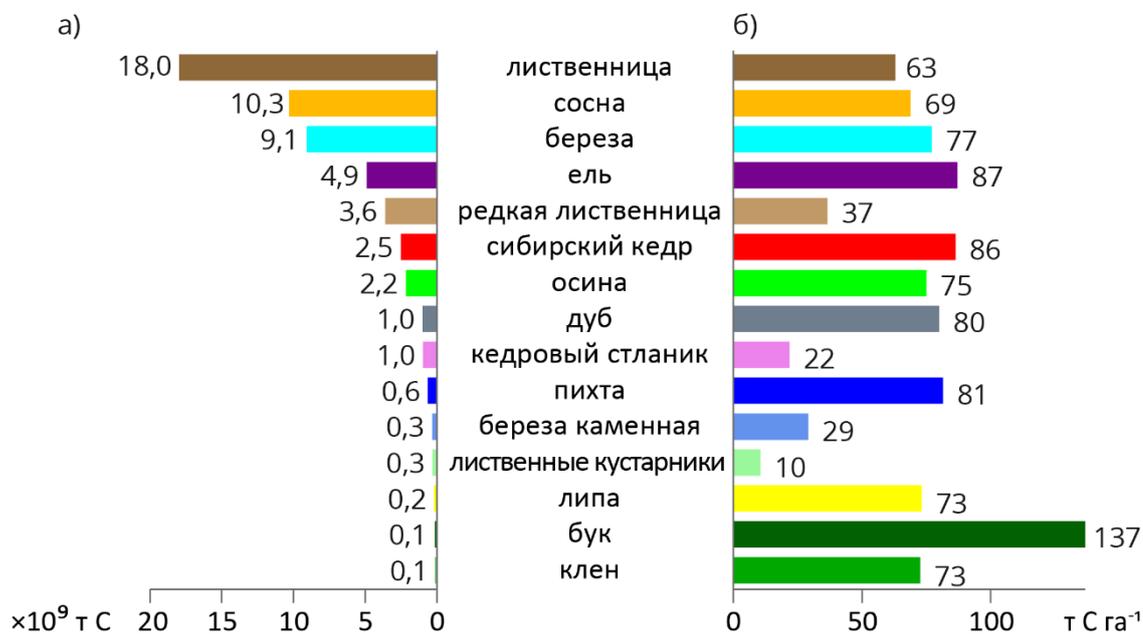


Рисунок 3.14 – Абсолютный (а) и удельный (б) запасы углерода в растительной биомассе лесов различных преобладающих пород по состоянию на 2021 год

Анализ породно-возрастной структуры запасов углерода в лесах (рисунок 3.15а) показывает, что наибольшие запасы углерода сосредоточены в средневозрастных (30,1%) и перестойных (26,2%) лесах. В частности, наибольший пул углерода формируют перестойные лиственничные леса, на долю которых приходится около $7,9 \times 10^9$ т С или 14,6% всех запасов углерода растительной биомассы лесов России. При этом, наибольшие его запасы сосредоточены в низкопродуктивных лесах IV и V классов бонитета, содержащих в своей совокупности около половины общего запаса углерода лесов России (рисунок 3.15б).

Представленная на рисунке 3.16 карта позволяет выделить территории как с положительной, так и с отрицательной динамикой запасов углерода в лесах России за период 2001-2021 годов. Очевидно, что снижение запасов углерода в лесах преимущественно приурочено к участкам высокой нарушенности различными деструктивными факторами (рубки, пожары, биогенные и другие усыхания).

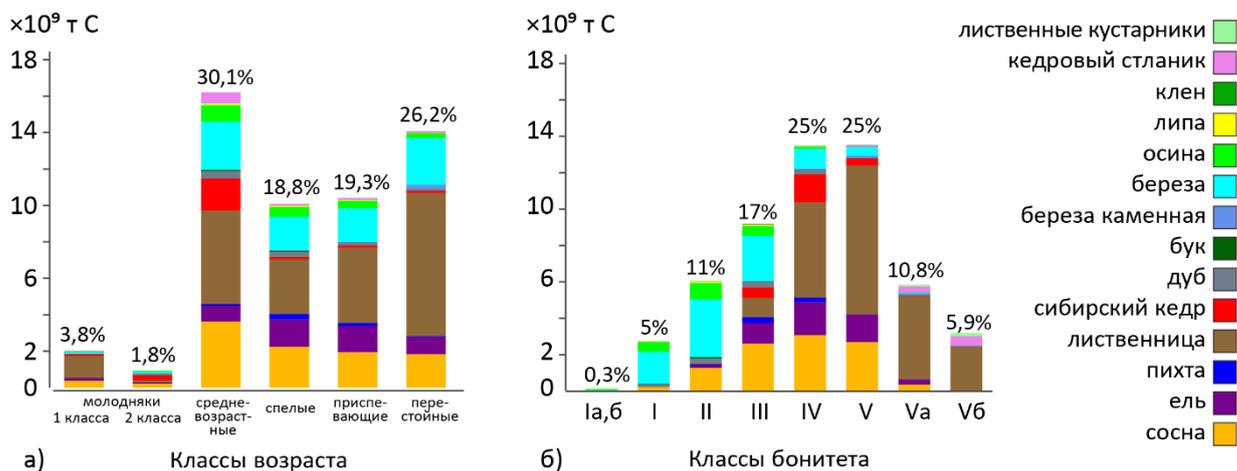


Рисунок 3.15 – Распределение запасов углерода лесов различных преобладающих пород по классам возраста (а) и бонитета (б) по состоянию на 2021 год



Рисунок 3.16 – Среднегодовое изменение запаса углерода в лесах России, 2001-2021 годы

Анализ динамики запаса углерода в лесах, не подвергавшихся воздействию деструктивных нарушений в период 2001-2021 годов, показал, что скорость прироста их удельного запаса углерода (333 кг С га⁻¹ год⁻¹) выше в 1,7 раза по сравнению с этой характеристикой для лесов страны в целом, составляющей 196 кг С га⁻¹ год⁻¹ (рисунок 3.17).

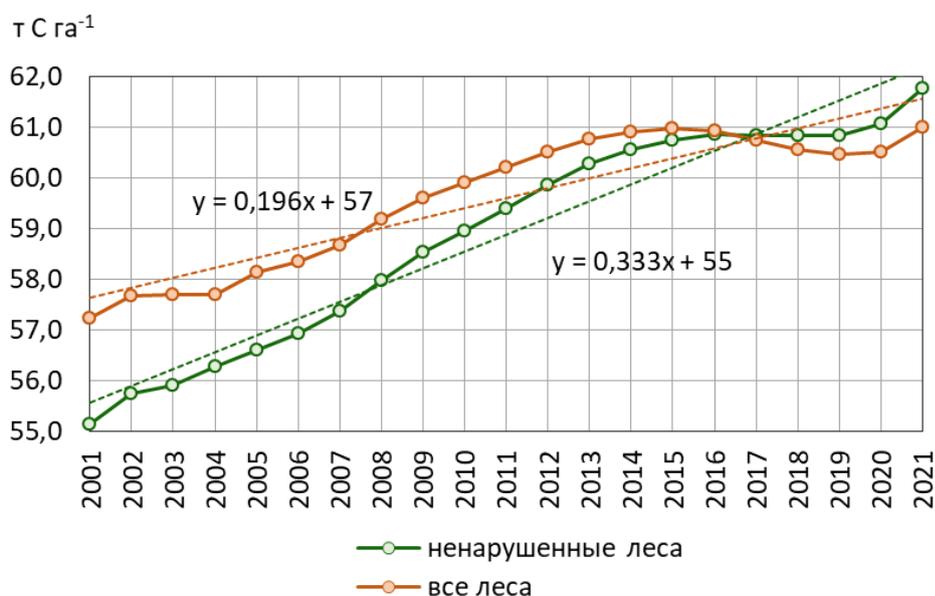


Рисунок 3.17 – Сравнение динамики удельного запаса углерода в растительной биомассе всех лесов и ненарушенных лесов России

Практическое применение изложенной в разделе 3.2 отчета методики оценки потенциального запаса углерода в лесах в условиях отсутствия их нарушений (гари, рубки, усыхания) позволило оценить, что по состоянию на 2021 год растительная биомасса лесов России накопила бы $57,7 \times 10^9$ т С, что на $1,9 \times 10^9$ т С (или на 3,5%) больше фактических значений запасов углерода. На рисунке 3.18 приведен график сравнительной динамики фактического и потенциального запаса углерода в лесах России в период 2001-2021 годов, демонстрирующий, что в условиях отсутствия нарушений среднегодовой баланс углерода в лесах в 2001-2021 годы превысил бы 304×10^6 т С год⁻¹, что в сравнении с фактическим уровнем его поглощения позволяло бы в среднем аккумулировать ежегодно дополнительный углерод в объеме около 94×10^6 т С год⁻¹.

Полученные данные позволили выполнить анализ динамики запасов углерода в лесах различного целевого назначения, включая территории резервных и управляемых лесов (рисунок 3.19), к последним из которых были отнесены категории эксплуатационных и защитных земель в границах лесного фонда, а также особо охраняемые природные территории. Полученные результаты свидетельствуют о положительной динамике запасов углерода в растительной биомассе управляемых лесов в период 2001-2021 годов со средней скоростью аккумулирования около 141×10^6 т С год⁻¹ (рисунок 3.20). При этом в динамике резервных лесов можно выделить период 2001-2011 годов, характеризующийся интенсивным ростом запасов углерода в растительной биомассе, по истечении которого вплоть до 2020 года наблюдался близкий к нулевому баланс (рисунок 3.21).

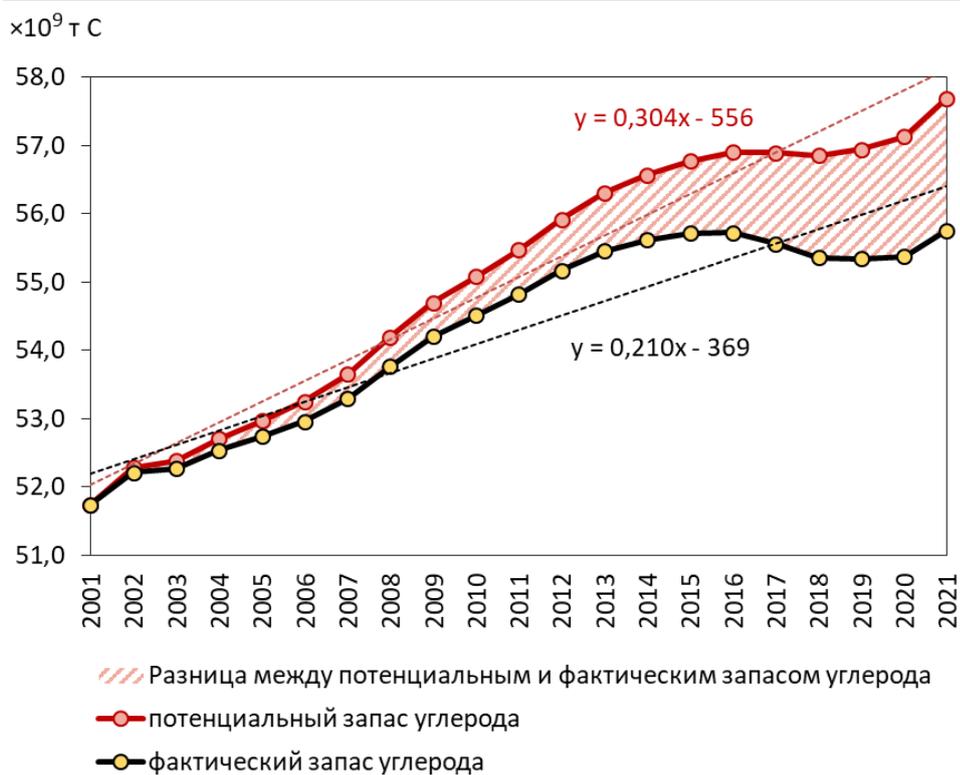


Рисунок 3.18 – Динамика фактического и потенциального запаса углерода растительной биомассы лесов России, 2001-2021 годы

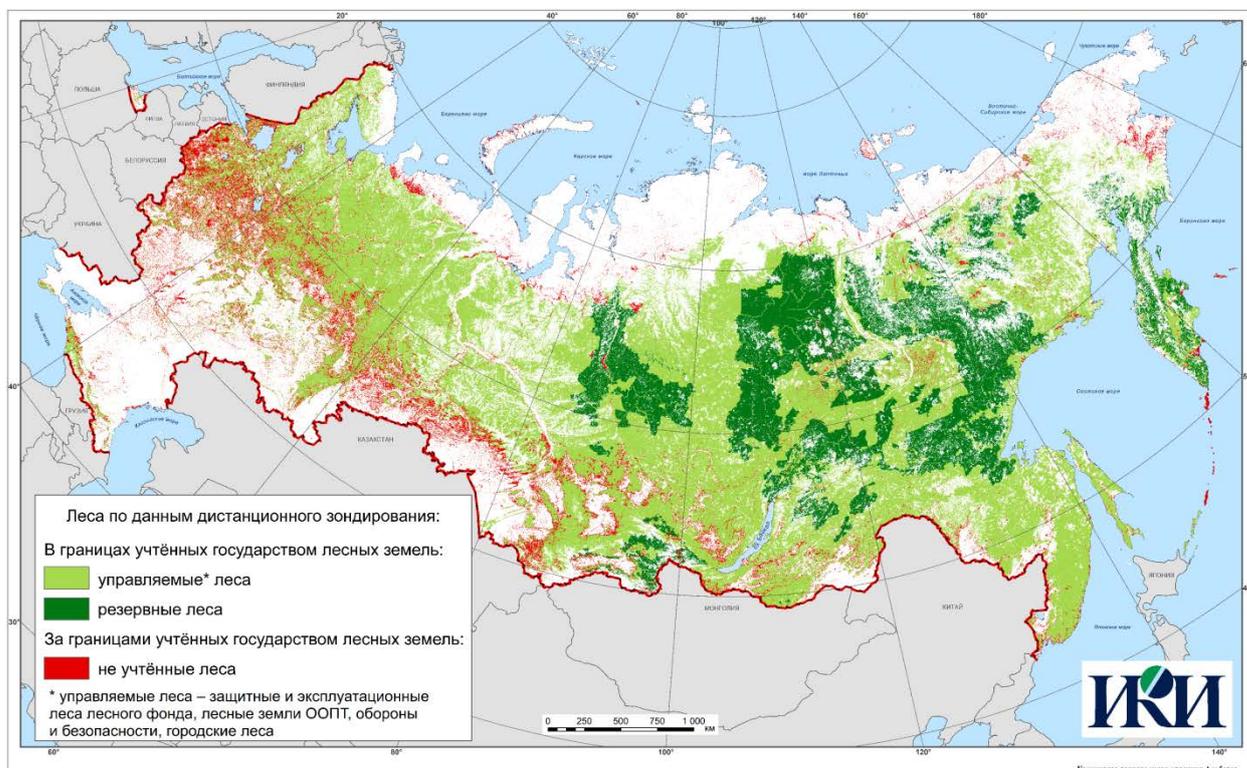


Рисунок 3.19 – Карта управляемых и неуправляемых лесов России

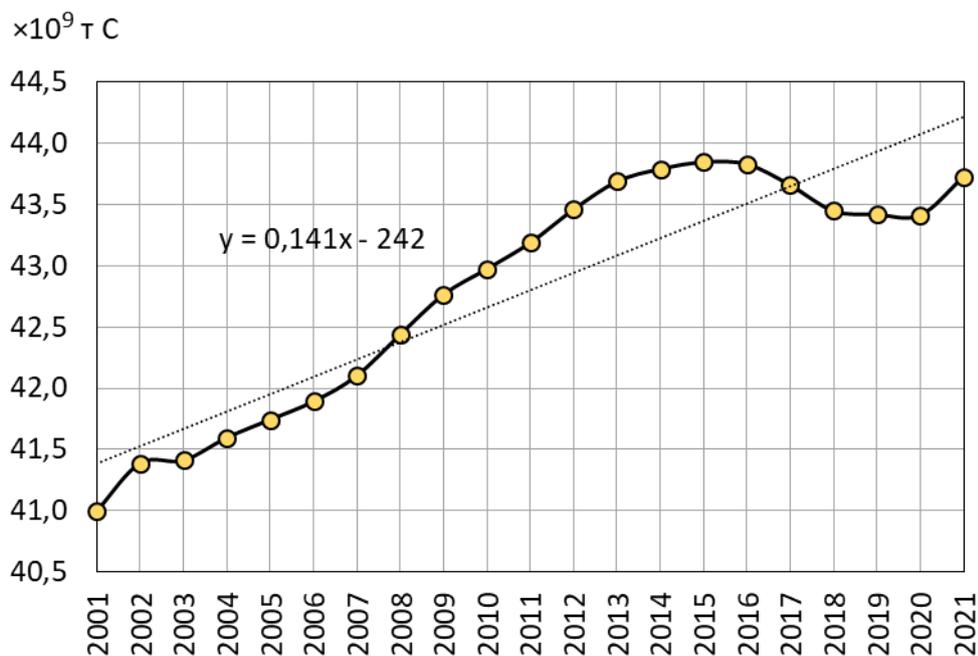


Рисунок 3.20 – Динамика запаса углерода в управляемых лесах

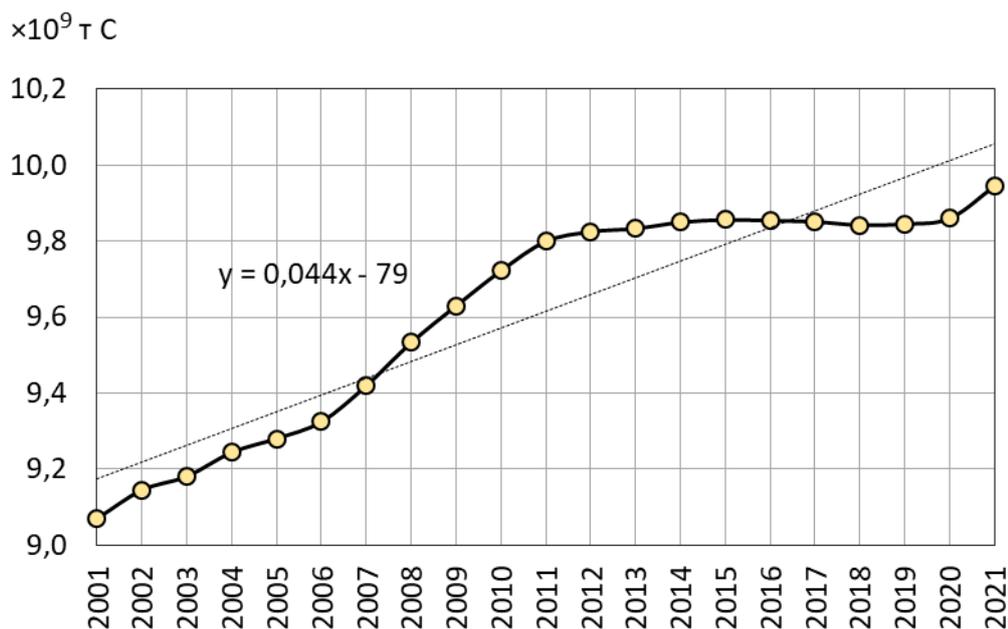


Рисунок 3.21 – Динамика запаса углерода в резервных лесах

Расположенные за границами лесного фонда и особо охраняемых природных территорий насаждения преимущественно представлены зарастающими древесной растительностью заброшенными сельскохозяйственными землями. Проведенный анализ позволил оценить среднюю скорость накопления углерода такими насаждениями в период 2001-2021 годов около 24×10^6 т С год⁻¹ (рисунок 3.22). При этом, оценка удельной скорости накопления углерода такими лесами (391 кг С год⁻¹) практически в два раза превышает величину этого показателя для всех лесов страны, составляющую

196 кг С год⁻¹ (рисунок 3.23). Столь высокая скорость поглощения углерода лесами на заброшенных сельскохозяйственных землях очевидно находит объяснение в их высоком почвенном плодородии и благоприятных климатических условиях, что наглядно подтверждается приведенным на рисунке 3.24 распределением запасов углерода этих лесов по классам бонитета с выраженным преобладанием высокопродуктивных насаждений I-III классов.

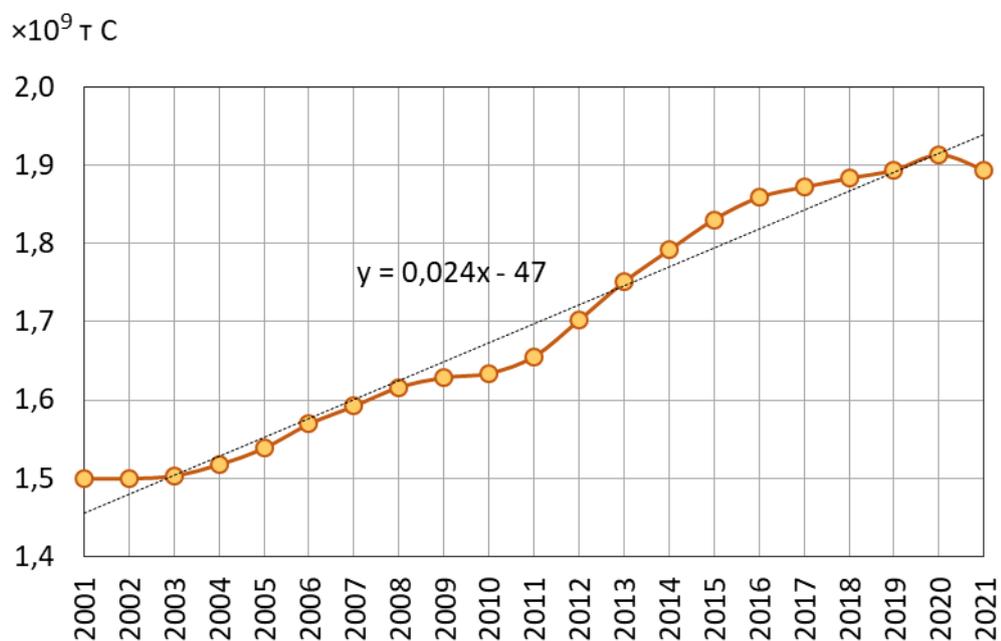


Рисунок 3.22 – Динамика запаса углерода на заброшенных сельскохозяйственных землях

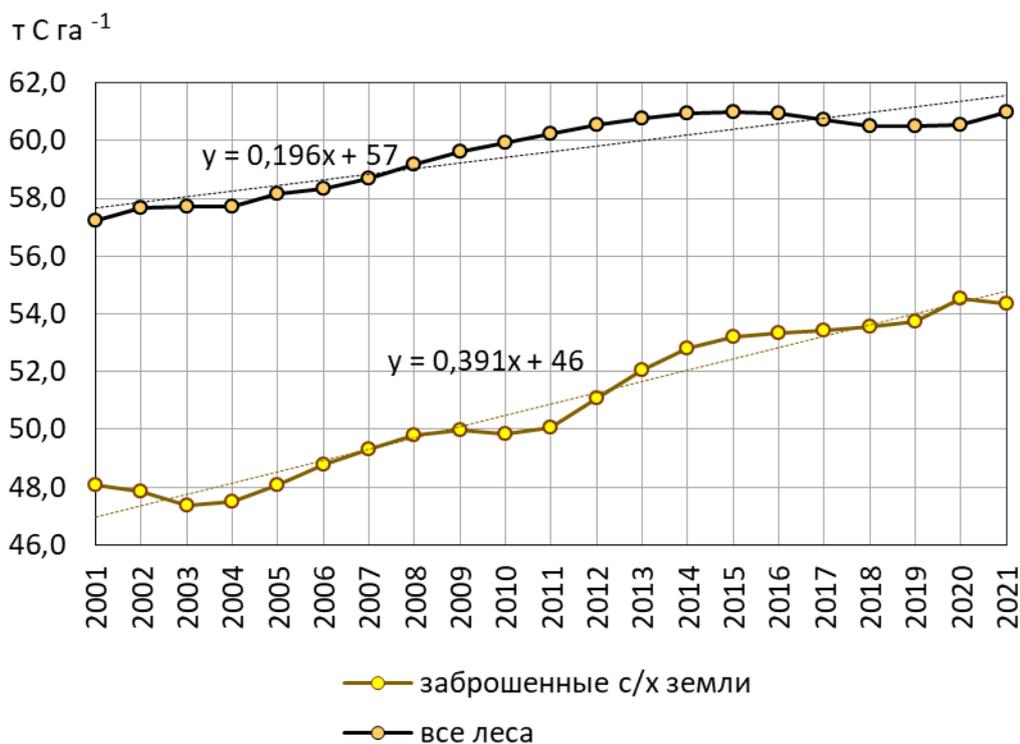


Рисунок 3.23 – Сравнение динамики удельного запаса углерода в растительной биомассе всех лесов и лесов на заброшенных сельскохозяйственных угодьях

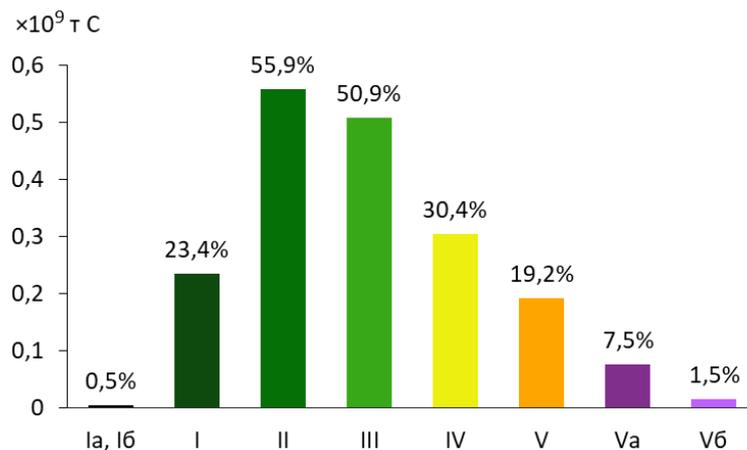


Рисунок 3.24 – Распределение запаса углерода в лесах на заброшенных сельскохозяйственных землях по классу бонитета, 2021 год

3.4 Оценка неопределенности результатов оценки запасов углерода в лесах России

Точность результатов оценки запаса углерода описанным выше методом зависит от точности входных данных, а также от точности используемых моделей. Оценка пулов углерода осуществляется на основе многоэтапного подхода, описанного в разделе 3.2 отчета. Даже при известных погрешностях данных и моделей затруднительно оценить погрешность оценок таких сложных систем напрямую. Одним из возможных подходов к оценке неопределенности в таких случаях является метод Монте-Карло. В соответствии с этим методом необходимо установить источники неопределенности, получить для них вероятностные распределения, и создать множество реализаций оценок запаса углерода, каждая из которых получена по случайно выбранным из вероятностного распределения параметрам. Предлагается использовать неопределенности для следующих параметров – спутниковые карты характеристик лесов, включая породу, запас, лесистость, полноту и бонитет, а также коэффициентов конверсии запаса в биомассу (BCEF).

Для коэффициентов BCEF их неопределенность представлена в статье [36]. Для каждой породы и каждого региона в статье дано стандартное отклонение коэффициента, на основании которого при предположении нормального распределения можно построить необходимое вероятностное распределение для генерации случайных значений BCEF.

Для карты пород ранее была получена матрица перепутывания, дающая для каждой породы вероятность того, что на самом деле в пикселе итоговой карты преобладает другая порода. Это распределение позволяет генерировать необходимую

вариацию оценки преобладающей породы лесов для использования метода Монте-Карло.

Ряд других продуктов (бонитет, запас, полнота, лесистость) получены с помощью метода случайных лесов (Random Forest), работающего в режиме непараметрической множественной регрессии. Для случайных лесов разработан метод вывода перцентилей [37], который позволяет в каждом пикселе воспроизвести диапазон возможных значений параметра с его вероятностями. Генерация перцентилей была реализована с помощью библиотеки skranger [24].

Таким образом, для каждого пиксела была получена гистограмма возможных распределений входных значений и параметров метода оценки углерода в лесах России, что позволяет вычислить неопределенности. Для этого генерируется большое число (100) возможных значений каждого параметра, и они подаются на вход метода, с сохранением углерода всех фракций на выходе для каждой итерации. Их агрегация позволяет получить разброс возможных значений параметров, а также оценить стандартные параметры, например 95% интервал достоверности, или стандартное отклонение. Эти оценки могут быть агрегированы на уровень лесничеств, областей или всей территории страны.

В предложенном подходе в настоящее время не учтено возможное наличие корреляции между погрешностями разных параметров. Кроме того, на данный момент метод не учитывает связь погрешностей соседних пикселей, анализ которой также требует набора проверочных данных. Предварительный анализ отклонения спутниковых карт характеристик лесов от опорной выборки показывает, что корреляция погрешностей ограничивается небольшими областями (порядка 10 пикселей MODIS, или 2-3 км), и, предположительно, агрегация на уровне лесничеств или областей позволяет компенсировать эффект пространственной корреляции.

На основе предложенного подхода была выполнена предварительная оценка неопределенностей полученных значений запасов углерода в лесах России. Информация о полученных оценках представлена в таблицах 3.2 и 3.3. Уровень неопределенности (среднеквадратической ошибки) оценки запаса углерода оценен в 1,6 млрд тонн, или около 3% от суммарного запаса. При этом 95% интервал достоверности (интервал, в который попало 95% реализаций Монте-Карло) составил 9 млрд, или 16% от суммарного запаса.

Таблица 3.2 – Предварительная оценка уровня неопределенности суммарного запаса углерода в растительной биомассе лесов России

	Запас, млрд т
Среднее	56,2
Ср. кв. ошибка	1,6
Относительная ошибка	2,9%

Таблица 3.3 – Предварительная оценка интервала достоверности для суммарного запаса углерода в растительной биомассе лесов России

	Запас, млрд т
Нижняя граница 95% интервала	49,9
Верхняя граница 95% интервала	58,9
Ширина 95% интервала	9,0
Относительная ширина интервала	16,2%

Из представленного на рисунке 3.25 пространственного распределения погрешностей видно, что на большей части территории страны они находятся на уровне, не превышающем 10%. Можно отметить области на северо-востоке и северо-западе страны с малыми значениями погрешности. Также можно отметить отдельные клетки на севере и юге страны с малой площадью лесов, на которых погрешность значительно выше средней. Это связано с тем, что при малом числе пикселей большие погрешности в отдельных пикселях не усредняются, что приводит к большим погрешностям во всей клетке. Этим же объясняется и более высокий уровень погрешностей на уровне клеток регулярной сетки по сравнению со средними значениями для всей страны.

Таким образом, предварительная оценка неопределенности показывает, что предложенный метод оценки запаса и углерода лесных насаждений дает приемлемый уровень достоверности, погрешность на уровне всей страны составляет 3%.

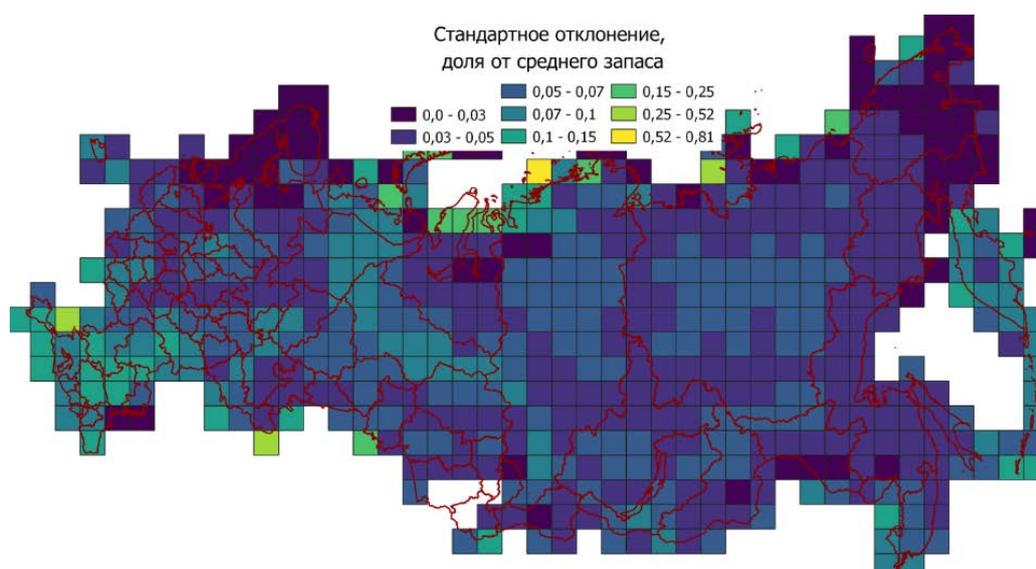


Рисунок 3.25 – Стандартное отклонение оценки запаса на уровне клеток регулярной сетки по Монте-Карло, нормированное на средний запас в клетке

3.5 Заключение к разделу 3

Выполненные исследования в рамках проекта за отчетный период касались разработки концепции метода и структуры комплексной технологии национального спутникового мониторинга углерода лесов России на основе данных ДЗЗ, выборочных наземных измерений и моделирования. В рамках проведенных исследований был предложен метод оценки запасов и баланса углерода лесов на основе спутниковых данных ДЗЗ, независимо выполняющий оценку углерода в ненарушенных и нарушенных лесах на основе многолетних спутниковых временных рядов данных. При апробации метода были получены предварительные результаты оценки запасов и баланса углерода в лесах в период 2001-2021 годов и проведен их комплексный анализ в разрезе породно-возрастной структуры и условий произрастания. Результаты позволили провести сравнение динамики запасов углерода в лесах России в зависимости от их нарушенности и целевого назначения. Для оценки точности разработанного метода выполнена предварительная оценка неопределенности результатов оценки запасов углерода в лесах России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение задачи оценки запасов и баланса углерода в лесах Российской Федерации на основе спутниковых данных ДЗЗ в рамках выполняемой НИР состояло из следующих этапов:

– Разработана концепция и структура комплекса технологий автоматизированной обработки данных ДЗЗ в сочетании с выборочными наземными измерениями и моделированием для обеспечения непрерывного национального спутникового мониторинга углерода лесов России;

– Создана усовершенствованная технология предварительной обработки спутниковых данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения (100-500 м) для национального мониторинга углерода наземных экосистем России, и с её помощью сформированы непрерывные временные ряды ежедневных изображений спутниковой системы MODIS (230 м) за период с 2000 года и по настоящее время на территорию России на основе массовой обработки регистрируемых данных;

– Реализована усовершенствованная автоматизированная технология динамического картографирования типов наземных экосистем России на основе спутниковых данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения и с помощью нее построена усовершенствованная цифровая карта типов наземных экосистем на территории России;

– Разработанные подходы к формированию опорных данных для калибровки и верификации результатов национального спутникового мониторинга лесов, и на их основе сформированы массивы опорных данных о запасах стволовой древесины и преобладающих породах лесов, а также массивы опорных данных о повреждениях лесов пожарами для калибровки и верификации результатов национального спутникового мониторинга наземных экосистем;

– Построены прототипы геоинформационных продуктов среднего пространственного разрешения характеристик лесов для предварительной оценки углерода в пулах фитомассы лесов России;

– Проведен анализ основных задач и требований к ИАС «Углерод-Э» и введена в опытную эксплуатацию первая очередь действующего прототипа системы.

Намеченные на отчетный период исследования и разработки в рамках проекта выполнены в полном объеме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // *Science*. – 2013. – Vol. 342. No. 6160. P. 850–853.
- 2 Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. – М.: ИКИ РАН, 2016. – 208 с.
- 3 Zharko V.O., Bartalev S.A., Sidorenkov V.M. Forest growing stock volume estimation using optical remote sensing over snow-covered ground: a case study for Sentinel-2 data and the Russian Southern Taiga region // *Remote Sensing Letters*. – 2020. – Vol. 11. No 7. P. 677 – 686.
- 4 Ховратович Т.С. Методы оценки показателей горизонтальной структуры лесов по оптическим данным дистанционного зондирования земли: дис. канд. техн. наук: 25.00.34 / Ховратович Татьяна Сергеевна. – М., 2021. – 121 с.
- 5 Santoro, M., Cartus, O., Carvalhais, N., Rozendaal, D., Avitabile, V., Araza, A., Willcock, S. The global forest above-ground biomass pool for 2010 estimated from high-resolution satellite observations // *Earth System Science Data*. – 2021. – Vol.13. No. 8. P. 3927 – 3950
- 6 Bartalev S., Egorov V., Loupian E., Khvostikov S. A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data // *Remote Sensing Letters*. – 2014. – Vol. 5. No. 1. P. 55 – 64.
- 7 Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А. Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2013. – Т.10, № 1. – С.254–266.
- 8 Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Хвостиков С.А., Лупян Е.А. Методология мониторинга и прогнозирования пирогенной гибели лесов на основе данных спутниковых наблюдений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2017. – Т. 14, № 6. – С.176–193.
- 9 Стыценко Ф.В., Сайгин И.А., Барталев С.А. Методика ежегодного картографирования необлесенных гарей на основе спутниковых данных // *Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16-20 ноября 2020. – ИКИ РАН. – 2020.*

10 Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 4. – С. 285–302.

11 Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. – 2015. – № 2. – С. 83–94

12 Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Распознавание пахотных земель на основе многолетних спутниковых данных спектрорадиометра MODIS и локально-адаптивной классификации // Компьютерная оптика. – 2011. –Т. 35, № 1. – С. 103–116.

13 Егоров В.А., Барталев С.А., Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А. Карта растительного покрова России, полученная по данным спутниковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15, № 2. – С. 282–286.

14 Сайгин И.А., Барталев С.А., Стыценко Ф.В. Создание временной серии карт растительности на основе динамической актуализации обучающей выборки // Материалы Девятнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 15-19 ноября 2021. – ИКИ РАН. – 2021.

15 Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 2. – С. 9–27.

16 Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Uvarov I.A. Multi-Year Circumpolar Assessment the Area Burnt in Boreal Ecosystems Using SPOT-Vegetation // International Journal of Remote Sensing. – 2007. – Vol. 28, No. 6. P. 1397 – 1440.

17 Bartalev S., Belward A. S., Erchov D., Isaev A. S. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia // International Journal of Remote Sensing. – 2003. – No 24. P. 1977 – 1982.

18 Bartalev S., Plotnikov D., Loupian E A., Mapping of arable land in Russia using multi-year timeseries of MODIS data and the LAGMA classification technique // Remote Sensing Letters. – 2016. – Vol. 7. No. 3. P. 269 – 278.

- 19 Miller J.D., Thode A.E. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR) // *Remote Sensing of Environment*. – 2007. – No 109. P. 66 – 80.
- 20 Ceccato P., Flasse S., Tarantol, S., Jacquemond S., Gregoire J. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain // *Remote Sensing of Environment*. 77. 2001. P. 22–33.
- 21 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. – С. 143–154.
- 22 Breiman L. Random Forests // *Machine Learning*. – 2001. – No. 45. P.5–32.
- 23 Барталев С.А., Ворушилов И.И., Егоров В.А. Построение и радиометрическая нормализация безоблачных композитных спутниковых изображений покрытой снегом земной поверхности для мониторинга лесов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 57–69.
- 24 Wright M. N., Ziegler A. ranger: A fast implementation of random forests for high dimensional data in C++ and R // *arXiv preprint arXiv:1508.04409*. – 2015.
- 25 Belitz K., Stackelberg P.E. Evaluation of six methods for correcting bias in estimates from ensemble tree machine learning regression models» // *Environmental Modelling & Software*. – 2021. – Vol. 139. P.105006.
- 26 Швиденко А.З., Щепаченко Д. Г., Нильссон С. и Булуй Ю.И, Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). Издание второе, дополненное. – М.: Федеральное агентство лесного хозяйства, 2008 – 886 с.
- 27 Лупян Е.А., Бурцев М.А., Прошин А.А., Кобец Д.А. Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2018. – Т. 15, № 3. – С. 53–66.
- 28 Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2011. –Т.8,№ 1. – С.26-43.
- 29 Прошин А.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Кашницкий А.В., Бурцев М.А. Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга //

Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13, № 3. – С. 9–27.

30 Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 151–170.

31 Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Мазуров -мл. А.А., Мамаев А.С., Матвеев А.М., Прошин А.А. Организация контроля за функционированием распределенных систем сбора, обработки и распространения спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т.7, № 4. – С.34–41.

32 Лупян Е.А., Стыщенко Ф.В., Сенько К.С., Балашов И.В., Мазуров А.А. Оценка площадей пожаров на основе детектирования активного горения с использованием данных шестой коллекции приборов MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 178–192.

33 Лозин Д.В., Балашов И.В., Лупян Е.А. Возможности оперативной оценки повреждений лесного покрова на основе данных о радиационной мощности пожаров // Цифровые технологии в лесном секторе. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции-вебинара. Санкт-Петербург. 18–19 февраля 2021 года. – 2021. – С. 78-81.

34 Кобец Д.А., Балашов И.В., Данилов И.Д., Лупян Е.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А. Использование VI-технологий для создания инструментов для анализа данных спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 4. – С. 17–27.

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

36 Schepaschenko D., Moltchanova E., Shvidenko A., Blyshchyk V., Dmitriev E., Martynenko O., See L., Kraxner F. Improved estimates of biomass expansion factors for Russian forests //Forests. – 2018. – Vol. 9. No. 6. – P. 312

37 Meinshausen N., Ridgeway G. Quantile regression forests //Journal of machine learning research. – 2006. – No. 7.P. 983–999.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИКИ РАН)

УДК 630*162.5

Рег. № НИОКТР 122100700008-5

УТВЕРЖДАЮ



Директор ИКИ РАН
член корреспондент РАН

Петрукович А.А.

М.П.

« 01 » декабря 2022 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме (проекту):

Оценка запасов и баланса углерода в лесах Российской Федерации на основе многолетних спутниковых данных дистанционного зондирования. Усовершенствованные методы спутникового мониторинга основных характеристик лесов для оценки пулов углерода в лесах. Введенная в опытную эксплуатацию первая очередь действующего прототипа национальной информационно-аналитической системы мониторинга углерода в наземных экосистемах Российской Федерации
(заключительный)

Дополнительное соглашение от 18.10.2022 № 075-03-2022-042/1 к Соглашению о предоставлении субсидии из федерального бюджета федеральному бюджетному или автономному учреждению на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ)
от 14.01.2022 № 075-03-2022-042

Книга 2
ПРИЛОЖЕНИЯ

Руководитель проекта,
Доктор технических наук, профессор

С.А.Барталев

подпись, дата

Москва 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Приложение А. ЦКП «ИКИ-Мониторинг».....	4
1. Введение	4
2. Подсистемы ЦКП.....	4
2.1 Подсистема сбора данных	5
2.2 Подсистема архивации данных.....	5
2.3 Подсистема обработки данных.....	7
2.4 Подсистема доступа к данным.....	8
2.5 Подсистема документирования и контроля	9
2.6 Инструменты доступа к данным.....	10
2.7 Взаимодействие с внешними системами	12
Список использованных источников.....	14
Приложение Б. Базовые технические и инфраструктурные решения по организации работы с данными	20
1. Введение	20
2. Современные подходы к построению информационных систем и сервисов, обеспечивающих распределенную работу со спутниковыми данными и результатами их обработки	21
3. Тенденции в развитии подходов к принципам построения информационных систем, обеспечивающих распределенную работу со спутниковыми данными и результатами их обработки.....	26
4. Технологии работы со сверхбольшими долговременными распределенными постоянно обновляющимися архивами спутниковых данных ДЗЗ и результатами их обработки	35
5. Технология создания интерфейсов пользователей для работы со спутниковыми данными ДЗЗ и результатами их обработки.....	39
6. Возможности создания инструментов распределенной обработки спутниковых данных ДЗЗ	60
7. Возможности создания инструментов анализа результатов обработки спутниковых данных ДЗЗ	66
8. Возможности организации и контроля процессов автоматической поточковой обработки спутниковых данных ДЗЗ.....	75
9. Технологии контроля функционирования распределённых программно- аппаратных комплексов	89
9.1 Основные задачи системы контроля.....	89
9.2 Контроль выполнения процедур.....	93
9.3 Система ведения сбоев	98
10. Заключение	103
Список использованных источников.....	103

Приложение В. Информационный сервер действующего прототипа ЦИУ ИАС «Углерод-Э»110

1. Введение	110
2. Структура информационного сервера	111
2.1 Сайт проекта	111
2.2 Картографический интерфейс.....	112
2.3 Блок VI-форм	120
2.4 Блок форм отчётности	123
2.5 Блок статической информации об ИАС «Углерод-Э»	124
2.6 Интерфейсы контроля состояния компонент ИАС «Углерод-Э»	124
2.7 Внутренние справочники по компонентам и подсистемам ИАС «Углерод-Э».....	125
2.8 Средства координации участников и ведения проекта	126
3. Заключение	128

Приложение Г. Закупаемые программно-аппаратные комплексы для реализации ИАС «Углерод-Э»129

1. Введение	129
2. ПАК для создания и использования гиперконвергентной ИТ-инфраструктуры.....	129
3. Многофункциональный вычислительный программно-аппаратный комплекс с защитой внутреннего периметра.....	141
4. Комплект лицензий программного обеспечения для многомерного анализа данных дистанционного зондирования Земли	147
5. Программно-аппаратный комплекс для диспетчерского зала	149

Приложение А. ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

1. Введение

Удаленную работу пользователей со спутниковыми данными в информационных системах семейства «Созвездие Вега» и в созданном действующем прототипе ЦИУ ИАС «Углерод-Э» обеспечивает Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений Института космических исследований Российской академии наук (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») [1, 2].

ЦКП «ИКИ-Мониторинг» построен на основе использования технологий и базового программного обеспечения, разработанных в ИКИ РАН и описанных, в частности, в работах ([3] – [7]). Одним из ключевых преимуществ используемых технологий является возможность создания на их основе центров работы с данными ДЗЗ, в которых практически полностью автоматизированы все процессы по сбору, архивации, обработке и представлению спутниковой информации. Основными техническими задачами, которые в настоящее время решает ЦКП «ИКИ-Мониторинг» являются:

- сбор спутниковых данных;
- ведение архивов спутниковых данных и результатов их обработки;
- потоковая обработка спутниковых данных, для получения различных информационных продуктов;
- предоставление доступа к данным и инструментам для их анализа и обработки;
- автоматизированный контроль и управление различными программно-аппаратными блоками, входящими в состав центра, в том числе и удаленными.

2. Подсистемы ЦКП

В рамках используемой при создании ЦКП «ИКИ-Мониторинг» общей архитектуры построения [1] за решение каждой из этих задач отвечает соответствующая программная подсистема.

Ниже приведены общие сведения о текущей реализации каждой из этих подсистем.

2.1 Подсистема сбора данных

Подсистема сбора данных предназначена для получения из различных источников как исходных спутниковых данных, так и различных информационных продуктов, полученных на основе их обработки. Также в ее задачи входит предварительная подготовка данных для архивации. Основным достоинством реализованной подсистемы является полная автоматизация процессов получения спутниковых данных [8]. За последние годы объемы получаемых из различных источников спутниковых данных возросли в несколько раз, в том числе и за счет поддержки получения данных новых приборов наблюдения. В частности, был реализован сбор и первичная обработка данных, поступающих с европейских спутников серий Sentinel, а также процедуры получения и усвоения в архивах центра данных новых российских спутниковых систем.

2.2 Подсистема архивации 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. В 2016 году все архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» были переведены на использование новой унифицированной технологии ведения сверхбольших распределенных архивов разнородных спутниковых данных UNISAT [6], описанной в Приложении Б настоящего отчета. Это позволило однотипно реализовать работу с самыми разными типами спутниковых данных, отличающимися как пространственным разрешением, так и схемой организации хранения данных. Ключевыми преимуществами технологии UNISAT 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 удаленного анализа и обработки данных. Эти преимущества во многом достигаются благодаря использованию специальной справочной базы данных, содержащей всю необходимую информацию о спутниковых приборах наблюдения, имеющихся в архивах типах продуктов, а также правила построения «виртуальных» информационных продуктов. В составе блока управления архивами создан специализированный служебный интерфейс, который позволяет с минимальными трудозатратами создавать и описывать новые типы «виртуальных» продуктов. Особо следует отметить, что одним из главных преимуществ «виртуальных» продуктов является то, что их реализация не требует массовой

обработки всех имеющихся в архивах данных. При поступлении запросов от пользователей на их получение по любым экземплярам данных, по которым они могут быть построены, будут сформированы и предоставлены пользователям требуемые информационные продукты по заданной территории, т.е. при заведении нового «виртуального» продукта в архивах сразу «возникает» этот продукт для всего ряда имеющихся данных.

Для доступа к метаданным и данным в архивах реализованы программные сервисы, позволяющие выбрать интересующие пользователя данные по нескольким десяткам различных критериев поиска и непосредственно получить требуемые изображения в заданном разрешении и проекции. Взаимодействие с сервисами реализуется по разработанному в ИКИ РАН протоколу SMISWMS [9], построенному на основе расширения стандарта WMS и других стандартов Open Geospatial Consortium (см. Приложение Б настоящего отчета). Реализация сервисов построена по модульному принципу, позволяющему легко наращивать их функционал путем добавления новых модулей. Для поддержки работы реализованных в рамках картографических WEB интерфейсов инструментов для анализа и обработки данных созданы специальные сервисы, позволяющие получить всю необходимую для их работы справочную информацию, включая характеристики приборов наблюдения и сведения о строении файлов данных. Централизованное хранение всей справочной информации, включая правила построения «виртуальных» информационных продуктов, позволяет использовать унифицированную процедуру получения спутниковых изображений для всех типов имеющихся в архивах данных. Для ускорения получения изображений в картографическом интерфейсе все данные в архивах хранятся в виде пирамиды разрешений. Еще одним преимуществом представленной технологии является гибкая поддержка практически произвольного разбиения данных на фрагменты для различных разрешений, что позволяет не только вычитывать данные подходящего масштаба, но и минимизировать число используемых при получении изображения фрагментов.

В рамках представленной технологии хранение самих файлов спутниковых данных реализуется на распределенном файловом хранилище, состоящем в настоящее время более чем из 30 серверов хранения, объединенных по протоколу NFS. Стремительный рост объемов постоянно поступающих в архивы данных привел к необходимости создания автоматизированной процедуры распределения данных на сервера хранения данных. Она позволяет при заполнении дискового пространства текущего сервера хранения автоматически перейти на использование следующего

сервера хранения, который для этого должен быть соответствующим образом зарегистрирован. При этом данные для архивации всегда поступают непосредственно на тот сервер, на котором они будут в дальнейшем храниться.

2.3 Подсистема 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 путем добавления модулей, отвечающих за новые типы обработки [10], [4]. Такое программное обеспечение однотипно устанавливается на специализированные станции обработки спутниковых данных. Благодаря централизованному управлению и контролю за выполнением всех процессов обработки спутниковых данных обеспечивается высокая степень масштабируемости и отказоустойчивости подсистемы обработки. Для многих задач обработки спутниковых данных также активно используется и различное свободно распространяемое программное обеспечение, в частности, GDAL, GRASS GIS, Proj и др.

В 2016 году в ИКИ РАН была внедрена технология организации распределенной многопоточковой обработки спутниковых данных [11], позволяющая более эффективно управлять работой многих десятков станций обработки спутниковых данных, входящих в состав программно-аппаратного комплекса ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Реализованная технология дает возможность отслеживать все этапы выполнения процессов обработки спутниковых данных, что позволило на качественно более высоком уровне реализовать контроль их выполнения и анализ эффективности их программной реализации. Наряду со станциями обработки, функционирующими под ОС Windows, в настоящее время активно используется также сервера обработки под управлением различных версий ОС UNIX, что позволяет использовать специализированные пакеты обработки, созданные для работы с данными различных спутниковых систем. В частности, для обработки данных прибора MODIS в том числе используется разработанный в NASA программный пакет SeaDAS (<https://seadas.gsfc.nasa.gov>), а для обработки данных спутников серии Sentinel – разработанный в ESA пакет приложений SNAP (Sentinel Application Platform, <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap>).

2.4 Подсистема доступа к данным

Подсистема обеспечения доступа к данным реализует три основных функциональных блока:

- информационная система «Вега-Science», обеспечивающая для удаленных 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 в ИКИ РАН была разработана технология GeoSmis [9] (см. Приложение Б настоящего отчета). Эта технология предназначена для создания и поддержки картографических веб-интерфейсов для работы с данными сверхбольших распределенных архивов спутниковых данных. Она ориентирована не только на предоставление пространственной информации, но и на проведение ее обработки и анализа [12], [13]. В последние годы функциональность подобных инструментов обработки и анализа данных была существенно расширена, были реализованы инструменты, работающие как в синхронном, так и в асинхронном режимах. В синхронном режиме пользователь получает результат проведенных им операций с минимальной временной задержкой, а в асинхронном – задание на обработку поступает в очередь на выполнение, а пользователь получает результаты по мере их готовности. Также существенным развитием стало то, что модернизированная технология GeoSmis совместно с уже упоминавшейся выше технологией UNISAT позволила использовать в картографических интерфейсах «виртуальные» информационные продукты, которые динамически формируются по запросу пользователей.

К относительно новому направлению развития подсистемы доступа к данным можно отнести применение BI-технологии (Business intelligence) [14], базирующейся на построении хранилищ структурированной информации на основе OLAP (online analytical processing). На основе применения этой технологии реализуются интерактивные инструменты анализа (динамические отчетные формы, гистограммы, графики и карты), содержащие как информацию, полученную на основе обработки спутниковых данных, так и данные из других источников [11], [15]. Благодаря возможности проведения предварительной агрегации информации по различным

признакам и параметрам, эти инструменты позволяют достаточно быстро проводить анализ больших объемов данных (см. Приложение Б настоящего отчета).

Подсистема управления и контроля предназначена для обеспечения бесперебойного функционирования центра коллективного пользования, включая различные территориально распределенные блоки, входящие в его состав. Подсистема обеспечивает как проведение настройки различных функций управления, так и автоматизированный сбор и анализ информации, необходимой для управления ЦКП «ИКИ-Мониторинг», а также для выявления и устранения сбоев в работе ее элементов.

2.5 Подсистема документирования и контроля

Для интеграции всех программных инструментов подсистемы была создана специализированная система документирования и контроля проектов, которая достаточно подробно описана в работах [16], [17]. Система, в частности, позволяет на основе автоматических проверок детектировать разнообразные типы ошибок в работе элементов центра и отслеживать процесс их устранения. Наиболее важными из таких проверок являются: контроль за своевременным поступлением различных типов спутниковых данных в архивы, контроль за работой всех аппаратных компонент и контроль работы ключевых сервисов для доступа к данным.

За последние годы функционал системы управления и контроля был существенно расширен. В частности, значительно увеличилось количество автоматически детектируемых типов ошибок в работе системы, повышено качество их диагностики, позволяющей во многих случаях в максимально автоматизированном режиме определить причину возникновения ошибок. Реализован специализированный программный блок, отвечающих за мониторинг состояния серверов хранения спутниковых данных. Он позволяет получить информацию о скорости их работы, наличии на них свободного места, состоянии дисковых массивов, а также получить оценки скорости расходования свободного пространства, необходимые для прогнозирования потребностей в наращивании мощностей хранения данных. На основе использования VI-технологий был реализован целый ряд различных интерактивных отчетных форм [11], позволяющих анализировать эффективность использования вычислительных ресурсов, используемых для обработки спутниковых данных. Использование этих новых возможностей позволило более эффективно выявлять необоснованные задержки, возникающие в процессах получения данных, их обработки и архивации.

2.6 Инструменты доступа к данным

Как уже было отмечено выше, основным вариантом доступа пользователей к спутниковым данным и интерактивным инструментам для их анализа и обработки является использование специализированных картографических WEB-интерфейсов, построенных по технологии GeoSMIS. Реализованные в рамках специализированных картографических WEB-интерфейсов инструменты для интерактивного анализа и обработки спутниковых данных предоставляют пользователям широкий спектр возможностей по работе со спутниковыми данными, которые ранее были доступны только в дорогостоящих настольных приложениях. Большинство из разработанных на текущий момент инструментов доступно пользователям спутникового информационной системы «Вега-Pro». За последние годы был также реализован целый ряд специальных инструментов в интересах различных информационных систем, использующих возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», часть из которых будет кратко описана ниже. Ниже для понимания объемов и типов инструментов, реализованных в настоящий момент в системе «Вега-Science», приведено краткое описание их основных функциональных групп.

1. Инструменты для доступа и выбора данных позволяют пользователям однотипно формировать интересующие его наборы данных из различных архивов спутниковых данных, используя при этом такие критерии поиска, как географическая область, диапазон дат, спутник, прибор, продукт, облачность и другие. Пользователю предоставляется возможность просмотра данных в различном пространственном разрешении и проекции с наложением выбранных картографических слоев. При необходимости пользователь может осуществить пространственную допривязку данных. Имеются также возможности формирования наборов данных для проведения их дальнейшей обработки и/или экспорта. В случае если пользователь заинтересован в добавлении в систему своих данных, у него также имеется такая возможность

2. Инструменты для обработки спутниковых данных реализуют широкий спектр различных операций по обработке данных. Следует отметить, что в центре постоянно идет разработка и интеграция в систему Вега новых инструментов анализа и обработки данных. Ниже приведены примеры таких инструментов, реализованных в системе:

– Инструменты расчета спектральных индексов и алгебра изображений, позволяющие проводить арифметические, логические операции и различные математические преобразования над данными, вычислять спектральные индексы с произвольными выбранными каналами;

– Обучаемая и необучаемая классификация спутниковых данных, позволяющая разделять спутниковые изображения на отдельные классы по определенным параметрам. Используется для выделения различных особенностей изображения и построения тематических карт;

– Цветовая коррекция изображения и синтез различных изображений, включая разновременные. Пользователю представляется набор различных инструментов, позволяющих непосредственно в web интерфейсе проводить совместный анализ различных данных, в том числе разновременных, контролировать видимость объектов на снимке, улучшать и выделять особенности изображения;

– И многие другие.

3. Инструменты для работы с рядами данных позволяют в графическом виде анализировать временные, пространственные и спектральные ряды данных. При этом может проводиться анализ как данных в отдельных пространственных точках, так и данных, осредненных на произвольно выбранный объект.

4. Инструменты анализа различных характеристик данных позволяют проводить измерение длин и площадей различных объектов, анализ одномерных и двумерных гистограмм, расчет различных статистических характеристик изображений или произвольно выбранных областей изображений.

5. Специализированные инструменты для анализа и мониторинга различных объектов. Такие инструменты формируются для решения задач наблюдения и исследования конкретных объектов. В том числе, они позволяют формировать объекты наблюдений и вести соответствующие базы данных, содержащие их характеристики. В качестве примеров таких инструментов можно привести инструменты мониторинга и анализа состояния сельскохозяйственных полей и контроля динамики развития посевов сельскохозяйственных культур (Толпин и др., 2014).

6. Инструмент для подготовки презентационных web-интерфейсов для иллюстрации различных явлений и процессов. Позволяет выделить ограниченный набор информации из информационной системы мониторинга, включая различные спутниковые снимки и полученные пользователем результаты их обработки. С помощью данного инструмента вся полученная и анализируемая информация из информационной системы может быть предоставлена в сокращенном виде, удобном для широкого представления и обсуждения.

Механизмы взаимодействия ЦКП «ИКИ-Мониторинг» с различными информационными системами. Доступ информационных систем к возможностям,

предоставляемым ЦКП «ИКИ-Мониторинг», реализуется на основе использования сервисов. В качестве таких сервисов могут выступать как описанные выше стандартные программные интерфейсы, так и специализированные сервисы для доступа к различной тематической информации. В качестве последних можно привести реализованные механизмы доступа к информации о состоянии сельскохозяйственных земель и посевов (динамика развития посевов на различных полях, используемость земель и т.д.).

В интересах конкретных информационных систем обычно реализуются специальные интерфейсы и инструменты анализа данных, необходимые для решения задач, на которые ориентирована эта система.

2.7 Взаимодействие с внешними системами

В системе «Вега-Pro» также реализованы схемы онлайн-взаимодействия с различными сторонними информационными системами. К таким системам можно отнести, например, объединенную систему работы с данными НИЦ «Планета» [18], [19], Геопорталом Роскосмоса (<https://gptl.ru/>) [20], [21]. Это позволяет обеспечивать в режиме непосредственного доступа использование информации, предоставляемой различными информационными системами, как специалистами, выполняющими научные исследования с использованием ЦКП «ИКИ-Мониторинг», так и в интересах проектов, которые ИКИ РАН выполняет совместно с владельцами различных информационных систем дистанционного мониторинга. Таким образом, опыт взаимодействия ЦКП «ИКИ-Мониторинг» с различными специализированными системами дистанционного мониторинга показывает возможность интеграции с различными внешними картографическими ресурсами.

Используемые для взаимодействия информационных систем сервисы, как правило, функционируют по протоколам HTTP, HTTPS и построены на основе архитектуры REST API. Для обмена данными также используются сетевые протоколы FTP, FTPS.

Примеры информационных систем, использующих возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг». ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в настоящее время пользуются более 20 различных информационных систем дистанционного мониторинга (СДМ), направленных на решение различных научных и прикладных задач. В основном, такие системы используют различные возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», связанные с обеспечением распределенной работой с архивами спутниковых данных и результатов их обработки. Также в системах используется необходимый им инструментарий

обработки и анализа данных, предоставляемый центром. Большинство СДМ, использующих сегодня возможности центра, созданы на основе технологий и программных решений, на которых реализованы различные подсистемы ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Это позволяет максимально полно использовать возможности центра. Следует отметить, что во многих случаях, в интересах различных СДМ осуществляется доработка подсистем центра для обеспечения функциональности, необходимой конкретной информационной системе. Также в интересах конкретных СДМ может производиться расширение зоны покрытия, по которой ведутся архивы данных центра и расширяться состав данных и информационных продуктов, с которыми работает центр. Ниже приведены некоторые примеры научных и прикладных СДМ, которые в настоящее время активно используют возможности центра.

Научные информационные системы дистанционного мониторинга обычно создаются в интересах изучения каких-то конкретных явлений или процессов, а также при разработке новых методов и подходов к проведению их мониторинга в научных или прикладных целях. Такие системы обычно создаются при поддержке различных научных проектов. К подобным системам, активно использующим возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», можно, например, отнести следующие:

- Спутниковый сервис See The Sea (STS) (<http://ocean.smislab.ru/>) [22], [23];
- Информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView (<http://volcanoes.smislab.ru/>) [24], [25];
- Информационная система «VEGA-GEOGLAM» (<http://vega.geoglam.ru/>) [26], [27], разработанная ИКИ РАН при поддержке проекта Европейской Комиссии SIGMA. Целью системы является обеспечение инструментами анализа данных дистанционных наблюдений для разработки методов и подходов глобального мониторинга сельского хозяйства в интересах проекта GEOGLAM (<http://geoglam.org>). В интересах системы в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» была, в частности, реализована возможность работы с данными по различным полигонам сети JECAM (<http://jecam.org/>) как на территории России, так и в различных регионах мира. Также был реализован дополнительный функционал обеспечивающий работу с данными, например, создан инструмент для возможностей краудсорсинга для выявления используемых земель [29].

В настоящее время возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» также активно используются различными специализированными СДМ, ориентированными на мониторинг состояния окружающей среды, состояния лесных и сельскохозяйственных

ресурсов, различных антропогенных объектов и транспортной инфраструктуры, в частности:

– Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ИСДМ-Рослесхоз (Лупян, Барталев и др., 2015; Лупян, Ершов 2015; <https://aviales.ru>) [29], [30];

– Модуль работы с данными ДЗЗ Единой федеральной информационной систем земель сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) [31], разработанный совместно ООО ИКИЗ и ИКИ РАН. Задачей модуля является обеспечение ЕФИС ЗСН возможностями оперативного доступа к различным архивным и оперативным спутниковым данным и к информации, получаемой на их основе, для решения задач мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов. В настоящее время ЕФИС ЗСН активно пользуется различными онлайн-сервисами, которые предоставляет ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Заинтересованность ЕФИС ЗСН в получении различной информации о состоянии сельскохозяйственной растительности, в частности, стимулировала развитие и внедрение в центре новых информационных продуктов, в первую очередь, безоблачных композитов различных вегетационных индексов, получаемых на основе различной спутниковой информации. Также для работы экспертов Аналитического центра Минсельхоза России на основе возможностей центра была создана Информационная система Аналитик ДЗЗ ЕФИС ЗСН (<http://efis.geosmis.ru>) [32]. В настоящее время на основе данной информационной системы разработаны различные методики использования спутниковых данных для решения задач дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов.

Список использованных источников

1 Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 5. – С. 263–284.

2 Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации,

обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 151–170.

3 Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Кобец Д.А., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. –Т.12, № 5.– С.53–75.

4 Лупян Е.А., Саворский В.П., Шокин Ю.И., Алексанин А.И., Назиров Р.Р., Недолужко И.В., Панова О.Ю. Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 5. – С.21–44.

5 Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8, № 1. – С.26–43.

6 Прошин А.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Кашницкий А.В., Бурцев М.А. Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13, № 3. – С. 9–27.

7 Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В. Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – Выпуск 1. – С. 81–89.

8 Балашов И.В., Халикова О.А., Бурцев М.А., Лупян Е.А., Матвеев А.М. Организация автоматического получения наборов информационных продуктов из центров архивации и распространения спутниковых и метеоданных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. –Т.10, № 3. – С.9–20.

9 Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011а. – Т.8, № 3. – С.93–108.

10 Егоров В.А., Ильин В.О., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В. Возможности построения автоматизированных систем обработки спутниковых данных на основе программного комплекса XV_SAT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – Выпуск 1. – С. 431–436.

11 Кобец Д.А., Балашов И.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А. Организация контроля и анализа работоспособности систем автоматизированной обработки спутниковых данных с использованием VI-технологий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 3. – С. 92–103.

12 Кашницкий А.В., Балашов И.В., Лупян Е.А., Толпин В.А., Уваров И.А. Создание инструментов для удаленной обработки спутниковых данных в современных информационных системах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т.12, № 1. – С.156–170.

13 Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Балашов И.В., Константинова А.М. Технология создания инструментов обработки и анализа данных сверхбольших распределенных спутниковых архивов // Оптика атмосферы и океана. – 2016. –Т. 29, № 9. – С. 772–777.

14 Moss L.T., AtreS.. Business Intelligence Roadmap: The Complete Project Lifecycle for Decision-Support Applications / Addison-Wesley. – 2003. – 576 p.

15 Кобец Д.А., Балашов И.В., Данилов И.Д., Лупян Е.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А. Использование VI-технологий для создания инструментов для анализа данных спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 4. – С. 17–27.

16 Мамаев А.С., Прошин А.А., Флитман Е.В. Создание системы документирования и контроля распределенных информационных систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Выпуск 5. – Т. 2. – С. 557–560.

17 Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Мазуров -мл. А.А., Мамаев А.С., Матвеев А.М., Прошин А.А. Особенности организации контроля и управления распределенных

систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8.,№ 3. – С.161–166.

18 Лупян Е.А., Милехин О.Е., Антонов В.Н., Крамарева Л.С., Бурцев М.А., Балашов И.В., Толпин В.А., Соловьев В.И. Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ “ПЛАНЕТА” // Метеорология и гидрология. – 2014. № 12. С.89-97.

19 Бурцев М.А., Успенский С.А., Крамарева Л.С., Антонов В.Н., Калашников А.В., Балашов И.В., Кашницкий 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.

20 Тохиян О.О., Кошкин К.В. Опыт разработки и эксплуатации геопортала Роскосмоса // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 20–28.

21 Тохиян О.О., Васильев А.Ю., Гладков А.П. Расширение возможностей сервисов Геопортала Роскосмоса // Геоматика. – 2015. – № 2 – С. 22–25.

22 Уваров И.А., Лупян Е.А., Матвеев А.М., Мазуров А.А., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Организация работы с данными спутниковых гиперспектральных наблюдений для исследования процессов в Мировом океане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11, №. 1. – С.200– 212.

23 Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Митягина М.И., Уваров И.А. Информационная система «See The Sea» как инструмент изучения различных явлений на морской поверхности// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т.16, № 3. – С. 367–373.

24 Гирина О.А., Лупян Е.А., Гордеев Е.И., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Уваров И.А., Кашницкий А.В., Романова И.М., Константинова А.М., Королев С.П. Информационная система VolSatView для комплексного анализа активности вулканов Камчатки и Курил // IV Всероссийская научно-практическая конференция "Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления", Хабаровск, 11-14 сентября. – 2017. – С. 36-39.

25 Гирина О.А., Лупян Е.А., Мельников Д.В., Кашницкий 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.

26 Bartalev S.A., Loupian E.A., Tolpin V.A., Elkina E.S. Web-based Earth Observation data analysis system VEGA-GEOGLAM in support of global agricultural monitoring research and developments // Geoinformatics Research Papers. – 2017. – Vol. 5, BS1002. – P. 166.

27 Толпин В.А., Барталев С.А., Ёлкина Е.С., Кашницкий А.В., Константинова А.М., Лупян Е.А., Марченков В.В., Плотников Д.Е. 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.

28 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 Abellegra 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. – Vol. 221. – P. 235–246.

29 Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В., Котельников Р.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Ковганко К.А., Колбудаев П.А., Крашенинникова Ю.С., Прошин А.А., Мазуров А.А., Уваров И.А., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г., Флитман Е.В., Хвостиков С.А., Шуляк П.П. Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 5. – С. 222–250.

30 Лупян Е.А., Ершов Д.В., Барталев С.А., Исаев А.С. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров и их последствий: результаты последнего десятилетия и перспективы // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: доклады V Всероссийской конференции, посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов

В.И. Сухих и Г.Н. Коровина (Москва 22-24 апреля 2013г.) – М.: ЦЭПЛ РАН. – 2013. – С.40–43.

31 Козубенко И.С. Почвенная информация в аналитическом центре Минсельхоза России // Бюллетень Почв. Ин-та им. В.В. Докучаева. – 2018. – Вып. 92. – С. 3–15.

32 Буланов К.А., Денисов П.В., Лупян Е.А., Мартьянов А.С., Серeda 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.

Приложение Б. Базовые технические и инфраструктурные решения по организации работы с данными

1. Введение

Стремительное развитие информационных технологий позволило разработать в последнее десятилетие новые инструменты использования спутниковых данных и результатов их обработки для исследования состояния и динамики растительного покрова. Одним из основополагающих условий для этого стал быстрый, практически взрывной, рост возможностей спутниковых систем наблюдения Земли и объемов поступающих от них данных [1], [2]. Одновременно сложились условия, стимулирующие развитие новых подходов к созданию систем и методов работы с данными ДЗЗ, к наиболее значимым из которых можно отнести:

- возросшее число спутниковых систем ДЗЗ, обладающих измерительными возможностями, т.е. обеспечивающих получение калиброванных (в широком понимании) данных измерений физических характеристик объектов, процессов и явлений;

- повышение общего уровня доступности спутниковых данных ДЗЗ, прежде всего, за счет все более широкого принятия дистрибьюторами данных политики их свободного распространения;

- рост объемов данных ДЗЗ и повышение стоимости систем их приема и первичной обработки, приведшее к усилению (наблюдающейся с начала столетия) тенденции перехода от локальных систем приема данных к их получению из крупных специализированных центров;

- возникшая, как следствие возросшей доступности и роста объемов данных ДЗЗ, необходимость улучшения технологий их использования, в том числе, за счет повышения уровня автоматизации их получения и обработки, оптимизации ведения архивов и использования распределенных вычислительных ресурсов;

- появление возможностей организации непрерывного мониторинга обширных территорий на основе данных ДЗЗ различного пространственного разрешения;

- появление технологических возможностей организации принципиально новых схем работы с распределенными сверхбольшими архивами данных и вычислительными ресурсами.

В настоящем Приложении рассмотрены особенности современных подходов к организации работы с данными ДЗЗ [3], [4] и информационных систем и сервисов дистанционного мониторинга, а также основные технические и инфраструктурные решения, созданные на базе этих подходов и выбранные для реализации ИАС «Углерод-Э».

2. Современные подходы к построению информационных систем и сервисов, обеспечивающих распределенную работу со спутниковыми данными и результатами их обработки

В России в последние годы активно ведутся разработки новых технологий работы со спутниковыми данными ДЗЗ для решения различных задач [5] – [8]. В настоящее время устоялась схема организации процессов обработки данных ДЗЗ (жизненный цикл), в соответствии с которой они проходят процедуры приема, архивации, первичной и тематической обработки [9]. В то же время, если на первых этапах развития систем дистанционного мониторинга (СДМ) при их построении существовала необходимость реализации всех этапов обработки данных и создания специальной инфраструктуры, то современные технологии позволяют этого избежать за счет использования внешних информационных и вычислительных ресурсов.

Обобщенная схема построения СДМ представлена на рисунке Б.1. Основной особенностью схемы является то, что в интересах СДМ создаются только блоки, обеспечивающие работу с данными ДЗЗ для решения характерных для системы задач, без дублирования информационных и технических возможностей центров сбора и обработки данных. Современные технологии позволяют задействовать ресурсы таких центров для построения блоков и подсистем СДМ, позволяя упростить их создание и поддержку при одновременном снижении ресурсоемкости. В интересах конкретной СДМ создаются следующие основные блоки и подсистемы:

- подсистема обработки данных;
- подсистема ведения архивов данных;
- подсистема представления и анализа данных;
- блок управления и контроля работоспособности системы.

В СДМ могут присутствовать и другие специальные блоки, отвечающие, например, за авторизацию и учет пользователей, контроль ресурсов, построение

которых часто основано на типовых решениях. Ниже остановимся на особенностях перечисленных выше элементов СДМ в их взаимодействии с внешними техническими и информационными ресурсами.

Традиционно обработку данных ДЗЗ разделяют на первичную и тематическую. При этом, в последние годы понятие первичной обработки данных ДЗЗ существенно расширилось [9], [10]. В связи с ростом задач, решаемых с использованием данных ДЗЗ, и необходимости построения автоматизированных процедур их тематической обработки, к результатам первичной обработки данных предъявляются все более жесткие требования. Результатом первичной обработки данных должны быть базовые информационные продукты, обладающие высокоточной временной и географической привязкой, стабильной радиометрической калибровкой, коррекцией на условия освещенности и состояние атмосферы. Должны обеспечиваться возможности получения очищенных от влияния облаков временных композитных изображений и однородных временных рядов данных ДЗЗ. При этом информационный продукт может быть востребован для решения различных тематических задач. В этой связи крупные центры приема и обработки спутниковых данных предоставляют все больше базовых информационных продуктов, сокращая тем самым необходимость реализации в СДМ функций первичной обработки данных ДЗЗ. При этом фокус внимания разработчиков в большей степени переносится на развитие функций обработки данных, ориентированных на получение тематических информационных продуктов для решения прикладных задач.

При разработке в СДМ блоков тематической обработки данных ДЗЗ продолжает углубляться тенденция на использование автоматизированных процедур, связанная с тем, что постоянно возрастающий поток данных ДЗЗ практически делает невозможной организацию их обработки без максимально полной автоматизации. При этом, только на основе автоматизированных систем обработки данных возможно получение объективной и однородной информации. Основной задачей построения автоматизированных систем обработки данных ДЗЗ становится комплексирование процедур обработки, включающих формирование необходимых наборов данных, оптимизацию управления вычислительными ресурсами, управление последовательностью обработки данных и размещение результатов в архивах для дальнейшего использования.

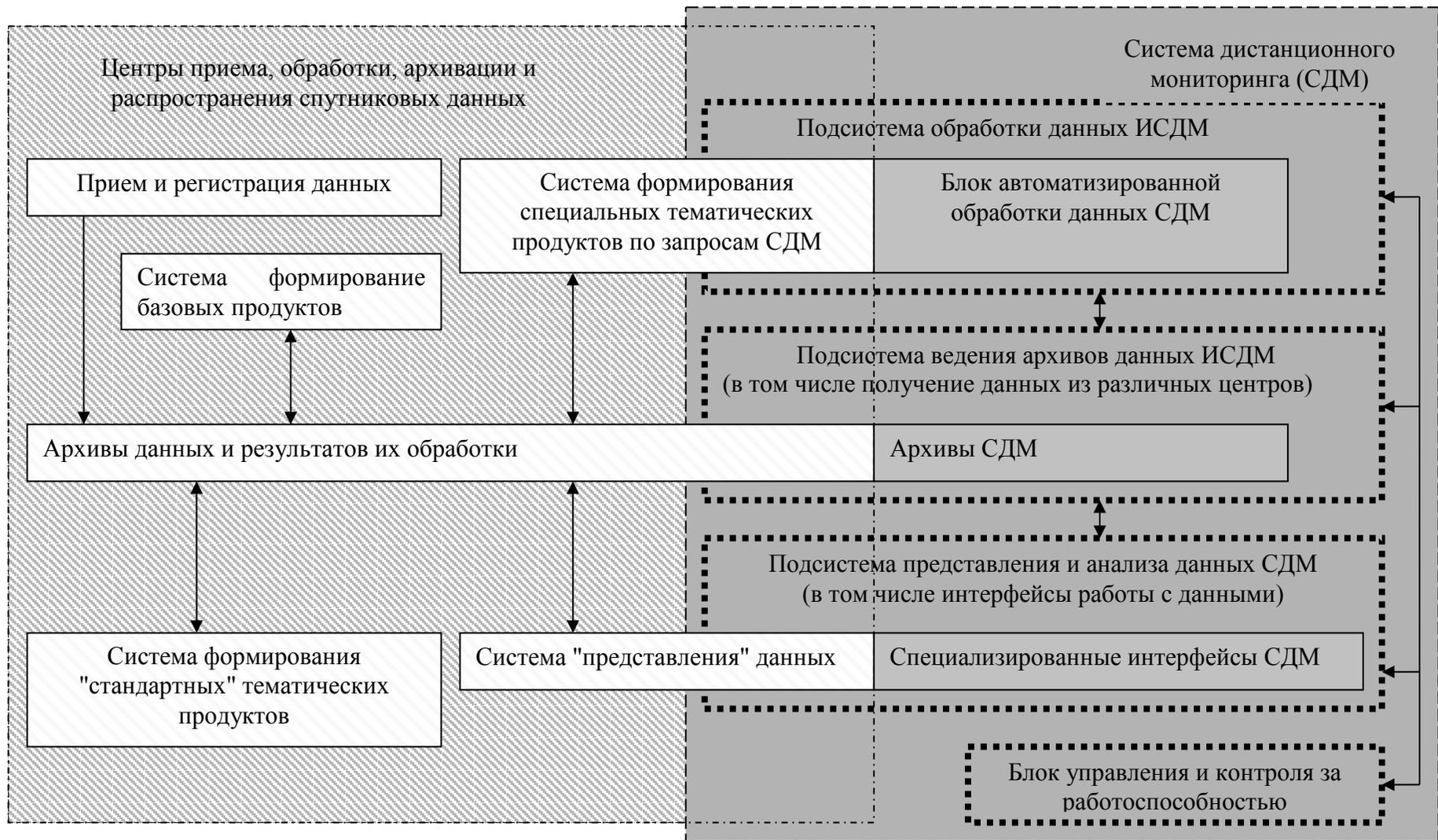


Рисунок Б.1 - Обобщенная схема построения систем дистанционного мониторинга

К ключевым элементам СДМ относится подсистема архивации данных, фактически являющаяся связующим звеном различных блоков системы, а также подсистема представления и анализа информации. Можно выделить несколько рассмотренных ниже факторов, влияющих на технологии создания такого рода подсистем.

Во-первых, современные СДМ должны обеспечивать возможность использования данных ДЗЗ и инструментов их анализа распределенными пользователями, что приводит к необходимости создания web-интерфейсов в качестве ключевых элементов системы. Это накладывает ограничения на функциональность интерфейсов, но сопряжено с рядом неоспоримых преимуществ в сравнении с настольными приложениями (простота актуализации, отсутствие необходимости в значительном количестве лицензий и др.).

Во-вторых, разработанные в последние годы методы создания сложных инструментов распределенного анализа данных на основе Интернет-технологий во многом снимают имевшиеся ранее ограничения web-интерфейсов [15] – [17].

В-третьих, совершенствование технических возможностей обеспечения online-доступа к внешним информационным системам, в том числе, ресурсам поставщиков данных ДЗЗ, позволяет работать в интерфейсах СДМ с информацией, получаемой из различных источников на момент запроса.

В связи с эволюцией подходов к созданию СДМ возникли новые задачи и у технологий построения блоков управления и контроля работоспособности систем. Распределенная инфраструктура СДМ, рост числа источников данных, процедур их обработки и представления потребовали повышения уровня автоматизации контроля работоспособности систем, выявления и диагностирования сбойных ситуаций.

Исходя из описанных выше блоков систем и сервисов работы с данными ДЗЗ развиваются рассмотренные ниже основные технологии [9], [4]:

- технологии автоматизированного получения данных из специализированных центров;
- технологии автоматизированного ведения архивов данных;
- технологии автоматизированной обработки данных;
- технология представления данных и результатов их обработки пользователям;
- технологии контроля и управления элементами СДМ.

Технологии автоматизированного получения спутниковых данных. Современные подходы к организации использования данных ДЗЗ далеко не всегда сопряжены с необходимостью их физического размещения в архивах, а позволяют получать данные в

режиме реального времени из архивов поставщиков. В то же время, для проведения некоторых видов потоковой обработки данных в СДМ может возникать необходимость организации их получения от внешних поставщиков и размещения в архивах. В настоящее время не существует стандартов организации потокового предоставления спутниковых данных и результатов их обработки поставщиками, а разные центры могут использовать отличающиеся форматы их предоставления. В то же время, основные этапы получения данных, как правило, однотипны и включают запрос сведений о наличии данных, формирование заказа на данные, контроль передачи данных, проверку корректности полученных данных, что позволяет унифицировать технологии их получения в СДМ от соответствующих центров [14].

Технологии автоматизированного ведения сверхбольших распределенных архивов данных и результатов их обработки. В системах ведения таких архивов особое внимание уделяется вопросам организации блоков формирования, так называемых, виртуальных информационных продуктов, создаваемых динамически по запросу пользователей [15].

Технологии автоматизированной распределенной обработки спутниковых данных. При создании СДМ остро стоит задача построения комплексных процедур потоковой обработки данных, включая организацию управления их работой и оптимизацию использования ими вычислительных ресурсов. В этой связи возникает необходимость создания технологий поддержки множества процедур обработки, к которым предъявляются различные требования по оперативности выполнения и вычислительным ресурсам. Эти подсистемы должны быть рассчитаны на проведение потоковой обработки оперативно поступающих и исторических данных из распределенных архивов [16].

Технологии построения интерфейсов представления и анализа данных и результатов их обработки. Как уже отмечалось, современные СДМ предоставляют возможности распределенного получения и анализа информации с использованием web-интерфейсов. Созданная в ИКИ РАН технология GEOSMIS [17], [18] позволяет создавать картографические web-интерфейсы, обеспечивающие, в частности:

- работу с многомерными архивами данных с возможностью анализа пространственной и временной информации;
- простое и интуитивно понятное управление данными (выбор, поиск, отображение и т.д.);
- быстрый выбор и отображение информационных продуктов из архивов, обеспечивающих хранение многомерных данных;

- одновременное отображение различных видов данных для совместного анализа;
- работу с динамически формируемыми виртуальными информационными продуктами;
- возможность работы с распределенными информационными ресурсами;
- сервисы онлайн-обмена данными с внешними информационными системами;
- возможности разграничения доступа пользователей.

Основным направлением развития технологии стала реализация подходов, обеспечивающих возможности выбора и визуализации данных, их распределенной обработки и анализа пользователями с предоставлением им развитых инструментальных средств [11], [19].

Технологии контроля и управления элементами и ресурсами СДМ. В обеспечении функционирования современных СДМ задействованы сотни территориально распределенных компьютеров. Для контроля работоспособности и управления блоками СДМ требуется разработка специальных подходов и программного обеспечения. Разработанный ИКИ РАН программный пакет PMS (Process Monitoring System) предназначен для удаленного мониторинга работоспособности СДМ [20], [21]. Он позволяет контролировать процедуры обработки и архивации данных, оценивать качество обработки и обнаруживать сбои, информируя операторов, осуществлять мониторинг критически важных для системы параметров компьютеров (объем свободного места на дисках, загруженность процессоров и т.п.). При росте информации в СДМ необходима автоматизация контроля своевременного поступления различных данных, также осуществляемого на основе специальной технологии [21] – [23].

Более детально перечисленные выше технологии и подходы будут рассмотрены в последующих разделах данного Приложения.

3. Тенденции в развитии подходов к принципам построения информационных систем, обеспечивающих распределенную работу со спутниковыми данными и результатами их обработки

Развитие информационных систем дистанционного мониторинга (СДМ), т.е. систем, ориентированных на обеспечение наблюдения, анализа и прогнозирования

динамики различных процессов и явлений, в последние годы во многом определяется следующими основными факторами:

- рост количественных и качественных характеристик систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и, как следствие, взрывной рост количества информации, получаемой, обрабатываемой и используемой в СДМ;
- развитие различных информационных технологий, в том числе технологий хранения, обработки и распределенной работы с данными.

По состоянию на начало 2022 года на орбите Земли действовало более 700 (по данным <http://database.eohandbook.com>) космических аппаратов ДЗЗ, данные нескольких десятков из которых являются общедоступными. По мнению авторов, настоящим прорывом в развитии средств ДЗЗ, безусловно, стал запуск и ввод в эксплуатацию полной группировки компании PlanetLabs (<https://www.planet.com>), в которую входит более 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 [24]. Все это приводит к фактически взрывному росту объёма данных, поступающих от систем ДЗЗ. Это подтверждает сделанные несколько лет назад прогнозы ESA [25] о фактически экспоненциальном росте в ближайшие годы объёмов архивов спутниковых данных и получаемых на их основе различных информационных продуктов (см. рисунок Б.2). Эти прогнозы темпов роста объёмов достаточно хорошо подтверждаются примерами динамики увеличения различных архивов спутниковых данных, которые приведены на рисунках Б.3 и Б.4.

Отметим также, что в последние десятилетия существенно повысилось и качество данных, получаемых от современных систем ДЗЗ, которые в основном уже превратились из наблюдательных систем в измерительные. Это позволяет существенно расширить круг применения технологий дистанционного зондирования. В свою очередь, это привело к увеличению числа создающихся и использующихся СДМ и потребовало создания специальных технологий, которые могут обеспечить их эффективную разработку и поддержку [4], [3], [9], [26], [15]. Следует отметить, что развитие различных информационных технологий и технической инфраструктуры позволило достаточно быстро развивать подходы к построению современных СДМ. Далее анализируются основные этапы развития таких подходов и оцениваются основные направления их развития.

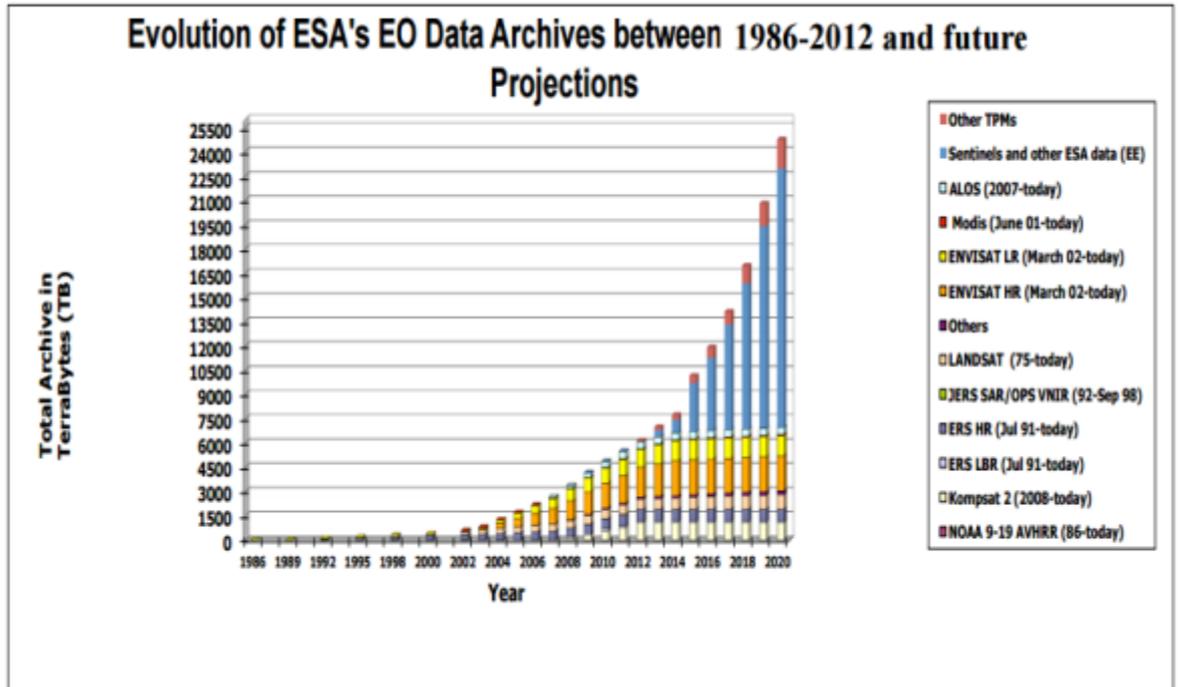


Рисунок Б.2. - Прогнозируемые темпы роста архивов данных ESA
(Mirko Albani, 2012)

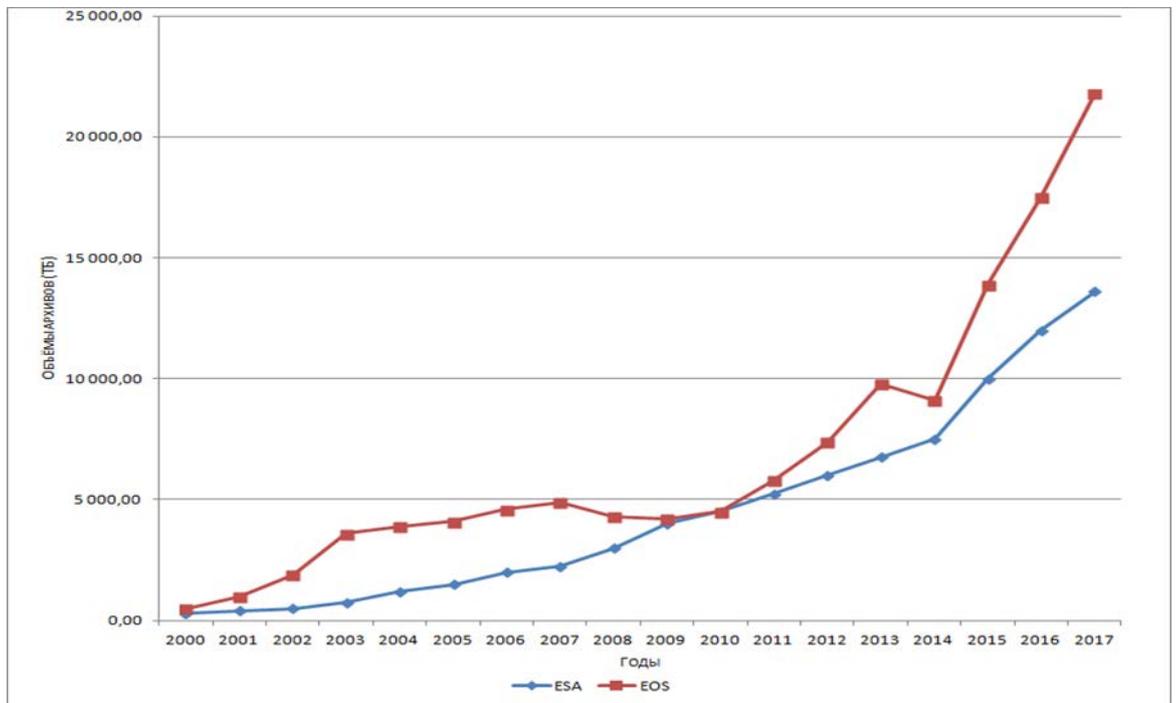


Рисунок Б.3 - Темпы роста архивов ESA (по данным https://earth.esa.int/documents/1656065/1664726/8-LTDP_activities_future.pdf), EOS (по данным <https://earthdata.nasa.gov/eosdis-cumulus-project>)

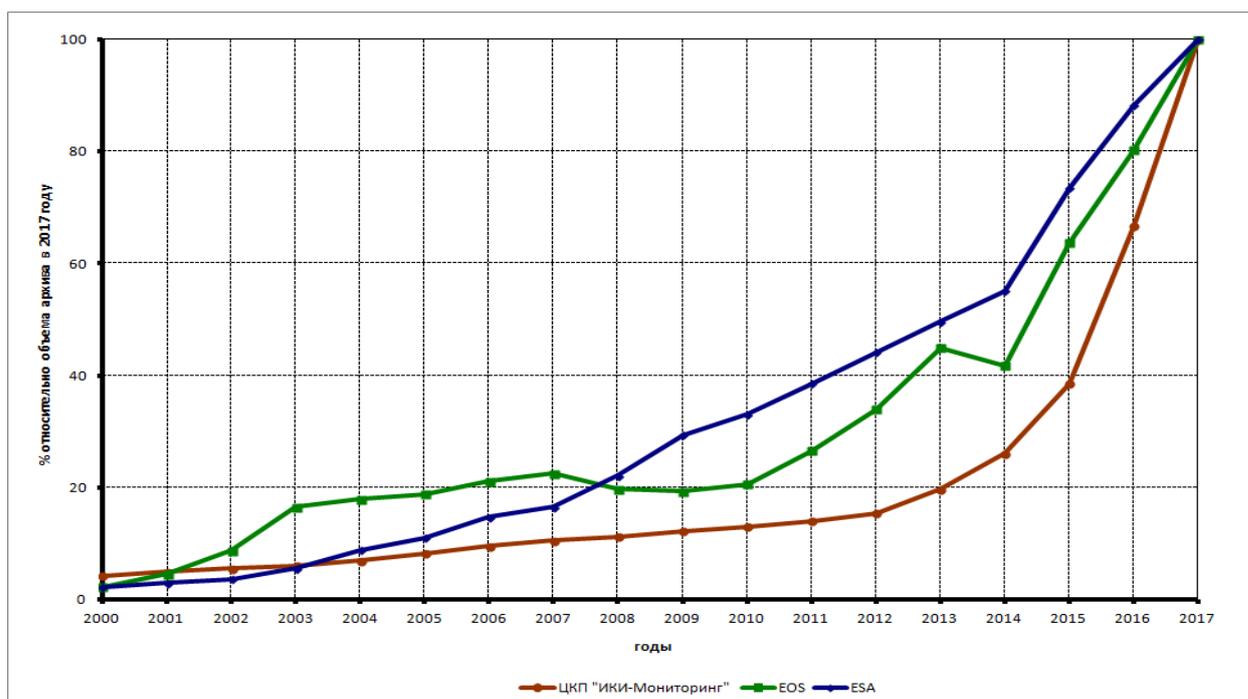


Рисунок Б.4 - Относительные темпы роста архивов ESA, EOS и ЦКП "ИКИ-Мониторинг" (нормированные на объем архивов в 2017 году)

Основные стадии развития СДМ. В настоящее время сложилась достаточно устойчивая общая схема организации работы со спутниковыми данными в различных системах дистанционного мониторинга, которая представлена на рисунке Б.1.

Важно отметить, что, если в наборе основных блоков в последние годы не происходит значительных изменений, то их функциональность, технологии построения и подходы к реализации достаточно быстро развиваются. Это связано как с развитием систем ДЗЗ и технологий работы с поступающими от них данными, так и с расширением задач, решаемых СДМ, и требований к ним. При этом, как уже отмечалось, современные СДМ должны обеспечивать работу с постоянно растущим объемом данных. Все это приводит к необходимости использовать достаточно мощные и дорогостоящие вычислительные и телекоммуникационные ресурсы (в том числе системы приема и обработки спутниковых данных) при реализации различных блоков СДМ. Поэтому, если бы развитие СДМ шло по пути, когда для каждой системы создавалась своя техническая инфраструктура, стоимость их создания и поддержки постоянно и быстро росла бы. Это, безусловно, сильно сдерживало бы как развитие, так и внедрение технологий дистанционного мониторинга.

В то же время развитие информационных технологий, в первую очередь технологий распределенной работы с данными, в последнее десятилетие позволило

активно использовать различные технические ресурсы при построении СДМ, которые являются "внешними" для конкретной информационной системы дистанционного мониторинга. Это во многих случаях позволило существенно сократить стоимость и время создания конкретных СДМ. Развитие и использование таких подходов происходило в несколько стадий. Рассмотрению данного процесса посвящена, в частности, работа [27]. Условно можно выделить пять основных стадий, на рассмотрении особенностей которых мы остановимся ниже. На схеме, представленной на рисунке Б.5, различными цветами представлены блоки СДМ, для реализации которых на разных стадиях развития подходов к построению СДМ начинали использоваться "внешние" технические ресурсы или же сами блоки фактически становились "внешними" для конкретной системы дистанционного мониторинга. Чёрным пунктиром выделены компоненты СДМ, входящие в состав центров приёма, обработки, архивации и распространения на Стадиях с 1 по 4. Красным пунктиром выделены компоненты СДМ, входящие в состав центров приёма, обработки, архивации и распространения на Стадии 5.

На сегодняшний день можно сказать, что развитие СДМ достигло Стадии 5. Это Она основана на том, что современные информационные технологии позволяют эффективно поддерживать сложные распределенные информационные системы с использованием технической инфраструктуры, предоставляемой различными дата-центрами. При этом такие ресурсы могут предоставляться и с использованием облачных технологий [28] – [30], что позволяет, в частности, выделять те или иные вычислительные ресурсы по мере того, как они становятся необходимы конкретному пользователю (в нашем случае информационной системе дистанционного мониторинга). Такой подход позволяет принципиально снизить начальные капиталовложения и время создания информационных систем, а также существенно повышает устойчивость их работы и простоту поддержки и развития. Создание и поддержка СДМ также может идти по такому пути, т.е., фактически, создаваться и эксплуатироваться на основе использования уже имеющихся ресурсов, которые могут предоставляться создаваемой системе, как сервисы. В пределе, при таком подходе в интересах конкретных СДМ необходимо лишь создавать специализированные процедуры и интерфейсы работы с данными, которые могут функционировать, используя не принадлежащие СДМ информационные (сервисы представления данных) и вычислительные ресурсы, получая их в аренду или подписываясь на них. Это, в конечном итоге, должно позволить принципиально сократить расходы на создание СДМ, и позволить оптимизировать расходы на их эксплуатацию. В то же время следует иметь в виду и специфику СДМ, которая в первую очередь

определяется необходимостью работы с большими объемами постоянно поступающих спутниковых данных, а также работы со сверхбольшими распределенными архивами данных ДЗЗ и результатов их обработки. Т.е. для того, чтобы обеспечить эффективность создания и поддержки СДМ, необходимо не только получить необходимые вычислительные ресурсы, но и сервисы по доступу к различным данным ДЗЗ и информации, получаемой на основе данных ДЗЗ. Кроме того, следует иметь в виду, что в настоящее время достаточно быстро развиваются технологии, позволяющие пользователям не только получать удаленный доступ к такой информации, но и получать возможность проводить ее обработку с использованием распределенных вычислительных ресурсов [11], [31]. Появляющиеся возможности также могут предоставляться СДМ, как сервисы.

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

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

Возможности развития информационных систем и центров, обеспечивающих предоставление сервисов, необходимых для создания и поддержки современных СДМ. Опыт развития систем приема (сбора), архивации, обработки и распространения данных ДЗЗ показывает, что сегодня только достаточно крупные центры (в том числе распределенные), выполняющие большое число работ в области создания и развития методов, технологий и систем дистанционного мониторинга, имеют возможность обеспечивать комплексное предоставление обсуждаемых выше сервисов. Это связано прежде всего с тем, что подобные центры должны обладать развитой технической инфраструктурой, способной поддерживать работу со сверхбольшими архивами спутниковых данных.

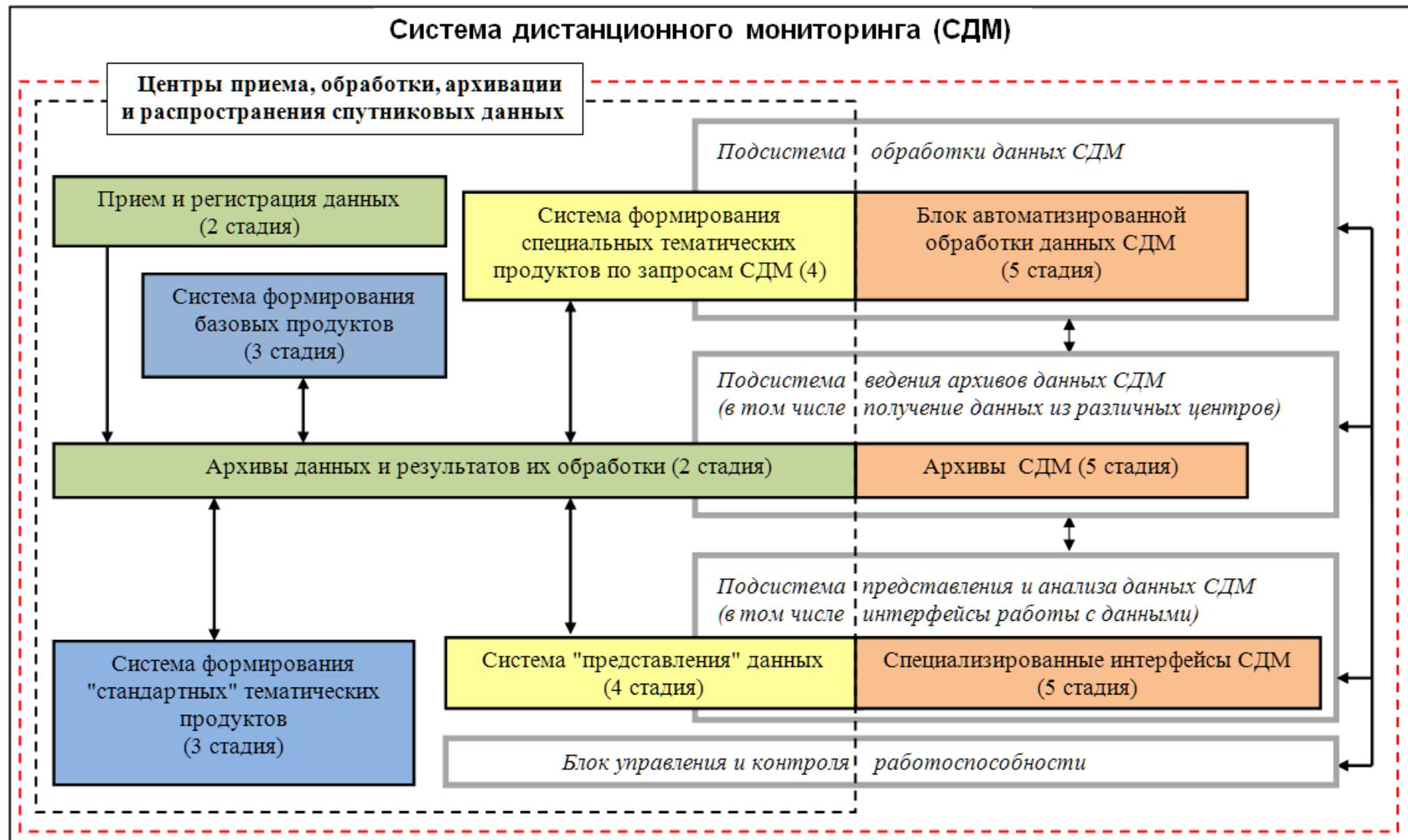


Рисунок Б.5 - Обобщенная схема организации работы со спутниковыми данными в СДМ

В настоящее время действует достаточно ограниченное число подобных центров и в дальнейшем маловероятно, что их число будет расти. Скорее в перспективе можно ожидать их объединения или консолидации. В нашей стране на сегодняшний день к таким центрам, которые могут оказывать весь спектр обсуждаемых сервисов, можно отнести лишь центры ФГБУ «НИЦ «Планета» [32], [33] и Центр коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>) [34], [35]. Отдельные сервисы (например, сервисы доступа к различным информационным продуктам) уже сегодня могут предоставлять и другие центры приема и обработки данных и специализированные СДМ.

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

– система дистанционного мониторинга "Sea The Sea", (<http://ocean.smislab.ru>) [8] ориентирована на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных задач исследования Мирового океана. Особое внимание в системе уделяется возможностям работы с данными спутниковой радиолокации (в основном данными, получаемыми со спутников серии Sentinel-1). Система призвана обеспечить возможность одновременной работы с различными видами спутниковой информации и удобный инструментарий, позволяющий проводить ее комплексный анализ, специалистам, работающим в области исследования Мирового океана;

– система дистанционного мониторинга "Vega-Geoglam" (<http://vega.geoglam.ru/>) [36] ориентирована на поддержку работ по развитию методов и технологий спутникового мониторинга сельского хозяйства в для создания системы глобального мониторинга сельского хозяйства GEOGLAM (<http://geoglam.org>). Разрабатывалась в рамках проекта SIGMA (https://twitter.com/SIGMA_GEOGLAM). Основная задача системы VEGA-GEOGLAM – обеспечение инструментами анализа данных наблюдений за земной поверхностью, результатами их обработки и другой соответствующей информацией, в частности, для тестовых участков сети SIGMA-JESAM, предназначенных для проведения исследований и разработок в области дистанционного сельскохозяйственного мониторинга;

– система дистанционного мониторинга "Vega-Приморье" (<http://primorsky.geosmis.ru/>) [37] разработана и поддерживается АНО "Общество дикой

природы", ООО "ИКИЗ" и ИКИ РАН в качестве пилотного проекта по организации комплексного космического мониторинга лесов Приморского края.

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

Отметим также, что развиваемые в рамках обсуждаемых подходов СДМ автоматически получают технические возможности работы с данными не только с ресурсами ЦКП «ИКИ-Мониторинг», который предоставляет им различные сервисы, но и с ресурсами центров и систем, с которыми у ЦКП имеются схемы сервисного взаимодействия. Такие возможности в настоящее время реализованы для Объединенной системы работы с данными ФГБУ «НИЦ «Планета» [33], Геопорталом Роскосмоса [38], [39], ИСДМ-Рослесхоз и др.

Таким образом, исходя из проведенного анализа следует считать целесообразным опираться в реализации ИАС «Углерод-Э» на подходы и технологии, относящиеся именно к Стадии 5. Ниже рассмотрен ряд таких решений.

4. Технологии работы со сверхбольшими долговременными распределенными постоянно обновляющимися архивами спутниковых данных ДЗЗ и результатами их обработки

Для эффективной работы с архивами данных в информационных системах дистанционного мониторинга требуются подходы, обеспечивающие возможность использования сверхбольших, распределенных и постоянно пополняемых архивов данных ДЗЗ. Одним из требований к системам ведения архивов данных ДЗЗ является поддержка работы с широким спектром данных, получаемых приборами с различными характеристиками (частота наблюдений, пространственное разрешение, спектральные каналы и т.д.). Это, в свою очередь, порождает необходимость унификации схем ведения архивов разнородных данных.

Стремительный рост производительности систем ДЗЗ приводит к необходимости организации сверхбольших архивов данных. Развитие информационных технологий и сетевой инфраструктуры позволяет организовать доступ к распределенным архивам данных таким образом, что для пользователя практически не имеет значения место их физического расположения. В качестве примеров систем доступа к сверхбольшим архивам спутниковых данных можно привести web-порталы Google Earth Engine [40], EOSDIS (NASA) [41] и ESA (<https://scihub.copernicus.eu/>), Объединенная система доступа к архивам данным центрам приема НИЦ Планета [33], Центр коллективного пользования ИКИ-Мониторинг (ЦКП ИКИ-Мониторинг) [35], Геопортал Роскосмоса (<http://gptl.ru/>) [42].

В последние годы изменились и требования по обеспечению доступа к данным. До недавнего времени специалисты в основном ориентировались на получение исходных данных для использования в своих системах обработки. Сейчас возрастает интерес к получению информационных продуктов различного уровня обработки [10]. При росте разнообразия продуктов, получаемых на основе одних исходных данных ДЗЗ, становится нецелесообразным их физическое хранение. В этой связи появились системы, осуществляющие формирование информационных продуктов в режиме offline (например, система NASA GIOVANNI, [12]). С развитием аппаратного обеспечения актуальным становится предоставление доступа пользователям к виртуальным продуктам, т.е. продуктам, формируемым динамически в режиме реального времени.

Развитие технологий доступа к данным с предоставлением пользователям инструментов работы с ними привело к необходимости расширения функционала

систем их хранения. В первую очередь это касается механизма доступа к виртуальным продуктам и поддержки инструментов обработки данных в режиме реального времени с использованием распределенных вычислительных ресурсов. Поддержка столь сложного функционала для большого числа неунифицированных распределенных архивов данных становится трудоемкой задачей. В этой связи актуальность приобретает задача унификации подходов к архивации спутниковых данных и организации доступа к ним. Для ее решения необходима разработка структуры БД, позволяющей эффективно работать с широким набором спутниковых данных и результатов их обработки. Кроме этого, требуется унификация механизмов ведения справочной информации о спутниках, приборах ДЗЗ, источниках данных, спутниковых данных и полученных на их основе продуктах. При реализации унифицированной системы ведения архивов необходимо предусмотреть специальные процедуры миграции в нее данных из действующих архивов.

Перечисленные особенности позволяют сформулировать следующие требования к организации современных унифицированных систем ведения архивов данных:

- Использование унифицированной структуры БД для хранения данных, позволяющей обеспечить работу с широким набором разнотипных данных и результатов их обработки без существенного проигрыша в производительности;
- Использование единой справочной БД, содержащей необходимую информацию, в том числе, о центрах приема, спутниках, приборах, продуктах, включая виртуальные продукты и правила их построения;
- Предоставление доступа к разнотипным спутниковым данным на основе унифицированного программного обеспечения, реализующего необходимый функционал, имеющийся в специализированных системах ведения архивов данных;
- Поддержка единого для всех типов спутниковых данных механизма предоставления доступа к виртуальным продуктам, позволяющего гибко задавать правила получения новых продуктов на основе имеющихся данных;
- Поддержка сервисов предоставления расширенных метаданных для инструментов анализа и обработки данных в режиме реального времени;
- Унификация программного обеспечения ведения распределенных архивов при сохранении совместимости с существующими форматами поступления данных;
- Реализация программных средств, обеспечивающих миграцию данных из существующих архивов.

Высокий уровень унификации систем ведения архивов данных ДЗЗ обеспечивает созданная ИКИ РАН технология UNISAT [15]. Общая архитектура созданных на основе технологии UNISAT систем приведена на рисунке Б.6.

Унифицированная структура БД UNISAT для хранения спутниковых данных. Разные типы спутниковых данных могут обладать разными атрибутами и быть представлены в виде разной логической структуры. Как правило, большая часть данных ДЗЗ в архивах организована в виде отдельных фрагментов изображений (сцен), обладающих набором атрибутов. В то же время хранение данных может быть организовано и в виде, так называемых, сеансов, состоящих из множества фрагментов с общими атрибутами. Несколько иначе устроены композитные продукты, организованные в виде фрагментов фиксированного пространственного разбиения. Для повышения скорости визуализации спутниковых данных используются пирамиды различных уровней пространственного разрешения. Структуры баз данных в специализированных системах ведения архивов существенно отличаются, в том числе, и для достижения максимальной скорости получения информации. Требование унификации структуры баз данных привело к необходимости выработки компромиссного, но достаточно эффективного для работы с различными типами спутниковых данных, решения [15]. Использование UNISAT показало, что технология позволяет реализовывать унифицированные архивы, сопоставимые по производительности с базами данных, оптимизированными для работы с конкретным типом информации.

Поддержка доступа к виртуальным информационным продуктам. В рамках унифицированной системы ведения архивов данных на основе UNISAT, необходимая для виртуальных продуктов информация содержится в справочной БД. На основе сопоставления этой информации и данных о конкретных продуктах в архиве определяются формализованные правила для получения виртуального продукта. Использование формализованных правил позволило реализовать универсальную программную компоненту, отвечающую за визуализацию реальных и виртуальных продуктов [43].

Сервисы для получения расширенных метаданных. Для реализации инструментов анализа и обработки данных ДЗЗ в интерфейсах информационных систем наряду со стандартными атрибутами (время, спутник, прибор и тип продукта и т.д.) необходима детальная информация о правилах построения информационного продукта и характеристики исходных данных.

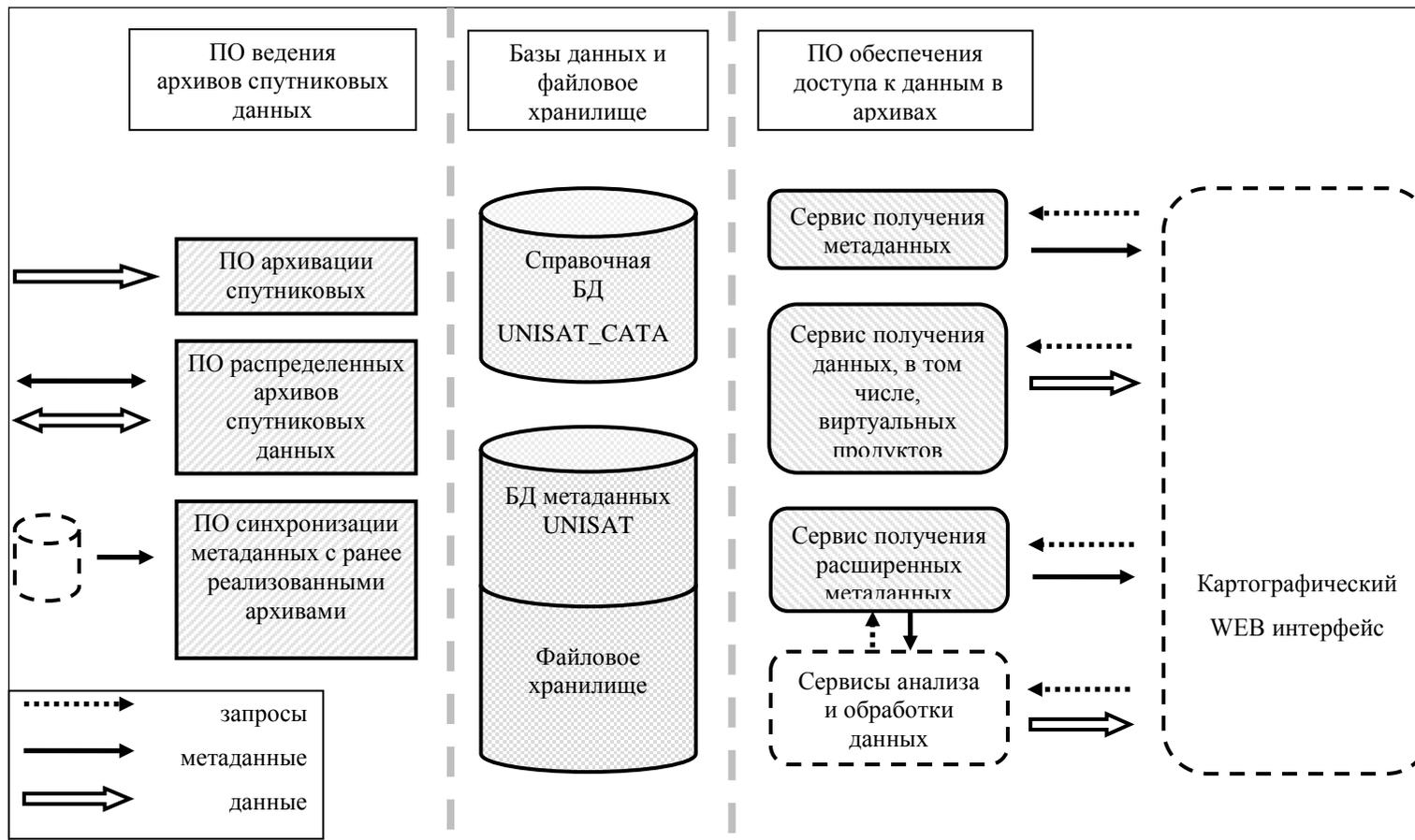


Рисунок Б.6 - Архитектура систем на основе технологии UNISAT. Пунктирными стрелками показаны запросы на получение данных или метаданных, сплошными стрелками – метаданные, а полыми стрелками – данные. Внешние компоненты, непосредственно не входящие в состав системы ведения архивов, показаны пунктирными фигурами

Реализация распределенных архивов спутниковых данных. Данные могут поступать в архивы из внешних центров данных и с локальных станций приема. Для каждого центра может быть определена политика экспорта данных или метаданных в остальные центры распределенного архива. В каждом центре может быть реализован свой набор спутниковых данных, но при этом содержится справочная БД, синхронизируемая с центральным узлом системы. Преимуществом представленной схемы реализации распределенных архивов спутниковых данных является высокая степень гибкости в определении того, какие типы метаданных и данных должны передаваться между удаленными узлами архивов, что практически недостижимо при использовании стандартных инструментов репликации баз данных.

Программные средства импорта метаданных из архивов спутниковых данных. Для обеспечения возможности погружения в UNISAT информации из действующих систем архивации спутниковых данных разработан программный инструментарий, позволяющий импортировать метаданные и синхронизовать их состояние в постоянном режиме. Инструментарий рассчитан на работу с широким классом спутниковых данных.

Следует отметить, что в настоящее время на основе описанной технологии построены и ведутся архивы данных различных научных и прикладных информационных систем. В том числе, на основе данной технологии созданы и поддерживаются системы ведения и пополнения архивов спутниковых данных и результатов их обработки, которые полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к архивам, необходимым для реализации ИАС «Углерод-Э».

5. Технология создания интерфейсов пользователей для работы со спутниковыми данными ДЗЗ и результатами их обработки

Настоящий раздел посвящен описанию основных возможностей технологии GEOSMIS, ориентированной на создание интерфейсов, обеспечивающих возможность работы с различными информационными продуктами, получаемыми на основе спутниковых данных, а также различной сопутствующей информацией. Интерфейсы, создающиеся на основе технологии GEOSMIS, способны не только решать традиционные задачи работы с архивами спутниковых данных (поиск, выбор, визуализацию и т.д.), но и предоставлять пользователям различные инструменты, позволяющие проводить анализ и обработку данных. Создаваемые интерфейсы могут

так же обеспечивать удобную и прозрачную работу с информацией, хранящей в различных, в том числе и территориально распределенных архивах данные специализированных систем дистанционного мониторинга. В технологии также имеются механизмы, позволяющие обеспечивать оперативное ("онлайн") получение информации из различных внешних источников.

Основные задачи технологии GEOSMIS. Активно создающиеся и развивающиеся в последние годы специализированные системы дистанционного мониторинга, обычно, в независимости от конкретной области их применения, должны обеспечивать решение следующих основных задач:

- позволять осуществлять наблюдение значительных территорий и оперативно предоставлять информацию о контролируемых объектах и явлениях территориально распределенным пользователям;
- обеспечивать возможность постоянного наблюдения контролируемых объектов и явлений, т.е. быть рассчитанными на работу с постоянно обновляющейся информацией;
- позволять получать различные характеристики контролируемых объектов и явлений и, поэтому, быть ориентированными на использование информации, полученной на основе различных средств наблюдений (различные спутники, самолетные наблюдения, наземные наблюдения и т.д.);
- обеспечивать возможность работы с распределенными архивами и базами данных, поскольку сбор, анализ, обработка и хранение информации может осуществляться в различных территориально распределенных центрах;
- предоставлять пользователям информацию, прошедшую достаточно глубокую обработку, а также удобный инструментарий (интерфейсы для ее анализа), при этом во многих случаях должна быть обеспечена возможность динамического формирования тех или иных видов продуктов в момент запроса их пользователем;
- предоставлять пользователям возможность получения и анализа различной пространственной информации;
- обеспечивать простое получение и интеграцию данных из различных сторонних систем мониторинга, а также обеспечивать легкий импорт различных информационных продуктов, предоставляемых системой, в том числе и предоставление онлайн-сервисов.

Для решения данных задач в системах должны создаваться специальные интерфейсы, обеспечивающие работу с различной информацией. В силу того, что

системы дистанционного мониторинга обычно ориентированы на контроль, анализ и управление различных процессов и явлений, происходящих на больших территориях, их пользователи обычно не локализованы в одном центре, а могут работать в территориально разнесенных местах. Кроме этого, информационные ресурсы, используемые в системах, обычно, являются территориально распределенными. Все это требует, в конечном итоге, создания в рамках систем удобных интерфейсов, обеспечивающих удаленную работу с данными. При этом, одной из наиболее важных является задача предоставления пользователям картографических интерфейсов, позволяющих удаленно работать с распределенными информационными ресурсами. Именно эту задачу и решает созданная технология GEOSMIS.

При разработке технологии сформулированы основные функции и задачи, которые должны решать интерфейсы таких систем. Технология GEOSMIS проектировалась и создавалась таким образом, чтобы она позволяла максимально просто создавать интерфейсы для удаленной работы с данными, позволяющие решать данные задачи. К ним в первую очередь относятся:

- возможность работы с многомерными архивами данных (т.е. по каждой наблюдаемой точке (объекту) в системе могут иметься временные ряды наблюдения различных характеристик);
- простое и легко понимаемое управление данными (выбор, поиск, включение для отображения нужных характеристик и т.д.);
- возможность быстрого выбора и отображение различных информационных продуктов из достаточно емких архивов, обеспечивающих хранение многомерных данных;
- возможность одновременного отображения различных видов информации, и проведение их совместного анализа;
- возможность работы как с пространственной информацией, так и временными рядами различных информационных продуктов;
- возможность формирования комплексных продуктов на основе базовых по запросу пользователей (это, в первую очередь, связано с тем, что при расширении задач и возможностей систем мониторинга, простое увеличение типов хранимых информационных продуктов приводит к неконтролируемому росту объемов архивов, поэтому часть продуктов приходится формировать только по запросам);
- доступ к распределенным информационным ресурсам;

- "онлайн" импорт информации из различных сторонних информационных систем, а так же, сервисы экспорта данных в такие системы;
- возможность простого расширения функциональности, а также удобной и гибкой настройки интерфейсов для решения задач конкретных проектов;
- поддержка гибкой системы авторизации пользователей для доступа к различным функциям и информационным продуктам, используемым в системе;
- возможность поддержки и развития интерфейсов большим числом разработчиков.

При этом нужно учитывать, что пользователям систем дистанционного мониторинга обычно необходимо получать доступ ко всем интересующим их типам данных, в том числе разного пространственного разрешения и полученных различными системами наблюдений, в рамках одного единого интерфейса. Желательно также, чтобы интерфейсы с данными были легко и интуитивно понимаемыми, и обеспечивали базовые функции работы с пространственно привязанными данными. Анализ опыта построения интерфейсов для работы с пространственно привязанными данными позволил выделить основные функции работы с информацией, которые должны обеспечивать создаваемые интерфейсы. К ним, в частности, относятся:

- все слои данных должны отображаться в единой области просмотра, что позволяет работать одновременно с разными типами данных. Должна существовать возможность одновременно отображать спутниковые данные различного разрешения, векторные картографические слои, различные продукты обработки спутниковых данных. В качестве подложки могут быть использованы различные спутниковые композиты;
- должна быть удобная система управления картой. Элементы управления картой позволяют выполнять различные действия, такие как масштабирование, получение информации по точке, сохранение изображения на диск, рисование полигонов и линий. Малоиспользуемые функции, такие как ручное задание координат и поиск по названию объекта, могут быть вынесены в отдельную вкладку управления;
- интерфейс должен иметь мини-карту. Мини-карта накладывается в углу области просмотра и позволяет наглядно увидеть расположение текущей области. По желанию пользователя может быть скрыта;
- картографические слои должны иметь возможность быть сгруппированными по тематике. Для обеспечения модульности и масштабируемости, управление различными типами данных должно быть разделено по вкладкам. Каждая вкладка отвечает за определённый тип данных или за определённый набор функций.

Таким образом, в различных интерфейсах и при решении различных задач меняется только набор вкладок;

- интерфейсные элементы должны обеспечивать удобную единообразную навигацию по архивам. Для этого, каждому типу данных соответствует своя временная шкала и свой фильтр данных. Пользователь может задать как временной диапазон, так и различные условия выборки данных;

- управляющие элементы интерфейса должны быть унифицированы для того, чтобы реализованные вкладки имели однотипные элементы управления, что существенно упрощает логику работы с интерфейсом;

- должна быть реализована настройка параметров работы интерфейсов.

Естественно, что для поддержки функционирования любого интерфейса должны быть созданы специализированные сервисы к различным архивам данных. Поэтому, в обсуждаемой технологии предусмотрена схема создания и работы с такими сервисами. Эти сервисы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- поддержка удаленного доступа к данным;
- поддержка оперативной динамической обработки и анализа данных;
- возможность расширения для интеграции слоев данных различной природы и особенностей, как векторных, так и растровых, в том числе, из распределенных архивов долговременных рядов данных;

- унифицированная поддержка предоставления как картографической информации, так и метаданных, необходимых в интерфейсах доступа;

- возможность работы с данными в интерактивном режиме с возможностью их изменения;

- возможность интеграции систем управления доступа к данным и авторизации;

- поддержка различных проектов в рамках одного сервиса;

- модульность и возможность разработки конкретных интерфейсов и сервисов большим числом разработчиков.

Совокупность обозначенных выше требований определяет как структурные, так и функциональные особенности создаваемой технологии.

В технологии GEOSMIS заложены следующие основные принципы:

- модульная структура;

- объектно-ориентированная модель;

- гибкость конфигурации;

- простота расширения.

Систему, строящуюся по технологии GEOSMIS можно условно разделить на несколько уровней, взаимодействия, которые представлены на рисунке Б.7:

- уровень представления, включающий в себя web и ГИС-интерфейсы;
- прикладной уровень, в который входят:
 - web-сервисы (в том числе, картографические сервисы, сервисы метаданных и сервисы управления данными);
 - системный API, обеспечивающий доступ к данным и справочникам, а также контроль доступа к различным ресурсам и интерфейсам.

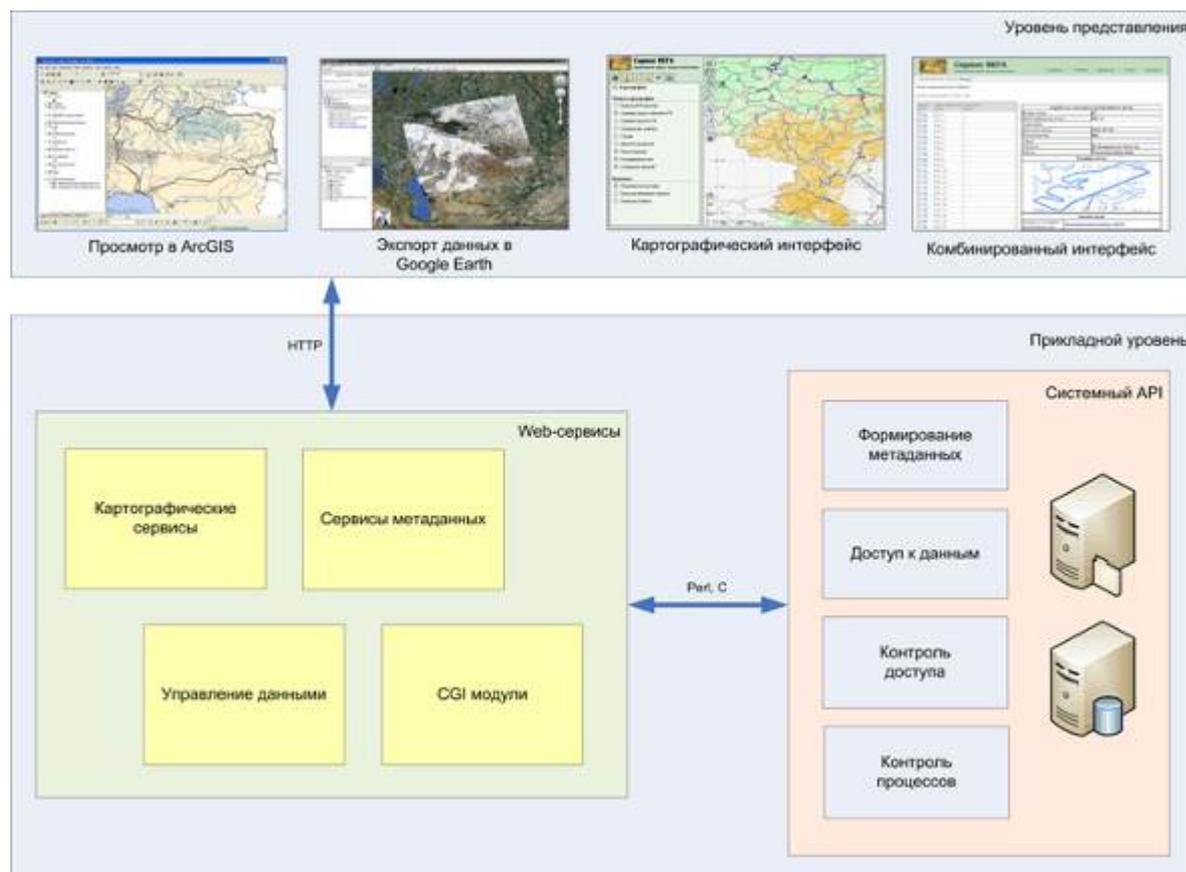


Рисунок Б.7 - GEOSMIS: уровни архитектуры и их взаимодействие

Уровень представления – это уровень, на котором идет взаимодействие с пользователем. Данный уровень позволяет пользователю работать с системой посредством web-интерфейсов или специально созданных приложений, таких как ГИС. Поскольку ГИС-системы имеют уже все базовые инструменты для работы с картографическими данными, то их взаимодействие с системой GEOSMIS осуществляется на уровне работы с сервисами данных.

Прикладной уровень – это уровень, который обеспечивает взаимодействие между интерфейсами и непосредственно данными. Условно его можно разбить на сервисы данных и системный API.

Сервисы данных позволяют получить доступ к данным на основе протоколов HTTP. В технологии GEOSMIS используются 3 типа сервисов:

- картографические сервисы;
- сервисы метаданных;
- сервисы управления данными.

Картографические сервисы предоставляют информацию в виде растровых изображений (карт). Данный тип сервисов работает на основе расширенного стандарта WMS. Эта особенность позволяет использовать сервисы не только в картографических интерфейсах, но и напрямую в различных ГИС.

Сервисы метаданных позволяют получить информацию о наличии конкретных продуктов по определенной территории или заданному промежутку времени, а так же по любым дополнительным критериям. Данные сервисы работают с форматами JSON или XML. Сервисы метаданных позволяют делать запросы, в том числе и к распределенным архивам. Информация, которую возвращает сервис, содержит как описательные данные, так и данные, необходимые для получения этой информации с помощью картографических сервисов.

Сервисы управления данными позволяют манипулировать данными в БД путем осуществления web-запросов, таких, как добавление информации, ее изменения или удаления, например, добавление контуров и их атрибутов. Взаимодействие с такими сервисами ведется в так же в формате JSON.

В рамках технологии GEOSMIS все 3 типа сервисов реализованы в едином сервисе, который получил название smiswms. Данный сервис позволяет делать запросы на получение картографических данных и информации об объектах карты (запросы типа GetMap и GetFeatureInfo, которые формируются в интерфейсе модулем smismap), запросы на получение метаданных (запрос типа GetMetadata, который генерируется в интерфейсе модулем smismeta), а так же делать запросы на добавление и изменение данных, например добавление полигонов или информации по ним. Таким образом, ядро картографических интерфейсов взаимодействует напрямую с сервисами smiswms для получения метаданных и отображения картографической информации. Взаимодействие может осуществляться как с одним сервисом smiswms, так и с произвольным их количеством, причем физически сервисы могут быть территориально распределены.

Отдельной частью прикладного уровня является системный API. Это модули, написанные преимущественно на языке Perl, находящиеся на сервере и позволяющие получать доступ к данным и работать с ними на стороне сервера. Все сервисы, которые были перечислены выше, работают с данными именно через них. Каждый модуль отвечает за определенный тип данных или часть системы. Это позволяет гибко настраивать систему, искать ошибки и осуществлять разработку большому количеству разработчиков.

Как было отмечено ранее, базовые возможности стандартов OGC далеко не всегда обеспечивают задачи, возникающие в рамках взаимодействия картографических интерфейсов с данными. Поэтому, при реализации сервисов, протоколы были либо расширены необходимыми параметрами и возможностями, либо созданы отдельно, как, например, протокол предоставления метаданных и манипуляции с данными.

Работу с картографическими данными в серии стандартов OGC описывает протокол WMS. Он содержит типы запросов, обеспечивающих получение базовой метаданных по имеющимся слоям и их параметрам, получение собственно карт, легенд к ним и описаний объектов. При создании сервиса его основным к нему требованием является поддержка совместного анализа данных. Фактически, это требует дополнительных параметров стандарта запроса GetMap, которые определяют операции, осуществляемые между набором информационных слоев, переданных в запросе. Для этого были введены дополнительные параметры уровня ядра, которые задают операции обработки данных слоев и параметры их интеграции. Среди них, например, операции формирования маски из данных слоя и параметр, задающий цвет прозрачности при проведении операции склейки слоев.

Запросы, касающиеся работы с описательной информацией о картографических слоях - метаданных, в стандарте WMS реализованы на достаточно примитивном уровне и не могут обеспечить фильтрацию и поиск данных, так же как и не поддерживают эффективной организации больших объемов данных, в частности, разновременной информации. Поэтому, для предоставления метаданных для обеспечения картографических интерфейсов был создан отдельный тип запроса к сервисам данных и его протокол.

– Работа с описательной информацией данных в интерфейсах чаще всего сводится в необходимости отображать различные списки данных, в том числе, из разных источников, и обеспечивать их фильтрацию и навигацию по ним. Кроме этого, для эффективной разработки интерфейсов желательно иметь инструмент формирования

запросов по шаблонам. Таким образом, базовые требования к сервису метаданных являются:

- поддержка фильтров данных;
- поддержка порционности выдачи данных;
- интерфейс формирования запросов метаданных.

С учётом этих требований в технологии реализован протокол работы запроса к сервису GetMetadata.

Одной из частей системы, которая пронизывает собой все уровни технологии GEOSMIS, является система авторизации и управления доступом. Система авторизации позволяет не только ограничивать доступ к определенным типам данных, но и контролировать различные параметры. Система авторизации работает как на уровне системного API, который используется при реализации подсистемы активных сервисов и других модулей, так и на уровне интерфейсов, позволяя видоизменять количественно и качественно состав интерфейса в зависимости от уровня доступа. Система авторизации состоит из API модулей для работы с учетными записями пользователей и интерфейса их управления, а так же модуля для веб сервера, который обеспечивает проверку доступа ко всем ресурсам.

Базовое программное обеспечение технологии GEOSMIS. Для реализации технологии разработано базовое программное обеспечение для создания картографических интерфейсов и сервисов по технологии GEOSMIS представляет собой набор программных модулей, исполняемых сценариев, файлов конфигурации и шаблонов, использование которых позволяет достаточно однообразно и просто создавать и развертывать системы интерфейсов доступа к архивам спутниковых данных с возможностью интеграции разнообразных источников данных, их анализа и динамической обработки. Созданное программное обеспечение и его архитектура позволяют:

- единообразно создавать расширения сервиса карт и метаданных - специализированные плагины, что обеспечит работу пользователей посредством картографических интерфейсов с картами и метаданными необходимых источников данных;
- создавать специализированные блоки интерфейсов для работы с частными картографическими слоями, слоями легенд и метаданными;
- разработку новых вкладок интерфейсов для работы с конкретными источниками данных, обеспечивающие необходимую функциональность работы с ним в

едином виде: управление параметрами фильтров данных, работа с метаданными и картами;

- расширять функциональность интерфейсов для работы со слоями данных и их анализа.

При разработке различных элементов базового программного обеспечения использовались следующие основные технологические решения:

- серверная часть - сервисы данных и базовые модули интерфейсов - реализованы на языке Perl;

- для работы с данными применяются имеющие Perl API библиотеки и пакеты работы с данными, такие как GDAL, GD, mapserver, Imager, GraphicsMagick;

- HTML, JavaScript, Ajax и некоторые другие для реализации интерфейсов;

- разработки ориентированы на связку UNIX-Apache для реализации клиент-серверного взаимодействия, однако, без существенных доработок могут быть развернуты и на других платформах и веб-серверах в силу кросс-платформенности используемых средств.

Подсистема активных сервисов. Одной из основных задач GEOSMIS является унификация доступа к геопространственным данным. Под этим понимается типизация предоставляемых сервисов и стандартизация форматов предоставления данных. Основными типами сервисов, необходимых для GEOSMIS, являются сервис растровых карт, сервис описаний карт (метаданных) и сервис управления данными. Эта функциональность была реализована в сервисе smiswms, обеспечивающем работу с картографическими данными в GEOSMIS.

При создании сервиса за основу был взят стандарт OGC WMS (<http://www.opengeospatial.org/standards/wms>), расширенный и дополненный для того, чтобы удовлетворять запросам существующих web-интерфейсов и специфики формирования карт, как было рассмотрено в предыдущем параграфе. В то же время полностью поддержан базовый формат запроса карт WMS getMap для обеспечения совместимости со сторонними приложениями. Запросы на получение метаданных и управления данными так же были созданы с учетом структурных особенностей стандартов OGC (<http://www.opengeospatial.org/standards>), с ориентировкой на прикладные варианты использования. В частности, запрос метаданных может предоставлять результаты в формате JSON, поддерживает управление размерами порций выдаваемой информации и работу со специфичными для различных данных фильтрами. Таким образом, стандарты интерфейсов предоставления данных smiswms не зависят от

форматов хранения и предоставления самих данных. В настоящее время сервис smiswms обеспечивает доступ пользователей к информации, хранящейся в большом количестве архивов и баз данных различных форматов. Гибкая поддержка таких источников данных и быстрое добавление новых обеспечивается особенностями внутренней структуры сервиса. Одним из показательных примеров реализации плагина сервиса smiswms является плагин, обеспечивающий работу с распределенным каталогом данных высокого пространственного разрешения. Доступ к этой информации организован таким образом, что и карты, и метаданные из независимых каталогов территориально разнесенных центров агрегируются «он-лайн» незаметно для пользователей сервиса.

Smiswms имеет модульную структуру. Модули сгруппированы таким образом, чтобы полностью разделить частные алгоритмы и функции реализации доступа к данным и общую функциональность, обеспечивающую работу сервиса в целом. Таким образом, структура сервиса имеет стандартизированные группы модулей работы с конкретными данными – плагины и модули ядра сервиса для работы с плагинами и для обслуживания внешних интерфейсов. Структурно-функциональная схема сервиса приведена на рисунке Б.8.

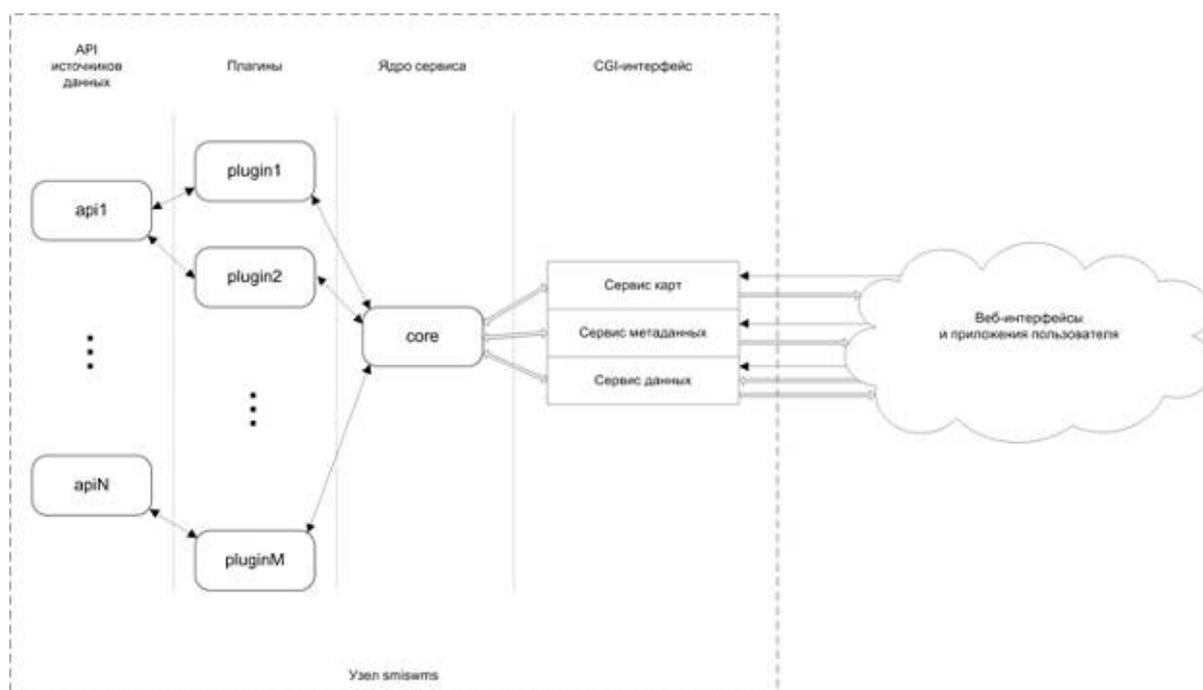


Рисунок Б.8 - Структурно-функциональная схема веб-сервиса smiswms

Ядро сервиса smiswms осуществляет работу с плагинами и взаимодействие с web-сервером посредством CGI интерфейсов, а так же необходимую для обеспечения работы сервиса функциональность. Ядро обеспечивает изоляцию процессов плагинов,

параллельность обработки запросов плагинами и наличие единого механизма обработки исключительных ситуаций. Так же, ядро реализует базовые для слоев динамические обработки данных: репроекцию, управление прозрачностью и некоторые графические трансформации.

Модули плагинов обеспечивают данными интерфейсные сервисы ядра smiswms. Плагины создаются на основе базовых модулей-классов и имеют стандартные интерфейсные функции для взаимодействия с ядром. Такой подход обеспечил простоту добавления, конфигурирования наборов плагинов и удобство совместной разработки функциональности сервиса в целом.

В состав плагинов входят модули конфигурации, модули обработки запросов формирования карт, модули формирования метаданных, модули работы с легендами слоев, а так же, отдельными модулями выделены модули тестов. Отдельное определение модулей тестов для каждого плагина определено, в первую очередь, уникальностью алгоритмов тестирования функциональности каждого плагина и, зачастую, необходимостью дополнительно конфигурировать параметры алгоритмов для различных проектов. Модули тестов также унифицированы по интерфейсам взаимодействия с ядром. В каждой конкретной реализации плагина набор модулей может быть произвольным в силу принятых организационных решений для реализации частной функциональности.

Большое внимание при создании сервиса smiswms было уделено оптимизации быстродействия. Оптимизация сервисов предоставления данных, метаданных и карт производилась в трех основных направлениях – оптимизация алгоритмов и функций работы с данными в каждом из плагинов, возможность параллельной работы плагинов и применение средств кэширования запросов. Хотя, во многом, быстродействие сервиса обеспечивается решениями, принятыми при построении специализированных систем хранения данных, которые должны обеспечить быструю выборку данных для формирования карт и обеспечения метаданными, в том числе, из распределенных источников.

Подсистема картографических интерфейсов. Подсистема картографических интерфейсов является финальным звеном этапа предоставления спутниковых данных. Имея в наличии методы и базовое программное обеспечение распределенных архивов продуктов спутниковых данных, обеспечивающие оперативный доступ к данным, и подсистемы активных сервисов, осуществляющей динамическое формирование карт информационных продуктов, предоставление метаданных и средств для работы с

данными, возможно создание подсистемы картографических интерфейсов для предоставления инструментов анализа данных и работы с разнообразными их источниками.

Архитектура программного обеспечения интерфейсов построена по схеме клиент-сервер. Ее общая схема приведена на Рисунке Б.9. В серверной части в системе хранения данных находятся сами данные, и связанные с ними метаданные. Запросы, как к данным, так и к метаданным происходят посредством CGI-запроса, на основе стандарта WMS (<http://www.opengeospatial.org/standards/wms>). Так как сам стандарт WMS не определяет порядок запроса разновременных данных с различными параметрами, в запросах используется расширенный стандарт WMS, разработанный в рамках GEOSMIS.

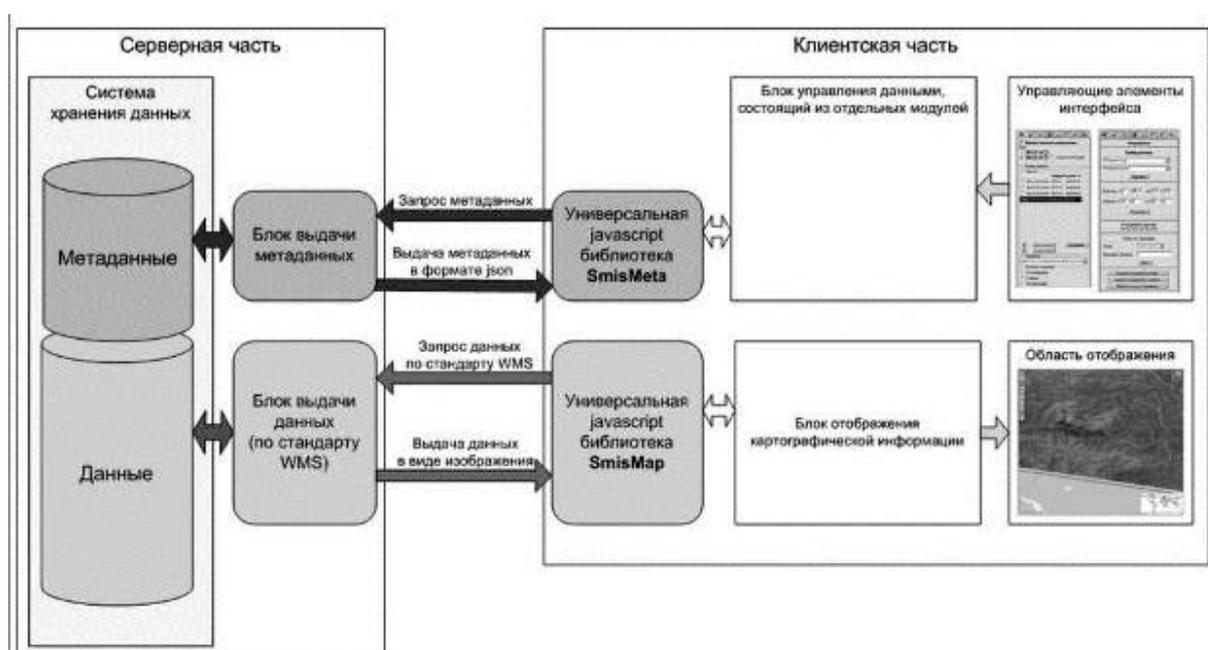


Рисунок Б.9 - Общая схема работы объединенного картографического интерфейса

«Клиентская» часть интерфейса, представленная на рисунке Б.10, разделена на две области: управляющая область и область отображения картографической информации. Функциональность этих областей обеспечивается работой двух блоков, входящих в состав «клиентской» части интерфейса: блока отображения картографической информации и блока управления данными. Каждый блок управляется универсальными javascript-библиотеками, входящими в состав GEOSMIS. Так библиотека smismeta обеспечивает работу со списками и метаданными, а библиотека smismap позволяет работать с отображением картографических слоев.

Блок управления данными посредством управляющих элементов интерфейса формирует запросы на метаданные, которые через библиотеку smismeta передаются на сервер. Затем на основе полученных метаданных и управляющих параметров, переданных интерфейсом посредством библиотеки smismar формируется CGI-запрос на формирование картографического слоя (изображение), которое в дальнейшем отображается в интерфейсе в картографической области. Представление «клиенту» метаданных производится в формате JSON (<http://www.geog.umd.edu>), это удобно для дальнейшей работы с ними в javascript-библиотеках интерфейса. Выдача картографических данных производится в виде графического изображения, при этом поддерживаются различные графические форматы (такие как jpeg, png, gif и другие). Каждый картографический слой данных формируется в виде одного изображения, эти изображения затем в картографической области интерфейса накладываются друг на друга.

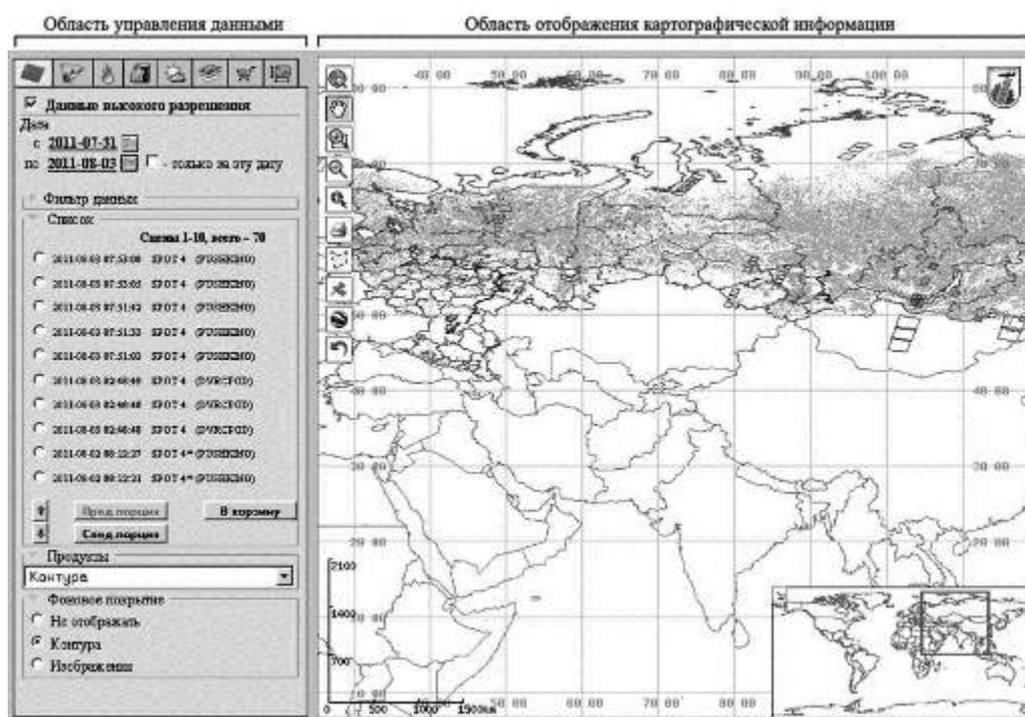


Рисунок Б.10 - Вид «клиентской» части картографического интерфейса

Более детально внутренняя архитектура технологии представлена на рисунке Б.11.

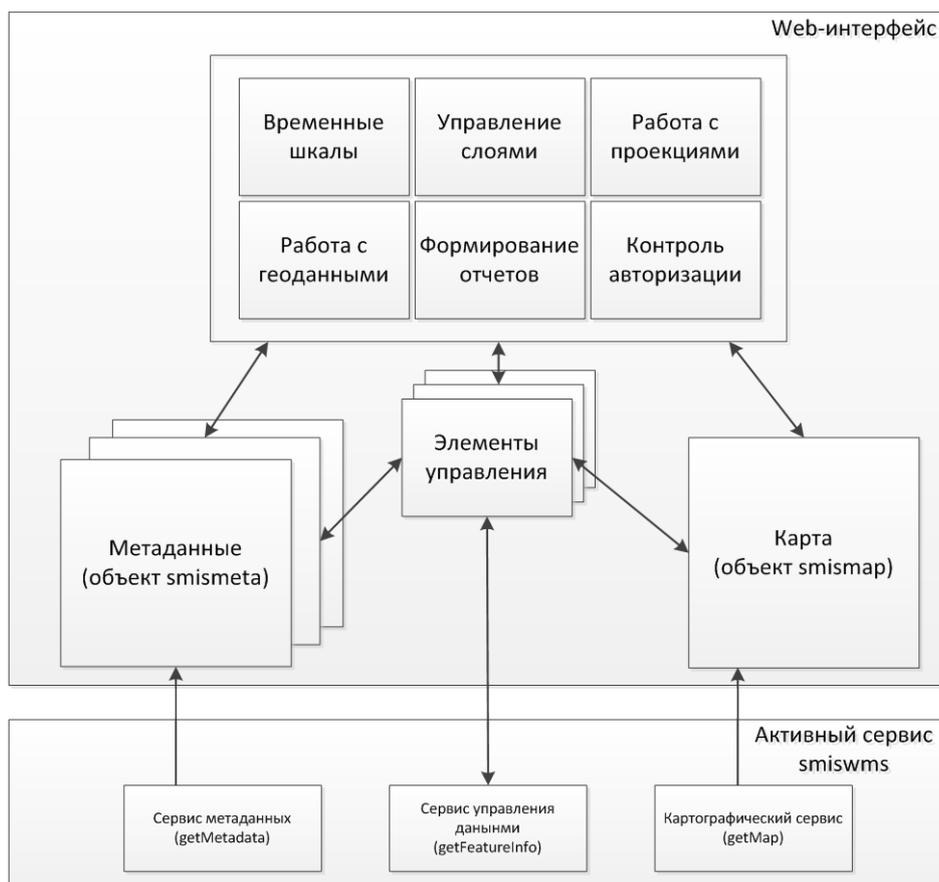


Рисунок Б.11 - Общая архитектура web-интерфейса, основные элементы

Работу интерфейсов обеспечивает ядро, основой которого являются два следующих модуля:

- модуль работы с картографическими данными – smismap;
- модуль работы с метаданными – smismeta.

Модуль работы с картографическими данными представляет собой объект javascript, который обеспечивает отображение картографической информации, полученной от сервисов данных, и манипуляции с ней. Кроме того, модуль позволяет делать пространственные запросы, а также экспорт отображаемых данных на печать или в другие системы.

Модуль работы с метаданными представляет собой объект javascript, который отвечает за поиск данных в каталогах, с помощью сервисов метаданных и извлечение из них данных, необходимых для отображения информации на сервисе «отрисовки».

Поскольку модули построены по объектной модели, то их можно тиражировать для работы с разными типами данных, например, для поиска разного типа данных. Взаимодействие модулей между собой осуществляется через вызов функций и обработку

событий, что обеспечивает гибкость и прозрачность работы интерфейса. Базовые модули были написаны с таким расчетом, чтобы максимально абстрагироваться от сущности данных. Для этого были созданы гибкие конфигурационные файлы, которые позволяют быстро и просто перенастраивать интерфейс на работу с новыми типами данных.

Программно ядро реализовано в виде набора объектов и шаблонов, обладает гибкой системой настроек, что позволяет обеспечить:

- Масштабируемость, легкую поддержку новых типов данных и дополнительную функциональность;
- Возможность интеграции данных из сторонних источников по протоколу WMS;
- Реализацию гибкой системы разграничения доступа для различных групп авторизованных пользователей.

Особое внимание при разработке технологии GEOSMIS уделялось вопросу организации структуры интерфейсов работы с данными. Учитывая, что необходимо организовать достаточно понимаемые и удобные интерфейсы, обеспечивающие работу с разнотипными, быстро обновляющимися пространственными данными, необходимо было выработать некоторые общие подходы, которые позволили бы пользователям достаточно легко ориентироваться в интерфейсе. Поэтому был разработан базовый интерфейс, структура которого представлена на рисунке Б.12. На рисунке отмечены ключевые функциональные области интерфейса. Для того, чтобы обеспечить работу с разными типами данных, управление интерфейсом имеет блочную структуру. Каждому типу данных и характерным функциям управления соответствуют свои модули в интерфейсе. На уровне пользователя для каждого модуля и типа данных в интерфейсе созданы соответствующие вкладки работы с данными. Такая структура позволяет группировать различные однотипные данные и различные операции с данными для удобной и понятной работы пользователя. Модульная структура позволяет также сделать интерфейс масштабируемым, при этом добавление в интерфейс новых данных или их групп или дополнительных операций не представляет заметных трудностей. Структура позволяет конфигурировать интерфейс для работы с нужными типами данных. Следует также отметить, что в различных специализированных системах, которые используют интерфейсы, построенные по данному принципу, управление работой с однотипными данными может осуществляться однотипными базовыми вкладками. Это облегчает как разработку специализированных интерфейсов, так и обмен данными между различными системами.

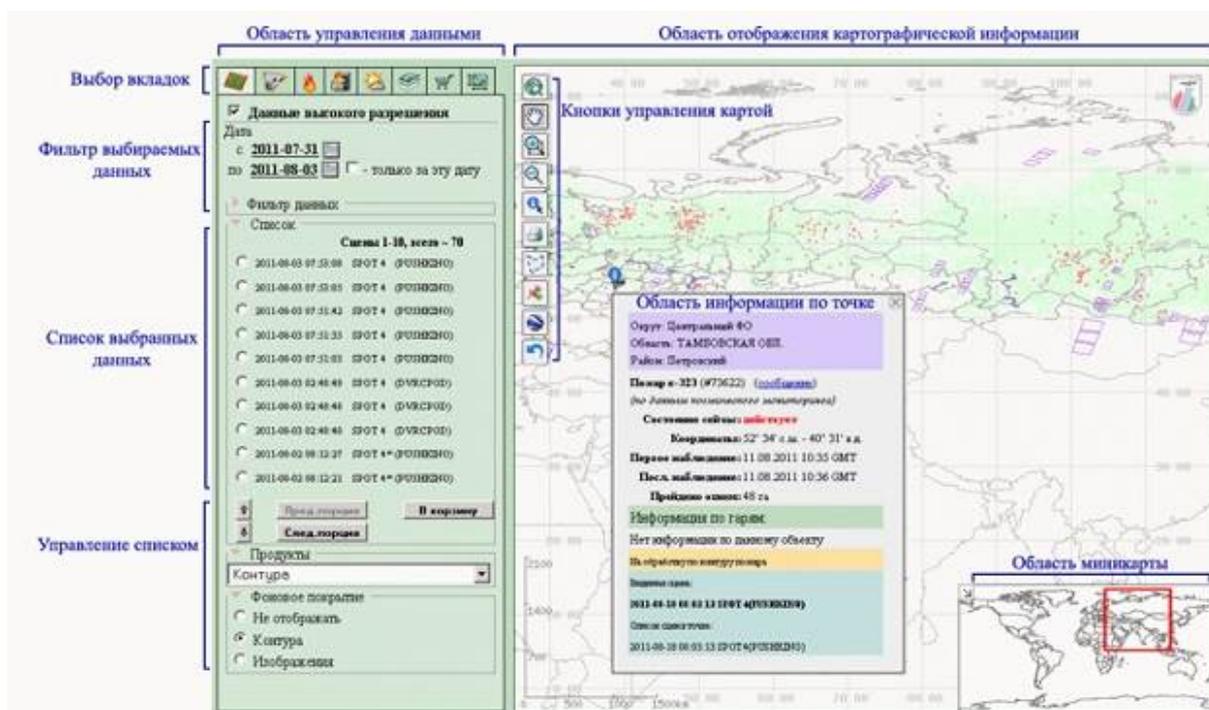


Рисунок Б.12 - Пользовательский интерфейс работы с данными в GEOSMIS

Для удобной работы пользователей с разновременными данными в интерфейсе реализованы однотипные блоки, которые позволяют управлять различными по типам спутниковыми данными и результатами их обработки. Например, работать с:

- данными высокого пространственного разрешения, представление которых осуществляется достаточно локализованными сценами;
- данными низкого и среднего разрешения, характерной единицей представления которых являются «сеансы», охватывающие значительные территории;
- сериями временных и пространственных композитов различных продуктов обработки спутниковых данных.

Характерные виды вкладок, обеспечивающие управление такими данными, представлены на рисунке Б.13. В интерфейсе предусмотрена также специальная возможность выборки различных типов слоев для проведения их совместного детального анализа. Выбранные слои (сцены, сеансы и т.д.) собираются в отдельной вкладке, в которой в зависимости от задач конкретной реализации интерфейса с ними можно осуществлять те или иные операции.

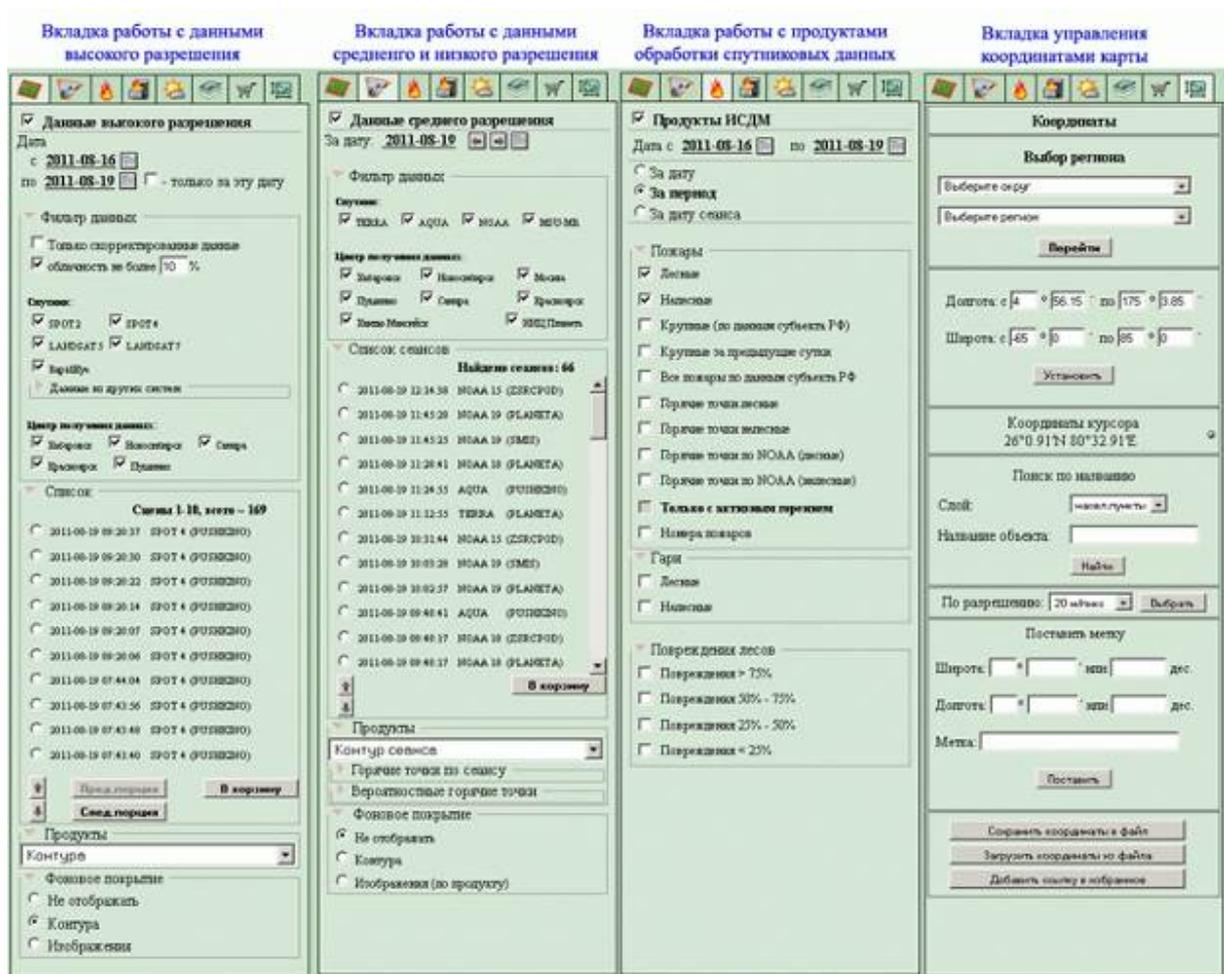


Рисунок Б.13 - Примеры различных типов вкладок, использующихся в интерфейсах GEOSMIS

Особое внимание при построении интерфейсов было уделено вопросу обеспечения для пользователей прозрачных схем получения информации, хранящейся в распределенных архивах данных или даже в разных системах мониторинга. Интерфейсы рассчитаны на прозрачное для пользователя получение данных из различных источников, т.е. пользователь, во многих случаях, даже не замечает из каких именно систем хранения или, например, центров предоставления информации, он получает конкретные данные. Как уже отмечалось, интерфейс интегрирован с системой авторизации, что позволяет пользователю, проведя авторизацию на входе в конкретный интерфейс, получить возможность работы с различными распределенными информационными ресурсами в соответствии с политикой конкретной системы.

Интерфейсы также позволяют включать в себя различные функции, связанные с управлением данными. Например, заказ данных из архивов или назначение их в специализированные обработки, а также управление экспортом данных в различные сторонние системы. В интерфейсе поддерживается достаточно богатый набор

управления отображением пространственных данных, который является практически стандартным для различных ГИС систем.

Разработанное базовое программное обеспечение позволяет создавать специализированные интерфейсы доступа к спутниковым данным и результатам их обработки. Для создания таких систем необходимо сформулировать и составить перечень данных, с которыми планируется работать в системе и провести базовые работы:

- составить перечень данных, с которыми планируется работать в системе, сгруппировать их по типам и определить основные параметры;
- создать блоки, обеспечивающие поступление информационных продуктов, необходимых для работы системы - архивы, блоки подготовки данных и блоки автоматического пополнения архивов;
- определить внешние источники данных и разработать модули для их подключения;
- спланировать основные задачи работы с информационными продуктами и определить функции интерфейсов;
- определить ресурсы с ограниченным доступом и правила доступа к данным.

После проведения этого может быть спроектирована система специализированных интерфейсов для работы с данными. Для создания такой системы интерфейсов с использованием технологии GEOSMIS нужно решить следующие основные задачи:

- создание сервисов к архивам и источникам данных;
- создание специализированных модулей интерфейса;
- создание самого интерфейса;
- сборка интерфейса.

Особое внимание при разработке системы GEOSMIS уделялось вопросам, связанным с оптимизацией работ по созданию, развитию и поддержке интерфейсов, создаваемых для специализированных систем дистанционного мониторинга. Поэтому в системе предусмотрены различные конфигурационные модули, которые позволяют легко управлять базовыми настройками интерфейса. Модули конфигурации позволяют производить гибкую настройку интерфейса. В модуле конфигурации доступа к данным задаются сервера доступа к данным, параметры wms-запросов для получения данных, а также дополнительные параметры, такие как формат данных. В модулях конфигурации метаданных задаются параметры получения метаданных, а также параметры

формирования списка метаданных. Конфигурация модуля smismar позволяет управлять как основными, так и дополнительными элементами управления картой. Общая конфигурация проекта производится в главном файле проекта, в этом файле прописываются все модули конфигурации.

Таким образом, описанная система позволяет легко создавать различные специализированные интерфейсы на основе базового. Для создания таких специализированных интерфейсов требуются описанные ниже действия.

Установка базовых модулей. Для этого, на серверах, которые должны будут обеспечивать работу интерфейсов, устанавливаются базовые модули, используемые в любых интерфейсах этого типа. К примеру, к таким модулям относятся библиотеки smismar и smismeta. При этом также создается базовая структура директорий, и в ней разворачиваются общие модули, соответствующие тем типам данных, которые будут использоваться в интерфейсе. К примеру, если в интерфейсе используются данные высокого разрешения, на серверах создаются соответствующие директории, в которые помещаются модули, ответственные за работу с этими типами данных. Также разворачиваются модули управления, например, модуль управления корзиной и модуль выдачи информации по точке.

Базовая конфигурация интерфейса. Основные параметры, необходимые для работы интерфейса, задаются в специальных конфигурационных файлах. В них, например, задаются адреса и wms-запросы тех слоёв, которые будут отображаться, адреса и параметры запроса к используемым метаданным. Также прописывается состав стандартных вкладок, из которых состоит интерфейс, и некоторые начальные его параметры (к примеру, такие как начальные координаты входа в интерфейс). В процессе конфигурации также должны быть настроены связи с архивами используемых данных.

Создание специализированных модулей. Естественно, что при создании интерфейсов для конкретной специализированной системы обычно нельзя ограничиться функциональностью, которую обеспечивают базовые блоки (вкладки, стандартные реакции на события и т.д.). Используемая в GEOSMIS схема организации интерфейсов позволяет легко расширять функциональность интерфейса и включать в него дополнительные модули, что может быть необходимо для обеспечения доступа к специализированным видам информации. Разработка нового модуля включает в себя создание серверного и клиентского компонентов. Серверный компонент обеспечивает доступ к данным в соответствии с расширенным стандартом WMS. Клиентский компонент представляет собой вкладку интерфейса, содержащую элементы управления,

предназначенные для формирования WMS-запросов на получение данных. Также при необходимости в модуль добавляются функции взаимодействия с другими модулями системы, и функции работы и анализа данных. Конфигурация интерфейса, включающая перечень используемых модулей и источников данных, необходимых для их работы, указывается в файлах настройки.

Сборка интерфейса. Интерфейс собирается из набора вкладок, соответствующих javascript-модулей и конфигурационных файлов. Адреса вкладок, каждая из которых представляет отдельный html-файл, прописываются в главном html-файле интерфейса. Там же прописываются файлы конфигураций, и включаемые в интерфейс модули.

После этого, собранный интерфейс готов к работе. Подобная схема действий позволяет однотипно осуществлять создание сложных интерфейсов, необходимых для работы различных систем мониторинга. Конечно, следует учитывать, что для работы интерфейса необходимо во многих случаях также осуществлять доработки функций доступа к специфическим данным, использующимся в системах мониторинга, для того, чтобы они могли взаимодействовать с интерфейсом. Однако такие функции взаимодействия интерфейса с архивами данных достаточно унифицированы, что позволяет использовать предлагаемые подходы для работы с достаточно широким классом архивов данных.

Таким образом, технология GEOSMIS реализует достаточно простую схему разработки системы картографических интерфейсов, обеспечивающих возможность удаленной работы с данными в конкретной системе дистанционного мониторинга. Работоспособность этой схемы достаточно хорошо проверена на практике. Так, на рисунке Б.14 приведены примеры интерфейсов некоторых систем, созданных сегодня на основе технологии GEOSMIS.

Следует отметить, что на основе данной технологии в настоящее время реализовано несколько десятков различных научных и прикладных систем работы со спутниковыми данными ДЗЗ. Некоторые из них находятся в промышленной эксплуатации более 10 лет. Среди систем, созданных на основе данных технологий, значительную долю составляют системы, ориентированные на мониторинг наземных экосистем, в первую очередь растительных покровов. Все это позволяет считать, что рассмотренная технология может являться основой для создания специализированных интерфейсов работы с данными при создании ИАС «Углерод-Э».

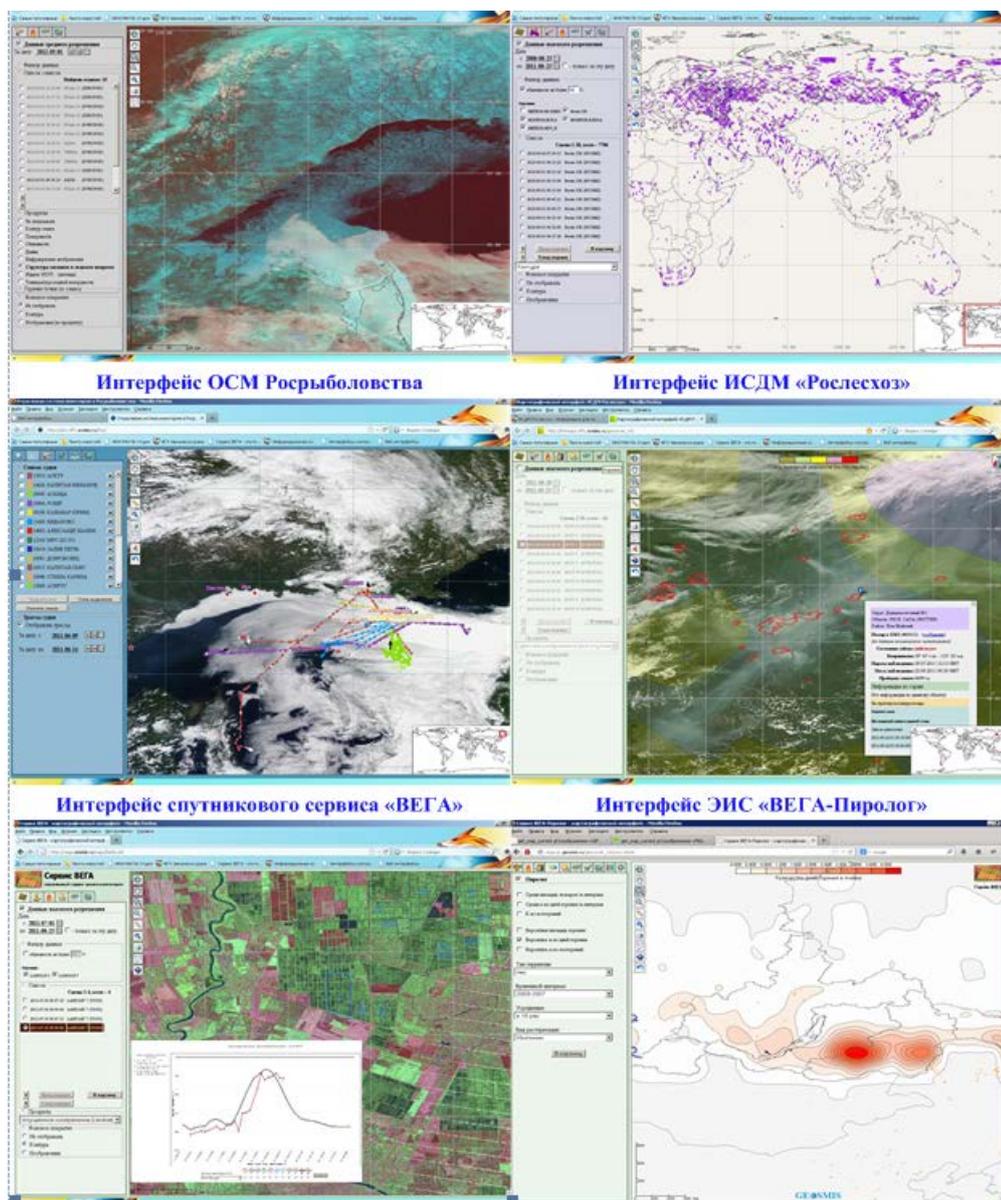


Рисунок Б.14 - Примеры интерфейсов систем, созданных по технологии GEOSMIS

6. Возможности создания инструментов распределенной обработки спутниковых данных ДЗЗ

В связи с всевозрастающими объемами данных, получаемыми различными космическими аппаратами ДЗЗ, все острее встает вопрос о возможностях использования распределенных вычислительных ресурсов коллективного пользования для проведения обработки данных. Это необходимо, в первую очередь, для того, чтобы избежать необходимости создавать под каждый конкретный проект специализированные,

достаточно дорогостоящие вычислительные центры. Этот путь целесообразно выбрать и в данном проекте, используя в его интересах различные инструменты обработки данных, ориентированные на внешние распределенные вычислительные ресурсы.

Работы по созданию инструментов обработки данных ДЗЗ на распределенных вычислительных ресурсах ведутся достаточно давно, однако заметные успехи в данном направлении достигнуты лишь в последние годы. Связано это со сложностью задачи, необходимостью использования мощных вычислительных ресурсов и развитием технологий построения web-интерфейсов. В России разработки в этом направлении активно велись в ВЦ СО РАН [44], ИАПУ ДВО РАН [45], ИКИ РАН [43]. Однако указанные разработки в основном были нацелены на предоставление пользователям возможностей работы с распределенными вычислительными ресурсами для организации offline-обработки данных.

В последние годы активизировались разработки, направленные на интеграцию систем ведения сверхбольших распределенных архивов данных и их online анализа. Такие системы ориентированы на широкий круг специалистов, использующих для работы с данными ДЗЗ доступные программные комплексы или собственные процедуры обработки данных. Наиболее известной системой такого типа является Google Earth Engine (<https://earthengine.google.org>) [13], пользователи которой могут запускать на кластере системы собственные процедуры обработки доступных в ней данных. Примером системы, предоставляющей доступ к архивам данных и средствам их обработки, может служить и сервис NASA GIOVANNI [12].

Развитие технологий построения web-интерфейсов обеспечило возможность создания систем, предоставляющих пользователям инструменты обработки спутниковых данных, ранее доступные лишь в настольных приложениях. Подобные инструменты могут быть интегрированы с архивами спутниковых данных, обеспечивая пользователям возможность оперирования огромными информационными массивами с их обработкой на распределенных вычислительных [11]. Структурная схема технологии представлена на рисунке Б.15, а для ее реализации созданы следующие блоки:

Интерфейсы пользователя - обеспечивают возможность удаленного управления процедурами обработки данных (выбор, задание параметров, контроль выполнения и т.д.) и анализа результатов. Реализуется в виде картографических web-интерфейсов, созданных на основе технологии GEOSMIS. Выбор данных для обработки реализуется средствами поиска информации в архивах [17]. Созданы интерфейсы настройки параметров процедур обработки данных.

Блок хранения заданий и результатов - состоит из базы данных заданий (БДЗ), файлового архива результатов, библиотеки доступа к ним и модулей интерфейса источника данных для сервиса отображения [17]. В БДЗ хранятся задания на обработку с информацией о ходе и результатах их выполнения.

Блок работы с заданиями - функционально состоит из менеджера заданий с отдельным плагином по каждому типу обработки, программы контроля очереди и запуска заданий.

Блок подготовки данных для обработки - обеспечивает выбор данных из архивов в соответствии с установками пользователей и передачу их в процедуры обработки.

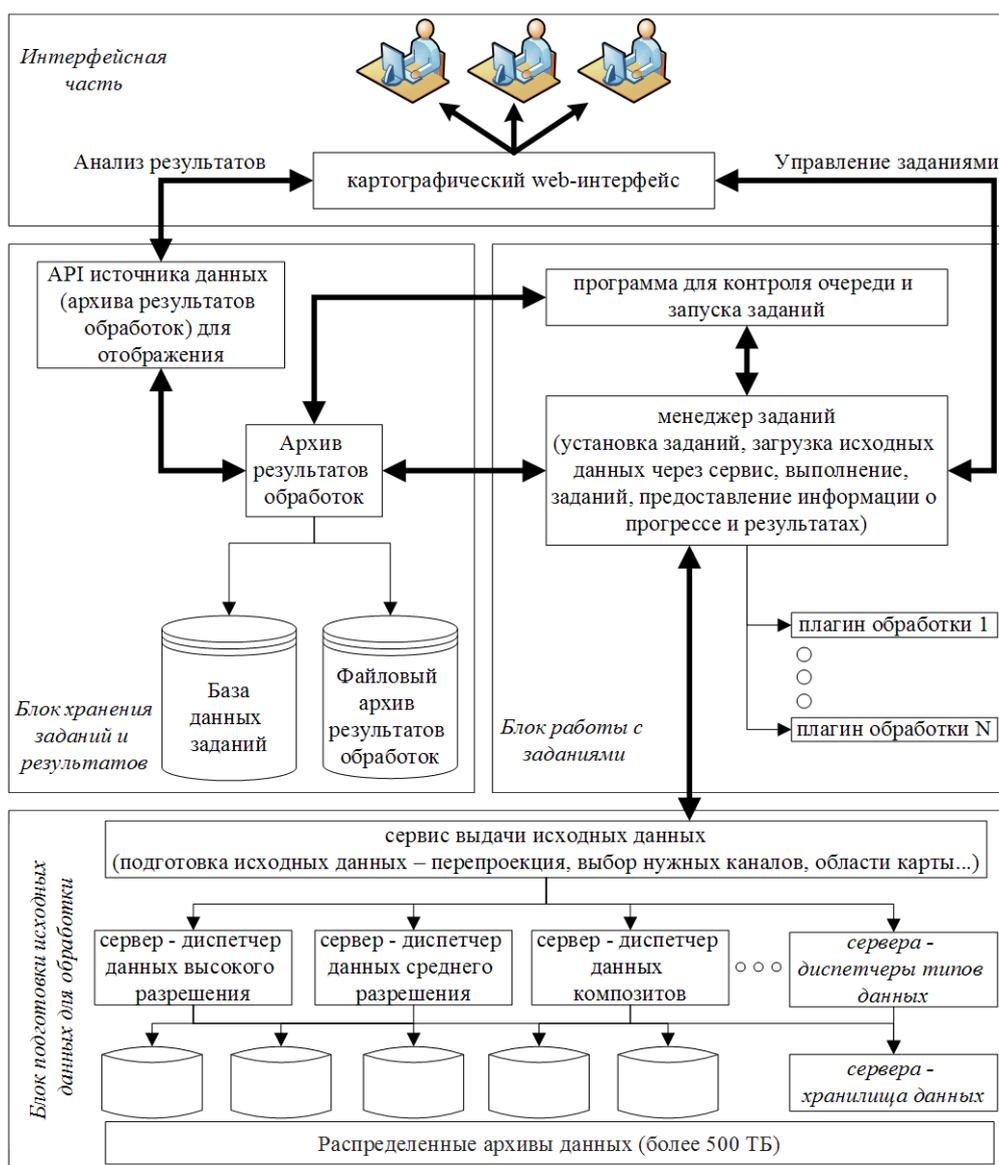


Рисунок Б.15 - Принципиальная схема построения технологии

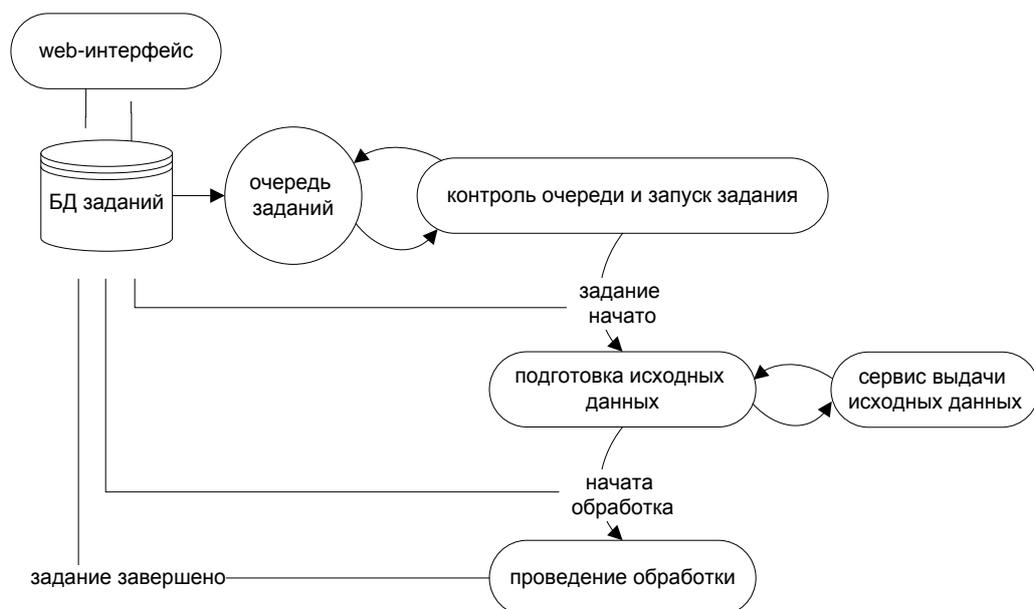


Рисунок Б.16 - Жизненный цикл запроса на обработку

Реализованные в технологии блоки являются универсальными и рассчитаны на использование в различных СДМ. В соответствии с базовой структурой для различных процедур обработки данных однотипно организуется цикл обработки, представленный на рисунке Б.16. Картографический web-интерфейс позволяет пользователю устанавливать параметры производимых операций (заданий). Так как выполнение заданий может занимать значительное время, интерфейс поддерживает возможность контроля хода обработки. После получения от пользователя задания на обработку оно помещается в базу данных, а пользователю возвращается информация о постановке задания в очередь. Web-интерфейс периодически опрашивает базу данных через менеджер заданий и информирует пользователя о статусе его выполнения.

Работу с очередью осуществляет программа контроля и запуска заданий. Очередь формируется по времени поступления при одновременной обработке некоторого предельного числа заданий, задаваемого исходя из технических возможностей и загруженности вычислительного ресурса.

Подготовка данных проводится параллельно для всех указанных пользователем источников данных задания. Со стороны менеджера заданий, работающего на сервере обработки, этот этап представляет собой обращение к серверу-диспетчеру исходных данных и загрузки через него данных. Процесс подготовки исходных данных связан с существующей архитектурой систем архивации и доступа к данным [43], [15]. Для каждого типа данных выделен сервер-диспетчер, задача которого состоит в нахождении серверов, хранящих необходимые данные и перенаправление на него запроса.

Непосредственно на сервере-хранилище над исходными данными проводятся все необходимые операции: преобразование проекций изображений, получение запрашиваемых для обработки спектральных каналов, вырезание данных по требуемой географической области и т.д. Независимо от типа исходных данных, местоположения и принципа их хранения, выходной файл сервиса стандартизован, что позволяет однообразно использовать данные в различных обработках.

После получения исходных данных и занесения информации в базу заданий на сервере инициализируется обработка. Общие функции вынесены в менеджер заданий, а специфические для конкретной обработки функции помещены в соответствующий плагин. Такая схема позволяет расширять возможности системы новыми типами обработки данных.

После завершения задания файлы результатов обработок могут передаваться на специально выделенные сервера или храниться на серверах обработки. Информация о местонахождении результатов отображается в базе данных заданий и используется для доступа к результатам через API источника данных к сервису [17].

Сервера, обеспечивающие работу различных блоков и функций технологии (обработка, диспетчеризация, хранение и т.д.), могут быть территориально распределены. Проведение обработки данных может масштабироваться на любое количество серверов. В таком случае контроль и распределение заданий по серверам обработки осуществляется программой контроля очереди и запуска заданий.

Примеры инструментов анализа данных на основе созданной технологии. На основе технологии распределенной обработки данных разработаны инструменты, позволяющие с использованием картографических web-интерфейсов проводить операции с данными. Ниже приведены некоторые примеры инструментов.

Инструмент вычислений - позволяет проводить арифметические, логические операции и различные математические преобразования над данными. Значения в отдельных каналах спутниковых изображений могут быть преобразованы по формулам, задаваемым пользователем в интерфейсе. Результатом обработки являются новые изображения, созданные на основе растровых слоев с помощью арифметических и логических операций с участием целых и дробных чисел, нормировок и математических функций. С помощью инструмента возможен расчет различных вегетационных индексов.

Инструмент классификации позволяет проводить обработку данных ДЗЗ с использованием методов обучаемой классификации и кластеризации, реализованных в

виде модулей GRASS (<http://grass.osgeo.org/>) [46]. Задание обучающей выборки для классификации осуществляется экспертом или на основе автоматической процедуры.

В верхней части рисунка Б.17 приведен пример экспертного создания обучающей выборки (класс «земли под паром») по многовременному цветосинтезированному изображению MODIS, а в нижней части – результат его классификации с использованием созданной обучающей выборки.

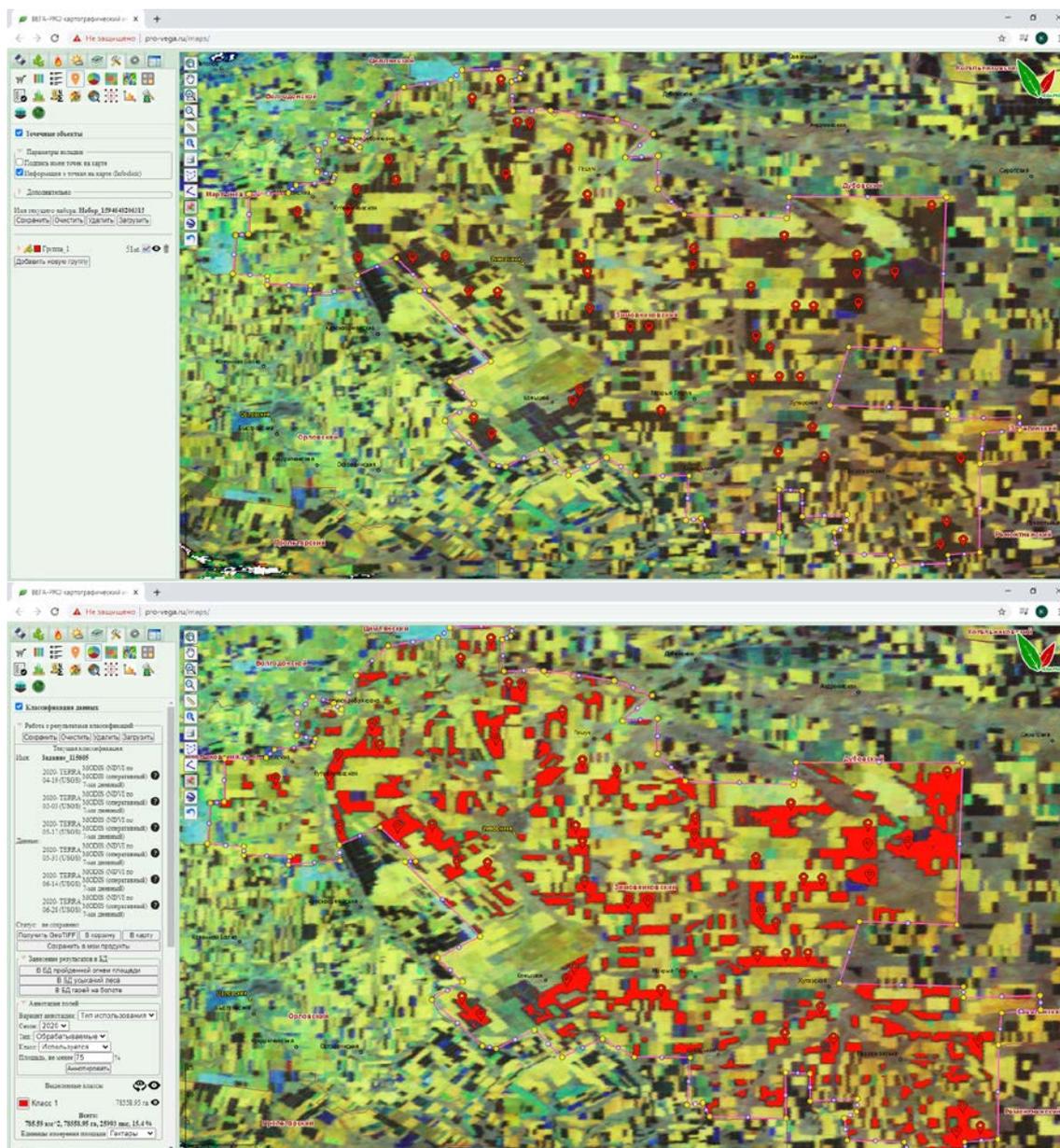


Рисунок Б.17 - Классификация данных MODIS с обучением по созданной экспертом выборке на примере выделения земель под паром в Зимовниковском районе Ростовской области в 2020 г.

Описанная технология была использована при создании специализированных интерфейсов для значительного числа информационных систем, обеспечивающих

работу с о спутниковыми данными ДЗЗ и результатами их обработки, и также может быть использована для создания специализированных интерфейсов распределенного анализа данных в составе ИАС «Углерод-Э».

7. Возможности создания инструментов анализа результатов обработки спутниковых данных ДЗЗ

Целью настоящей работы является проведение долговременного мониторинга и анализа динамики бюджета и пулов углерода в различных разрезах и вариантах агрегации на основе данных, полученных из разнородных источников. Для проведения такого анализа информация, получаемая на основе данных спутниковых и наземных наблюдений, должна быть достаточно хорошо структурированной и позволять проведение как пространственного (сравнение в рамках отдельных субъектов и территорий), так и временного (сравнение данных, полученных в различные периоды) анализа. Для проведения такого анализа уже нужны не просто инструменты, обеспечивающие работу с пространственной информацией, которые обычно используются для анализа спутниковых данных и результатов их обработки, но и инструменты, позволяющие анализировать различные характеристики, полученные на основе обработанной информации. Например, распределения тех или иных объектов по территориям и административным единицам или временные ряды различных характеристик. При этом необходимы инструменты, которые позволяют представить информацию в удобном для анализа виде, например, в графической, табличной или пространственной форме, а также осуществлять удобный выбор различных параметров для проведения ее анализа. Следует отметить, что в последнее десятилетие достаточно быстро развивались различные технологии, связанные с созданием подобных инструментов для проведения анализа различной информации. Одними из наиболее быстро развивающихся в этом направлении технологий создания подобных инструментов являются BI-технологии (Business intelligence) [47], основанные на построение хранилищ структурированной информации на основе OLAP (online analytical processing) [48]. Эти технологии сегодня позволяют строить достаточно сложные инструменты для онлайн-анализа больших объемов информации.

В настоящем разделе показано, что предлагаемые в BI-технологии подходы могут достаточно эффективно использоваться при построении инструментов для работы с

информацией, получаемой на основе спутниковых и наземных данных. Будет кратко описан подход, позволяющий создавать и встраивать в такие системы, созданные на основе ВІ-технологий, блоки, обеспечивающие возможности анализа получаемой в системах информации. Основной особенностью данного подхода является автоматическое, потоковое структурирование информации, получаемой на основе спутниковых данных и преобразование её в вид, позволяющий использовать её в онлайн-интерфейсах, обеспечивающих представление и анализ данных. Будет также представлена возможная архитектура построения блоков ВІ-анализа данных и особенности реализации ее блоков. Также описаны возможности основных типов интерфейсов, которые могут создаваться для анализа результатов обработки спутниковой информации и приведены примеры использования разработанных подходов и базового программного обеспечения для создания блоков аналитической отчетности в различных системах дистанционного мониторинга, демонстрирующие эффективность предлагаемого подхода.

ВІ-технологии (Business intelligence) позволяют на основе единого механизма создавать широкий спектр интерактивных инструментов для анализа различной информации (отчетов) представляемой в виде таблиц, графиков и карт. Одной из основных особенностей таких технологий является то, что они позволяют строить динамичные отчеты. Это позволяет пользователю самому решать, какие анализируемые данные должны быть представлены ему, а также позволяет определять вид и состав этих данных.

В то же время следует отметить, что в различных системах, хранение данных может быть организовано таким образом, чтобы оптимизировать их получение и хранение. Оптимизация данных, обеспечивающая интеграцию для проведения различных уровней обработки и анализа, не всегда позволяет организовать эффективные запросы к данным. Поэтому для работы интерфейсов, обеспечивающих возможность быстрого и удобного анализа данных, в том числе их интеграции, во многих случаях необходимо преобразование данных в вид, обеспечивающий возможность проведения эффективного выбора информации, необходимого для решения характерных задач, возникающий при анализе информации. В рамках подходов ВІ для решения данной проблемы используется специальная технология OLAP (OnLine Analytical Processing), заключающаяся в подготовке суммарной (агрегированной) информации на основе больших массивов данных, структурированных по многомерному принципу. OLAP-структура, созданная из рабочих данных, называемая OLAP-куб (Рисунок Б.18, где t_0 –

t_n – временные срезы массива векторов объектов $F_0 - F_n$, содержащих параметры $P_0 - P_n$), представляющий из себя многомерный массив, созданный из соединенных таблиц базы данных (БД). Особенностью OLAP-структуры является возможность произвести выборку данных из любого среза куба (пунктирные линии (Рисунок Б.1)). Пожалуй, наиболее важными особенностями современных технологий BI является наличие инструментария, позволяющего достаточно легко формировать OLAP-кубы и различные виды web-интерфейсов для работы с ними.

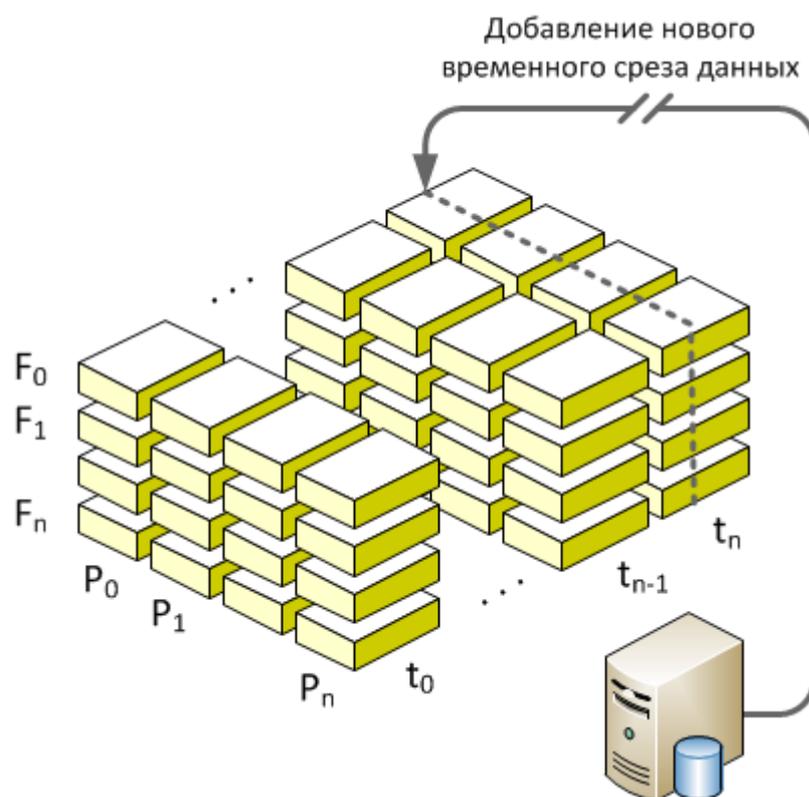


Рисунок Б.18 - Схема организации OLAP-кубов

На сегодняшний день существует множество программного обеспечения для реализации BI-технологий:

- SAP BI/BO – комплекс аналитических приложений (<http://go.sap.com/solution/platform-technology/business-intelligence.html>)

- IBM Cognos BI – комплексное решение для создания информационно-аналитической системы в масштабах всей компании (<http://www-03.ibm.com/software/products/ru/business-intelligence>)

- Oracle Business Intelligence – решение, обеспечивающее доступ ко всем информационным источникам компании (<http://www.oracle.com/us/solutions/business-analytics/business-intelligence/overview/index.html>)

– Contour Components – данное решение было использовано при реализации описанных в статье блоков аналитики (<http://www.contourcomponents.com/ru.htm>)

Наиболее распространенными задачами дистанционных наблюдений является получение информации либо об отдельных объектах, либо о протяженных территориях и явлениях. При этом дистанционные наблюдения позволяют получать как временные, так и пространственные характеристики динамики наблюдаемых объектов и явлений. В частности, получаемая на основе дистанционных наблюдений информация позволяет решать задачи:

– анализ динамики площадных характеристик различных объектов (анализ карт) обычно в разрезе территориального деления;

– анализ динамики не площадных характеристик различных объектов;

Следует отметить, что при осуществлении мониторинга различных объектов и явлений системы хранения получаемой информации обычно создаются в виде, оптимальном для ее оперативного обновления и отображения. В частности, создаваемые архивы могут быть ориентированы либо на ведение БД характеристик, наблюдаемых объектов, либо на хранение различной картографической информации. В основном, такие системы хранения не являются оптимальными для использования в системах аналитики, построенных на основе OLAP. Поэтому, для обеспечения эффективной работы блоков BI-аналитики результатами обработки данных дистанционного мониторинга, обычно необходимо формирование дополнительной специализированной системы хранения, оптимизированной для обеспечения быстрого выбора данных и проведения их анализа. При этом следует также учитывать возможности имеющихся в настоящее время специализированных программных решений, реализующих BI-технологии, которые позволяют создавать достаточно удобные и эффективные WEB-интерфейсы для проведения анализа данных. Фактически, для эффективного использования BI-технологий при создании инструментов анализа данных дистанционного мониторинга, данные необходимо преобразовывать в вид, удобный для работы систем, обеспечивающих построение WEB-интерфейсов.

Разработанная в ИКИ РАН архитектура интеграции блоков BI-аналитики для обеспечения работы с данными дистанционного мониторинга (Рисунок Б.19) представлена её основными элементами:

– Блок организации автоматизированного приема и сбора спутниковых данных, который обеспечивает либо непосредственный прием данных со спутников, либо получение данных различных специализированных центров приема.

– Блок первичной обработки спутниковых данных – обеспечивает временную и географическую привязку, калибровку, коррекцию на условия освещенности, коррекцию влияния атмосферы, трансляция данных в определенную географическую проекцию и т.д..

– Блок архивации данных – обеспечивающий ведение оперативных и долговременных архивов спутниковых данных и результатов их обработки, оптимизированных под организацию процессов сбора обработки и представления конкретной информации.

– Блок преобразования информации в вид, необходимый для работы BI-аналитики. Осуществляет в автоматическом режиме перерасчет архивов результатов обработки спутниковых данных в OLAP-куб.

– OLAP-куб – подготовленная для анализа агрегированная информация, структурированная по многомерному принципу, рассчитываемая на основе характеристик отслеживаемых объектов и территорий, хранящихся в долгосрочных архивах спутниковых данных.

– Блок программного обеспечения BI-аналитики – осуществляет взаимодействие пользователя со срезами данных OLAP-куба по средствам WEB-приложения.

В системах дистанционного мониторинга, поддерживаемых Институтом космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), предложенная архитектура реализована с использованием технологий и базового программного обеспечения сбора, обработки и распространения спутниковых данных, разработанных в ИКИ РАН [26], [17], и специализированного программного обеспечения «Contour BI Portal» (<http://www.contourcomponents.com/page/ru.101.htm>), позволяющего как организовывать ведение OLAP-куба, так и формировать различные виды интерактивных аналитических web-интерфейсов для проведения анализа таблиц, графиков и карт (Рисунок Б.20).

Реализованная схема построения блоков BI-аналитики позволила начать создание специализированных интерфейсов для анализа результатов обработки спутниковых данных в различных системах дистанционного мониторинга. Ниже для наглядной демонстрации возможностей имеющихся подходов к созданию инструментов анализа данных приводится краткое описание основных возможностей блоков BI-анализа

результатов обработки спутниковых данных в некоторых действующих системах дистанционного мониторинга.

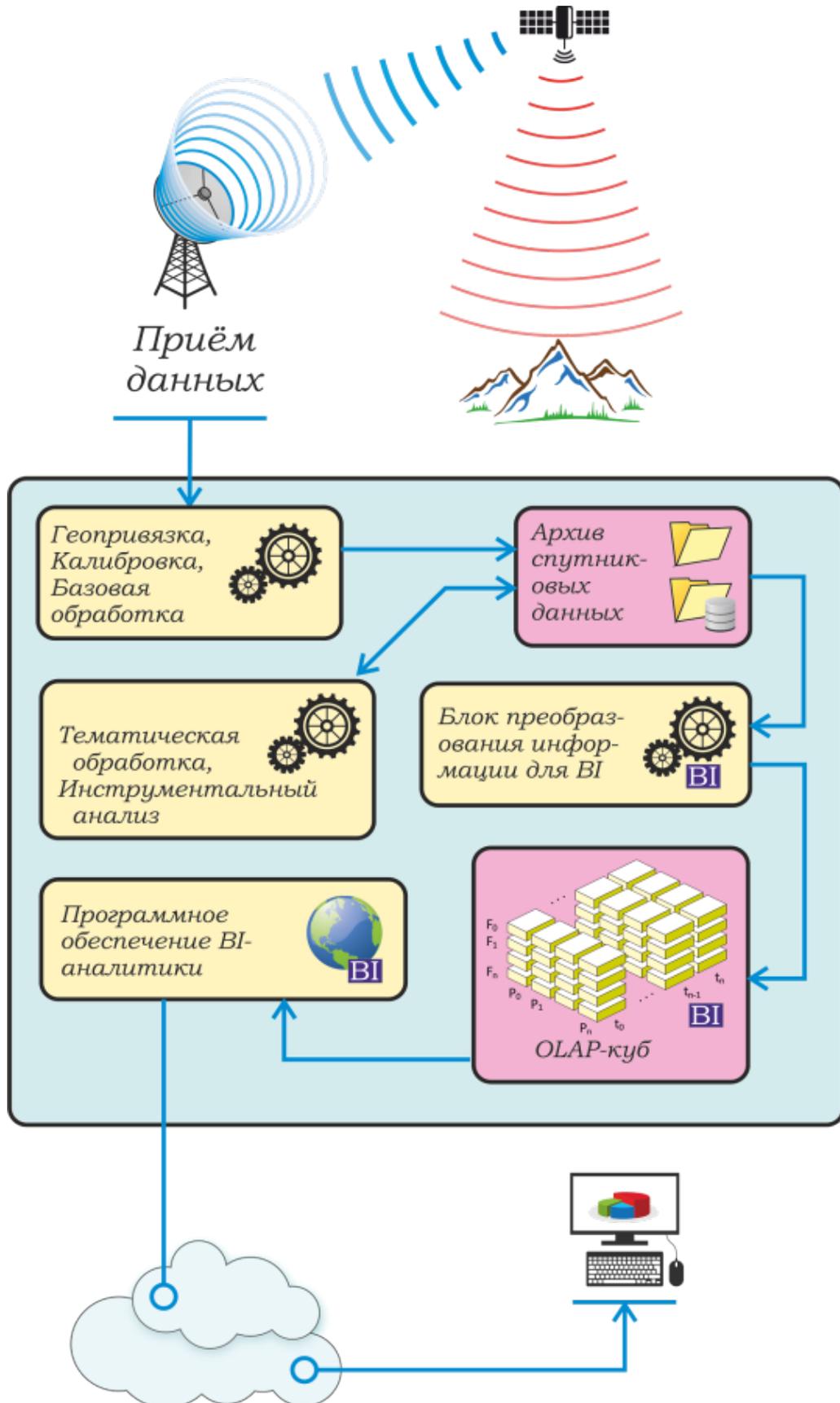


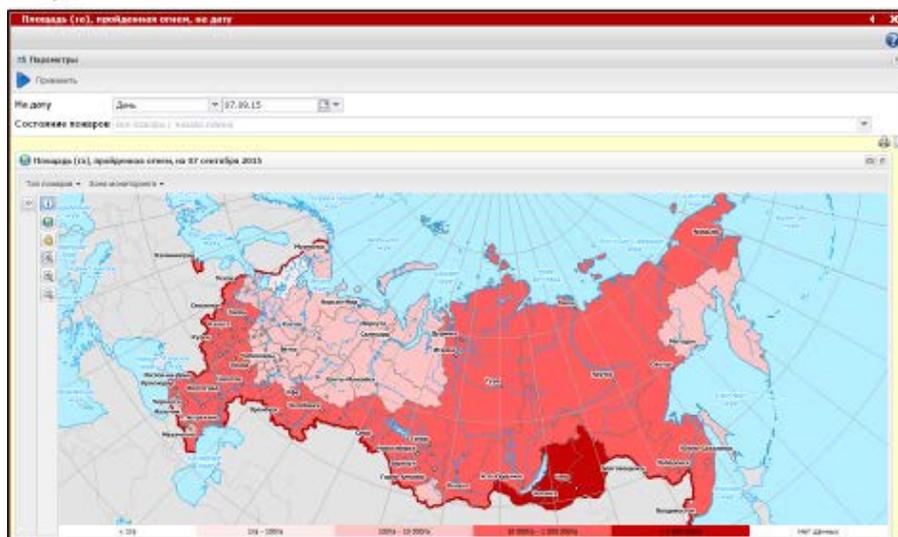
Рисунок Б.19 - Характерная архитектура построения блоков BI-аналитики в системах дистанционного мониторинга



а).



б).



в).

Рисунок Б.20 - Виды интерактивных отчетов: таблицы (а), графики (б), географические карты (в)

Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) (<http://www.nffc.aviales.ru>) предназначена для комплексного информационного обеспечения работ по мониторингу пожарной опасности, контролю распространения и тушения лесных пожаров, а также оценке их последствий. С основными возможностями системы можно, в частности, познакомиться в работе [49]. Созданный в рамках ИСДМ-Рослесхоз блок аналитики позволяет пользователям осуществлять динамический анализ оперативной и исторической информации о природных пожарах, наблюдающихся на территории Российской Федерации.

Следует отметить, что архивы регистрируемых пожаров имеют достаточно сложную структуру. Для того чтобы реализовать удобные интерфейсы, обеспечивающие высокую скорость работы с данными, был организован перерасчет данных из архивов регистрируемых пожаров в специализированную БД (OLAP-куб), в котором информация организована таким образом, чтобы можно было осуществлять ее быструю интеграцию по времени и различным видам территорий (типам преобладающей растительности, административному делению, зонам мониторинга и т.д.) Это позволило обеспечить возможность достаточно быстрой работы с данными, в частности, обеспечить одновременный анализ как оперативных, так и исторических данных (Рисунок Б.21). При этом следует иметь в виду, что для построения подобных отчетов система оперирует информацией обо всех пожарах на территории России, наблюдавшихся по спутниковым данным с начала 2000 года по настоящее время, т.е. осуществляет анализ информации об около 1 млн. пожаров.

Сервис анализа данных спутниковых наблюдений для оценки и мониторинга возобновляемых биологических ресурсов ВЕГА-Science (<http://sci-vega.ru/>) [6], также имеет в своём составе блок BI аналитики. Данный блок, в частности, позволяет пользователям проводить динамический анализ ежегодно обновляющейся информации о растительном покрове на территории Российской Федерации [50]. Для обеспечения работы с такой информацией в сервисе реализована схема формирования OLAP-куба на основе информации, хранящейся в системе в виде растровых карт. Для этого карты фрагментируются на участки, на которых считаются характеристики типов растительности (Рисунок Б.22). На основе рассчитанных характеристик происходит формирование OLAP-куба. Такая схема позволяет проводить динамический анализ информации на всей территории страны. Отметим, что для решения задач, связанных с

анализом ситуации в различных субъектах РФ, интеграция информации при формировании OLAP-куба производится в системе не по равномерной сетке, а в границах субъектов РФ. С примерами интерфейсов, работу которых обеспечивает данный блок можно ознакомиться по адресу <http://sci-vega.ru/documents/toproxy/bi/vegas/>. Для зарегистрированных пользователей в системе доступны различные типы интерфейсов, ориентированные на проведение анализа различных характеристик состояния растительного покрова

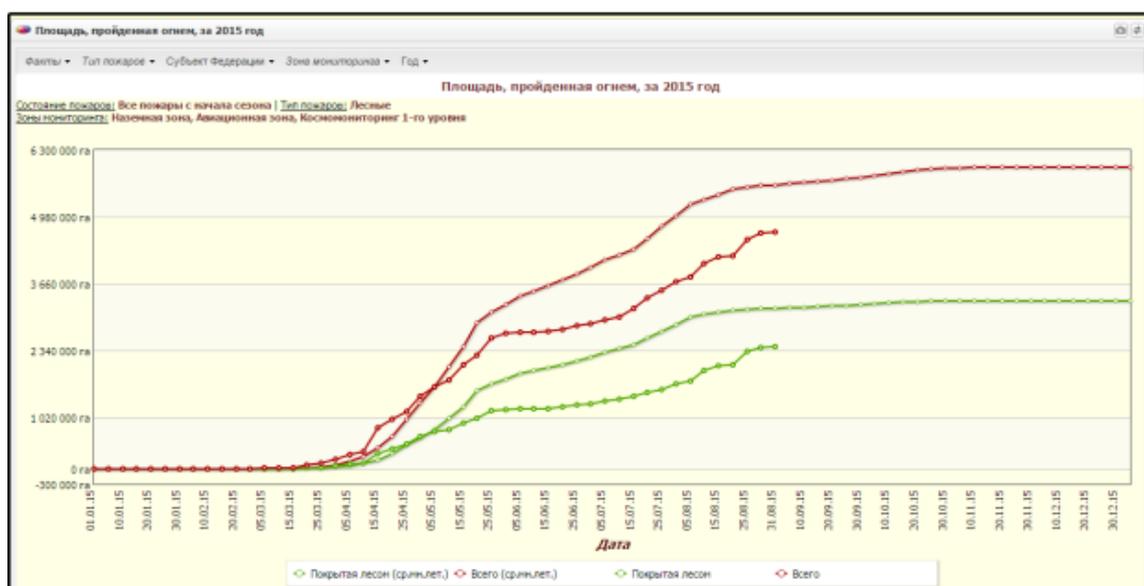


Рисунок Б.21 - Интерфейс анализа лесопожарной обстановки, на котором одновременно отображаются оперативные данные 2015 года и средние значения, динамически получаемые за период 2000-2015 годов

Таким образом, мы видим, что при работе с различной информацией, получаемой в современных системах дистанционного мониторинга, для построения web-интерфейсов, обеспечивающих анализ информации, получаемой на основе спутниковых данных дистанционного зондирования, могут достаточно эффективно использоваться возможности современных VI-технологий. Это позволяет реализовать динамические интерфейсы для анализа информации, необходимого при решении научных и прикладных задач. При этом создание и интеграция в системы дистанционного мониторинга специализированных блоков, обеспечивающих функционирования таких интерфейсов, обеспечивающих, в том числе и анализ оперативно поступающей информации, возможно осуществлять на основе предложенных в работе подходов и созданного в ИКИ РАН базового программного обеспечения. Удобство, устойчивость и эффективность была проверена авторами на примере реализации подобных блоков в различных информационных системах. На наш взгляд, предложенные подходы

оптимальны для создания специализированных интерфейсов, обеспечивающих возможность распределенного анализа агрегированных данных из разнородных источников при реализации ИАС «Углерод-Э».

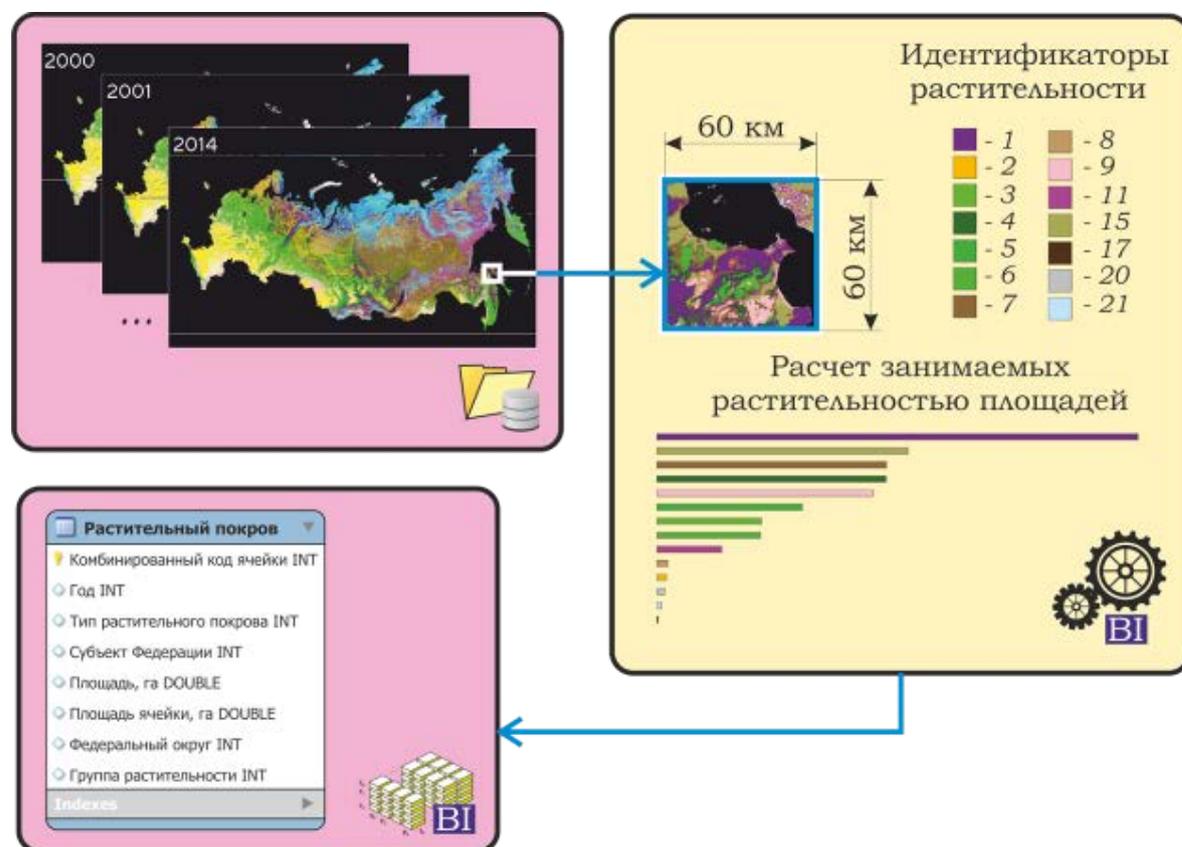


Рисунок Б.22 - Схема формирования OLAP-куба по данным карт растительного покрова, полученных на основе спутниковых данных

8. Возможности организации и контроля процессов автоматической потоковой обработки спутниковых данных ДЗЗ

В рамках создания и функционирования ИАС «Углерод-Э» необходимо будет собрать и провести обработку значительных объемов данных дистанционного зондирования по всей территории России и, частично, сопредельным территориям. Естественно, что обработку таких объёмов данных практически невозможно будет вести в ручном (интерактивном) режиме. Следовательно, в создаваемой ИАС «Углерод-Э» необходимо будет организовать максимально автоматизированную систему получения, обработки и представления данных. Поэтому остро стоит вопрос по организации такой

автоматизированной обработки и контролю ее работоспособности. Естественно, что при росте как числа выполняемых процессов, так и задействованных вычислительных ресурсов возрастает сложность задач организации их управления, в том числе сбора и анализа информации о состоянии процессов и ресурсов. При этом эффективное управление такими процессами и ресурсами практически невозможно без специальной организации автоматизированных процессов. Настоящий раздел посвящен описанию подходов к построению и контролю автоматизированных процессов обработки данных в интересах реализации ИАС «Углерод-Э».

Разработка систем обеспечения контроля работоспособности различных комплексов обработки спутниковых данных, создаваемых и поддерживаемых Институтом космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), ведется достаточно давно. Так в начале двухтысячных годов в ИКИ РАН была разработана и начала активно использоваться система мониторинга процессов «PMS» («ProcessMonitoringSystem»). Она позволяет отслеживать процессы архивации данных, выполнение процедур обработки на различных вычислительных узлах, состояние ресурсов и т.д. [51], [23]. Логическим продолжением системы PMS стала технология автоматического контроля работоспособности, позволяющая собирать и хранить информацию обо всех процессах и ресурсах, использующихся в таких комплексах. Подробно принципы построения этой технологии описаны, в частности, в работе (см. например, [16]).

Следует отметить, что в настоящее время в системах, поддерживаемых ИКИ РАН и ООО «ИКИЗ», за сутки собирается и заносится в базы данных информация о тысячах процессов. Поэтому, не имея специальных механизмов анализа получаемой информации, уже невозможно обнаруживать сбойные или критические ситуации, организовывать их устранение и, в конечном итоге, обеспечивать управление и устойчивую работу систем обработки спутниковых данных. Для проведения эффективного анализа собираемой информации потребовалось создание специальных инструментов. Основными задачами этих инструментов являются сбор и организация хранения информации в виде, удобном для проведения ее быстрого анализа, и создание удобных интерфейсов для проведения такого анализа. Отметим, что, пожалуй, наиболее быстро развивающимися технологиями создания подобных инструментов сегодня являются BI-технологии (Businessintelligence) [47], основанные на построении хранилищ структурированной информации на основе OLAP-структур (onlineanalyticalprocessing) (Палкин и др., 2013).

В настоящем разделе представлено описание подходов, схем организации и инструментария на основе VI-технологии для анализа информации о работе и управления распределенных комплексов обработки спутниковых данных. Данные подходы и инструменты сегодня фактически являются частью технологий автоматизированной обработки спутниковых данных, развиваемой в ИКИ РАН и ООО «ИКИЗ» [4]. В настоящее время данные подходы и инструменты используются в различных системах автоматизированной обработки спутниковых данных, в том числе в центре коллективного пользования "ИКИ Мониторинг" [35].

Особенности организации систем автоматизированной обработки спутниковых данных и задачи контроля работоспособности ее элементов. Системы обработки спутниковых данных, создаваемые и поддерживаемые ИКИ РАН и ООО «ИКИЗ», имеют блочную архитектуру [26], [4], так как подобная архитектура является наиболее удобной для дальнейшего масштабирования, развития и поддержки. В такой схеме каждый блок, проектируемый под решение определенного спектра задач, имеет описанный интерфейс, посредством которого осуществляется взаимодействие с другими блоками системы. При этом, достаточно сложная система, содержащая в себе большое количество блоков, находящихся на разных уровнях иерархии, может быть поддерживаемая большим сообществом программистов, зачастую находящихся удаленно друг от друга.

Система обработки спутниковых данных имеет в своем составе следующие основные уровни:

- Уровень подготовки данных. К этому уровню относятся блоки формирования комплектов файлов для обработки, которые являются уникальными для каждой тематической обработки. Они отслеживают полноту и комплектность необходимых данных и формируют очередь готовых заданий.

- Уровень формирования заданий. На нем для сформированных комплектов данных определяются задания для их обработки, которые уже передаются на вычислительные комплексы, проводящие обработку. На этом уровне, в том числе:

- отслеживается максимально допустимое одновременное количество выполнений комплектов, относящихся к заданию одного типа;
- наличие свободных вычислительных ресурсов;
- производится мониторинг количества комплектов, переданных на обработку данных (в том числе для того, чтобы предотвратить загрузку

всех мощностей выполнением одного типа заданий в ущерб выполнению других задания);

- определяются приоритеты заданий;
- и т.д.

- Уровень выполнения заданий (обработки). Работа этого уровня обеспечивается распределенными кластерами вычислительных машин ("обработчиков"). Следует отметить, что из-за постоянного увеличения объемов обрабатываемых данных и формируемых на их основе тематических продуктов возникает необходимость постоянного наращивания используемых вычислительных ресурсов, в том числе и увеличения числа используемых "обработчиков". Поэтому задача контроля используемых вычислительных ресурсов на данном уровне стоит особенно остро [52]. Каждая вычислительная машина, задействованная в кластерах обработки, обычно находится под управлением унифицированного комплекта программ, что позволяет легко расширять парк обрабатывающих компьютеров. Каждый "обработчик" может выполнять несколько комплектов одного задания, которые он берет вместе с заданиями (сценариями) на обработку с серверов-диспетчеров заданий. Ход обработки каждого комплекта документируется в базе данных уровня контроля.

- Уровень контроля и управления. На этом уровне агрегируется информация о ходе процессов обработки со всех блоков системы, что позволяет операторам, используя, в том числе, и инструменты VI-аналитики, оперативно выявлять и устранять неполадки, обеспечивая работоспособность системы в реальном времени.

Таким образом, получается логически разграниченная на уровни схема (Рисунок Б.23) с удобным и достаточно понятным управлением потоками обработки. В рамках системы управления легко и единообразно добавляются новые процедуры, наращиваются мощности для обработки и обновляется программное обеспечение. Система контроля позволяет в реальном времени через WEB-интерфейс производить анализ хода обработки за выбранный промежуток времени (на каких обработчиках производилась обработка, количество удачных и ошибочных обработок и т.п.).

Особенности информации, получаемой о различных блоках и элементах системы, необходимых для их контроля и управления. Для осуществления контроля над системой автоматизированной обработки спутниковых данных, необходимо организовать контуры документирования процессов от блоков на всех её уровнях. Перечень контролируемых параметров, однозначно характеризующих работу каждого уровня, логически вытекает из решаемых уровнем задач:

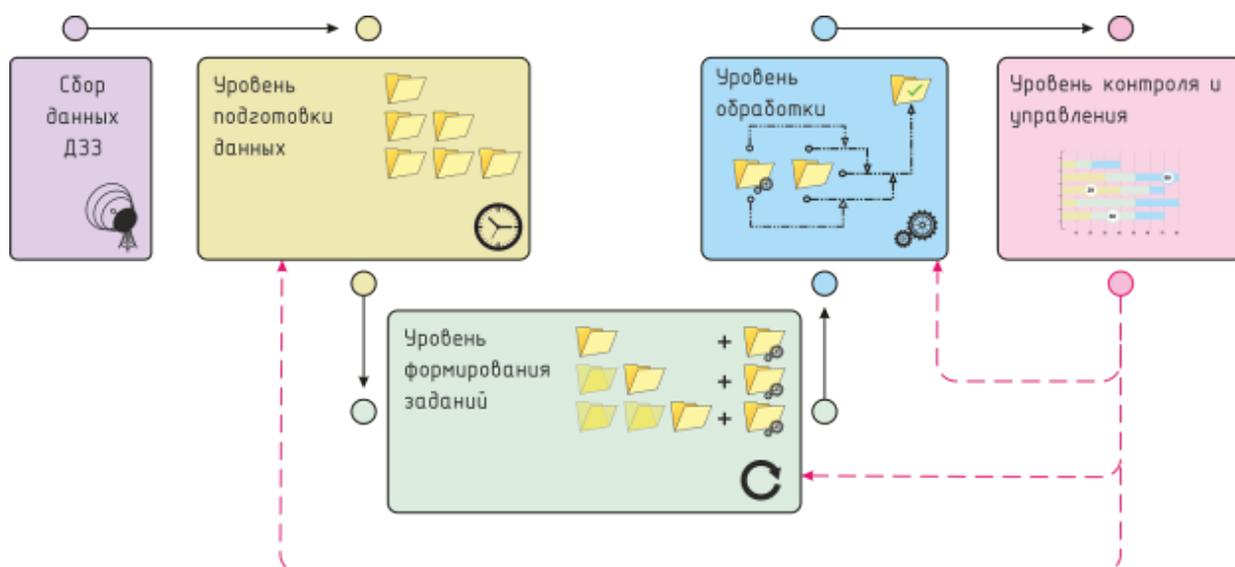


Рисунок Б.23 - Схема автоматизированной обработки спутниковых данных

- Уровень подготовки данных:
 - o Наличие исходных данных для формирования комплектов файлов на обработку;
 - o Количество комплектов, которое возможно сформировать;
 - o Количество уже сформированных комплектов;
- Уровень формирования заданий:
 - o Типы заданий, для которых сформированы комплекты файлов на обработку;
 - o Количество сформированных комплектов файлов на обработку;
 - o Количество комплектов, которые находятся в данный момент в обработке;
 - o Количество комплектов, обработка которых может быть начата (исходя из их приоритета и максимально возможного количества комплектов, обработка которых одновременно разрешена);
 - o Количество успешно обработанных комплектов;
 - o Количество ошибочно обработанных комплектов;
- Уровень выполнения заданий:
 - o Для каждого процесса, участвующего в обработке комплекта:
 - o Время начала и окончания;
 - o Код возврата;
 - o Лог ошибок;

- Строка системного вызова;
- Родитель процесса – процесс, внутри которого был инициализирован данный процесс;
- В обработке какого комплекта участвовал данный процесс;
- В какой последовательности процессы следовали друг за другом при обработке данного комплекта;
- К какому типу заданий принадлежит данный комплект;
- На каком обработчике происходила обработка данного комплекта;
- Обработка каких комплектов происходила на обработчике параллельно с данным.

На основе данных, передаваемых контурами документирования процессов, необходимо сформировать и оперативно пополнять архивы статистической информации. На основе всей поступившей информации на уровне контроля и управления необходимо сформировать удобные для анализа интерактивные отчетные формы, при работе с которыми оператор сможет менять управляющие параметры для проведения анализа различных процессов, выявления устранения неполадок в работе системы автоматизированной обработки спутниковых данных. Например:

- Выявлять ошибочные комплекты, обработка которых невозможна
- Выявлять ошибки в сценариях обработки
- Выявлять ошибки в работе обработчиков
- Отслеживать периодичность поступления комплектов
- Анализировать производительность «обработчиков» и т.д.

Возможности использования VI-технологий при организации работы с информацией о состоянии различных блоков и элементов систем автоматической обработки спутниковых данных. На всех этапах обработки спутниковых данных, контуры документирования процессов от всех уровней системы автоматизированной обработки пополняют архивы статистической информации уровня контроля и управления. В этих архивах накапливается обширная статистика, содержащая значения параметров, характеризующих ход обработки. В сутки в базах данных контроля и управления подобных записей образуется десятки тысяч. Без специальных механизмов и инструментов оператор естественно не может провести их эффективный анализ. Поэтому должны быть решены задачи структурирования накопленной информации и представления результатов в виде различных удобных интерактивных отчетов. VI-технологии, которые использовались нами для решения этих задач, позволяют на основе

единого механизма создавать широкий спектр интерактивных инструментов для анализа различной информации, представляемой пользователю в виде отчетов (таблиц, графиков и карт). Одной из основных особенностей таких технологий является то, что они позволяют быстро строить различные динамические отчеты. Это позволяет пользователю самому решать, какие анализируемые данные должны быть представлены ему, а также позволяет определять вид и состав этих данных. Для реализации такой возможности собранная информация должна пройти агрегацию и на основе нее должны быть сформированы OLAP-кубы.

OLAP-куб представляет собой многомерный массив, созданный из соединенных таблиц архивов статистической информации, структурированных по многомерному принципу. Куб имеет преимущество в скорости обработки запросов по сравнению с обычными реляционными базами данных, в которых сложные многотабличные запросы выполняются относительно медленно. Высокая скорость выполнения запросов достигается за счет того, что в центре схемы хранения данных в OLAP-кубе располагается таблица ключевых фактов, по которым делаются запросы. К таблице ключевых фактов присоединено множество таблиц с измерениями, показывающими как факты могут быть проанализированы. Специфика построения OLAP-кубов, являющихся источником данных для интерактивных инструментов анализа уровня контроля и управления системы автоматической обработки спутниковых данных, заключается в том, что в качестве фактов выступают показатели количества и продолжительности, характеризующие либо обработку комплекта файлов в целом, либо отдельные процессы обработки. Измерения, в разрезе которых анализируются данные факты, представляют из себя множество различных показателей таких как: время старта; время финиша; сервер, поставляющий комплекты на обработку; сервер, принимающий результат обработки; тип задания и т.д.

Преобразование статистической информации, предоставляемой контурами документирования процессов и хранящейся в реляционных базах данных, в OLAP-куб, являющегося источником информации для интерактивных инструментов анализа, осуществляется посредством многотабличных SQL запросов. В зависимости от объема анализируемой информации OLAP-кубы могут формироваться как «на лету», так и постоянно храниться на сервере и пополняться по мере появления новых статистических данных. Схема процесса построения OLAP-кубов представлена на РисунокБ.24:

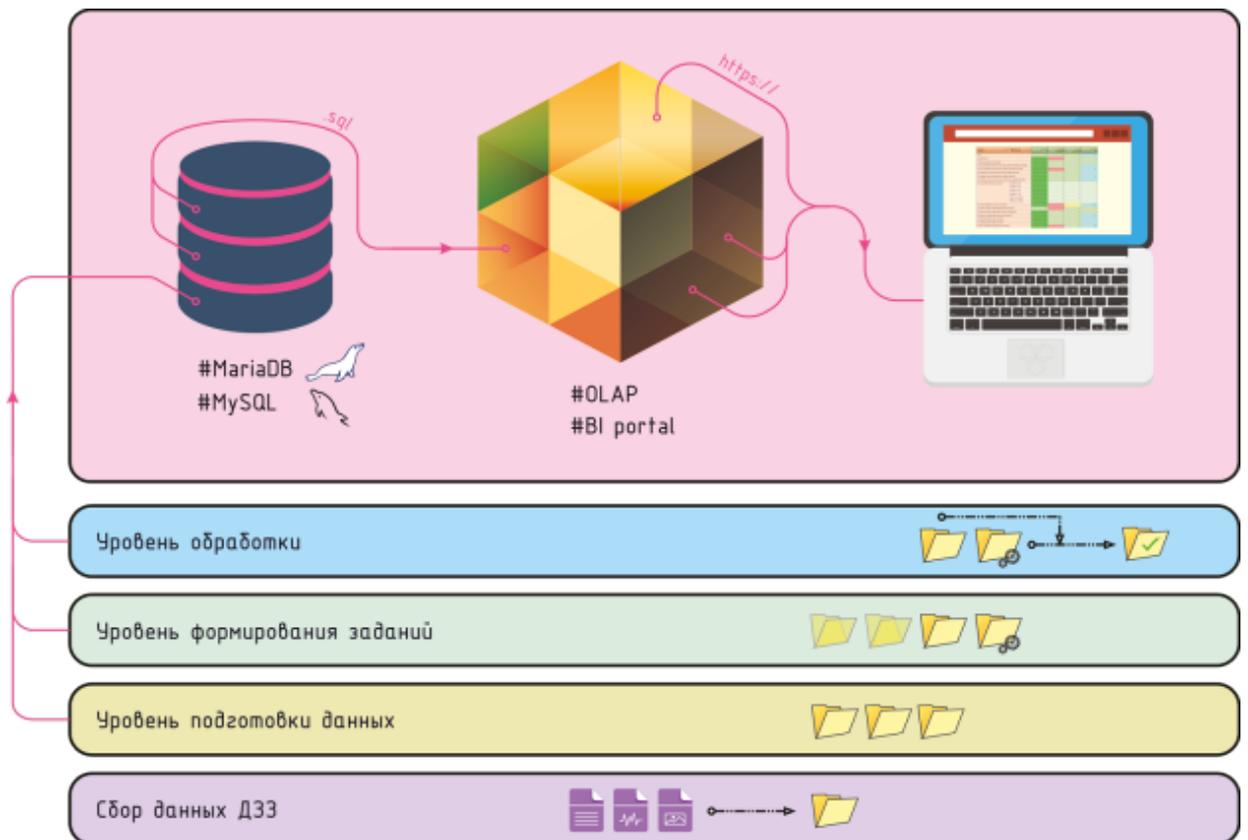


Рисунок Б.24 - Схема уровня контроля и управления системы автоматизированной обработки спутниковых данных

Примеры использования созданной системы для выявления и диагностики сбоев. Уровень контроля и управления системы автоматической обработки спутниковых данных, построенный с использованием инструментов VI-технологий, на данный момент успешно внедрен в ИКИ РАН, и обеспечивает обширный функционал, позволяющий оператору выявлять и устранять возникшие нештатные ситуации. В нем реализовано значительное число интерактивных отчетных форм для анализа статистических данных, ориентированных на разные задачи. Ниже мы на конкретных примерах проиллюстрируем возможности созданной системы.

Рассмотрим реальную ситуацию, возникающую в системе автоматической обработки спутниковых данных в момент введения в эксплуатацию нового обработчика, и на её примере покажем некоторые виды интерактивных инструментов анализа статистической информации.

При введении в эксплуатацию нового обработчика необходимо удостовериться в том, что обработка комплектов файлов, разрешенных типов заданий происходит на нем корректно. Для этого лучше всего подходит инструмент анализа в виде интерактивной таблицы, отображающей агрегированные ключевые факты, количественно

характеризующие ход обработки в разрезе измерения «Статусов» (по горизонтали) и иерархии измерения «Тип задания» и «Обработчик» (по вертикали). Если отфильтровать факты по измерению «Обработчиков», оставив только контролируемый, то полученная таблица будет содержать факты, характеризующие типы заданий, выполненных именно на этом обработчике (Рисунок Б.25).

Задания	Обработчики	Количество удачных потоков	Количество ошибочных потоков	Количество пустых сессий	Количество crash потоков	Количество незавершенных потоков
calc vegetation indexes from aqua weekly composite (session)		0	0	6	0	0
calculate mean ndvi from sin modisfs (session)		2	0	0	0	0
create 4dc v05 terra (session)		14	0	0	0	0
create am ds 6 collection (session)		0	0	1	0	0
create modis ds 6 collection (session)		1	0	0	0	0
lance modis products day (session)		0	0	2	0	0
landsat hotspots oper (session)		0	0	1	0	0
snap_stream_ew(session)	CASTOR	6	10	438	0	1

Рисунок Б.25 - Интерактивный инструмент анализа статистики выполненных заданий (применен фильтр по измерению обработчиков)

Видно, что за анализируемое время контролируемый обработчик выполнил 4 типа заданий. Причем ошибочно были выполнены комплекты, относящиеся к типу заданий «snap_stream_ew(session)». Чтоб понять является ли типичным такое соотношение удачно обработанных комплектов файлов для данного типа задания к ошибочным, необходимо убрать фильтр с измерения «Обработчиков» и проанализировать, как комплекты данного типа заданий обрабатывались на других обработчиках (Рисунок Б.26).

Задания	Обработчики	Количество удачных потоков	Количество ошибочных потоков	Количество пустых сессий	Количество crash потоков	Количество незавершенных потоков
make snow mask (session)		11	0	1	0	6
ndvi + fmask for landsat oper (session)		27 323	0	26	0	0
ndvi geotif modisfs (session)		400	10	48	0	0
noaa tlm proc (session)		12	0	15	0	0
oper 4dc interpolation modis (session)		5	0	0	0	0
oper interpolation modis (session)		0	0	14	0	0
snap_stream_ew(session)	CASTOR	6	10	438	0	1
	PROC-U1-B2013	150	1	0	0	1
	PROC_U1_DL1	177	1	0	0	1
	PROC_U1_DL2	184	0	0	0	1
	PROC_U1_DL3	215	0	1	0	1
	PROC_U1_NATASHA	197	0	1	0	1
	PROC_U1_YULIA	226	0	1	0	1
sst for landsat oper (session)		3 512	0	20	0	0

Рисунок Б.26. - Интерактивный инструмент анализа статистики выполненных заданий (фильтр по измерению обработчиков снят)

Можно наблюдать, что такое соотношение не является характерным, и ошибочно обработанные комплекты файлов для данного типа заданий обычно (на других обработчиках) составляют менее 1% от числа удачно обработанных комплектов. Таким образом, проанализировав данную интерактивную таблицу и применив всего лишь один фильтр, становится очевидно - какой тип заданий некорректно обрабатывается на контролируемом обработчике.

Для выяснения причин может использоваться другой инструмент анализа, отображающий агрегированные ключевые факты, количественно характеризующие ход выполнения отдельных процессов, имевших место при ошибочной обработке комплектов заданий интересующего нас типа в разрезе измерения «Кодов возврата» (по горизонтали) и иерархии измерений «Родительский процесс», «Процесс», «Лог ошибок», «Название набора» и «Системная строка вызова процесса» (по вертикали). При инициализации данного отчета необходимо определить тип задания, для которого будет сформирован OLAP-куб (в данном случае это «snap_stream_ew(session)»), после чего произвести фильтрацию фактов по измерению «Обработчиков» (в данном случае измерение «Обработчиков» является просто фильтром и не представлено явно ни в строках, ни в столбцах интерактивной таблицы), оставив только контролируемый. Полученная таблица будет содержать факты, количественно характеризующие процессы обработки, имевшие место при ошибочной обработке комплектов задания «snap_stream_ew(session)» на контролируемом обработчике (Рисунок Б.27).

N ↓ ▾	родительский процесс ↓ ▾	Процесс ↓ ▾	код возврата ↓ ▾		
			0	1	3
⊖ 1	⊖ thread.pl	⊕ process_prepare.pl	10	0	0
⊖ 2	⊖ process_prepare.pl	⊕ robocopy.exe	10	0	0
⊖ 3	⊖ thread.pl	⊕ process_proc.pl	0	0	10
⊖ 4	⊖ process_proc.pl	⊕ snap_gpt	0	10	0
⊖ 5	⊖ process_proc.pl	⊕ snap_gpt	0	10	0

Рисунок Б.27 - Интерактивный инструмент анализа характеристик процессов, имевших место при обработках комплектов файлов завершившихся ошибками

Наблюдается, что эти 10 комплектов файлов были обработаны контролируемым обработчиком ошибочно в связи с тем, что процессы «snap_gpt» закончились в них с не

нулевым кодом возврата (после чего процесс их породивший «process_proc.pl» так же был остановлен системой и вернул не нулевой код). Для анализа логов ошибок порожденных процессами с ненулевым кодом возврата, необходимо раскрыть иерархию измерений. Таким образом, применив всего лишь один фильтр, становится очевидно какой именно тип процессов обработки является ошибочным, а проанализировав логи ошибок понять, почему он таким является.

Рассмотрим еще одну характерную ситуацию, когда необходимо проанализировать на сколько обработка комплектов файлов заданий влияет на загруженность обработчиков. Для этого лучше всего подходит инструмент анализа, представляющий из себя интерактивную гистограмму, отображающую агрегированные ключевые факты, отражающие производительность обработчика в процентах (за выбранный период времени), в разрезе измерения «Обработчиков» (отложенного по оси абсцисс) и измерения «Типов заданий» (отображенного отдельными цветами, приведенными в легенде) (Рисунок Б.28).

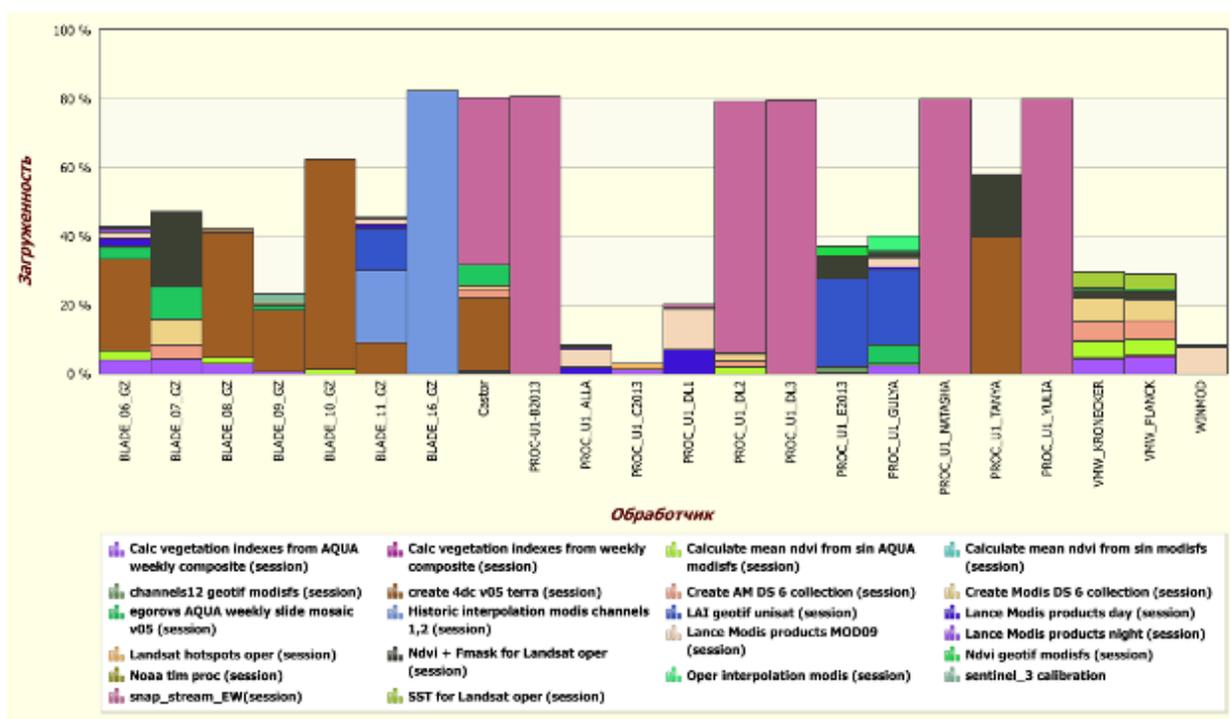


Рисунок Б.28 - Интерактивный инструмент, позволяющий анализировать вклад процессов обработки комплектов заданий в загруженность обработчиков

Как можно видеть, типом задания, требующим наибольшее количество вычислительных ресурсов, является «snap_stream_ew(session)» (лиловый), «create 4dc v05 terra(session)» (коричневый) и «Historic interpolation modis channels 1, 2(session)» (васильковый). Также очевидно, что обработчики «BLADE_09_GZ»,

«PROC_U1_ALLA», «PROC_U1_C2013», «PROC_U1_DL1» и «WINMOD» практически не загружены. Чтобы понять является ли типичным для этих обработчиков такая низкая загруженность, необходимо проанализировать - как каждый из них был загружен в прошлом. Для этого лучше всего подходит анализ, представляющий из себя интерактивную гистограмму, в качестве ключевых фактов которой также выступает загруженность, но только вместо измерения «Обработчиков» по оси абсцисс располагается измерение «времени». Сформировав для данного интерактивного отчета OLAP-кубы под обработчики «BLADE_09_GZ» (Рисунок Б.29) и «PROC_U1_C2013» (Рисунок Б.30) становится очевидно, что для первого обработчика такая картина загруженности является весьма характерной, что никак нельзя сказать про второй обработчик, загруженность которого падала последние несколько дней. Причем очевидно, что проблемы связаны именно с обработчиком, а не с отсутствием комплектов файлов для обработки, так как первый обработчик продолжал выполнять задание «create 4dc v05 terra(session)» (коричневый) даже тогда, когда загруженность второго снизилась практически до нуля.

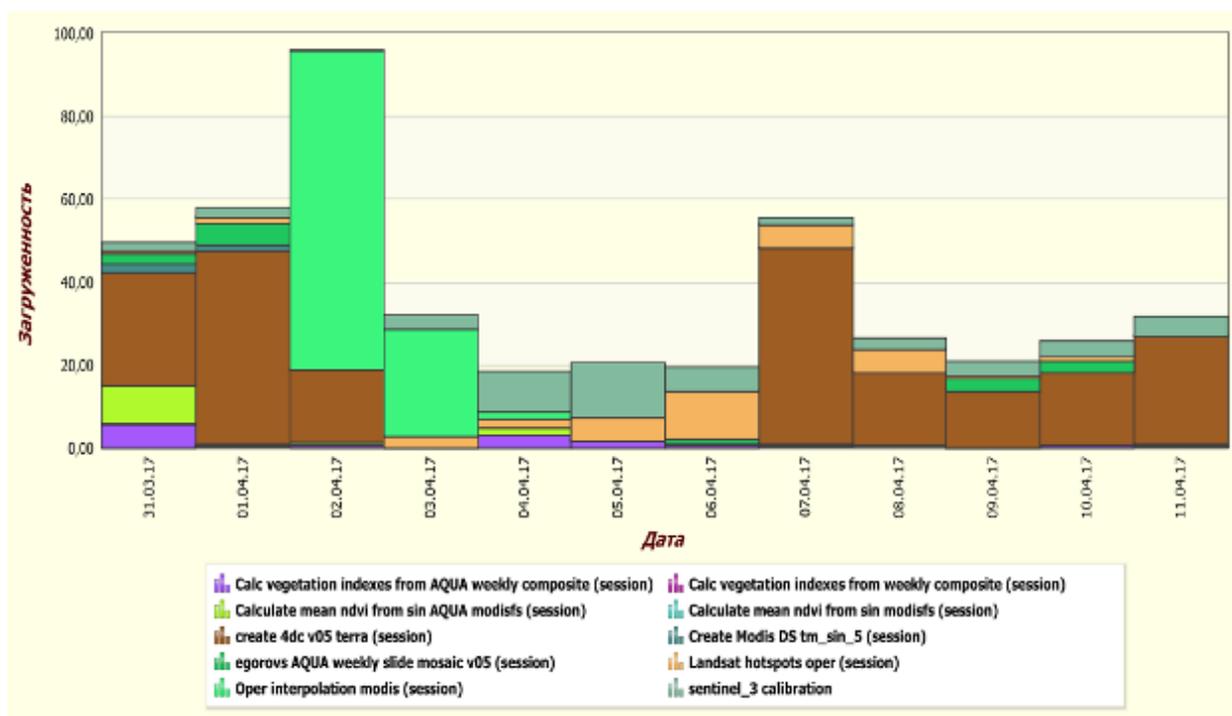


Рисунок Б.29. Интерактивный инструмент, позволяющий анализировать вклад процессов обработки комплектов заданий в загруженность контролируемого обработчика («BLADE_09_GZ») в зависимости от времени

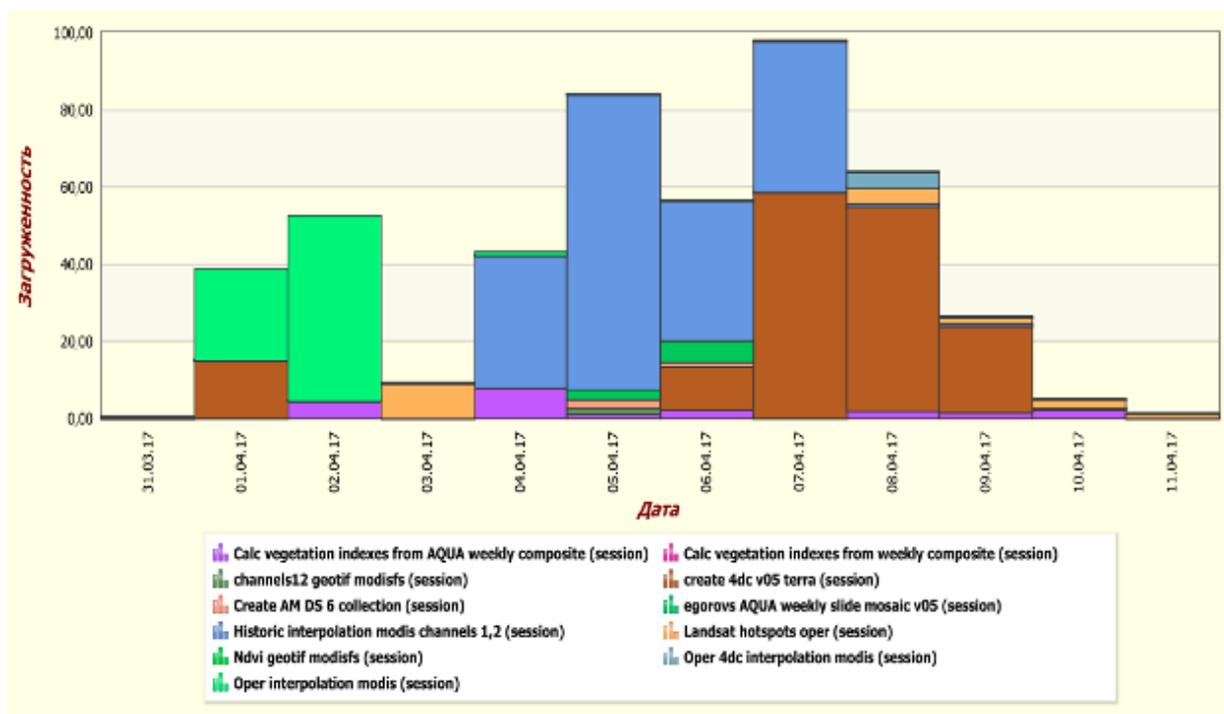


Рисунок Б.30 - Интерактивный инструмент, позволяющий анализировать вклад процессов обработки комплектов заданий в загруженность контролируемого обработчика («PROC_U1_C2013») в зависимости от времени

Разобранные выше примеры позволяют продемонстрировать, что созданный уровень контроля и управления системой автоматической обработки спутниковых данных предоставляет инструменты, позволяющие комплексно анализировать все этапы процесса обработки данных, без которых зачастую очень сложно выявить реальные причины сбоев и нестандартных ситуаций.

Представленные подходы к организации контроля и управления системы автоматической потоковой обработки спутниковых данных показала свою работоспособность и эффективность. Следует отметить, что до внедрения блоков контроля и контуров документирования процессов, единственная информация, доступная в системе и характеризующая ход обработки, это факт наличия ошибочно обработанного комплекта файлов. Не представлялось никакой возможности проанализировать полноту использования вычислительных ресурсов или выявить причины, препятствующие обработке комплектов файлов, так как система вообще не располагала никакой связанной с этим статистической информацией и инструментами её анализа. После внедрения блоков контроля, генерируемая ими интерактивная отчетность, позволяющая анализировать статистическую информацию, передаваемую контурами документирования процессов, предоставляет исчерпывающие сведения о ходе обработки спутниковых данных, что позволяет выявлять в цепях автоматической

обработки ошибки более высокого уровня, обнаружение которых до внедрения системы не представлялось возможным. Оперативное устранение всех выявленных ошибок позволило повысить эффективность обработки данных, что положительно повлияло на уменьшения сроков их доставки к потребителю. Возможность контроля, предоставляемая системой, позволяет расширить в будущем парк имеющихся вычислительных машин.

Особо следует отметить, что представленные подходы и базовое программное обеспечение для их реализации в настоящее время внедрены в десятки проектов и систем, которые активно используют автоматизированные схемы обработки и анализа данных дистанционного зондирования. В частности:

- Сервисы анализа данных спутниковых наблюдений для оценки и мониторинга возобновляемых биологических ресурсов "ВЕГА-Science" (<http://sci-vega.ru/>) и "Вега-PRO" (<http://pro-vega.ru/>) [6], [53].

- Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства «ИСДМ-Рослесхоз» (<http://www.nffc.aviales.ru>) [49].

- Система проведения комплексного анализа данных спутникового дистанционного зондирования в интересах исследования Мирового океана "SeeTheSea" (<http://ocean.smislab.ru/static/index.sht>) [8].

- Система мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил "VolSatView" (<http://volcanoes.smislab.ru/static/index.sht>) [12].

- Объединенная система работы с данными центров НИЦ "Планета" Федерального агентства по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (<http://moscow.planeta.smislab.ru/>) [33].

- Система комплексного дистанционного мониторинга лесов Приморского края "Вега-Приморье" (<http://primorsky.geosmis.ru/>) [37].

- Веб-сервис глобального спутникового мониторинга сельского хозяйства "VEGA-GEOGLAM" (<http://vega.geoglam.ru/>).

Созданные на основе описанных подходов и решений блоки контроля и управления автоматизированной обработки спутниковых данных показали достаточно высокую эффективность и обеспечили возможность поддержки научных и прикладных систем, ориентированных на представление различных информационных сервисов на основе обработки спутниковых данных. Поэтому они могут лечь в основу блока

контроля работоспособности различных автоматизированных процессов в составе ИАС «Углерод-Э».

9. Технологии контроля функционирования распределённых программно-аппаратных комплексов

Современные системы работы с данными ДЗЗ и результатами их обработки представляют собой сложные, территориально распределенные программно-аппаратные комплексы, в работе которых участвуют многие десятки компьютеров, функционирующих в автоматизированном режиме. К таковым, безусловно, относится и ЦКП «ИКИ-Мониторинг». В настоящее время в составе ЦКП задействовано более 50 серверов архивации и специализированных систем хранения данных (NAS), более 100 серверов (включая виртуальные машины), предназначенных для обработки спутниковых данных, а также около 10 серверов, обеспечивающих работу сервисов доступа к данным. Архивы центра содержат более ста типов информационных продуктов, полученных в результате обработки данных более 40 различных спутниковых приборов наблюдения. На сегодня пользователям предоставляется доступ более чем к 6 Пб данных, а также к широкому спектру инструментов для их анализа и обработки. Ежедневно в архивы центра поступает более 4 Тб новых данных различных типов. Все процессы получения, усвоения, обработки и предоставления данных в рамках ЦКП полностью автоматизированы. Соответственно, количество аппаратных компонент и автоматических процессов, протекающих на этих компонентах, работу которых необходимо контролировать, в настоящее время исчисляется сотнями.

Для решения этой задачи был реализован контроль работы всех компонент программно-аппаратного комплекса ЦКП на уровнях от отдельных программ до сложных программных подсистем, входящих в его состав, а также оперативное оповещение специалистов о возникающих в его работе неполадках и отслеживание процесса их устранения. Ниже описываются основные задачи, которые необходимо решить для обеспечения бесперебойной и эффективной работы комплекса. Рассматриваются основные программные компоненты для решения поставленных задач. В заключение приводятся оценки эффективности реализованной системы.

9.1 Основные задачи системы контроля

Спектр основных задач системы контроля сложного ПАК включает в себя:

- мониторинг и контроль процессов, протекающих в системе;
- детектирование и дальнейший контроль сбоев и отказов компонентов комплекса;
- ведение справочной информации о компонентах комплекса;

Рассмотрим эти группы задач подробнее.

Контроль выполнения всех процессов в распределенном программно-аппаратном комплексе ЦКП «ИКИ-Мониторинг» является наиболее очевидной задачей системы контроля. Под процессами в данном случае понимаются все автоматические запуски программ на контролируемых серверах, не относящихся к работе ядра операционной системы и сопутствующего программного обеспечения, то есть все пользовательские процессы. Прежде всего это программы, предназначенные для получения, обработки, архивации и обеспечения доступа к спутниковым данными и данным из других источников. Кроме этого важную роль играют процессы, обеспечивающие выполнение различных служебных задач, таких как создание резервных копий данных, монтирование сетевых дисковых разделов, диспетчеризацию потоков данных и др. Еще одна группа процессов отвечает за процедуры, предназначенные непосредственно для контроля тех или иных характеристик работы серверов, входящих в состав распределенного ПАК. К таким контрольным процессам, в частности, относятся программы, отслеживающие степень заполнения дискового пространства, целостность установленных на сервере программных компонент, работу сервисов синхронизации времени, и многие другие. Функции контроля могут также выполнять и сервисные процессы. К примеру, программа, отвечающая за монтирование внешних дисковых разделов, используется также для контроля их доступности. Состав и количество автоматически выполняемых программ на каждом из серверов зависит от специфики решаемых на нем задач, при этом в типичном случае на одном сервере производятся тысячи запусков десятков различных процедур в сутки. Кроме того, задача контроля выполнения процессов сильно осложняется тем, что в состав программно-аппаратного комплекса входят компьютеры, работающие под управлением различных операционных систем и выполняющие разные функции.

Для обеспечения контроля всех выполняемых процессов необходимо вести протоколы их выполнения и фиксировать их коды возврата, сигнализирующие либо об успешном их выполнении, либо о тех или иных ошибках, возникших в процессе их работы. Естественно, что для контроля многих десятков и даже сотен различных

процессов их коды возврата должны быть стандартизированы. Важно отметить, что контроль выполнения элементарных процессов реализуется на базовом уровне рассматриваемой системы, на основе которого решаются и более сложные задачи, связанные с контролем работы ключевых компонент и подсистем программно-аппаратного комплекса.

Второй ключевой задачей является автоматическое детектирование критических неполадок в работе программно-аппаратного комплекса (сбоев). Как уже было отмечено выше, в рамках функционирования распределенного ПАК ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в сутки на каждом из серверов в среднем производится более 1000 запусков различных процедур. В результате суммарное число запусков процессов для всего комплекса в сутки заведомо превышает сотню тысяч. Как показывает многолетний опыт разработки и эксплуатации сложных распределенных систем, контроля на уровне отдельных процессов для поддержки бесперебойной работы комплекса оказывается явно недостаточно. Связано это с целым рядом причин. Во-первых, эффективный контроль выполнения процессов на многих десятках серверов практически невозможен без централизованных решений, позволяющих агрегировать и анализировать информацию об ошибках на серверах. Во-вторых, ошибки при выполнении различных процессов не являются одинаково критичными для функционирования комплекса и должны быть классифицированы по типу и ранжированы по степени значимости. В-третьих, отсутствие явных ошибок на том или ином сервере еще не гарантирует, что все выполняемые на нем задачи выполняются должным образом. Это может быть связано как с программными ошибками, так и с влиянием широкого спектра факторов, в том числе внешних. Например, требуемых данных может не оказаться в архивах из-за неполадок в центрах распространения данных. Это, в свою очередь приводит к тому, что для эффективного контроля функционирования комплекса целесообразно отслеживать различные интегральные характеристики его работы, такие как своевременное поступление требуемых наборов данных в архивы, допустимое количество ошибок при проведении того или иного процесса обработки данных, доступность серверов по сети и т.п. В результате возникает необходимость в создании централизованных механизмов автоматического детектирования различных типов сбоев в работе комплекса, вызываемых программными ошибками, аппаратными проблемами и различными внешними факторами. При этом практика показывает, что от того, насколько исчерпывающим и информативным является набор автоматически контролируемых

критических неполадок в работе комплекса, напрямую зависит качество поддержки его бесперебойного функционирования.

Следующей неотъемлемой задачей системы контроля является документирование сбоев, детектированных в работе комплекса, оповещение о них специалистов и контроль их устранения. Только систематизированный учет всех обнаруженных неполадок и процесса их своевременного устранения может обеспечить качественную поддержку бесперебойной работы сложного программно-аппаратного комплекса. Для организации эффективной работы по устранению сбоев, детектированных в работе комплекса, информация о них должна поступать в централизованную систему ведения сбоев, позволяющую оперативно оповещать о них ответственных специалистов и отслеживать процесс их устранения. Кроме автоматически детектируемых сбоев в эту систему должны поступать сообщения об ошибках, обнаруженных пользователями ЦКП «ИКИ-Мониторинг», а также специалистами, задействованными в развитии и поддержке центра. Наиболее эффективным является адресное направление сбоя непосредственно тем специалистам, которые могут их устранить. Однако это не всегда возможно, и, кроме того, в процессе устранения ошибок могут возникнуть обстоятельства, требующие участия и других специалистов. Поэтому система ведения сбоев также должна поддерживать совместную работу специалистов и коммуникацию между ними.

Задача документирования аппаратных и программных компонент и другой необходимой информации непосредственно вытекает из необходимости реализации централизованного контроля работы распределенного ПАК. По сути, задача сводится к ведению набора справочников компонент и параметров ПАК и к реализации веб-интерфейсов для работы с этими данными. Существенно, что возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в настоящее время используются в рамках целого ряда научных и прикладных проектов, поэтому в справочниках также содержится информация о том, в интересах каких проектов используются те или иные компоненты. В первую очередь, для работы системы контроля необходима детальная информация о компьютерах, входящих в состав распределенного ПАК. Также необходимой является информация о базах данных, используемых в работе ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Кроме этого, в справочниках содержится информация о специалистах, осуществляющих поддержку функционирования работы комплекса с указанием их зоны ответственности по различным направлениям работ. Еще одним актуальным для задачи контроля типом информации является каталог реализованных в рамках различных проектов веб-

интерфейсов, как пользовательских, так и служебных, включая те, что непосредственно предназначены для поддержки бесперебойной работы комплекса.

Решение вышеперечисленных задач в целом позволяет контролировать бесперебойную работу программно-аппаратного комплекса. Однако существует ряд дополнительных задач, решение которых может обеспечить более качественную поддержку работы комплекса. К таким, в частности, относится задача формирования ежедневных сводных отчетов о работе наиболее критичных компонент комплекса, которые отсылаются специалистам по электронной почте к началу рабочего дня. Отчеты должны содержать краткую агрегированную информацию, позволяющую быстро оценить работу по соответствующему направлению, и, в первую очередь, предназначены для руководителей, которым необходимо контролировать множество различных направлений работ. Состав и содержание отчетов могут меняться в соответствии с текущими приоритетными задачами и проектами. В качестве примера такого отчета можно привести сводную информацию о поступлении наиболее критичных типов информации в архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Еще одной дополнительной задачей, которая позволяет лучше контролировать работу комплекса, является реализация различных инструментов для детального анализа работы отдельных подсистем комплекса. Такие инструменты, как правило, реализуются в виде веб-интерфейсов и позволяют специалистам быстрее разобраться в причинах возникших неполадок, выявить скрытые ошибки и найти «узкие» места в работе сложных подсистем. В частности, необходимы инструменты, позволяющие проанализировать время выполнения различных процедур обработки спутниковых данных на разных серверах обработки, оценить степень загруженности имеющихся вычислительных ресурсов и проследить за динамикой заполнения имеющегося дискового пространства. К инструментам анализа также относятся интерфейсы, позволяющие получить разнообразные статистические данные. В качестве примеров можно привести формы для получения в табличной форме информации о наличии в архивах разных типов спутниковых данных и интерфейсы, позволяющие визуально оценить пространственное заполнение данными заданной области интереса.

9.2 Контроль выполнения процедур

Контроль выполнения процедур на Unix-серверах реализуется на основе использования специально разработанного для этого программного пакета PMS (Process Monitoring System). Этот пакет в обязательном порядке устанавливается на все такие сервера в независимости от их конкретного назначения. Все контролируемые процессы запускаются на сервере при помощи специальной программы, которая заносит протоколы их выполнения и коды возврата в специализированную базу данных. При реализации всех запускаемых процедур используется стандартный набор кодов возврата, основные из которых сигнализируют о следующих результатах выполнения процесса:

- успешное выполнение,
- ошибка при выполнении,
- холостой запуск,
- блокировка запуска другим процессом,
- прекращение выполнения по сигналу.

Также для каждого процесса могут быть заданы критерии детектирования состояния ошибки в его работе: отсутствие успешных запусков за заданный интервал времени, повторяющиеся в течение указанного времени ошибки, превышение заданного максимального времени выполнения.

Для доступа к контрольной информации и выполнения ряда операций по управлению запусками процессов реализован специализированный веб-интерфейс, в котором реализованы следующие основные возможности:

- конфигурация и описание процессов, включая:
 - название,
 - принадлежность к группам процессов
 - фамилию разработчика,
 - критерии детектирования состояния ошибки,
 - критичность ошибок,
 - способы оповещения о них специалистов;
- предоставление информации о протоколах выполнения и кодах возврата для серии запусков процессов за заданное последнее время;
- различные режимы фильтрации отображаемой информации, в частности:
 - отображение процессов в состоянии ошибки, выполняемых в текущий момент процессов или приостановленных процессов,

- отображение процессы указанной группы или одного заданного процесса,
- предоставление информации об успешных, ошибочных или результативных запусках процессов;
- возможность остановки или временного прекращения запуска указанного процесса;
- возможность остановки или аварийного завершения процессов, выполняемых дольше установленного интервала времени;
- сводная статистика по выполнению процессов за указанный диапазон дат.

На рисунке Б.31 приведен пример использования основного интерфейса системы PMS, предназначенного для получения информации о последних запусках выбранных процессов, а на рисунке Б.32 – пример интерфейса для описания процесса.

The screenshot displays the PMS interface for monitoring autonomous processes. The main table lists various processes such as 'Add launcher', 'Import planets_unity metadata', 'Import zsrcpod_unity metadata', 'Import divrcpod_unity metadata', 'Manage store subdirs', 'Prepare sentine12 data', 'Add sentine12/prepared', 'Add sentine12/level2', 'Prepare sentine12_12a data', 'Add sentine12/prepared_12a', 'Add source_pan0 landsat/pmh_ landsat', and 'Add source_pan1 landsat/pmh_ landsat_qlack'. Each row shows the process name, developer, and a grid of execution times and statuses for the last 5 days. A detailed view for process ID 600 is shown on the right, including its name 'Add launcher', command line, and captured output.

Рисунок Б.31 - Интерфейс системы PMS. Просмотр информации о последних запусках процессов

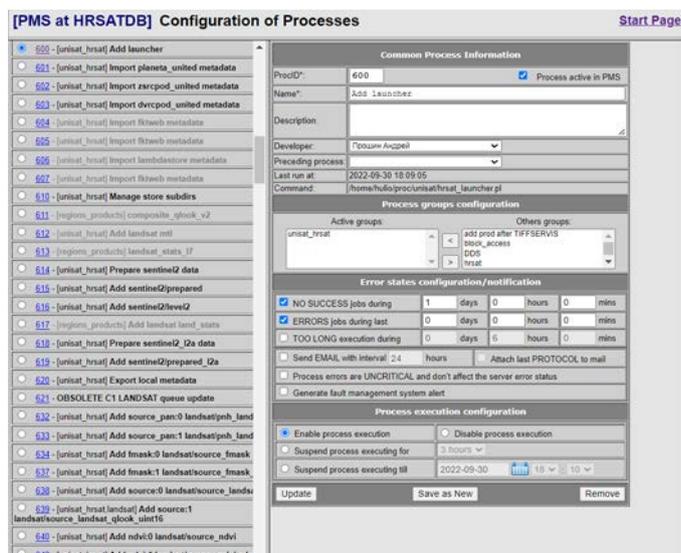


Рисунок Б.32 - Интерфейс системы PMS. Конфигурация процессов

Контроль выполнения процедур обработки данных на Windows-серверах обработки реализован на основе протоколов системы управления многопоточковой обработкой спутниковых данных. Программа запуска заданий по обработке спутниковых данных, установленная на Windows-серверах, протоколирует информацию обо всех выполняемых процессах в централизованную базу данных, предназначенную для этой цели. При этом для каждого из элементарных процессов фиксируется следующая информация: идентификатор сервера, тип обработки, идентификатор сессии, номер потока выполнения, время начала и окончания, а также код возврата. В случае возникновения ошибки при выполнении процесса фиксируется сообщение о ее причинах, а выполнение соответствующего потока выполнения задания по обработке данных прекращается. Следует отметить, что в настоящее время за сутки в централизованную базу данных поступает информация о сотнях тысяч элементарных процессов, относящихся к различным типам обработки и выполняемых на разных серверах, в сессиях и потоках. В результате использование обычных веб-интерфейсов, наподобие тех, что применяются для контроля процессов, выполняемых на Unix-серверах, оказывается практически невозможным. Таким образом, возникает необходимость в интерфейсах, позволяющих просматривать информацию о выполнении процессов в различных агрегированных представлениях. В результате решение было найдено в применении современных BI-технологий (Business intelligence), использующих хранилища структурированной информации на основе OLAP-структур (online analytical processing). Благодаря возможности предварительной агрегации информации по различным признакам и параметрам, эти инструменты позволяют

достаточно быстро проводить анализ больших объемов многомерных данных. На основе VI-технологий был реализован целый ряд различных интерактивных отчетных форм (таблиц, гистограмм, графиков), позволяющих визуально анализировать информацию о выполнении как элементарных процессов, так и комплексных процедур обработки. На рисунке Б.33 приведен пример одной из таких форм для получения агрегированной информации о выполнении заданий по обработке на различных серверах. Пример интерфейса, позволяющего проследить обработку конкретных наборов данных в рамках выбранного задания, приведен на рисунке Б.34.

Группы заданий	Задания	Обработчики	.rdy	Удачных	Продолжительность сессии [мин]	Среднее количество потоков в сессии	Среднесессионная продолжительность потока [мин] avg	Среднесессионная продолжительность потока [мин] avg	Среднесессионная продолжительность потока [мин] max	Процесс	Ошибки	
<input type="checkbox"/> регулярные-приоритетные	alpha Unisat composite qlook (session)		724	819	4 643	3	0,2	5,7	49,6	1		
	AM_SIN_1DC daily composite oper (session)			46	55	1	0,6	1,2	2,2			
	Burns 250 TV product (session)		3									
	Calc vegetation indexes from AQUA weekly composite (session)			94	56	1	0,2	0,6	2,8			
	Calc vegetation indexes from weekly composite (session)			132	78	1	0,2	0,6	3,2		1	
	<input type="checkbox"/> Calculate mean ndvi from sin 193.232.9.113 (session)	BLADE_06_GZ										
		BLADE_10_GZ			1	1	1	0,8	0,8	0,8		
		BLADE_11_GZ			6	8	2	0,4	1,4	3,1		
		BLADE_12_GZ			1	1	1	1,1	1,1	1,1		
		BLADE_15_GZ			6	9	2	0,7	1,5	2,1		
		BLADE_16_GZ			10	14	3	0,4	1,4	3,1		
		P-ALLA-28										
		P-B2013-183										
		P-GACRIX-75										
		P-IATASHA-29			11	7	6	0,4	0,6	0,8		
	P-TAIYA-154											
P-YULIA-30			3	15	3	5,0	5,0	5,0				
PDL-6C-DIONE			11	10	1	0,4	0,9	2,2				
PDL-6C-ENCELADUS			14	11	2	0,4	0,8	1,9				

Рисунок Б.33 - Пример использования VI-интерфейса для получения информации о выполнении заданий обработки спутниковых данных.

Дата старта	Старт ↑ ↓	Набор ↓	Финиш ↑ ↓	Обработчик ↓	Статус ↓	Продолжительность потока [мин]	Среднесекундная продолжительность потока [мин]
☐ 05.10.22	☐ 05.10.22 13:31	☐ h051_054_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ vmw-emu2-d1	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 13:29	☐ h048_051_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ vmw-emu2-c4	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 13:28	☐ h045_048_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ PDL-E1280-12	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 13:28	☐ h042_045_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ PDL-E1280-14	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 13:27	☐ h039_042_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ PDL-E1280-8	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 13:25	☐ h036_039_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ vmw-emu2-d6	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 13:21	☐ h033_036_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ vmw-emu2-a8	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 13:12	☐ h030_033_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ vmw-emu2-a7	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 13:11	☐ h027_030_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ vmw-emu2-b5	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 13:07	☐ h024_027_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ VMW-DL10KML-H	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 13:05	☐ h021_024_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ vmw-emu2-c5	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 12:54	☐ h018_021_v52_54_y2022_2022_m04_	☐	☐ PDL-ALPHARD-33	☐ processing	0,00	0
	☐ 05.10.22 12:32	☐ h144_147_v50_52_y2022_2022_m04_	☐ 05.10.22 12:57	☐ vmw-emu2-a7	☐ success	25,15	25,43
	☐ 05.10.22 11:38	☐ h141_144_v50_52_y2022_2022_m04_	☐	☐ vmw-emu2-c6	☐ processing	0,00	0

Рисунок Б.34 - Пример использования VI-интерфейса для получения информации об обработке отдельных наборов исходных данных

9.3 Система ведения сбоев

Разработанная в ИКИ РАН в отделе «Технологии спутникового мониторинга» система ведения сбоев предназначена для решения двух основных задач системы контроля:

- автоматическое детектирование критических сбоев в работе комплекса;
- документирование сбоев, детектированных в работе комплекса, оповещение о них специалистов и контроль их устранения.

Универсальные системы управления проектами, позволяющие отслеживать выполнение задач специалистами, широко используются в работе самых разных организаций, поэтому при проектировании системы ведения сбоев рассматривались варианты с использованием готового программного обеспечения, в частности, Redmine и Microsoft Project. Однако, как показала практика, имеющиеся программные решения недостаточно хорошо подходят для решения специфических задач по организации контроля функционирования распределенного ПАК ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Несмотря на декларируемую гибкость, их использование неминуемо ограничивает разрабатываемый функционал системы. Также существенную сложность представляет

собой интеграция таких систем с остальными компонентами многоуровневой системы контроля. В результате было решено сосредоточиться на разработке собственной специализированной программной системы, что позволяет модифицировать ее в соответствии с постоянно изменяющимися требованиями и обстоятельствами.

По факту система ведения сбоев является базовым инструментом, используемым специалистами для поддержки бесперебойной работы программно-аппаратного комплекса ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Ниже кратко рассмотрены основные программные компоненты этой системы.

Централизованная база данных системы ведения сбоев предназначена для ведения информации о сбоях, детектированных как автоматически, так и пользователями. Она позволяет сохранять следующие основные атрибуты для каждого из сбоев:

- времена детектирования и устранения сбоя;
- источник сбоя, в качестве которого может выступать либо один из агентов детектирования, либо пользователь;
- описание сбоя и признак его критичности;
- логин специалиста, отвечающего за исправление сбоя;
- информацию об оповещении специалистов;
- информацию о процессе устранения сбоя;
- проект и направление работ;
- текущий статус сбоя: новый, направлен, принят, исправлен и др.

Специальные программные компоненты (агенты) предназначены для автоматического детектирования сбоев различных типов. Непосредственное занесение сбоев в систему производится при помощи специального программного интерфейса. Ниже кратко описана реализация и назначение основных используемых в настоящее время агентов.

Агент контроля наличия ошибок (КНО) позволяет опрашивать состояние специальных контрольных процессов на Unix-серверах, каждому из которых соответствует определённый тип проверок. Сбой детектируется в том случае, когда текущим состоянием контрольного процесса является «ошибка». Существенно, что протокол выполнения таких процессов должен содержать блок в формате XML с информацией, необходимой для описания конкретного сбоя, помимо обычного текста. Состав проверок, проводимых на конкретных серверах, конфигурируется при помощи специального интерфейса. Наиболее используемыми в настоящее время являются следующие типы проверок:

- контроль доступности сервера по сети;
- контроль функционирования требуемых «демонов» на сервере;
- проверка состояния дисковых массивов (RAID);
- диагностика и прогнозирование переполнения дисковых разделов сервера;
- проверка синхронизации времени на сервере;
- проверка доступности по NFS всех требуемых удалённых томов архивов данных;
- проверка целостности тематического программного обеспечения.

Агент контроля наличия данных (КНД) играет очень важную роль, так как позволяет контролировать оперативное поступление в архивы требуемых для выполнения основных задач ЦКП «ИКИ-Мониторинг» информационных продуктов. Контроль реализуется посредством централизованного выполнения SQL-запросов к базам данных, при этом для каждого контролируемого типа данных в них указывается допустимая «давность» данных.

Агент контроля состояния обработки (КСО) предназначен для автоматического детектирования сбоев при выполнении задач по обработке спутниковых данных на кластере Windows-серверов. Программно он является частью системы управления многопоточковой обработкой спутниковых данных. Агент позволяет реализовать следующие основные типы проверок:

- контроль процента ошибок на каждом из серверов обработки;
- контроль допустимого времени простоя серверов обработки;
- контроль количества «холостых» запусков;
- обнаружение «зависших» процессов.

Агент контроля выделенных процессов (PMS) позволяет регистрировать в системе сбоев ошибки при выполнении наиболее критичных процессов по обработке и архивации данных на UNIX-серверах. В отличие от вышеописанных случаев, в этом случае занесение сбоя инициируется самой системой PMS, установленной на соответствующем сервере. Такой способ контроля используется достаточно редко, так как в противном случае в систему ведения сбоев поступало бы слишком много малоинформативных сообщений об ошибках.

Реализованный в рамках системы ведения веб-интерфейс в настоящее время позволяет решать следующие основные задачи:

- поиск и просмотр сбоев по различным критериям, включая: проект, направление работ, источник детектирования, ответственного, текущий статус сбоя и др.

- поддержка специального режима дежурного, в рамках которого ему предоставляется информация обо всех критических сбоях за последние несколько дней;
- внесение информации о новом сбое с возможностью указания следующей информации: проект, организация, направление работ, ответственный за устранение, другие оповещаемые специалисты, степень критичности и др.
- упрощенное внесение информации о новом сбое, используемое для регистрации ошибок пользователями информационной системы;
- занесение информации о состоянии и ходе устранения существующего сбоя, включая изменение его статуса и возможность переадресации сбоя на другого специалиста;
- конфигурация агентов автоматического детектирования сбоев;
- статистика по наличию разных типов сбоев у специалистов.

На рисунке Б.35 приведен пример интерфейса для поиска и просмотра сбоев, детектированных в работе комплекса. На рисунке Б.36 приведена форма для редактирования информации о сбое.

После регистрации нового сбоя сразу же производится оперативное оповещение о нем специалистов по электронной почте и через внутреннюю систему обмена сообщениями. Если в информации о сбое ответственный специалист не указан, то оповещение направляется на дежурного специалиста. В его задачи входит отслеживание всех детектируемых за сутки сбоев, перенаправление их специалистам, а также контроль их устранения. Также ежедневно всем ответственным специалистам рассылается информационное письмо с указанием актуальных для них сбоев.

[СДКП] Система ведения сбоев

Общая информация: andry (Прошин), Дежурный: Бурцев, Режим дежурного, Сегодня: пт, 30 сентября 2022, 15:07:55

Управление выводом информации: Показать за период: Все, Сортировать по: Времени обнаружения, Всегда показывать: крит., новые, оповещ., Фильтр по описанию

Легенда: Новый сбой, Сбой направлен, Сбой принят, Сбой исправлен, Критический сбой

Новый сбой | Статистика | Найдено 29 записей

ID	Проекты	Центр	Обнаружил	Ответственный	Направление работ	Статус	Описание и изменения	Время обнаружения
59052	ИСДМ	ИКИ РАН	КНЦ	Дежурный (Прошин)	Получение исходных данных в Центрах приема	Новый	Сервер firedb. База данных fe_hotspots_v3 Проверка: 09 Состояние MODIS KVERT TERRA (таймаут 10 ч.) Время последних данных: 29 Сентября 09:05 GMT	29 сен 23:02 30 сен 14:50
59057	ИСДМ	ИКИ РАН	КНЦ	Дежурный (Прошин)	Получение исходных данных в Центрах приема	Новый	Сервер firedb. База данных fe_hotspots_v3 Проверка: 12 Состояние MODIS ZSIR-POD AQUA (таймаут 10 ч.) Время последних данных: 29 Сентября 05:36 GMT	29 сен 19:00 30 сен 14:50
59052	ИСДМ	ИКИ РАН	Валдаев Виктор Васильевич	Истомин		Направлен	Сбой от: Организация: АУ РК "Карельский центр авиационной и наземной охраны лесов" e-mail: aviasent@aviales.ru По адресу: http://aviasent.aviales.ru/main.php Показать/ссылка	29 сен 16:45 30 сен 12:57
59051	ИСДМ	ИКИ РАН	Галики Юрий Сергеевич	Истомин		Направлен	Сбой от: Организация: ФБУ РО "Поиск" e-mail: rooles.pri@yandex.ru По адресу: Ссылка в описании Показать/ссылка	29 сен 16:32 30 сен 12:57
59049	ИСДМ	ИКИ РАН	Шутов Михаил Геннадьевич	Истомин		Направлен	Сбой от: Организация: Государственное бюджетное учреждение Тверской области "Лесозащитный противопожарный центр-Тверлес" e-mail: shuovm@aviales.ru По адресу: http://aviasent.aviales.ru/main.php Показать/ссылка	29 сен 15:43 30 сен 12:58
59046	ИСДМ	ИКИ РАН	Корнева Римма Анатольевна	Истомин		Направлен	Сбой от: Организация: ГБУ Центр пожаротушения и охраны лесов Оренбургской области e-mail: gbu@rto.kla@yandex.ru По адресу: http://aviasent.aviales.ru/main.php Показать/ссылка	29 сен 14:38 30 сен 12:58
59042	ИСДМ	ИКИ РАН	Пьянова Татьяна Павловна	Балашов	Формы отчетности по пожарам (-ЛО, Ясень)	Принят	Сбой от: Организация: ФБУ "Авиалесоохрана" e-mail: aviales@aviales.ru По адресу: Ссылка в описании Показать/ссылка	29 сен 12:58 30 сен 12:59
59041	ИСДМ	ИКИ РАН	ОЮН АЙДАШ ОРЛАНОВИЧ	Уваров		Направлен	Сбой от: Организация: РЕГИОНАЛЬНАЯ ДИСПЕТЧЕРСКАЯ СЛУЖБА БАЗА АВИАЦИОННОЙ ОХРАНЫ ЛЕСОВ ФИЛИАЛ АУ ТУРАНСКОЕ СПЕЦЦПУ e-mail: aviales@aviales.ru По адресу: Ссылка в описании Показать/ссылка	29 сен 12:56 30 сен 12:58
59026	ИСДМ	ИКИ РАН	КНЦ	Дежурный (Прошин)	Получение исходных данных в Центрах приема	Новый	Сервер firedb. База данных fe_hotspots_v3 Проверка: 09 Состояние MODIS KVERT TERRA (таймаут 10 ч.) Время последних данных: 29 Сентября 11:21 GMT	29 сен 01:00 30 сен 14:50
58552	56 отдел	ИКИ РАН	SMISPKG	Прошин	SMISPKG	Направлен	Сервер LAMBDASTORE check smispkg_integrity 1_db_unsat-1 1169 State: Invalid. Master dev.nfrc.aviales.ru. Authors Proshin Changed files /home/fulloproc/site_per/unit/satiedt_catalog.pm Сервер VEGAFIREPROC. Процесс: 262 - upd_reports FOREST MC6 ERRORS during 5 minutes	26 сен 19:00 30 сен 15:00

Рисунок Б.35 - Система ведения сбоев. Интерфейс поиска и просмотра информации о сбоях в работе комплекса

[СДКП] Редактирование информации о сбое

Логин: andry (Прошин), Дежурный: Бурцев

Общая информация

Идентификатор сбоя	59042
Кто обнаружил	Пьянова Татьяна Павловна
Ответст. дежурный	Прошин
Текущий статус	Принят
Время обнаружения	2022-09-29 12:58:39

Проекты
ИСДМ-Рослесхоз
Планета - Геофизика-Центры
Сервис ВЕГА
ВЕГА-Лес
Тайловый интерфейс
Вулканы
ВЕГА ЕФИС ЗСН

Центры | Выбрать все
ЦЭПЛ РАН
ЦСМС
ДВ РЦПОД
ВЦ ДВО РАН
ГАЗКОМ Щелково
ИКИЗ
ИКИ РАН

Проинформировать
Елкина
Артамонова
Балашов
Барталев
Барталев(мл)
Белоконь
Бочарова

Определение типа работ и ответственного

Направление работ: Система доступа
Тип работ: Формы отчетности по пожарам (-ЛО, Ясень)
Ответственный: Балашов. Куратор направления
Критический сбой:
Изменить статус: Принят

Описание и изменения:
Сбой от:
Организация: ФБУ "Авиалесоохрана"
e-mail: tryanova@aviales.ru
По адресу: Ссылка в описании
Хочу опубликовать Акт № к-1614 проверки достоверности сведений о площади лесных пожаров с использованием данных дистанционного зондирования Земли на территории: Амурская

Новые изменения:

Сбой был занесен пользователем системы, который не может просматривать журнал сбоев.
Чтобы послать ему письмо с новыми изменениями поставьте галочку

Рисунок Б.36 - Система ведения сбоев. Интерфейс редактирования информации о сбое

Таким образом, разработанная в ИКИ РАН многоуровневая система контроля функционирования ПАК ЦКП «ИКИ-Мониторинг» позволяет эффективно решать

поставленные перед ней задачи, что подтверждается многолетним опытом её использования и может быть использована при создании, поддержке и развитии ИАС «Углерод-Э». Благодаря её использованию поддержка бесперебойной работы центра коллективного пользования осуществляется усилиями менее чем десяти разработчиков, для которых эта деятельность не является основной. Это достигается благодаря максимальной автоматизации процессов детектирования сбоев в работе системы и высокого уровня их информативности.

10. Заключение

Таким образом мы видим, что в настоящее время имеются технологии, позволяющие создавать информационные системы, обеспечивающие максимально автоматизированную работу со спутниковыми данными ДЗЗ и результатами их обработки. Данные технологии уже показали свою эффективность при создании, внедрении и поддержке различных информационных систем, обеспечивающих работу со спутниковой информацией ДЗЗ для решения различных научных и прикладных задач. Эти технологии и реализующие их инфраструктурные решения в составе ЦКП «ИКИ-Мониторинг» могут стать основой для реализации ИАС «Углерод-Э».

Список использованных источников

- 1 Budget Activity: National Environmental Satellite, Data, and Information Service. – 2012. – http://www.corporateservices.noaa.gov/nbo/fy13_presidents_budget/7_NESDIS.pdf
- 2 Ramapriyan H. K. Development, Operation and Evolution of EOSDIS – NASA’s major capability for managing Earth science data // CENDI/NFAIS Workshop on Repositories in Science & Technology: Preserving Access to the Record of Science November 30. – 2011.
- 3 Лупян Е.А., Саворский В.П., Шокин Ю.И., Алексанин А.И., Назиров Р.Р., Недолужко И.В., Панова О.Ю. Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 5. – С.21–44.

4 Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Кобец Д.А., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т.12, № 5. – С.53–75.

5 Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т.7, № 2. – С.97–105.

6 Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 1. – С. 190–198.

7 Ефремов В.Ю., Гирина О.А., Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Матвеев А.М., Прошин А.А., Сорокин А.А., Флитман Е.В. Создание информационного сервиса "Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил" // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т.9, № 5 – С.155–170.

8 Лупян Е.А., Матвеев А.М., Уваров И.А., Бочарова Т.Ю., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Спутниковый сервис See the Sea - инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 2. – С.251–262.

9 Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В. Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – Выпуск 1. –С. 81–89.

10 Лупян Е.А., Саворский В.П. Базовые продукты обработки данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 2. – С. 87–97.

11 Кашницкий А.В., Балашов И.В., Лупян Е.А., Толпин В.А., Уваров И.А. Создание инструментов для удаленной обработки спутниковых данных в современных

информационных системах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т.12, № 1. – С.156–170.

12 Acker J. G., Leptoukh G. Online analysis enhances use of NASA earth science data // Eos, Transactions American Geophysical Union. – 2007. – Vol. 88, №2. – P. 14–17.

13 Moore R. T., Hansen M. C. Google Earth Engine: a new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis // AGU Fall Meeting Abstracts. – 2011. – Vol. 1. – P.2.

14 Балашов И.В., Халикова О.А., Бурцев М.А., Лупян Е.А., Матвеев А.М. Организация автоматического получения наборов информационных продуктов из центров архивации и распространения спутниковых и метеоданных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т.10, № 3. – С.9-20.

15 Прошин А.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Кашницкий А.В., Бурцев М.А. Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. –Т. 13, № 3. – С. 9-27.

16 Кобец Д.А., Матвеев А.М., Мазуров А.А., Прошин А.А. Организация автоматизированной многопоточной обработки спутниковой информации в системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т.12, № 1. – С.145–155.

17 Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8, № 3. – С.93–108.

18 Бурцев М.А., Мамаев А.С., Прошин А.А., Флитман Е.В. Управление доступом к WEB-ресурсам в распределенных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8, № 3. – С.155–160.

19 Уваров И.А., Матвеев А.М., Бурцев М.А., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Саворский В.П., Суднева О.А. Организация распределенной работы с данными спутниковых гиперспектральных наблюдений для решения научных и прикладных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11, №. 1. – С.322–333.

20 Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Наглин Ю.Ф., Прошин А.А., Флитман Е.В.(2004) Управление и контроль работоспособности распределенных систем обработки спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – Т.1. – С. 467–475.

21 Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Мазуров -мл. А.А., Мамаев А.С., Матвеев А.М., Прошин А.А. Организация контроля за функционированием распределенных систем сбора, обработки и распространения спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т.7, № 4. – С.34–41.

22 Сычугов И.Г., Прошин А.А. Детектирование и документация сбоев в работе распределённых информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11, №. 3. – С.233 –245.

23 Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Мазуров -мл. А.А., Мамаев А.С., Матвеев А.М., Прошин А.А. Особенности организации контроля и управления распределенных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8, № 3. – С.161–166.

24 Euroconsult // Brochure «Satellites to be built & launched by 2026». – 2017. - URL: <http://www.euroconsult-ec.com/research/satellites-built-launched-by-2026-brochure.pdf>

25 Albani M. Long Term Data Preservation: status of activities and future ESA programme // GSCB Workshop 2012 ESA/ESRIN. Frascati. 6-7 June. – 2012. – URL: https://earth.esa.int/documents/1656065/1664726/8-LTDP_activities_future.pdf.

26 Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8, № 1. – С.26–43.

27 Лупян Е.А., Бурцев М.А., Прошин А.А., Кобец Д.А. Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15, № 3. – С. 53–66.

28 Lee C.A., Gasster S.D., Plaza A., Chang C.I., Huang B. Recent developments in high performance computing for remote sensing: A review // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2011. – Vol. 4, № 3. – P. 508–527.

29 Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. – 2017. – Vol. 202. – P. 18–27.

30 Wang L., Ma Y., Yan J., Chang V., Zomaya A.Y. pipsCloud: High performance cloud computing for remote sensing big data management and processing // Future Generation Computer Systems. – 2018. – Vol. 78, Part 1. – P. 353–368.

31 Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Балашов И.В., Константинова А.М. Технология создания инструментов обработки и анализа данных сверхбольших распределенных спутниковых архивов // Оптика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 29, № 9. – С. 772-777.

32 Лупян Е.А., Милехин О.Е., Антонов В.Н., Крамарева Л.С., Бурцев М.А., Балашов И.В., Толпин В.А., Соловьев В.И. Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ “ПЛАНЕТА” // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 12. – С.89–97.

33 Бурцев М.А., Успенский С.А., Крамарева Л.С., Антонов В.Н., Калашников А.В., Балашов И.В., Кашницкий 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.

34 Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 5. – С. 263–284.

35 Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 151–170.

36 Толпин В.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Ладонина Н.Н., Стыщенко Ф.В. Информационная система глобального спутникового

мониторинга сельского хозяйства VEGA-GEOGLAM // Тринадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 16-20 ноября 2015. Тезисы докладов. – 2015. – С. 431.

37 Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Барталев С.С., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Кашницкий А.В., Колбудаев П.А., Крамарева Л.С., Мазуров А.А., Оксюкевич А.Ю., Плотников Д.Е., Прошин А.А., Сенько К.С., Уваров И.А., Хвостиков С.А., Ховратович Т.С. Информационная система комплексного дистанционного мониторинга лесов «Вега-Приморье» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13, № 5. – С. 11–8.

38 Тохиян О.О., Васильев А.Ю., Гладков А.П. Расширение возможностей сервисов Геопортала Роскосмоса // Геоматика. – 2015. – № 2. – С. 22–25.

39 Тохиян О.О., Кошкин К.В. Опыт разработки и эксплуатации геопортала Роскосмоса // Геоматика. – 2011. – № 2. – С.20–28.

40 Gorelick N. Google Earth Engine //EGU General Assembly Conference Abstracts. – 2013. – Vol. 15. – P. 11997.

41 Ramapriyan H. K., Behnke J., Sofinowski E., Lowe D., Esfandiari M. A. Evolution of the earth observing system (EOS) data and information system (EOSDIS) // Standard-Based Data and Information Systems for Earth Observation / Eds Di Liping, H.K. Ramapriyan. – 2010. – P. 63–92.

42 Носенко Ю.И., Лошкарев П.А. Единая территориально-распределенная информационная система ДЗЗ – проблемы, решения, перспективы (часть 1) // Геоматика. –2010. – № 3. – С. 35–43.

43 Балашов И. В., Бурцев М.Ю., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Толпин В.А. Построение архивов результатов обработки спутниковых данных для систем динамического формирования производных информационных продуктов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т. 5, № 1. – С. 26–32.

44 Шокин Ю.И., Антонов В.Н., Добрецов Н.Н., Кихтенко В.А., Лагутин А.А., Смирнов В.В., Чубаров Д.Л., Чубаров Л.Б. Распределенная система приема и обработки спутниковых данных Сибири и Дальнего Востока. Текущее состояние и перспективы развития // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, №. 5. – С. 45–54.

45 Бабяк П. В., Недолужко И. В., Фомин Е. В. Подход к предоставлению услуг по обработке спутниковых данных в Центре коллективного пользования

регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН // Материалы научной конференции "Интернет и современное общество". – 2014. – С. 27–32.

46 Neteler M. et al. GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS // Environmental Modelling & Software. – 2012. – Vol. 31. – P.124–130.

47 Moss L.T., AtréS.. Business Intelligence Roadmap: The Complete Project Lifecycle for Decision-Support Applications. Addison-Wesley. – 2003. – 576 p.

48 Паклин Н., Орешков В. Бизнес-аналитика. От данных к знаниям // OLAP-анализ. Питер. – 2013. – С. 184-192.

49 Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Выпуск 5, Т. 2. – С.419–429.

50 Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. (2011) Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 4. – С.285–302.

51 Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В. Технология построения автоматизированных систем хранения спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – Т 1, №.1. – С.437–443.

52 Dean J., Ghemawat S. MapReduce: simplified data processing on large clusters // Communications of the ACM. – 2008. – Т. 51. – №. 1. – С. 107-113.

53 Барталев С.А., Ершов Д.В., Лупян Е.А., Толпин В.А. Возможности использования спутникового сервиса Вега для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 1. – С. 49-56.

Приложение В. Информационный сервер действующего прототипа ЦИУ ИАС «Углерод-Э»

1. Введение

В рамках первой очереди работ по созданию ИАС «Углерод-Э» создан действующий прототип центрального информационного узла (ЦИУ), в составе которого созданы:

- Первая очередь системы работы с данными, включающей:
 - блок автоматизированной обработки спутниковых данных спутниковых данных среднего пространственного разрешения (200-300 м) для получения временных рядов безоблачных композитных изображений, необходимых для формирования информационных продуктов в интересах решения задач проекта и организации мониторинга бюджета и пулов углерода;
 - блок ведения архивов информации о лесах, получаемой на основе обработки спутниковых данных, который обеспечивает возможности хранения и работы с результатами автоматизированной обработки данных;
- Первая очередь система представления и анализа данных, в том числе специализированный набор инструментов для распределённого анализа информации о лесах, получаемой на основе спутниковых данных, включая базовые возможности их предоставления для ведения национальной отчетности, в том числе формирования реестра парниковых газов.

Для представления результатов обработки, обеспечения возможностей анализа данных, а также управления и контроля реализованных элементов системы был создан информационный сервер действующего прототипа ЦИУ ИАС «Углерод-Э», расположенный по адресу <http://carbon.geosmis.ru> (в процессе развития системы адрес может измениться). Описанию структуры и основных возможностей созданного информационного сервера посвящено настоящее Приложение.

2. Структура информационного сервера

Согласно разработанным функциональным требованиям к ЦИУ (см. раздел 2 настоящего отчёта), система представления и анализа данных должна включать в себя следующие блоки:

- Блок анализа данных;
- Блок общей информации по проекту;
- Блок управления проектом.
- Для реализации этих функций и блоков в составе информационного сервера были реализованы следующие компоненты:
 - Сайт проекта (блок общей информации по проекту);
 - Картографический интерфейс для отображения и анализа растровых и векторных тематических информационных продуктов, спутниковых данных и сопутствующей картографической информации (блок анализа данных);
 - Блок VI-форм для отображения и анализа агрегированных данных о наземных экосистемах;
 - Блок форм отчётности (блок анализа данных).
 - Блок статической информации об ИАС «Углерод-Э» (блок общей информации по проекту);
 - Интерфейсы контроля состояния компонент ИАС «Углерод-Э» (блок управления проектом);
 - Внутренние справочники по компонентам и подсистемам ИАС «Углерод-Э» (блок управления проектом);
 - Средства координации участников и ведения проекта, в том числе поддержки распределенных совещаний и обсуждений (блок управления проектом).

Далее приведено описание реализованных компонент.

2.1 Сайт проекта

Сайт проекта и его стартовая страница, созданные в рамках работ по созданию действующего прототипа ЦИУ ИАС «Углерод-Э» расположены по адресу <http://carbon.geosmis.ru>. Текущий вид стартовой страницы приведён на рисунке В.1.

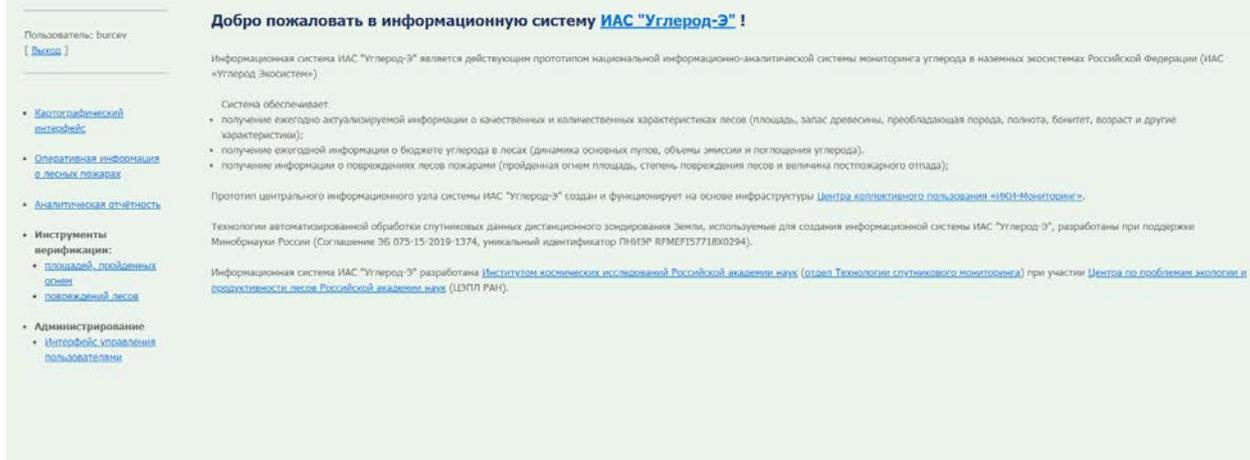


Рисунок В.1 - Стартовая страница сайта проекта

На стартовой странице расположена краткая информация о проекте и его основных исполнителях, а также система авторизации пользователя.

После авторизации пользователю становятся доступными ссылки на интерфейсы анализа данных, а также, если это позволяют его права пользователя, инструменты администрирования системы. Состав активных ссылок и информационных блоков на стартовой странице сайта будет изменяться по мере развития ИАС «Углерод-Э» и реализации её отдельных компонент.

2.2 Картографический интерфейс

Картографический интерфейс обеспечивает отображение и анализ растровых и векторных тематических информационных продуктов, спутниковых данных и сопутствующей картографической информации. Интерфейс реализован на основе технологии GEOSMIS, подробно описанной в Приложении Б к настоящему отчёту. Он имеет модульную структуру и позволяет отображать в едином поле карты разнородные (полученные с разных спутников и приборов), разновременные и разнотипные (растровые и векторные) данные для их совместного анализа. Функции интерфейса, доступные для работы с пространственными данными, сопоставимы с функциями настольного ГИС-приложения, интегрированного со сверхбольшими архивами данных. Пользователю доступны операции поиска, отображения, сравнения, отбора,

перепроецирования и анализа данных. Внешний вид интерфейса с включённой для отображения картой типов растительного покрова приведён на рисунке В.2.

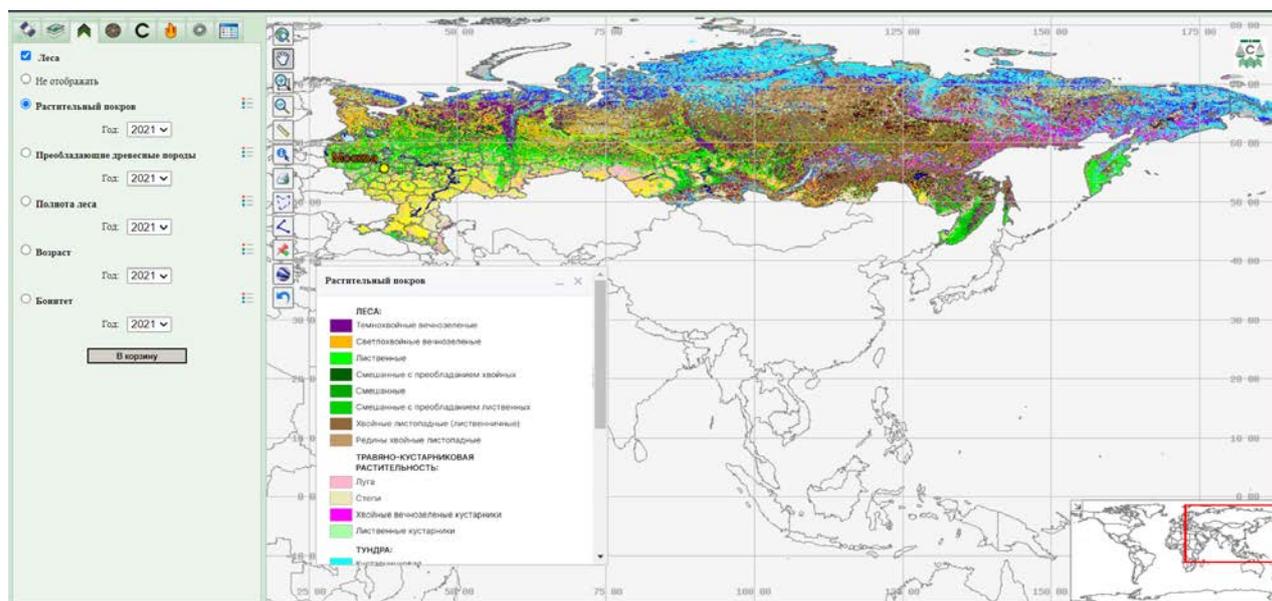


Рисунок В.2 -Картографический интерфейс ЦИУ ИАС «Углерод-Э».

Интерфейс включает в себя два основных поля: общее поле карты, на котором отображаются данные, и поле вкладок, на котором расположены органы управления интерфейсом, в том числе вкладки спутниковых данных, вкладки специальных тематических продуктов, необходимых для мониторинга динамики бюджета и пулов углерода, а также инструменты настройки параметров самого интерфейса. Структура интерфейса является модульной, что позволяет достаточно быстро добавлять в него новые типы данных и инструменты работы с ними.

В рамках интерфейса доступны следующие данные и инструменты:

- Спутниковые данные:
 - Данные высокого пространственного разрешения (10-30 метров на пиксель) для оценки состояния пробных площадей и тестовых полигонов (пример отображения таких данных приведён на рисунке В.3);
 - Композитные продукты различной временной скважности (недельные, месячные, сезонные) низкого пространственного разрешения (250-1000м) для оценки бюджета и пулов углерода в масштабе страны и отдельных страт (пример отображения таких данных приведён на рисунке В.4);
- Тематические продукты:

- Тематические карты состава и характеристик лесов, в том числе типов растительного покрова, преобладающих древесных пород, полноты, возраста и бонитета леса (пример отображения таких данных приведён на рисунке В.2);
- Тематические карты запаса древесины, в том числе общего запаса и запаса сырораствующей древесины (пример отображения таких данных приведён на рисунке В.5);
- Тематические карты запаса углерода, в том числе общего запаса, запаса в мортмассе и запаса в фитомассе (пример отображения таких данных приведён на рисунках В.6 – В.8);
- Данные о природных пожарах:
 - Данные о детектированных природных пожарах;
 - Данные о пройденных огнём площадях;
 - Данные о повреждениях леса огнём;
 - Данные о радиационной мощности пожаров;
- Общие картографические слои:
 - Границы стран и субъектов РФ;
 - Границы округов и адм. районов РФ;
 - Города;
 - Транспортная сеть;
 - Реки и водоёмы;
 - Рельеф по данным ASTERv2 и SRTM;
- Инструменты анализа:
 - Корзина для отбора и сопоставления данных;
 - Инструменты цветосинтеза и цветокоррекции;
 - Инструменты расчёта индексов;
 - Инструменты классификации и сегментации;
- Инструменты управления интерфейсом:
 - Быстрая навигация по регионам, населённым пунктам или диапазону координат;
 - Управление проекцией (пример динамического перепроецирования приведён на рисунке В.9);
 - Управление отображением слоёв на карте.

- Инструменты анализа динамики показателей лесов, интегрированных на субъект;
- Инструменты анализа динамики показателей лесов по выбранному пикселю (примеры работы инструментов приведены на рисунках В.10 – В.13).

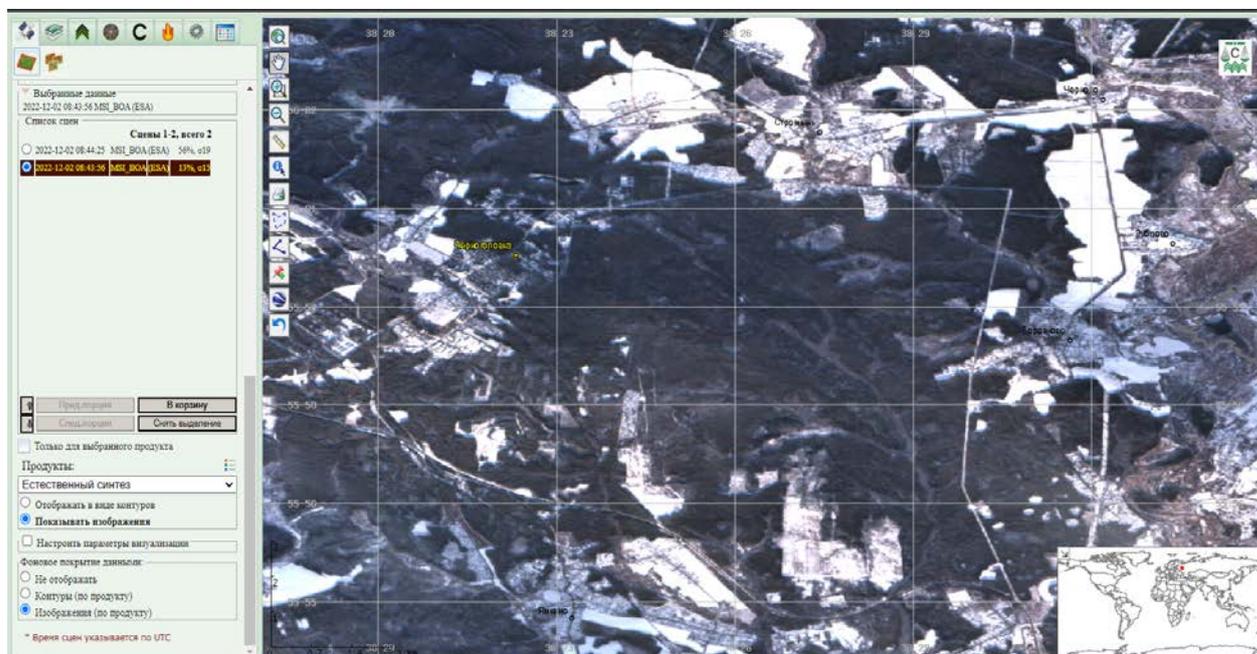


Рисунок В.3 - Данные прибора MSI разрешением 10 м. в картографическом интерфейсе ИАС «Углерод-Э»

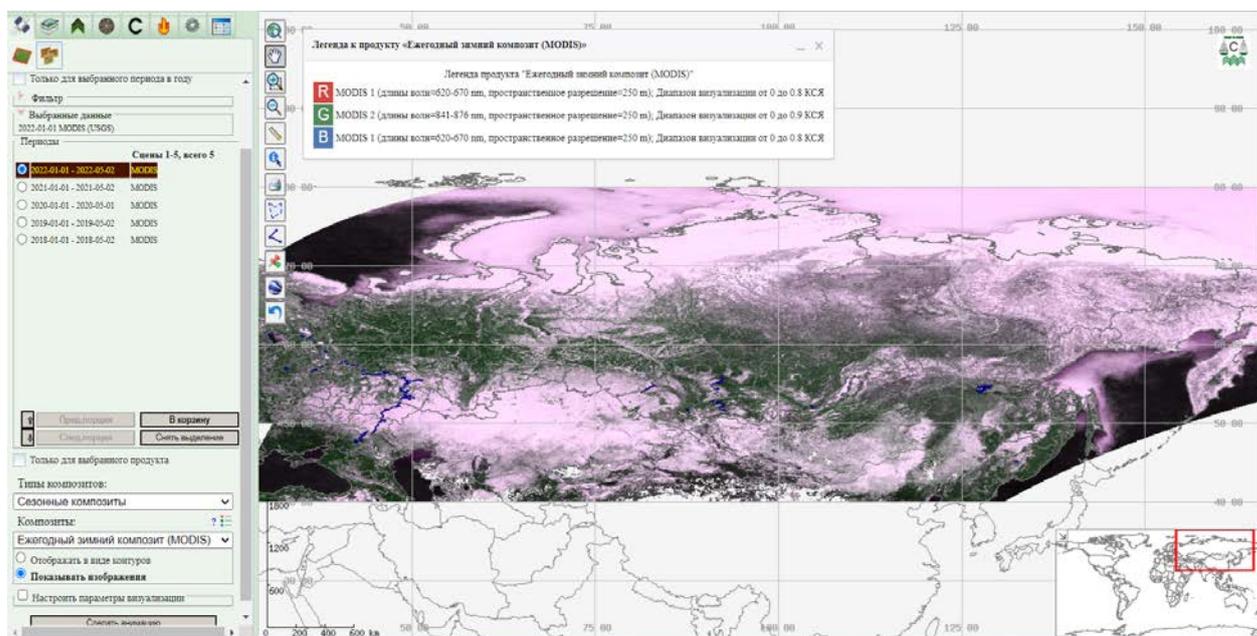


Рисунок В.4 - Зимний композит по данным MODIS разрешением 250 м. на всю территорию РФ

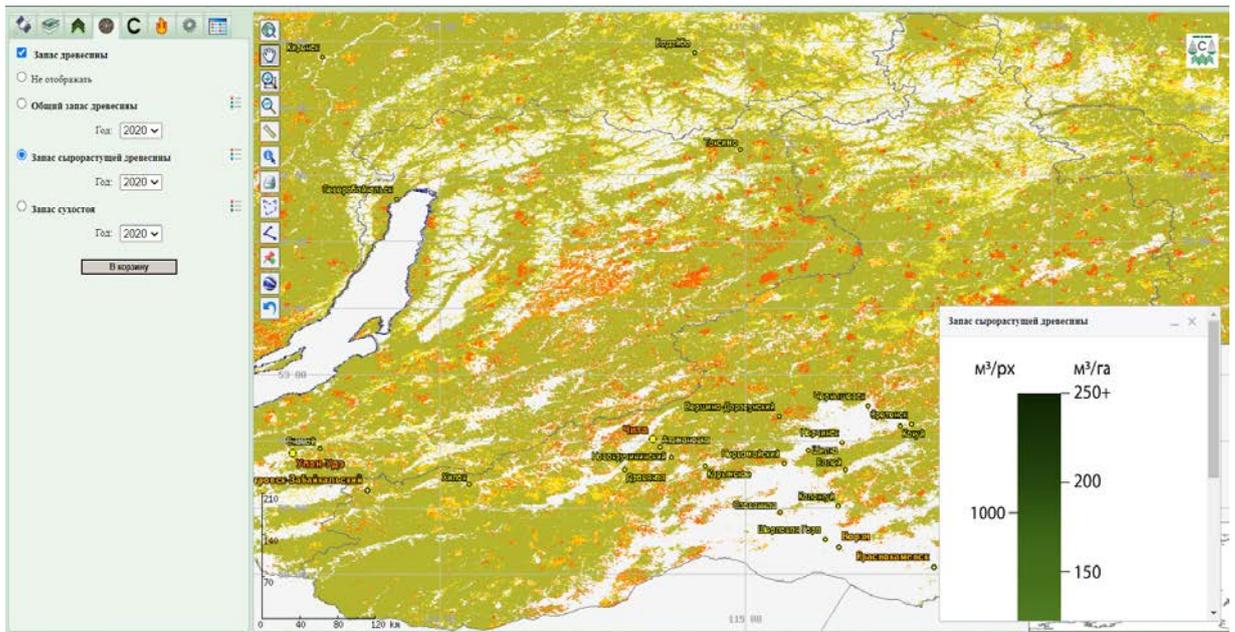


Рисунок В.5 - Карта запаса сыrorастущей древесины за 2020 г. на Забайкальский край



Рисунок В.6 - Карта общего запаса углерода за 2020 г. на Забайкальский край

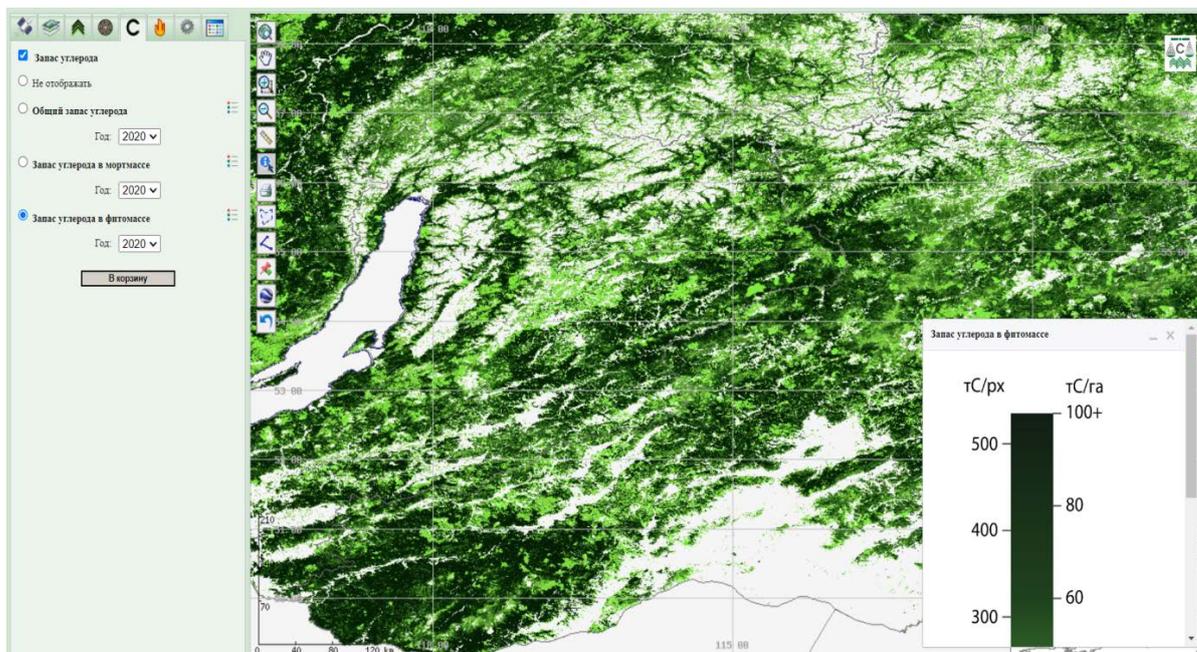


Рисунок В.7 - Карта запаса углерода в фитомассе за 2020 г. на Забайкальский край

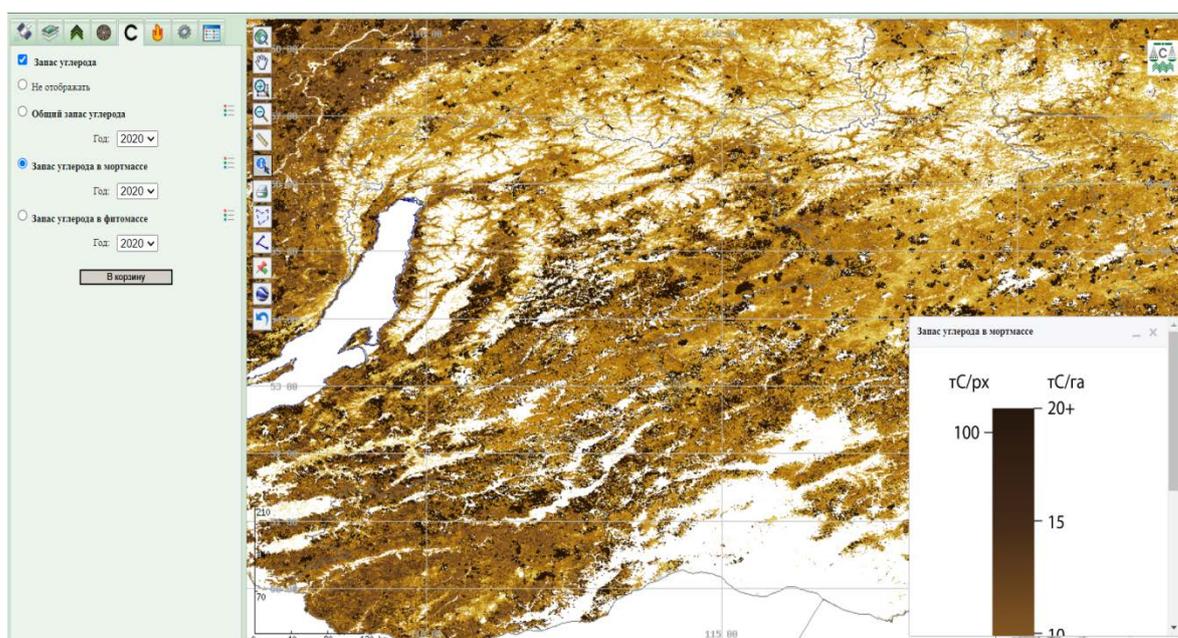


Рисунок В.8 - Карта запаса углерода в мортмассе за 2020 г. на Забайкальский край

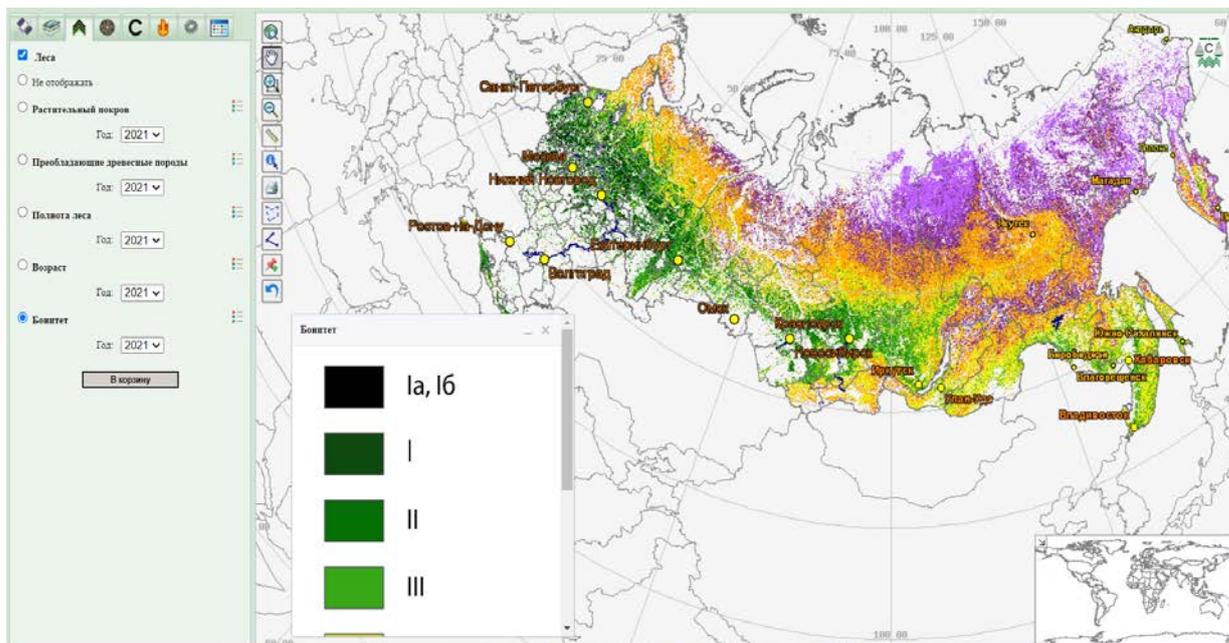


Рисунок В.9 - Карта бонитета лесов России за 2021 г. в конической эквидистантной проекции Альберса

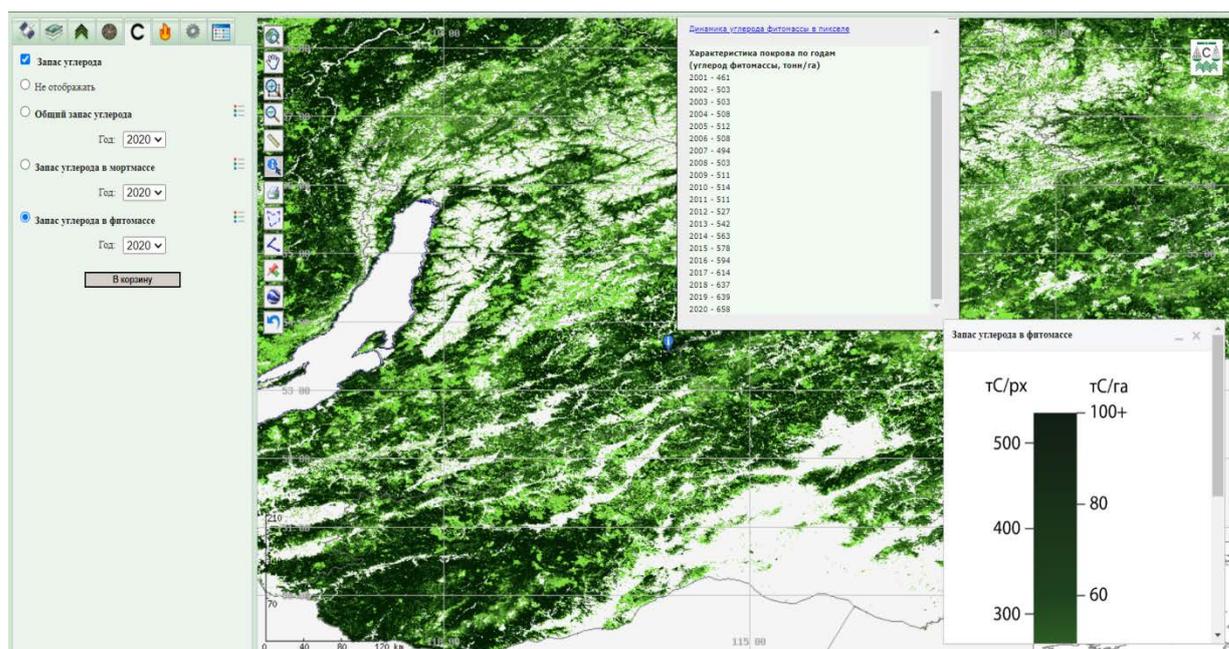


Рисунок В.10 - Динамика запаса углерода в фитомассе в здоровом лесу для выбранного пикселя в картографическом интерфейсе

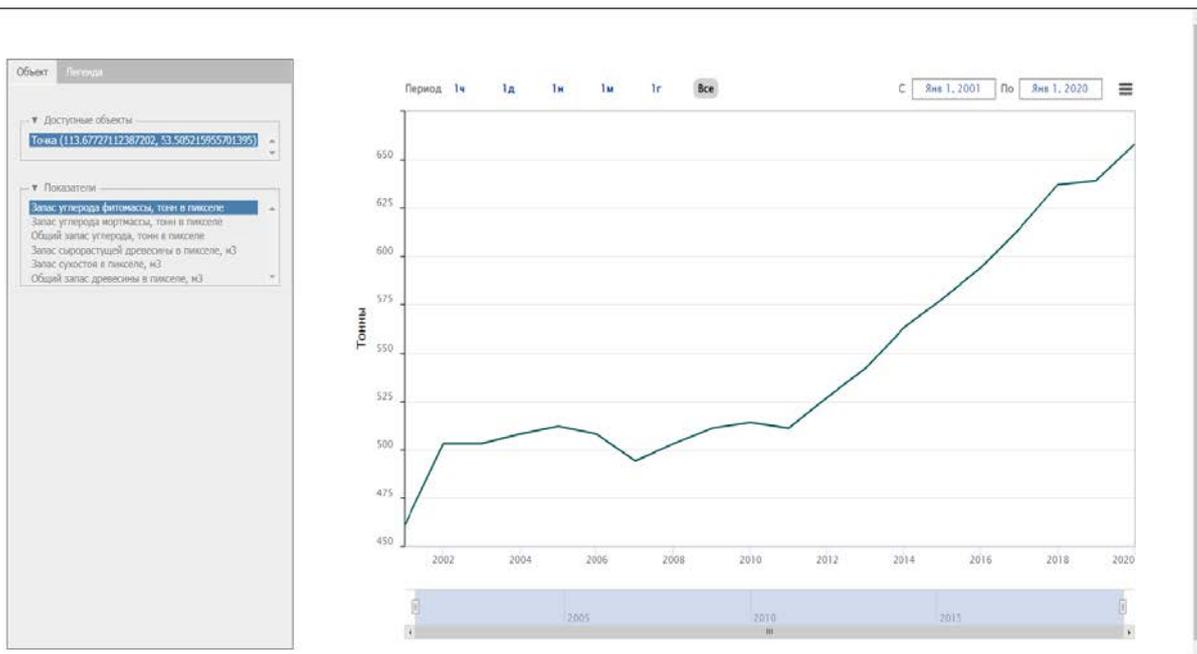


Рисунок В.11 - График динамики запаса углерода в фитомассе для выбранного пикселя с рис. В.10.

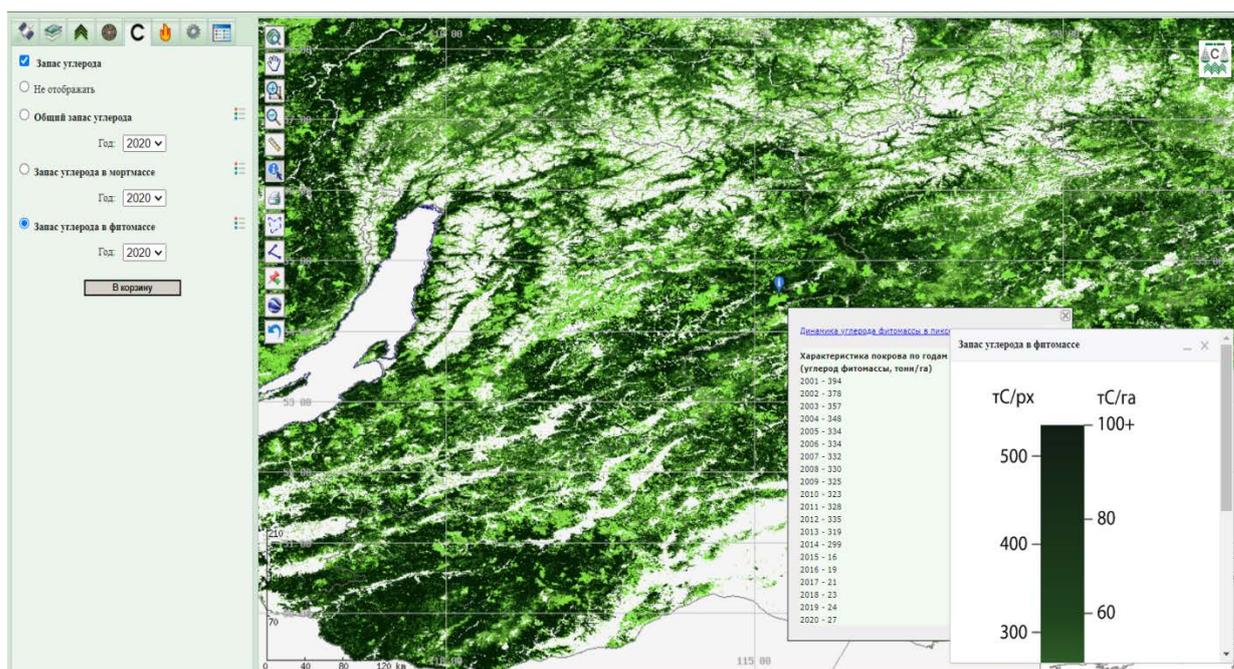


Рисунок В.12 - Динамика запаса углерода в фитомассе на гари 2015 года для выбранного пикселя в картографическом интерфейсе



Рисунок В.13 - График динамики запаса углерода в фитомассе для выбранного пикселя с рис. В.12. Хорошо видно падение запаса в 2015 году после пожара.

2.3 Блок VI-форм

Для анализа информационных продуктов высокого уровня обработки на базе VI-технологий были реализованы специальные инструменты, обеспечивающие пространственный и временной анализ данных. Инструменты позволяют проводить оценку динамики характеристик лесного покрова на различных уровнях интеграции от отдельных участков до субъектов Российской Федерации, в том числе для оценки повреждений лесов пожарами и определения площади погибших лесов, что необходимо для подготовки национального кадастра парниковых газов. Пространственный и временной анализ информации возможен в табличной, графической и картографической формах. Инструмент позволяет гибко управлять атрибутивными разрезами данных и их фильтрацией. Интерактивные формы позволяют сохранить полученный результат, экспортировав его в один из форматов (word, excel, html, pdf для табличных данных, либо png для карт и графиков). Пример интерфейса VI-аналитики для анализа запасов углерода, агрегированных по регулярной сетке на всю территорию России, приведён на рисунке В.14.

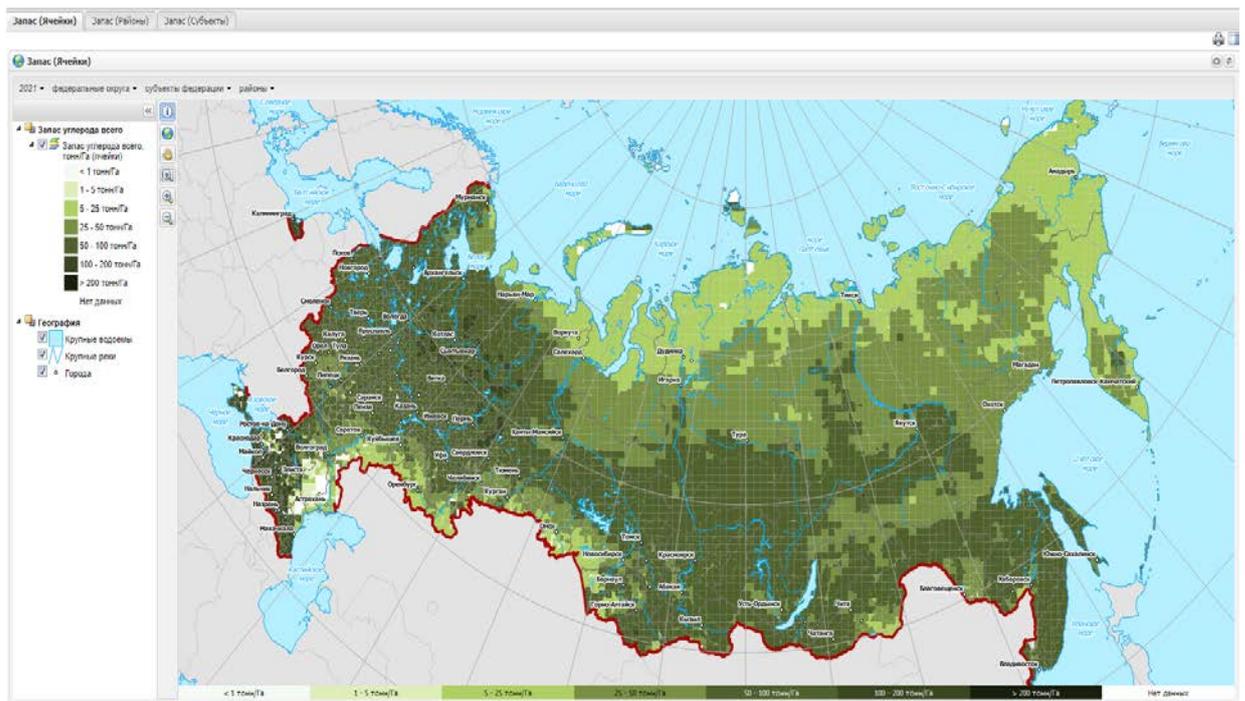


Рисунок В.14 -Интерфейс картографической VI-аналитики

Кроме того, при решении конкретных задач показал востребованность и эффективность инструмент анализа данных, представляющих протяженные серии из большого количества отдельных наблюдений в виде графиков. Применение таких инструментов позволяет оценивать временной ход различных индикаторов, построенных по многолетним данным о лесах и по спутниковым данным архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг», в том числе о повреждениях и площадях погибших лесов. Примеры интерфейса анализа графиков временной динамики повреждений лесов на примере Дальневосточного Федерального округа и соответствующая ему табличная форма приведены на рисунках В.15 и В.16.



Рисунок В.15 - Интерфейс анализа графиков временной динамики повреждений лесов.

класс растительности	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Итого	
Итого	7,82	3 148 560,39	6 924 768,70	2 388 905,81	3 178 570,56	3 396 666,68	3 401 237,24	2 182 807,41	5 219 050,52	3 583 075,70	5 809 705,47	53 967 289,24
Слабоповрежденные и ослабленные	4,93	1 098 976,34	2 227 857,05	469 582,72	770 419,73	1 860 667,57	2 229 221,87	692 000,77	2 253 741,02	952 967,05	2 277 530,15	23 375 340,91
Сильно ослабленные	0,75	225 422,77	284 628,45	69 579,37	130 075,81	101 605,03	49 984,05	71 330,36	89 284,62	158 086,36	117 231,69	1 742 949,20
Ущажённые	15,41	720 185,69	1 547 044,63	965 220,63	793 179,62	471 381,32	394 497,27	412 958,66	690 416,08	802 397,78	798 661,87	8 652 863,39
Погибшие	27,73	1 103 975,39	2 865 238,57	1 284 523,09	1 524 895,40	963 012,76	827 594,05	1 006 517,72	2 225 608,80	1 669 624,51	2 656 341,76	20 195 435,74

Рисунок В.16 - Табличная форма анализа временной динамики повреждений лесов.

В составе блока VI-форм доступны следующие типы данных для анализа:

- Карты/таблицы/графики типов растительности за 2001-2021 гг.;
- Карты/таблицы/графики преобладающих пород за 2001-2021 гг.;
- Карты/таблицы/графики запаса древесины за 2001-2021 гг.;
- Карты/таблицы/графики запаса углерода по породам и классам за 2001-2021 гг.;
- Карты/таблицы/графики повреждений лесов пожарами за 2006-2021 гг.;

2.4 Блок форм отчётности

Для численной оценки накопленных данных о лесах, их состоянии и динамике, предназначена система отчетности. Блок форм отчётности позволяет формировать отчеты по имеющимся в архивах ИАС данным в табличном виде, просматривать их в веб-интерфейсе, а также экспортировать в форматы .xls и .pdf. Пользователям доступны следующие формы отчётности по лесным пожарам:

- Сводные отчеты о лесных пожарах по субъектам РФ, в том числе по заповедникам и особо охраняемым природным территориям (ООПТ);
- Реестры лесных пожаров по субъектам РФ, в том числе по заповедникам и ООПТ;
- Ведомости наблюдения активного горения за заданные сутки по субъектам РФ, в том числе по заповедникам и ООПТ;
- Сравнительные отчеты о лесных пожарах за разные годы по субъектам РФ, в том числе по заповедникам и ООПТ.

Пример сводного отчёта о пожарах на территорию Курской области приведён на рисунке В.17.

Реестр лесных пожаров за период с 1.01.2022 по 26.11.2022 на всех видах территорий Курская область

Выбор периода: с [] по [] OK

Пройденная огнем площадь: [любая] Длительность наблюдения: [любая] Состоявшиеся пожары: [исключены] Включая несостоявшиеся пожары

№ п/п	Пожар пожара	Точка регистрации			Лесничество	Дата первого наблюдения (по ленточному времени)	Площадь регистра-ции, га	Дата последнего наблюдения (по ленточному времени)	Состояние на 26.11.2022	Площадь, пройденная огнем в субъекте РФ, га		Прирост площади, пройденной огнем в субъекте РФ, за выбранный период, га	
		Координаты	Адрес и удаление от ближайшего населенного пункта, и его название	Удаление от ближайшего населенного пункта, и его название						всего	в т.ч. выгоревшая лесом	всего	в т.ч. выгоревшая лесом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	4883	52° 06' 07" с.ш. 39° 07' 05" в.д.	п.п. ДЗОТРИВ, ЛЬГОВСКИЙ, расстояние 3,8 км		20.03.2022	21	20.03.2022	ликвидирован 25.03.2022	21	7	21	7	
2	6687	51° 43' 44" с.ш. 39° 09' 02" в.д.	п.п. Банново, расстояние 3,3 км		23.03.2022	97	23.03.2022	ликвидирован 28.03.2022	84	1	84	1	
3	2829	51° 42' 13" с.ш. 39° 08' 13" в.д.	п.п. Куликово, расстояние 292', удаление 3,4 км		25.03.2022	22	25.03.2022	ликвидирован 30.03.2022	89	4	89	4	
4	18449	51° 46' 55" с.ш. 34° 37' 28" в.д.	п.п. Мухомо, расстояние 92', удаление 3,8 км		29.03.2022	26	29.03.2022	ликвидирован 3.04.2022	57	1	57	1	
5	12468	51° 31' 08" с.ш. 34° 41' 02" в.д.	п.п. п.п. Курбашово, расстояние 303', удаление 3,3 км		29.03.2022	26	29.03.2022	ликвидирован 3.04.2022	26	2	26	2	
6	18463	51° 18' 55" с.ш. 34° 21' 47" в.д.	п.п. Попово-Лесная, расстояние 127', удаление 1,9 км		29.03.2022	81	29.03.2022	ликвидирован 3.04.2022	213	3	213	3	
7	18581	51° 06' 11" с.ш. 39° 34' 39" в.д.	п.п. Герань, расстояние 29', удаление 1 км		29.03.2022	41	29.03.2022	ликвидирован 3.04.2022	41	1	41	1	
8	13148	51° 40' 48" с.ш. 39° 48' 32" в.д.	п.п. Болотово-Должаново, расстояние 224', удаление 4,7 км		8.04.2022	94	8.04.2022	ликвидирован 13.04.2022	84	6	84	6	
9	13181	51° 41' 56" с.ш. 39° 08' 10" в.д.	п.п. Фетина, расстояние 335', удаление 2 км		8.04.2022	29	8.04.2022	ликвидирован 13.04.2022	29	14	29	14	
10	18528	52° 17' 06" с.ш. 39° 22' 26" в.д.	п.п. Вереженно, расстояние 221', удаление 0,8 км		15.04.2022	35	15.04.2022	ликвидирован 20.04.2022	35	17	35	17	
11	16884	52° 29' 56" с.ш. 39° 33' 00" в.д.	п.п. Волково, расстояние 18', удаление 4,3 км		15.04.2022	36	15.04.2022	ликвидирован 20.04.2022	36	4	36	4	
12	23495	52° 15' 29" с.ш. 39° 21' 29" в.д.	п.п. Михайлова, расстояние 190', удаление 3,6 км		22.04.2022	93	22.04.2022	ликвидирован 27.04.2022	93	25	93	25	
13	27644	51° 52' 34" с.ш. 34° 48' 07" в.д.	п.п. Скворцово, расстояние 288', удаление 5,3 км		30.04.2022	52	30.04.2022	ликвидирован 5.05.2022	52	1	52	1	
14	28433	51° 48' 36" с.ш. 36° 09' 40" в.д.	п.п. КУРСК, расстояние 248', удаление 7,9 км		5.05.2022	20	5.05.2022	ликвидирован 10.05.2022	20	1	20	1	
15	23498	52° 17' 53" с.ш. 39° 23' 02" в.д.	п.п. Вереженно, расстояние 11', удаление 0,8 км		8.05.2022	43	8.05.2022	ликвидирован 13.05.2022	43	3	43	3	
16	39273	51° 37' 08" с.ш.	п.п. Иваньково, ...		4.07.2022	35	4.07.2022	ликвидирован 9.07.2022	35	3	35	3	

Рисунок В.17 - Сводный реестр лесных пожаров за сезон для заданного региона

2.5 Блок статической информации об ИАС «Углерод-Э»

Блок статической информации на данном этапе реализован в составе стартовой страницы сайта проекта. По мере развития проекта в него будут добавлены открытые справочники, информация об организациях, участвующих в проекте, сети наземных полигонов, руководства пользователя системы и другая информация.

2.6 Интерфейсы контроля состояния компонент ИАС «Углерод-Э»

Интерфейсы контроля состояния компонент ИАС «Углерод-Э» реализованы на базе системы документирования и контроля проектов (СДКП), разработанной в ИКИ РАН. Эта система предназначена для ведения и предоставления специалистам различной информации об используемых в рамках различных проектов аппаратных и программных компонентах, включая ссылки на инструменты, предназначенные для решения различных задач контроля. Для анализа функционирования отдельных компонент комплекса был разработан ряд специализированных инструментов, позволяющих в интерактивном и автоматизированном режиме отслеживать различные показатели работы таких подсистем. Использование таких инструментов позволяет выявить причины обнаруженных неполадок, выявить скрытые ошибки и найти пути для оптимизации работы систем и компонент. Наиболее востребованные на текущий момент инструменты перечислены ниже:

- Инструмент анализа состояния и степени наполнения дисковых хранилищ;
- Инструмент анализа задержек при обработке данных;
- Реализованные на основе программного обеспечения Zabbix (<https://www.zabbix.com>) интерфейсы для мониторинга аппаратной нагрузки на сервера программно-аппаратных комплексов (ПАК);
- Набор интерактивных отчетных форм, реализованных на базе технологий BI (Business Intelligence) для анализа информации о выполнении заданий по обработке спутниковых данных на кластере windows-серверов;
- Инструменты получения статистики о составе и наполнении архивов спутниковых данных с возможностью фильтрации по целому ряду различных критериев, таких как диапазон дат, географическая область, станции приема и т.п.;
- Инструменты получения статистики по данным, поступившим в архивы за указанный диапазон времени;

- Инструменты получения статистики по аппаратным сбоям компонент ПАК;
- Инструменты для визуального анализа пространственного покрытия различными типами спутниковой информации.

На рисунке В.18 приведен пример интерфейса, построенного по технологии ВІ и предназначенного для сравнительного анализа времени, затраченного на выполнение наиболее ресурсоемких заданий по обработке спутниковых данных.

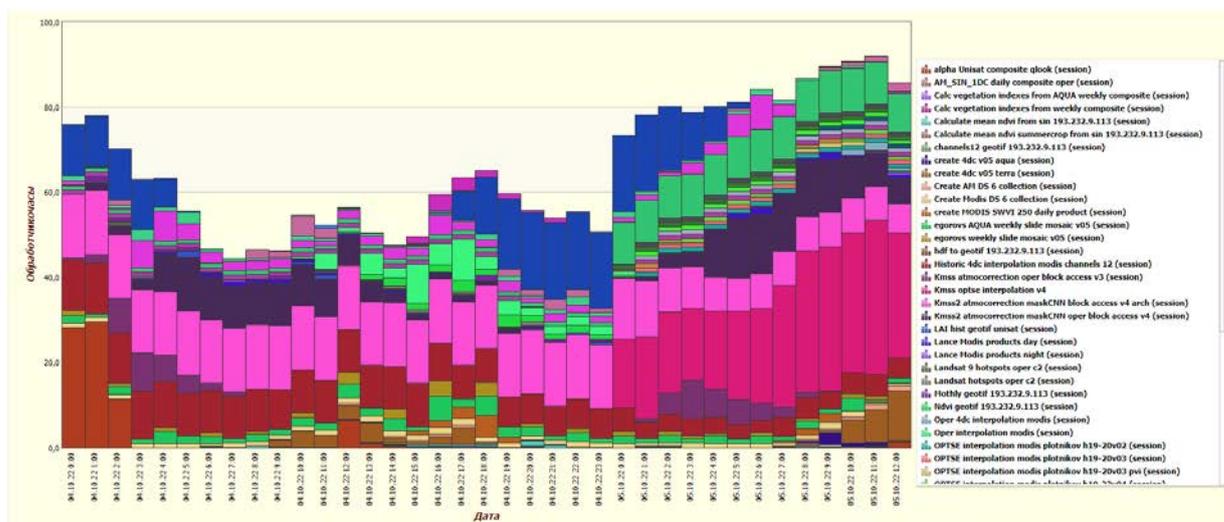


Рисунок В.18 - Пример использования ВІ-интерфейса для сравнительного анализа времени, затраченного на выполнение различных задач по обработке спутниковых данных

2.7 Внутренние справочники по компонентам и подсистемам ИАС «Углерод-Э»

Для поддержки и обеспечения работы интерфейсов контроля состояния компонент ИАС «Углерод-Э», а также для обеспечения возможности оповещения специалистов о сбойных или потенциально сбойных ситуациях, в составе действующего прототипа ЦИУ ведётся комплект внутренних справочников, описывающих структуру компонент проекта, их взаимодействие, а также ответственных за его функционирование. На текущий момент реализованы следующие справочники:

- Общая информация о проекте – содержит краткое описание проекта, его полное и краткое названия, внутренний идентификатор, головного ответственного, а также список перечень организаций-участников;

- Организации-участники – содержит полное и краткое названия организаций, внутренний идентификатор, контактную информацию;
- Аппаратные компоненты – содержит список компьютеров, серверов, дисковых хранилищ и других аппаратных компонент системы, доступных для удалённого контроля. Для каждой компоненты задаётся имя, сетевые адреса, назначение, местонахождение, информация о контролируемом ПО и параметрах, ответственный специалист;
- Базы данных – содержит список баз данных (БД), используемых в системе. Для каждой БД приводится имя, расположение, параметры доступа к БД на чтение для контроля её состояния и краткое описание;
- Пользовательские и служебные веб-интерфейсы – содержит список веб-интерфейсов, работающих в системе. Для каждого интерфейса приводится его название, активная ссылка, краткое описание и классификация;
- Ответственные специалисты – содержит перечень специалистов, участвующих в поддержке и развитии системы, которым может быть адресовано сообщение о сбойной ситуации. Для каждого специалиста приводится его логин в системе, ФИО, организация, сфера ответственности и контактная информация;
- Типы и классы работ по поддержке и развитию системы – содержит перечень основных направлений работ и процедур, которые выполняются в ходе поддержки и развития системы. Содержит двухуровневую иерархию работ, в рамках которой выделено девять основных направлений, каждое из которых содержит несколько типов работ. Для каждого направления задаётся головной ответственный, для каждого типа работ в направлении задаётся выделенный ответственный специалист, которому будут приходить оповещения о сбойных и потенциально сбойных ситуациях.

2.8 Средства координации участников и ведения проекта

Для обеспечения координации действий организаций, участвующих в проекте, была реализована система ведения проектов, планирования и сопровождения задач, поддержки обсуждений, в том числе в режиме онлайн. Система была реализована на базе разработок ИКИ РАН и обеспечивает следующий функционал:

- Интеграция с системой документирования и контроля на уровне справочников проектов и специалистов;

- Планирование отдельных задач конкретным специалистам с постановкой сроков, приоритетов, тематики и т.п. (пример интерфейса планирования задач представлен на рис. В.19);
- Онлайн-обсуждение вопросов, связанных с решением конкретных задач;
- Ведение графиков совещаний, в том числе в режиме онлайн, с последующей фиксацией результатов и ведением истории совещаний (пример интерфейса планирования совещаний представлен на рис. В.20);
- Поддержка календарной формы представления информации о совещаниях (пример интерфейса ведения календаря представлен на рис. В.21);
- Ведение календаря занятости и отсутствия специалистов;
- Формирование ежедневных отчётов о выполненных задачах;
- Оповещение специалистов о новых или изменённых задачах, вопросах и совещаниях;

ID	Проект	Название	Приоритет	Статус	Ответственный	Срок
665	56 отдел	Дать темы на конференцию	Низкий	Выполнена		
663	56 отдел	Письма по грантам РНФ на ЦКП	Низкий	Выполнена		2022-10-18
662	56 отдел	Бумага: [redacted]	Низкий	Выполнена		
658	56 отдел	Формулировки про ЧМ	Высокий	Выполнена		2022-11-01
656	56 отдел	Посмотреть процедуру регистрации ГИС	Низкий	Выполнена		
655	56 отдел	Сортировка закачки FY-3 по комплектам	Низкий	Новая		
653	56 отдел	План-проспект для книги	Низкий	Новая		
651	56 отдел	Отзыв на ЭП Канопус-В'-О	Низкий	Выполнена		
650	56 отдел	Оплата конгресса в Минске	Низкий	Выполнена		
649	56 отдел	Табличка для Планеты	Низкий	Выполнена		2022-09-19
648	56 отдел	Проблемы с самбой на 9.15	Низкий	Выполнена		
646	56 отдел	Запустить закачку [redacted]	Низкий	Выполнена		2022-09-22
643	56 отдел	Запустить расчет СКС	Низкий	Выполнена		
641	56 отдел	Календарный план для РЖД	Низкий	Выполнена		2022-09-12
640	56 отдел	Сделать многопоточность для FY3	Низкий	Выполнена		
637	56 отдел	Очередь Канопуса в Новосибире с разбором RSM по датам	Низкий	Выполнена		
634	56 отдел	Доделать сортировку Канопуса по нормальному убыванию	Низкий	Выполнена		

Рисунок В.19 - Интерфейс планирования задач специалистам.

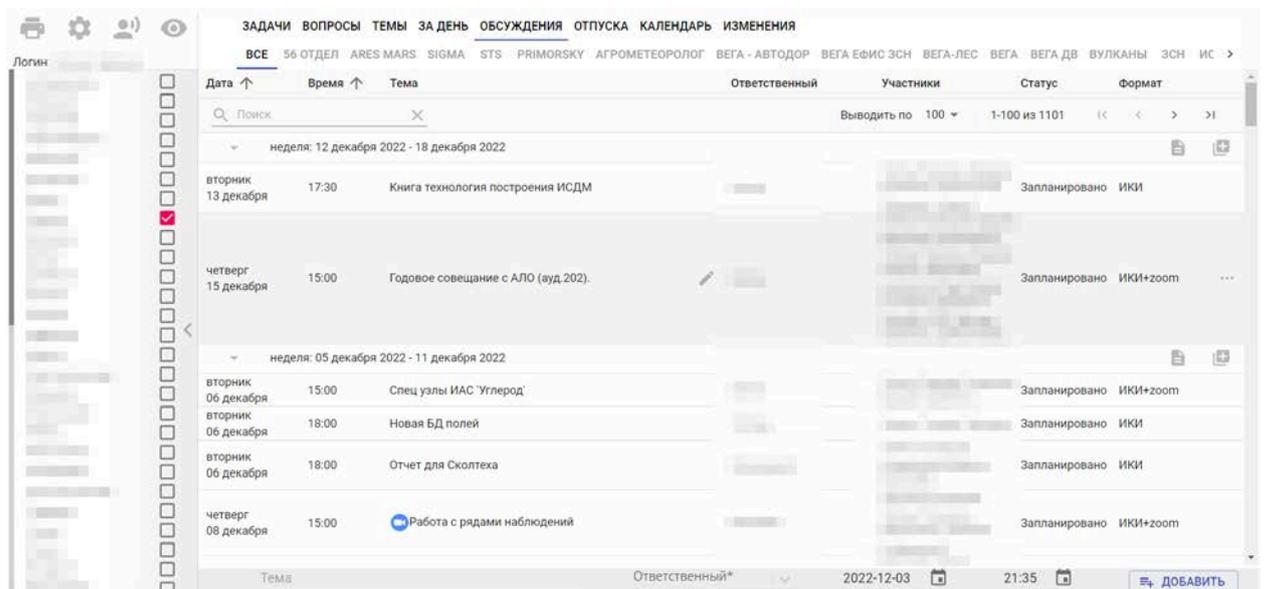


Рисунок В.20 - Интерфейс планирования совещаний.

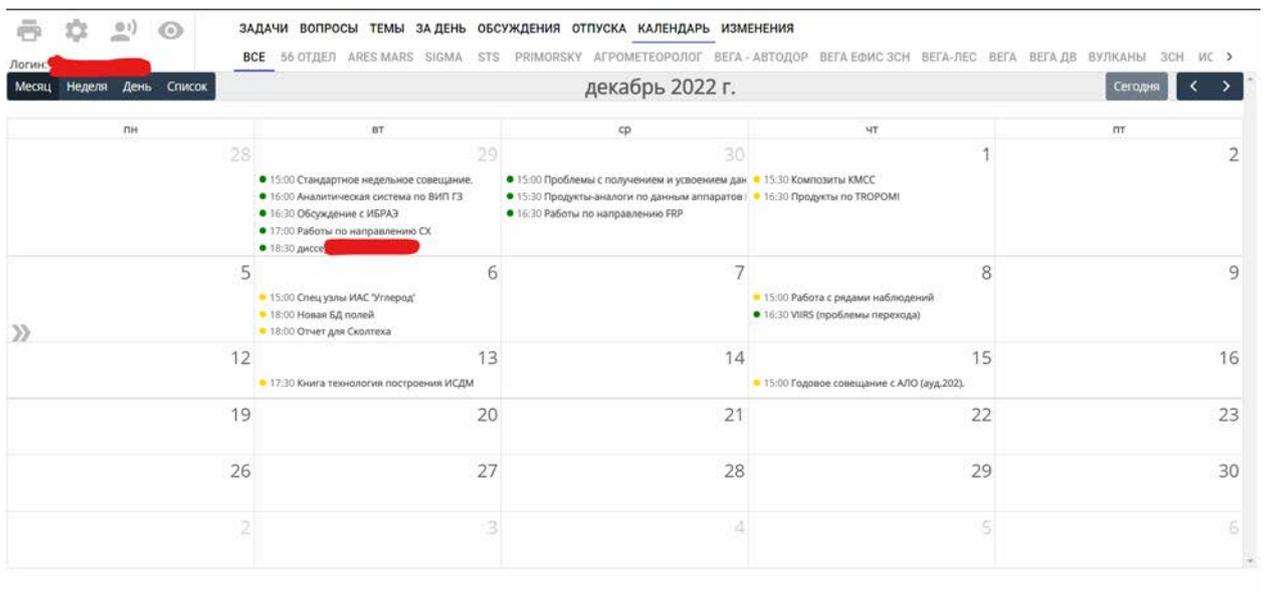


Рисунок В.21 - Календарь совещаний.

3. Заключение

В настоящем Приложении приведена структура информационного сервера действующего прототипа ЦИУ ИАС «Углерод-Э», сформированная в соответствии с разработанной архитектурой, техническими и функциональными требованиями к ЦИУ.

Приложение Г. Закупаемые программно-аппаратные комплексы для реализации ИАС «Углерод-Э»

1. Введение

Закупаемые программные и программно-аппаратные комплексы (ПАК) для реализации ИАС «Углерод-Э» включают в себя:

- Программно-аппаратный комплекс для создания и использования гиперконвергентной ИТ-инфраструктуры;
- Многофункциональный вычислительный программно-аппаратный комплекс с защитой внутреннего периметра;
- Комплект лицензий программного обеспечения для многомерного анализа данных дистанционного зондирования Земли;
- Программно-аппаратный комплекс для диспетчерского зала.

Ниже приведены составы и технические характеристики закупаемых программных и программно-аппаратных комплексов.

2. ПАК для создания и использования гиперконвергентной ИТ-инфраструктуры

Состав ПАК для создания и использования гиперконвергентной ИТ-инфраструктуры приведен в Таблице Г.1.

Таблица Г.1 – Состав ПАК для создания и использования гиперконвергентной ИТ-инфраструктуры

№	Наименование	ОКПД 2	Ед. изм.	Количество
1	ПАК для создания и использования гиперконвергентной ИТ-инфраструктуры в составе:	26.20.30.000	шт.	1
1.1	Отказоустойчивая система хранения данных ДЗЗ			
1.1.1	Контроллер СХД с двумя нодами (active-active)		шт.	1
1.1.2	Дисковая корзина расширения		шт.	4
1.2	Отказоустойчивый гиперконвергентный кластер			
1.2.1	Сервер виртуализации		шт.	5
1.2.2	ПО виртуализации/кластеризации		шт.	5
1.3	Подсистема коммутации			
1.3.1	Коммутатор		шт.	2
1.4	Подсистема бесперебойного электропитания			
1.4.1	ИБП модульный		шт.	1
1.4.2	Блок байпаса		шт.	1
1.4.3	Батарейные блоки расширения		шт.	6
1.5	Пользовательские автоматизированные рабочие места			
1.5.1	Системный блок		шт.	10
1.5.2	Монитор		шт.	20

Технические требования к ПАК для создания и использования гиперконвергентной ИТ-инфраструктуры приведены в Таблице Г.2.

Таблица Г.2 – Технические требования к ПАК для создания и использования гиперконвергентной ИТ-инфраструктуры

№	Наименование	Технические требования
1	ПАК для создания и использования гиперконвергентной ИТ-инфраструктуры в составе:	<p>Общие требования:</p> <p>ПАК должен являться предконфигурированным отказоустойчивым комплексом, включающим отказоустойчивую систему хранения данных большого объема, вычислительные узлы архитектуры x86, оснащённым требуемым программным обеспечением, и коммутационное оборудование. Так же в ПАК включены АРМ пользователей, имеющие специализированную конфигурацию, оптимизированную для исследовательских задач в области ДЗЗ.</p> <p>ПАК должен поставляться как предустановленное решение, готовое к эксплуатации после выполнения монтажных работ и настройки в соответствии с требованиями Заказчика.</p> <p>ПАК должен включать все компоненты, необходимые для выполнения монтажных работ и подключения к инфраструктуре Заказчика, в том числе набор оптических и медных соединительных линий и трансиверов, необходимых для коммутации всего комплекса технических средств входящих в состав ПАК и подключаемых к нему, а так же электрических</p>

№	Наименование	Технические требования
	кабелей с разъемами необходимыми для подключения оборудования к электрической сети в месте проведения работ.	
1.1		Отказоустойчивая система хранения данных ДЗЗ
1.1.1	Контроллер СХД с двумя нодами (active-active)	<p>Количество контроллеров дискового массива: не менее 2 Тип подключаемых накопителей: Твердотельный; Шпиндельный; Кэш память (Гигабайт): не менее 512 Количество слотов для установки накопителей в контроллере (шт.): не менее 24 Количество накопителей типа 1, установленных в контроллер (шт.): не менее 24 Вид накопителей типа 1, установленных в контроллере: Шпиндельный Количество накопителей типа 2, установленных в контроллере: не менее 4 Вид накопителей типа 2, установленных в контроллере: Твердотельный Количество слотов для установки накопителей в модуле расширения: не менее 78 Количество накопителей типа 1, установленных в контроллер: не менее 78 Вид накопителей типа 1, установленных в модуле расширения: Шпиндельный Количество соединительных кабелей для подключения контроллеров модуля расширения к дисковому массиву: не менее 4 Количество блоков электропитания установленных в каждом модуле расширения: не менее 2 Максимальное количество модулей расширения на один контроллер: не менее 8 Высота модуля расширения, RU: не более 4 Высота контроллера, RU: не более 2 Тип установки: Стоечный Минимальное количество контроллеров: не менее 2 Поддержка дисков с интерфейсом SAS 12Gb: да Интерфейс синхронизации контроллерных пар: Ethernet Интерфейс кластеризации контроллерных пар: Отсутствует Обеспечение хранения данных в конфигурациях, устойчивых к одновременному выходу из строя: Двух накопителей Поддержка файловых протоколов доступа без использования внешних аппаратных или программных средств: да Поддержка протокола доступа к данным iSCSI: да Поддержка протокола доступа к данным SMB/CIFS: да Поддержка протокола доступа к данным NFS: да Поддержка протокола доступа к данным S3: нет Максимальное количество хост-портов тип Infiniband на 1 контроллер: не менее 12 Максимальное количество хост-портов тип Ethernet 10Gb SFP+ на 1 контроллер: не менее 24 Максимальное количество хост-портов тип Ethernet 25Gb на 1 контроллер: не менее 24 Максимальное количество хост-портов тип Ethernet 50Gb на 1 контроллер: не менее 12 Максимальное количество хост-портов тип Ethernet 100Gb на 1 контроллер: не менее 12 Максимальное количество хост-портов тип SAS 12Gb SFF-8644 на 1 контроллер: не менее 24 Поддержка функции синхронной репликации: да Поддержка функции асинхронной репликации: да Поддержка функции компрессии данных: нет Поддержка функции дедупликации: нет Поддержка функции моментальных снимков с перенаправлением при записи (ROW), с копированием при записи (COW): нет Поддержка функции клонирования: нет Поддержка кэширования операций ввода-вывода с использованием SSD: да Поддержка технологии автоматического переноса данных между типами дисков для томов содержащих несколько типов дисков: нет</p>

№	Наименование	Технические требования
		<p>Миграция данных между томами (или их аналогами) принадлежащими контроллеру или контроллерной паре без прерывания доступа: нет</p> <p>Миграция данных между томами (или их аналогами) принадлежащими разным контроллерам без прерывания доступа: нет</p> <p>Миграция данных между томами (или их аналогами) принадлежащими разным дисковым массивам одного или разных семейств без прерывания доступа: нет</p> <p>Наличие функционала метрокластер в режиме ACTIVE/ACTIVE без применения внешних шлюзов: нет</p> <p>Наличие функционала метрокластер в режиме ACTIVE/ACTIVE без применения внешних шлюзов: нет</p> <p>Поддержка функций Vmware VAAI: да</p> <p>Поддержка функций Vmware VASA: нет</p> <p>Поддержка функций Vmware Storage vMotion: нет</p> <p>Поддержка функций Vmware SRM: нет</p> <p>Поддержка Vmware VVOLs: нет</p> <p>Поддержка консистентности моментальных снимков для MS SQL: нет</p> <p>Поддержка консистентности моментальных снимков для MS Exchange: нет</p> <p>Поддержка групп консистентности томов (или их аналогов): нет</p> <p>Поддержка виртуализации СХД третьих производителей: нет</p> <p>Поддержка упреждающей реконструкции (оптимизация скорости чтения во время восстановления данных на дисках): да</p> <p>Количество сетевых хост-портов на 1 контроллер (тип 1) (Штука): не менее 4</p> <p>Поддерживаемые протоколы сетевого порта (тип 1): Ethernet</p> <p>Скорость сетевого порта Ethernet (тип 1) (Гигабит в секунду): не менее 40</p> <p>Тип среды передачи для сетевого порта (тип 1): Оптический трансивер</p> <p>Поддержка функциональности RDMA (тип 1): требуется</p>
1.1.2	Дисковая корзина расширения	<p>Количество модулей расширения в комплекте поставки, (шт.): не менее 4</p> <p>Количество накопителей, установленных в модуле расширения (тип 1) с поддержкой горячей замены (шт.): не менее 78</p> <p>Количество LFF (3,5) слотов для накопителей в модуле расширения (шт.): 78</p> <p>Интерфейс накопителей, установленных в модуле расширения (тип 1): NL SAS</p> <p>Тип накопителей, установленных в модуле расширения (тип 1): Шпиндельный</p> <p>Скорость вращения дисков в накопителе HDD (тип 1) (Оборот в минуту): не менее 7200</p> <p>Объем каждого накопителей, установленного в модуле расширения (тип 1) (Гигабайт): не менее 18000</p> <p>Тип наполнителя в дисковом пакете: гелий</p>
1.2	Отказоустойчивый гиперконвергентный кластер	
1.2.1	Сервер виртуализации	<p>Количество занимаемых юнитов в стойке: U2</p> <p>Кол-во процессоров, шт: не менее 2</p> <p>Объем ОЗУ (макс): 1536 Гб</p> <p>Тип: стоечный</p> <p>Архитектура: x86-64</p> <p>Кол-во ядер каждого ЦПУ, шт: не менее 16</p> <p>Аппаратная поддержка виртуализации: да</p> <p>Кол-во слотов для модулей ОЗУ, шт: не менее 12</p> <p>Объем каждого установленного модуля: не менее 32 Гб</p> <p>Объем установленной ОЗУ: не менее 256 Гб</p> <p>Поддержка функции ECC: да</p> <p>Уровень резервирования установленных блоков охлаждения: N+1</p> <p>Максимальное количество накопителей в корпусе (Штука): не менее 16</p> <p>Количество LFF (3,5) слотов для накопителей на лицевой панели (Штука): не менее 12</p> <p>Количество SFF (2,5) слотов для накопителей на задней панели (Штука): не менее 2</p> <p>Функциональность контроллера дистанционного мониторинга и управления: Видеозапись с экрана действий администратора; Подключение виртуальных медиа-устройств через консоль удаленного управления, в том числе образов дисков (файлов ISO); Поддержка веб-интерфейса; Обеспечение</p>

№	Наименование	Технические требования
		<p>перенаправления графической консоли по сети; Автоматическое уведомление о событиях по электронной почте; Доступ к основным характеристикам, состоянию сервера и установленных устройств;</p> <p>Наличие устройства для укладки кабелей: да</p> <p>Наличие направляющих для установки в шкаф телекоммуникационный: да</p> <p>Тип корпуса: Rack</p> <p>Защитная панель безопасности: да</p> <p>Выделенный порт удалённого управления сервером: да</p> <p>Система удаленного управления сервером: да</p> <p>Наличие интегрированного видеоадаптера: да</p> <p>Адаптер: RS-232</p> <p>Количество установленных накопителей (тип 1) (Штука): не менее 2</p> <p>Количество установленных накопителей (тип 1) с поддержкой горячей замены (Штука): не менее 4</p> <p>Интерфейс установленных накопителей (тип 1): SAS</p> <p>Тип установленных накопителей (тип 1): SSD</p> <p>Ресурс на запись дисков SSD (тип 1) - количество перезаписей всего объема накопителя в день (DWPD): не менее 1</p> <p>Объем каждого установленного накопителя (тип 1) (Гигабайт): не менее 7680</p> <p>Количество установленных накопителей (тип 2) с поддержкой горячей замены (Штука): не менее 8</p> <p>Интерфейс установленных накопителей (тип 2): SATA</p> <p>Тип установленных накопителей (тип 2): HDD</p> <p>Скорость вращения дисков в накопителе HDD (тип 2) (Оборот в минуту): не менее 7200</p> <p>Объем каждого установленного накопителя (тип 2) (Гигабайт): не менее 16000</p> <p>Количество установленных накопителей (тип3) с поддержкой горячей замены: 2</p> <p>Количество установленных накопителей (тип 3) с поддержкой горячей замены (Штука): не менее 2</p> <p>Интерфейс установленных накопителей (тип 3): SATA</p> <p>Тип установленных накопителей (тип 3): SSD</p> <p>Ресурс на запись дисков SSD (тип 3) - количество перезаписей всего объема накопителя в день (DWPD): не менее 1</p> <p>Объем каждого установленного накопителя (тип 3) (Гигабайт): не менее 480</p> <p>Наличие установленного аппаратного дискового контроллера: да</p> <p>Поддерживаемые дисковым контроллером типы RAID: Pass-Through,10,5,6,50,60</p> <p>Объем кэш-памяти установленного дискового контроллера (Гигабайт): не менее 2</p> <p>Наличие защиты кэш-памяти дискового контроллера при потере питания сервером: да</p> <p>Интерфейс подключения накопителей информации к дисковому контроллеру: SATA,SAS</p> <p>Тип размещения USB портов: На задней панели; На передней панели</p> <p>Количество слотов для установки плат расширения PCIe x16 (Штука): не менее 5</p> <p>Количество установленных блоков питания, шт.: не менее 2</p> <p>Количество установленных блоков питания с поддержкой горячей замены, шт.: не менее 2</p> <p>Уровень резервирования установленных блоков питания: N+1</p> <p>Номинальная мощность одного блока питания (Ватт): не менее 800</p> <p>Количество потоков каждого установленного процессора: не менее 32</p> <p>Базовая частота каждого установленного процессора (без учета технологии динамического изменения частоты) (Гигагерц): не менее 2,9</p> <p>Максимально возможное количество плат ускорителей или сопроцессоров для установки (Штука): не менее 4</p> <p>Возможность установки плат стандарта PCIe: 3.0</p> <p>Объем кэш памяти третьего уровня (L3) каждого установленного процессора (Мегабайт): не менее 22</p>

№	Наименование	Технические требования
		<p>Скорость передачи данных каждого установленного модуля оперативной памяти, МТ/с: не менее 2933</p> <p>Активированная функция кэширования на основе использования SSD накопителей информации: да</p> <p>Сервисные или вспомогательные разъемы подключения: VGA</p> <p>Количество сетевых портов (тип 1) (Штука): не менее 4</p> <p>Поддерживаемые протоколы сетевого порта (тип 1): Ethernet</p> <p>Скорость сетевого порта Ethernet (тип 1) (Гигабит в секунду): не менее 1</p> <p>Тип среды передачи для сетевого порта (тип 1): Медь-витая пара</p> <p>Количество сетевых портов (тип 2) (Штука): не менее 2</p> <p>Поддерживаемые протоколы сетевого порта (тип 2): Ethernet</p> <p>Скорость сетевого порта Ethernet (тип 2) (Гигабит в секунду): не менее 25</p> <p>Тип среды передачи для сетевого порта (тип 2): Оптический трансивер</p> <p>Поддержка функциональности RDMA (тип 2): требуется</p> <p>Количество сетевых портов (тип 3) (Штука): не менее 2</p> <p>Поддерживаемые протоколы сетевого порта (тип 3): Ethernet</p> <p>Скорость сетевого порта Ethernet (тип 3) (Гигабит в секунду): не менее 10</p> <p>Тип среды передачи для сетевого порта (тип 3): Оптический трансивер</p>
1.2.2	ПО виртуализации / кластеризации	<p>Программное обеспечение виртуализации должно соответствовать следующим требованиям:</p> <p>Требования к Исполнителю</p> <p>Поставщик должен быть зарегистрирован и находиться на территории Российской Федерации.</p> <p>Поставщик должен предоставить Заказчику неисключительное право использования программного обеспечения.</p> <p>Поставщик должен предоставить документы, подтверждающие права на передачу неисключительных прав на объекты интеллектуальной собственности</p> <p>Поставщик должен указать полные наименования и версии поставляемого программного обеспечения.</p> <p>Общие требования</p> <p>Лицензии на поставляемое программное обеспечение должны быть предложены в соответствии с правилами лицензирования, установленные компанией- разработчиком программного обеспечения.</p> <p>Поставщик должен указать полные наименования и версии поставляемого программного обеспечения.</p> <p>Поставщик должен предоставить Заказчику неисключительное право использования программным обеспечением.</p> <p>Поставляемое программное обеспечение должно входить в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных (https://reestr.minsvyaz.ru/reestr/).</p> <p>Требования к подсистеме виртуализации</p> <p>Подсистема виртуализации должна поддерживать возможность загрузки гипервизора с внутреннего [или] внешнего USB накопителя.</p> <p>Подсистема виртуализации должна обеспечивать установку непосредственно на аппаратное обеспечение без использования хостовой операционной системы (гипервизор 1 типа).</p> <p>Поддержка среды управления виртуальными машинами (ВМ), включая автоматизацию процесса создания ВМ с использованием библиотеки образов ОС (в том числе поддерживается создание множества виртуальных машин одной конфигурации "в один клик"); импорт ВМ, созданных в средах VMware, Hyper-V, XenServer или KVM; выделение ресурсов виртуальным машинам.</p> <p>Подсистема виртуализации должна поддерживать технологии оптимизации работы с памятью, такие как Memory Deduplication (KSM), Host Swap, Memory Ballooning, Hugepages.</p> <p>Подсистема виртуализации должна поддерживать технологию обеспечения отказоустойчивости (кластер высокой доступности (High Available))</p> <p>Подсистема виртуализации должна обеспечивать возможность создания кластера высокой доступности из группы серверов [до 100 хостов суммарно].</p> <p>Поддержка хост-серверов с количеством логических процессоров [до 100 и объемом оперативной памяти до 1 ТБ].</p>

№	Наименование	Технические требования
		<p>Подсистема виртуализации должна обеспечивать возможность миграции функционирующих ВМ между хостами</p> <p>Подсистема виртуализации должна обеспечивать возможность миграции функционирующих ВМ между хостами с процессорами разных поколений</p> <p>Подсистема виртуализации должна обеспечивать поддержку функции Multipathing</p> <p>Подсистема виртуализации должна поддерживать создание программно-определяемой СХД на базе ПО из состава платформы гипервизора</p> <p>Поддержка функции резервного копирования и восстановления дисков ВМ и логически выделенных дисков с данными, автоматическое восстановление и живая миграция виртуальных машин, снапшоты ВМ</p> <p>Подсистема виртуализации должна поддерживать графический установщик.</p> <p>Гипервизор подсистемы виртуализации должен обеспечивать возможность использования в качестве гостевой операционной системы (ОС) операционных систем семейств Linux (Ubuntu, Debian, CentOS), Windows, FreeBSD.</p> <p>Подсистема виртуализации должна поддерживать возможность предоставления суммарного объема оперативной памяти виртуальным средам больше, чем доступно на физическом сервере, за счет применения динамического перераспределения памяти между виртуальными средами и освобождением неиспользуемой памяти.</p> <p>Подсистема виртуализации должна поддерживать возможность автоматического восстановления работы виртуальной среды без человеческого вмешательства – режим высокой доступности виртуальных машин в случае отказа одного из серверов, дисков [или] группы физических серверов с помощью автоматического перезапуска виртуальных машин на работоспособных серверах, через переключением к файлам виртуальных машин, расположенных на общей системе хранения, без потери уже записанных блоков данных на файловую систему.</p> <p>Подсистема виртуализации должна поддерживать возможность включения [или] отключения режима высокой доступности для каждой виртуальной машины.</p> <p>Подсистема виртуализации должна поддерживать поддержку стандарта VirtIO виртуализации дисковых и сетевых устройств.</p> <p>Подсистема виртуализации должна обеспечивать возможность исполнения виртуальных машин на сервере виртуальных машин изделия в изолированной среде (оперативная и дисковая память виртуальных машин не должны пересекаться в физическом и виртуальном адресном пространстве).</p> <p>Подсистема виртуализации должна предоставлять возможность миграции (переноса исполнения) виртуальных машин между серверами виртуальных машин.</p> <p>Подсистема виртуализации должна предоставлять возможность миграции (переноса исполнения) виртуальных машин между серверами виртуальных машин.</p> <p>Подсистема виртуализации должна обеспечивать создание и хранение образов ВМ для автоматического развертывания ВМ.</p> <p>Подсистема виртуализации должна обладать встроенными средствами мониторинга.</p> <p>Требования к подсистеме хранения</p> <p>Горизонтальная линейная масштабируемость, возможность наращивать объем внутренней системы хранения, путем добавления новых серверов без прерывания работы</p> <p>Самовосстановление с возможностью обновления без прерывания функционирования</p> <p>Реализация распределенной файловой системы на базе серверов виртуализации</p> <p>Возможность создания кластера, с отказоустойчивостью на уровне серверов этого кластера (выход из строя любого сервера не влечет отказа всего кластера)</p> <p>Поддержка системы контейнерной оркестрации Docker и Kubernetes</p> <p>Требования к подсистеме взаимодействия с сетью передачи данных</p> <p>Сетевая подсистема должна обеспечивать поддержку виртуальных коммутаторов.</p>

№	Наименование	Технические требования
		<p>Сетевая подсистема должна поддерживать использование для изоляции [и/или] объединения в виртуальные сети сетевого трафика виртуальных машин протоколы VLAN, VXLAN.</p> <p>Требования к подсистеме управления виртуальной средой</p> <p>Система управления подсистемой виртуализации должна использовать веб-интерфейс.</p> <p>Система управления подсистемой виртуализации должна иметь возможность обеспечения доступа к локальным консолям виртуальных машин через веб-интерфейс управления средствами протоколов [VNC или SPICE].</p> <p>Система управления подсистемой виртуализации должна обеспечивать вывод в интерфейс управления информации о виртуальных машинах, пулах ресурсов, узлах.</p> <p>Система управления подсистемой виртуализации должна обеспечивать возможность управления виртуальными средами посредством графического интерфейса в следующем объеме:</p> <p>создание и редактирование виртуального окружения виртуальных машин (формирование виртуальной аппаратной конфигурации: определение количества процессоров, объема оперативной памяти, количества и объема дисков, количества и параметров сетевых интерфейсов);</p> <p>регистрация физических серверов виртуализации;</p> <p>создание логических структур (кластеров) на базе физических серверов виртуализации;</p> <p>создание и управление шаблонами виртуальных машин;</p> <p>создание и управление образами виртуальных машин;</p> <p>управление ресурсами виртуальных машин (ЦПУ, оперативная память, дисковое пространство);</p> <p>управление и добавление устройств в виртуальные машины;</p> <p>управление и добавление устройств в виртуальные машины;</p> <p>добавление дисков в виртуальные машины в процессе исполнения, без остановки исполнения VM;</p> <p>добавление виртуальных сетевых интерфейсов в VM, без остановки исполнения VM;</p> <p>изменение размеров виртуальных дисков VM из графического интерфейса, без остановки исполнения VM</p> <p>выполнение групповых операций с виртуальными машинами;</p> <p>мониторинг загрузки процессора, памяти, диска и сети в VM;</p> <p>управление сервисами формирования отказоустойчивого кластера;</p> <p>создание и редактирование виртуальных сетевых мостов;</p> <p>возможность миграции виртуальных дисков в процессе работы VM;</p> <p>возможность миграции функционирующих VM между хостами с процессорами разных поколений;</p> <p>Требования к подсистеме резервного копирования</p> <p>Подсистема резервного копирования должна поддерживать возможность выполнения резервного копирования виртуальных сред средствами подсистемы виртуализации в запущенном и остановленном состоянии (полное и инкрементальное) по заданному расписанию с возможностью последующего управления резервными копиями.</p> <p>Подсистема резервного копирования должна поддерживать возможность восстановления резервных копий средствами подсистемы виртуализации на любом из серверов.</p>
1.3		Подсистема коммутации
1.3.1	Коммутатор	<p>Количество LAN портов (Штука): не менее 48</p> <p>Тип передачи данных: Ethernet</p> <p>Интерфейс LAN-порта: SFP, SFP+, QSFP+</p> <p>Тип LAN-порта: Оптический</p> <p>Количество портов 1G 8P8C, шт.: не менее 1</p> <p>Количество портов 10G SFP+, шт.: не менее 48</p> <p>Количество портов 40 QSFP+, CFP шт.: не менее 4</p> <p>Наличие выделенного порта управления 8P8C Ethernet: да</p> <p>Интерфейс сетевых модулей: SFP, SFP+, QSFP+</p>

№	Наименование	Технические требования
		<p>Пропускная способность коммутационной матрицы (гигабит в секунду): не менее 100</p> <p>Уровень применения: Агрегация, ядро</p> <p>Тип по назначению: Enterprise</p> <p>Тип коммутатора: Управляемый</p> <p>Конфигурация коммутатора: Фиксированный</p> <p>Тип блоков питания (по типу движения электрического тока): Для переменного тока (АС)</p> <p>Схема резервирования блоков электропитания N+1: да</p> <p>Тип блоков питания: сменный</p> <p>Блок питания: встроенный</p> <p>Количество блоков питания, шт.: не менее 2</p> <p>Поддержка горячей замены блоков питания: да</p> <p>Наличие встроенных аккумуляторных батарей: нет</p> <p>Направление воздушного потока: От передней части назад (front-to-back)</p> <p>Максимальная потребляемая мощность (Ватт): не более 150</p> <p>Наличие встроенного датчика отказа блоков питания: да</p> <p>Категория климатического исполнения: 3.1</p> <p>Климатическое исполнение: У, ТУ</p> <p>Тип охлаждения: Активное</p> <p>Материал корпуса: металл</p> <p>Возможность установки в стандартную телекоммуникационную стойку (ширина 19 дюймов): да</p> <p>Высота коммутатора для размещения в шкаф телекоммуникационный, Юнит: 1</p> <p>Поддержка технологии PoE: нет</p> <p>Внешний интерфейс управления: RJ-45</p> <p>Интерфейс внешних носителей информации: USB</p> <p>Объем оперативной памяти (Мб): не менее 4096</p> <p>Производительность (Full Duplex) (Гб/сек): не менее 1024</p> <p>Наличие аппаратного ускорителя маршрутизации/пересылки (hardware routing/forwarding accelerator): да</p> <p>Поддержка протоколов динамической конфигурации: 802.1x, Static, DHCP server, DHCP client, DHCP relay, DHCPv6 client, DHCPv6 server, BootP client, BootP relay</p> <p>Поддержка стандарта RFC 7348 (VXLAN): да</p> <p>Поддержка стандарта RFC 8365 (EVPN-VXLAN): да</p> <p>Поддержка VXLAN L2 gateway: да</p> <p>Поддержка VXLANL3 gateway: да</p> <p>Наличие ALG (Application-Level Gateway): да</p> <p>Возможность стекирования: да</p> <p>Возможность управления устройством по протоколу SSHv2: да</p> <p>Возможность управления устройством по протоколу HTTPS: да</p> <p>Возможность загрузки файлов на устройство по зашифрованному протоколу передачи файлов: да</p> <p>Наличие отдельного консольного (последовательного/серийного) порта для управления и диагностики: да</p> <p>Поддержка доступа к консоли по SSH: да</p> <p>Поддержка протокола агрегирования каналов LACP (Link Aggregation Control Protocol): да</p> <p>Поддержка протокола динамической маршрутизации OSPFv3 (Open Shortest Path First version 3): да</p> <p>Наличие системы обнаружения и предотвращения вторжений IPS/IDS: нет</p> <p>Поддержка версии протокола OpenFlow: 1,3</p> <p>Поддержка виртуальных таблиц коммутации и маршрутизации (Virtual Routing and Forwarding): да</p> <p>Поддержка стандарта SpanningTreeProtocolIEEE 802.1d: да</p>

№	Наименование	Технические требования
		<p>Поддержка IP Source Guard: да</p> <p>Поддержка Dynamic ARP Inspection: да</p> <p>Поддержка протокола динамической маршрутизации RIPv2 (Routing Information Protocol version 2): да</p> <p>Поддержка протокола динамической маршрутизации BGP (Border Gateway Protocol): да</p> <p>Наличие механизмов управления unicast-траффиком для предотвращения unicast-штормов: да</p> <p>Наличие механизмов управления broadcast-траффиком для предотвращения broadcast-штормов: да</p> <p>Наличие механизмов управления multicast-траффиком для предотвращения multicast-штормов: да</p> <p>Наличие связи IP-MAC-Port: да</p> <p>Поддержка автосогласования (autonegotiation): да</p> <p>Наличие защиты от DoS-атак: да</p> <p>Поддержка зеркалирования портов (port mirroring) в рамках одного устройства: да</p> <p>Поддержка отправки системных событий (логов) на удаленное хранилище (например, syslog-сервер): да</p> <p>Возможность работы в качестве DHCP-сервера: да</p> <p>Наличие функции DHCP Snooping (защита от атак, связанных с протоколом DHCP): да</p> <p>Возможность работы в качестве NTP-клиента (NTP client): да</p> <p>Поддержка выделенных VLAN: Private VLAN</p> <p>Диагностика оптического трансивера: да</p> <p>Виртуальное тестирование кабеля: да</p> <p>Количество поддерживаемых устройств для объединения в стэк, шт.: не менее 8</p> <p>Поддержка возможности объединения в стэк: да</p>
1.4	Подсистема бесперебойного электропитания	
1.4.1	ИБП модульный	<p>Полная мощность (Вольт-ампер): не менее 20000</p> <p>Тип: С двойным преобразованием (on-line)</p> <p>Минимальное время автономной работы при расчетной нагрузке(мин): не менее 60</p> <p>Возможность подключения внешних батарей: да</p> <p>Форм-фактор источника бесперебойного питания: стоечный</p> <p>Наличие дополнительных функций: Цветовая индикация состояния источника бесперебойного питания (меняющийся экран)</p> <p>Количество выходных разъемов питания с батарейной поддержкой (шт.): не менее 2</p> <p>Тип используемых батарей: Свинцово-кислотные герметизированные с защитой от утечки</p> <p>Наличие дисплея: да</p> <p>Наличие клеммного выхода: да</p> <p>Наличие функции параллельной работы: нет</p> <p>Сейсмостойкое исполнение: нет</p> <p>Номинальная мощность (Ватт): не менее 20000</p> <p>Активная мощность(Ватт): не менее 20000</p> <p>Коэффициент полезного действия источника бесперебойного питания: не менее 95%</p> <p>Номинальное выходное напряжение (В): 380 (настраиваемо 400, 415)</p> <p>Номинальный диапазон напряжений(В): 208 ~ 478</p> <p>Диапазон входной частоты (Гц): 40 ~ 70</p> <p>Номинальный входной ток(А): 125</p> <p>Входной коэффициент мощности : не менее 0.99</p> <p>Коэффициент нелинейных искажений на входе: не более 3% (при 100% линейной нагрузке)</p> <p>Высота (мм): не более 150 (2U)</p> <p>Ширина (мм): не более 500</p> <p>Глубина (мм): не более 600</p>

№	Наименование	Технические требования
		<p>Масса: (кг): не более 50</p> <p>Количество батарейных кабинетов (шт): 6</p>
1.4.2	Блок байпаса	<p>Тип байпаса: Электронный</p> <p>Диапазон напряжений байпас: от +25% до -45% (настраиваемый)</p> <p>Диапазон частот байпас: $\pm 10\%$ (настраиваемый $\pm 1\%$, $\pm 2\%$, $\pm 4\%$, $\pm 5\%$)</p>
1.4.3	Батарейные блоки расширения	<p>Тип аккумуляторных батарей : Свинцово-кислотные герметизированные с защитой от утечки</p> <p>Напряжение на шине постоянного тока: $\pm 180 \text{ В} \sim \pm 300 \text{ В}$ постоянного тока</p> <p>Режим заряда: Интеллектуальный трехступенчатый заряд с температурной компенсацией напряжения</p> <p>Ток заряда: До 20 ампер (настраиваемый)</p> <p>Защита батарей: Защита от переразряда, перенапряжения, короткого замыкания</p> <p>Время переключения на батареи: 0 мс - с электросети на АКБ, 0 мс - с электросети на байпас</p> <p>Высота одного батарейного кабинета: не более 3U</p>
1.5	Пользовательские автоматизированные рабочие места	
1.5.1	Системный блок	<p>Поддерживаемая архитектура набора команд процессора: x86-64</p> <p>Количество ядер процессора(шт): не менее 6</p> <p>Частота процессора базовая(ГГц): 2,8</p> <p>Количество потоков процессора (шт.): не менее 8</p> <p>Объем кэш памяти третьего уровня процессора (L3)(Мб): не менее 12</p> <p>Тепловыделение процессора (Вт): не более 120</p> <p>Наличие системы охлаждения процессора: да</p> <p>Тип радиатора системы охлаждения процессора: тепловые трубки</p> <p>Материал радиатора системы охлаждения процессора: алюминий</p> <p>Диаметр вентилятора системы охлаждения процессора (мм): не менее 120</p> <p>Тип подшипника вентилятора системы охлаждения процессора: гидродинамический</p> <p>Максимальная рассеиваемая мощность системы охлаждения процессора (Вт): не менее 125</p> <p>Тип оперативной памяти: DDR4</p> <p>Объем оперативной установленной памяти (Гб): не менее 32</p> <p>Допустимый максимальный объем увеличения оперативной памяти(Гб): не менее 64</p> <p>Количество установленных модулей оперативной памяти (шт.): не менее 2</p> <p>Тактовая частота оперативной памяти (МГц): не менее 3200</p> <p>Количество накопителей типа HDD (шт.): не менее 1</p> <p>Количество накопителей типа SSD (шт.): не менее 2</p> <p>Тип накопителя: SSD, HDD</p> <p>Объем накопителя HDD (Гб): 8000</p> <p>Интерфейс накопителя HDD: SATA3</p> <p>Скорость вращения дисков в накопителе HDD (Об/мин): не менее 7200</p> <p>Форм-фактор SSD накопителя (Тип1): SFF2,5</p> <p>Объем накопителя SSD(Тип1)(Гб): не менее 240</p> <p>Интерфейс накопителя SSD (Тип1): SATA</p> <p>Скорость передачи данных накопителя SSD (Тип1) при чтении(Мб/сек): не менее 500</p> <p>Форм-фактор SSD накопителя (Тип2): M.2</p> <p>Объем накопителя SSD(Тип2)(Гб): не менее 960</p>

№	Наименование	Технические требования
		<p>Интерфейс накопителя SSD(Тип2): PCIe Типмодулейпамяти: V-NAND 3-bit MLC Скорость передачи данных накопителя SSD (Тип2) при чтении(Мб/сек): не менее 3300 Количество слотов M.2 KeyM (шт.): 1 Интерфейс слотов M.2 Key M: PCIe</p> <p>Оптический привод: DVD-RW Интерфейс слотов: PCIe и SATA3 Наличие накопителя eMMC: нет</p> <p>Наличие интегрированного графического контроллера: да Наличие интегрированного звукового контроллера: да</p> <p>Скорость передачи данных проводного сетевого контроллера(Мбит/с): не менее 1000 Сетевой интерфейс 8P8C (RJ-45) (шт.): не менее 1</p> <p>Наличие установленного дискретного графического контроллера: нет Базовая частота интегрированного графического контроллера (Мгц): не менее 333 Тип порта видеовыхода: VGA, DisplayPort, HDMI, DVI-D Количество портов DVI-D (шт.): не менее 1 Количество портов HDMI (шт.): не менее 1 Количество портов DisplayPort(шт.): не менее 1</p> <p>Количество портов USB 2.0 на передней панели(шт.): не менее 2 Суммарное количество встроенных в корпус портов USB 2.0 (шт.): не менее 6 Количество портов USB 3.2 Gen 1 (USB 3.1 Gen 1, USB 3.0) на передней панели(шт.): не менее 2 Суммарное количество встроенных в корпус портов USB 3.2 Gen 1 (USB 3.1 Gen 1, USB 3.0) (шт.): не менее 4 Наличие выходного аудиоразъема: да Наличие выходного аудиоразъема на передней панели:да Наличие входного аудиоразъема для микрофона:да Наличие входного аудиоразъема для микрофона на передней панели: да Наличие комбинированного аудиоразъема:нет Наличие встроенного картридера: нет Количество внутренних отсеков корпуса 3,5 (шт.): не менее 1 Количество внутренних отсеков корпуса 2,5(шт): не менее 1 Количество внешних отсеков корпуса 5,25 (шт.): не менее 1 Возможность блокировки кнопки включения системного блока: да Количество СОМ-портов (шт.): не менее 1 Объем установленного модуля оперативной памяти (Гб): не менее 16 Наличие модуля доверенной загрузки: нет Наличие средств доверенной загрузки, сертифицированных ФСТЭК: нет Наличие средств доверенной загрузки, сертифицированных ФСБ: нет Наличие кнопки включения и перезагрузки на передней панели: да Наличие Mobilelock (мобильного шасси): нет Предустановленная операционная система: нет Высота корпуса (мм): не более 400 Ширина корпуса (мм): не более 200 Длина корпуса (мм): более 400 Мощность блока питания (Вт): не менее 450 Наличие корпусного вентилятора: да</p> <p>Наличие клавиатуры: да Тип клавиатуры: мембранная полноразмерная Наличие манипулятора «мышь»: да Тип манипулятора «мышь»: оптическая проводная</p>

№	Наименование	Технические требования
1.5.2	Монитор	<p>Тип матрицы: IPS Размер диагонали(дюйм): не менее 27 Формат изображения: 16:9 Разрешение экрана: 2560 x 1440 Максимальная частота обновления (смена кадров) (Герц): не менее 75 Интерфейс подключения: HDMI, VGA, DisplayPort Возможность поворота экрана по вертикали (портретный режим): да Наличие функции регулировки по высоте: да Наличие функции регулировки наклона: да Наличие встроенных динамиков: да Наличие взб-камеры: нет Наличие встроенной акустической системы: да Наличие сенсорного экрана: нет Количество портов HDMI (шт.): 1 Количество портов DisplayPort (шт.): 1 Количество портов USB Type-C (шт.): 0 Угол обзора по горизонтали, градус: не менее 178 Угол обзора по вертикали, градус: не менее 178 Класс энергетической эффективности: не ниже TCO8 Изогнутый экран: нет Яркость, кд/м2: не менее 300 не более 350 Наличие возможности крепления на стену: да Стандарт крепления: VESA 100x100 Наличие USB-концентратора: да Количество встроенных в корпус портов USB 3.2 Gen 2 (USB 3.1 Gen 2, USB 3.1): не менее 4 Блок питания: встроенный Контрастность: не менее 1000:1 Динамическая контрастность: более 40 000 000 : 1 Время отклика, мс: не менее 6 Потребляемая мощность(Ватт): не более 30 Глубина цвета (бит): 24 Максимальная регулировка экрана по высоте (мм): более 130 Возможность поворота экрана по горизонтали: да Кабель для подключения к источнику изображения в комплекте: да Тип кабеля для подключения к источнику изображения в комплекте: HDMI-HDMI Настенное крепление: нет</p>

3. Многофункциональный вычислительный программно-аппаратный комплекс с защитой внутреннего периметра

Состав и характеристики многофункционального вычислительного программно-аппаратного комплекса (ПАК МВ) с защитой внутреннего периметра приведены в Таблице Г.3.

Таблица Г.3 – Состав ПАК МВ

№ п/п	Наименование товаров, работ, услуг	Описание объекта закупки: функциональные, технические и качественные характеристики, эксплуатационные характеристики объекта закупки (при необходимости)	Ед. изм.	Количество товаров, объем работ, услуг
1	<p>Многофункциональный вычислительный программно-аппаратный комплекс с защитой внутреннего периметра 26.20.30.000</p> <p>Комплекс должен обеспечивать функционирование, как единый комплекс оборудования, включать в себя все необходимые интерфейсные кабели, разъемы и расходные материалы и состоять из следующих составных частей:</p>		Шт.	1
1.1	Вычислительный модуль	<p>Количество занимаемых юнитов в стойке: U2 Кол-во процессоров, шт: не менее 2 Объем ОЗУ (макс): 2048 Гб Тип: стоечный Архитектура: x86-64 Кол-во ядер каждого ЦПУ, шт: не менее 24 Аппаратная поддержка виртуализации: да Кол-во слотов для модулей ОЗУ, шт: не менее 12 Объем каждого установленного модуля: не менее 64 Гб Объем установленной ОЗУ: не менее 768 Гб Поддержка функции ECC: да Уровень резервирования установленных блоков охлаждения: N+1 Максимальное количество накопителей в корпусе (Штука): не менее 16 Количество LFF (3,5) слотов для накопителей на лицевой панели (Штука): не менее 12 Количество SFF (2,5) слотов для накопителей на задней панели (Штука): не менее 2 Функциональность контроллера дистанционного мониторинга и управления: Видеозапись с экрана действий администратора; Подключение виртуальных медиа-устройств через консоль удаленного управления, в том числе образов дисков (файлов ISO); Поддержка веб-интерфейса; Обеспечение перенаправления графической консоли по сети; Автоматическое уведомление о событиях по электронной почте; Доступ к основным характеристикам, состоянию вычислительного модуля и установленных устройств; Наличие устройства для укладки кабелей: да Наличие направляющих для установки в шкаф телекоммуникационный: да Тип корпуса: Rack Защитная панель безопасности: да Выделенный порт удалённого управления вычислительным модулем: да Система удаленного управления вычислительным модулем: да Наличие интегрированного видеоадаптера: да Адаптер: RS-232 Количество установленных накопителей (тип 1) (Штука): не менее 2 Количество установленных накопителей (тип 1) с поддержкой горячей замены (Штука): не менее 2 Интерфейс установленных накопителей (тип 1): SATA Тип установленных накопителей (тип 1): SSD Ресурс на запись дисков SSD (тип 1) - количество перезаписей всего объема накопителя в день (DWPD): не менее 3</p>	Шт.	14

№ п/п	Наименование товаров, работ, услуг	Описание объекта закупки: функциональные, технические и качественные характеристики, эксплуатационные характеристики объекта закупки (при необходимости)	Ед. изм.	Количество товаров, объем работ, услуг
		<p>Объем каждого установленного накопителя (тип 1) (Гигабайт): не менее 1024</p> <p>Количество установленных накопителей (тип 2) с поддержкой горячей замены (Штука): не менее 12</p> <p>Интерфейс установленных накопителей (тип 2): SATA</p> <p>Тип установленных накопителей (тип 2): HDD</p> <p>Скорость вращения дисков в накопителе HDD или SSHD (тип 2) (Оборот в минуту): не менее 7200</p> <p>Объем каждого установленного накопителя (тип 2) (Гигабайт): не менее 4000</p> <p>Наличие установленного аппаратного дискового контроллера: да</p> <p>Поддерживаемые дисковым контроллером типы RAID: Pass-Through,10,5,6,50</p> <p>Объем кэш-памяти установленного дискового контроллера (Гигабайт): не менее 2</p> <p>Наличие защиты кэш-памяти дискового контроллера при потере питания вычислительным модулем: да</p> <p>Интерфейс подключения накопителей информации к дисковому контроллеру: SATA,SAS</p> <p>Тип размещения USB портов: На задней панели; На передней панели</p> <p>Количество слотов для установки плат расширения PCIe x16 (Штука): не менее 3</p> <p>Количество установленных блоков питания, шт.: не менее 2</p> <p>Количество установленных блоков питания с поддержкой горячей замены, шт.: не менее 2</p> <p>Уровень резервирования установленных блоков питания: N+1</p> <p>Номинальная мощность одного блока питания (Ватт): не менее 800</p> <p>Поддерживаемые протоколы сетевого порта (тип 1): Ethernet</p> <p>Количество сетевых портов (тип 1) (Штука): не менее 2</p> <p>Скорость сетевого порта Ethernet (тип 1) (Гигабит в секунду): не менее 1</p> <p>Количество потоков каждого установленного процессора: не менее 48</p> <p>Базовая частота каждого установленного процессора (без учета технологии динамического изменения частоты) (Гигагерц): не менее 3,0</p> <p>Максимально возможное количество плат ускорителей или сопроцессоров для установки (Штука): не менее 3</p> <p>Возможность установки плат стандарта PCIe: 3.0</p> <p>Объем кэш памяти третьего уровня (L3) каждого установленного процессора (Мегабайт): не менее 35,75</p> <p>Скорость передачи данных каждого установленного модуля оперативной памяти, МТ/с: не менее 2933</p> <p>Активированная функция кэширования на основе использования SSD накопителей информации: да</p> <p>Сервисные или вспомогательные разъемы подключения: VGA</p> <p>Поддерживаемые протоколы сетевого порта (тип 2): Ethernet</p> <p>Тип среды передачи для сетевого порта (тип 2):</p>		

№ п/п	Наименование товаров, работ, услуг	Описание объекта закупки: функциональные, технические и качественные характеристики, эксплуатационные характеристики объекта закупки (при необходимости)	Ед. изм.	Количество товаров, объем работ, услуг
		<p>Оптический трансивер Поддержка функциональности RDMA (тип 2): требуется Скорость сетевого порта Ethernet (тип 2) (Гигабит в секунду): не менее 10 Количество сетевых портов (тип 2) (Штука): не менее 2</p>		
1.2	Модуль коммутации	<p>Количество LAN портов (Штука): не менее 24 Пропускная способность коммутационной матрицы (гигабит в секунду): не менее 100 Уровень применения: Доступ Тип по назначению: Enterprise Тип коммутатора: Управляемый Тип передачи данных: Ethernet Тип блоков питания (по типу движения электрического тока): Для переменного тока (АС) Схема резервирования блоков электропитания N+1: нет Интерфейс LAN-порта: RJ-45,SFP+ Количество портов 1G 8P8C, шт.:не менее 24 Количество портов 10G SFP+, шт.: не менее4 Тип охлаждения: Активное Материал корпуса: металл Возможность установки в стандартную телекоммуникационную стойку (ширина 19 дюймов): да Высота коммутатора для размещения в шкафу телекоммуникационный, Юнит: 1 Возможность стекирования: да Возможность управления устройством по протоколу SSHv2: да Возможность управления устройством по протоколу HTTPS: да Возможность загрузки файлов на устройство по шифрованному протоколу передачи файлов: да Наличие отдельного консольного (последовательного/серийного) порта для управления и диагностики: да Поддержка доступа к консоли по SSH: да Поддержка протокола агрегирования каналов LACP (Link Aggregation Control Protocol): да Поддержка протокола динамической маршрутизации OSPFv3 (Open ShortestPath First version 3): да Поддержка автосогласования (autonegotiation): да Наличие защиты от DoS-атак: да Поддержка зеркалирования портов (portmirroring) в рамках одного устройства: да Поддержка отправки системных событий (логов) на удаленное хранилище (например, syslog-сервер): да Возможность работы в качестве DHCP-сервера: да Наличие функции DHCP Snooping (защита от атак, связанных с протоколом DHCP): да Возможность работы в качестве NTP-клиента (NTP client): да Поддержка выделенных VLAN: PrivateVLAN Диагностика оптического трансивера: да Виртуальное тестирование кабеля: да Количество поддерживаемых устройств для объединения в стэк, шт.: не менее 8 Поддержка возможности объединения в стэк: да</p>	шт	4

№ п/п	Наименование товаров, работ, услуг	Описание объекта закупки: функциональные, технические и качественные характеристики, эксплуатационные характеристики объекта закупки (при необходимости)	Ед. изм.	Количество товаров, объем работ, услуг
1.3	ПАК Сетевой шлюз безопасности	<p>Количество блоков питания, шт.: не менее 1</p> <p>Разъем для подключения: USB, RS-232, M.2, PCI-Express</p> <p>Аппаратная блокировка включения электропитания: Нет</p> <p>Программная блокировка включения электропитания: Нет</p> <p>Сетевое управление: Да</p> <p>Наличие дополнительной энергозависимой памяти: Да</p> <p>Объем встроенной энергозависимой памяти: от 1024 мб</p> <p>Поддержка файловых систем: EXT4, FAT16, UFS, EXT3, EXT2, NTFS, FAT32</p> <p>Поддержка идентификаторов доступа: iButton, JaCarta, Touch Memory, Rutoken/Rutoken RF, eToken PRO, iKey2032 - Нет</p> <p>Контроль BIOS: Да</p> <p>Блокировка загрузки ОС с внешних источников: Нет</p> <p>Шифрование загрузочного сектора: Нет</p> <p>Максимальное количество процессоров (штука): ≥ 2</p> <p>Количество установленных процессоров: ≥ 1</p> <p>Тип: стоечный</p> <p>Архитектура: x86-64</p> <p>Кол-во ядер каждого ЦПУ, шт: не менее 8</p> <p>Аппаратная поддержка виртуализации: да</p> <p>Кол-во слотов для модулей ОЗУ, шт: не менее 6</p> <p>Объем каждого установленного модуля: не менее 8 Гб</p> <p>Объем установленной ОЗУ: не менее 48 Гб</p> <p>Поддержка функции ECC: да</p> <p>Тип корпуса: Rack</p> <p>Количество занимаемых юнитов в стойке: ≤ 2</p> <p>Защитная панель безопасности: да</p> <p>Установленный адаптер HBA: SAS</p> <p>Наличие установленного аппаратного дискового контроллера: да</p> <p>Поддерживаемые дисковым контроллером типы RAID: 1</p> <p>Интерфейс подключения накопителей информации к дисковому контроллеру: SAS, SATA</p> <p>Количество установленных накопителей (тип 1) с поддержкой горячей замены (Штука): не менее 2</p> <p>Количество установленных накопителей (тип 1) с поддержкой горячей замены (Штука): не менее 2</p> <p>Интерфейс установленных накопителей (тип 1): SATA</p> <p>Тип установленных накопителей (тип 1): SSD</p> <p>Ресурс на запись дисков SSD (тип 1) - количество перезаписей всего объема накопителя в день (DWPD): не менее 3</p> <p>Объем каждого установленного накопителя (тип 1) (Гигабайт): не менее 480</p> <p>Количество установленных накопителей (тип 2) с поддержкой горячей замены (Штука): не менее 2</p> <p>Интерфейс установленных накопителей (тип 2): SATA</p> <p>Тип установленных накопителей (тип 2): HDD</p> <p>Скорость вращения дисков в накопителе HDD или SSHD (тип 2) (Оборот в минуту): не менее 7200</p> <p>Объем каждого установленного накопителя (тип 2) (Гигабайт): не менее 1000</p> <p>Поддерживаемые протоколы сетевого порта (тип 1): Ethernet</p> <p>Тип среды передачи для сетевого порта (тип 1): Медь -</p>	Шт.	2

№ п/п	Наименование товаров, работ, услуг	Описание объекта закупки: функциональные, технические и качественные характеристики, эксплуатационные характеристики объекта закупки (при необходимости)	Ед. изм.	Количество товаров, объем работ, услуг
		<p>витая пара Количество сетевых портов (тип 1) (Штука): не менее 4 Поддержка функциональности RDMA (тип 1): не требуется Скорость сетевого порта Ethernet (тип 1) (Гигабит в секунду): не менее 1 Количество сетевых портов (тип 1) (Штука): не менее 2 Поддерживаемые протоколы сетевого порта (тип 2): Ethernet Тип среды передачи для сетевого порта (тип 2): Оптический трансивер Количество сетевых портов (тип 2) (Штука): не менее 4 Поддержка функциональности RDMA (тип 2): не требуется Скорость сетевого порта Ethernet (тип 2) (Гигабит в секунду): не менее 10 Количество установленных блоков питания с поддержкой горячей замены, шт.: ≥ 2 Уровень резервирования установленных блоков питания: N+1 Номинальная мощность одного блока питания: ≥ 800 Ватт Наличие средств доверенной загрузки, сертифицированных ФСТЭК: да Поддержка доступа к консоли по SSH: да Поддержка управления через web-интерфейс: да Возможность централизованного управления группой ПАК с помощью центральной консоли управления: да Поддержка протоколов VPN: Wireguard, IKEv2/IPSec, L2TP/IPSec, SSTP, PPTP Поддержка VLAN: да Поддержка динамической маршрутизации: OSPF, BGP Поддержка нескольких независимых входных каналов от провайдеров сети Интернет: да Возможность полного разделения пользователей для выхода в Интернет через разных провайдеров: да Поддержка автоматической проверки связи с провайдером и переключение на альтернативного провайдера, в случае необходимости: да Возможность балансировки трафика между каналами провайдеров: да Возможность включения функции контент-фильтра, позволяющего управлять доступом к сайтам определенных категорий: да Наличие Контент-фильтра, который должен фильтровать как HTTP, так и HTTPS-трафик, как с его расшифровкой, так и без расшифровки (с помощью анализа SNI и данных сертификата): да Поддержка обновляемой базы данных контент-фильтра: да Поддержка антивирусной проверки веб-трафика (HTTP и HTTPS): да Поддержка автоматического обновления базы вирусных сигнатур: да Обеспечение защиты хостов внутри периметра от атак из Интернет с использованием технологии NAT: да Поддержка защиты от сканеров сети, защита от DoS-атак и блокирование чрезмерной активности: да Поддержка фильтрация нежелательной почты (спам): да Наличие встроенного программного модуля слежения за</p>		

№ п/п	Наименование товаров, работ, услуг	Описание объекта закупки: функциональные, технические и качественные характеристики, эксплуатационные характеристики объекта закупки (при необходимости)	Ед. изм.	Количество товаров, объем работ, услуг
		<p>системой, предотвращающий возможность нарушения работы служб при выходе параметров их работы за определенные установленные рамки: да</p> <p>Поддержка возможность работы в режиме кластера отказоустойчивости: да</p> <p>Поддержка автоматической проверки всех параметров оборудования, состояние файловой системы и баз данных, а также контрольная сумма всех неизменяемых файлов при загрузке: да</p> <p>Поддержка автоматического обновления, которое позволяет своевременно переходить на новые версии ПО, при этом все загружаемые файлы должны проверяются электронной цифровой подписью, для обеспечения гарантии целостность и подлинность загружаемых данных: да</p> <p>Возможность синхронизации пользователей через Active Directory и LDAP сервер, их прозрачная (Single Sign-On) авторизация по протоколу Kerberos, NTLM и по логам безопасности контроллера домена: да</p> <p>Поддержка системы автоматического резервного копирования базы данных, конфигурационных файлов и, опционально, каталогов, указанных пользователем на FTP-сервер или общие папки Windows: да</p> <p>Возможность ограничения полосы пропускания до Интернет-ресурсов (шейпера трафика) для пользователей и групп: да</p> <p>Возможность интеграции с SIEM-системами по протоколу syslog, системами мониторинга по SNMP: да</p> <p>Наличие службы контроля приложений с возможностью ограничения трафика приложений (с помощью DPI): да</p> <p>Наличие службы обратного прокси-сервер для публикации веб-ресурсов с возможностью публикации и защиты HTTP и HTTPS-сайтов: да</p> <p>Наличие полнофункционального DNS-сервера с возможностью поддержки forwardDNS-зон и кеширования DNS-запросов из локальной сети: да</p> <p>Наличие службы NTP-сервер точного времени: да</p> <p>Наличие сконфигурированного и настроенный почтового сервера с фильтрацией спама: да</p> <p>Должна быть предусмотрена поддержка протокола IMAP, защищенного протокола STARTTLS и общих почтовых папок: да</p>		

4. Комплект лицензий программного обеспечения для многомерного анализа данных дистанционного зондирования Земли

Состав и характеристики комплекта лицензий программного обеспечения для многомерного анализа данных дистанционного зондирования Земли приведены в Таблице Г.4.

Таблица Г.4 – Состав и характеристики комплекта лицензий программного обеспечения для многомерного анализа данных дистанционного зондирования Земли

№ п.п	Наименование Информация о КТРУ	Характеристики и функции ПО
Комплект лицензий программного обеспечения для многомерного анализа данных дистанционного зондирования Земли в составе: 62.01.29.000		
1.1	Серверная лицензия на БиАй, Портал Контур БиАй Портал 6.0 Один сервер, до 8 ЦПУ (СБИ_PORT_RU)	<ul style="list-style-type: none"> - работа под управлением операционной системы Debian 10. - журнализация действий пользователей и операций в системе. - настройка учетных записей и разграничения прав пользователей в визуальном интерфейсе. - программное обеспечение базируется на BusinessIntelligence технологиях, в том числе имеет встроенную OLAP-машину и обеспечивает возможность выполнения многомерного анализа данных. - основные OLAP-операции: фильтрация по произвольной совокупности измерений, поворот таблицы, перенос измерений между областями строк, колонок, фильтров, углубление в данные (drilldown), «сверление сквозь данные» (drillthrough). - данные представляются в интерактивных компонентах: таблица, график, приборы, карт-схема (однослойная карта), многослойная карта. - встроенная ГИС-компонента, обеспечивающая отображение многослойных карт с поддержкой формата ESRI shape. Карты отображают данные OLAP-куба в динамическом режиме, и обеспечивают возможности интерактивного анализа, включая фильтрацию по произвольным измерениям, углубление в карты, drillthrough. - аналитические отчеты настраиваются в визуальном интерфейсе без программирования, силами специалистов в предметной области. - словарь данных, переводящий технические наименования объектов базы данных в термины предметной области. - визуальный конструктор запросов к базе данных, включая визуальный инструмент построения схем, генератор запросов с поддержкой параметров запросов. - условное форматирование, обеспечивающее выделение символами, цветом фона и шрифта, размером шрифта существенных отклонений. Условное форматирование предоставляет возможности вычисления условий на основе сравнения показателей, задания предельных величин, формул. - настройка дизайна отчета в визуальной среде, с сохранением корпоративного стиля для последующего применения. - настройка графиков, диаграмм, карт, приборов в визуальной среде, включая связь с данными, взаимную связь визуальных компонент, дизайн. - OLAP-отчет (интерактивный отчет, включающий таблицы, графики, приборы, карты, отображающие данные OLAP-куба, и обеспечивающий выполнение основных OLAP-операций);

№ п.п	Наименование Информация о КТРУ	Характеристики и функции ПО
		<ul style="list-style-type: none"> - текстовый отчет (неинтерактивный отчет произвольной формы, например, HTML-страница, отображающий данные кубов или запросов к БД в виде фиксированных таблиц, графиков, приборов, карт, текстов, изображений); - панель управления (dashboard) (отчет, интегрирующий разнородные данные на одном экране в виде совокупности таблиц, графиков, приборов, карт из разных аналитических отчетов). - алгоритмы агрегации данных: сумма, среднее, минимум, максимум, баланс. - язык формул и библиотека функций с возможностью вычисления отклонений между периодами, сравнения показателей, поддержкой произвольным арифметическим операций над данными, условных операторов, функций математического анализа. - кластерный анализ, включая произвольную группировку измерений, автоматическое вычисление рейтингов, разбиение на группы (кластеры) по заданным алгоритмам. - ведение библиотеки аналитических отчетов с возможностями модификации ранее настроенных отчетов, копирования отчетов, группировки отчетов в папки, коллективной работы группы авторов над отчетами. - настройка иерархических каталогов (рубрикаторов) отчетов в визуальном интерфейсе для публикации отчетов в web, в том числе ведение атрибутов и метаданных – наименования, описания отчета и папки, дат создания и модификации, ответственных, иконки для папки и отчета. - web-публикации обеспечивают работу в режиме «тонкого» клиента, т.е. не требуют установки дополнительного ПО на компьютеры пользователей. Поддерживается стандарт HTML 5 для обеспечения мультиплатформенности. - web-публикации отображают иерархический каталог (рубрикатор) аналитических отчетов, для мобильных устройств каталог отображается в виде кнопок, для ПК - в виде иерархических папок. Элементы каталога имеют наименование, иконку, описание, а также метаданные, настраиваемые авторами отчетов. - в «тонком» клиенте выполняются все основные аналитические операции: фильтрация по произвольному сочетанию измерений, углубление, «сверление» сквозь данные. - экспорт отчетов в форматы PDF, MS Excel, MS Word, данных отчета в CSV, а также печать отчета, поиск внутри отчета, распаивание отдельных визуальных компонентов отчета на полный экран. - обеспечение настройки учетных записей пользователей, разграничение прав пользователей на отчеты и операции с ними, авторизация пользователей. - обеспечение удаленной работы авторов отчетов и администраторов с возможностью создания, модификации и публикации отчетов в web.

5. Программно-аппаратный комплекс для диспетчерского зала

Состав и характеристики ПАК для диспетчерского зала приведены в Таблице Г.5.

Таблица Г.5 – Состав и характеристики ПАК для диспетчерского зала

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
	Программно-аппаратный комплекс в составе:	Назначение: для обеспечения возможности проведения видеоконференцсвязи с использованием демонстрации разрабатываемых систем/интерфейсов		Шт.	1
	ЖК-панель	ЖК дисплей	Наличие	Шт.	12
		Диагональ экрана, дюйм	Не менее 54 и не более 56		
		Тип подсветки D-LED	Наличие		
		Разрешение 1920 x 1080	Наличие		
		Частота обновления, Гц	Не менее 60		
		Углы обзора, град.	Не менее 178/178		
		Размер стыка, мм	Не более 3,5		
		Яркость, кд/м2	Не менее 500		
		Контрастность	Не менее 1200:1		
		Время отклика, мс	Не более 8		
		Режим работы, 24/7	Наличие		
		Срок службы, ч.	Не менее 50 000		
		Горизонтальная и вертикальная ориентация	Наличие		
		Крепление VESA	Наличие		
		Входной интерфейс HDMI IN, шт.	Не менее 2		
		Входной интерфейс Display Port IN, шт.	Не менее 2		
		Входной интерфейс RS-232 IN, шт.	Не менее 1		
		Выходной интерфейс RS-232 OUT, шт.	Не менее 1		
		ИК интерфейс, шт.	Не менее 1		
		Интерфейс USB, шт.	Не менее 1		
		Интерфейс LAN, шт.	Не менее 1		
		Выходной интерфейс Display Port OUT, шт.	Не менее 1		
		Энергопотребление, Вт	Не более 250		
	Минимальный диапазон электропитания, В	Не более 100			
	Максимальный диапазон электропитания, В	Не менее 240			
	Вес устройства, кг	Не более 30			
	Крепление ЖК-панели	Совместимость с ЖК панелью	Наличие	Шт.	12
		Конструкция кронштейна для видеостен (выдвижной)	Наличие		
		Максимальная нагрузка, кг	Не менее 60		
		Крепление VESA, мм	Не менее 600x400		
		Минимальный вынос от поверхности, мм	Не более 110		
		Максимальный вынос от поверхности, мм	Не менее 330		
		Цвет черный	Наличие		

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
	BYOD-шлюз	Межплатформенная совместимость	Наличие	Шт.	1
		До 4-х пользователей должны иметь возможность одновременно выводить материалы в фиксированном режиме экрана	Наличие		
		Поддержка Apple AirPlay	Наличие		
		Поддержка операционных систем: Windows 7, 8, 10 и более поздние версии macOS X, 10.9 и более поздние версии Android 4.1 и более поздние версии iOS 9 и более поздние версии	Наличие		
		Максимальное количество подключенных пользователей	не менее 64		
		Выходное разрешение	Не менее 1080p		
		Интерфейс вывода видео HDMI	Не менее 1		
		Интерфейс вывода видео VGA	Не менее 1		
		Интерфейс вывода аудио через HDMI	Наличие		
		Интерфейс вывода аудио через разъем 3,5мм	Наличие		
		Протокол аутентификации WEP, WPA/WPA2PSK	Наличие		
		Протокол беспроводной передачи 2,4 ГГц (b/g/n) / 5 ГГц (a/n)	Наличие		
		Интерфейс Ethernet, RJ-45	Не менее 1		
		Интерфейс USB 2.0	Не менее 3		
	PTZ-камера	Поддержка сигналов: HD: 1080p/60, 1080p/50, 1080i/60, 1080i/50, 1080p/30, 1080p/25, 720p/60, 720p/50, 720p/30, 720p/25, SD: 480i, 576i	Наличие	Шт.	2
		Матрица 1/2.7, CMOS	Наличие		
		Оптический зум	Не менее 30x		
		Цифровой зум	Не менее 8x		
		Минимальное фокусное расстояние, мм	Не более 4.5		
		Максимальное фокусное расстояние, мм	Не менее 130		
		Минимальное освещение, люкс	Не более 0,05		
		Отношение сигнал /шум, дБ	Не менее 55		
		Минимальный горизонтальный угол обзора, град.	Не более 2,5		
		Максимальный горизонтальный угол обзора, град.	Не менее 60		
		Минимальный вертикальный угол обзора, град.	Не более 1,5		
		Максимальный вертикальный угол обзора, град.	Не менее 34		
		Диапазон горизонтального вращения, град.	Не менее ±170		
		Диапазон вертикального вращения, град.	От -30 ~ до +90		
		Минимальная скорость панорамирования, град./с	Не более 2		
Максимальная скорость панорамирования, град./с	Не менее 100				

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
		Максимальная скорость наклона, град./с	Не более 2		
		Максимальная скорость наклона, град./с	Не менее 65		
		Заморозка изображения	Наличие		
		Локальное хранилище	Наличие		
		Питание PoE	Наличие		
		Количество предустановок (пресетов), шт.	Не менее 255		
		Поддержка сжатия видео: H.264/H.265/MJPEG	Наличие		
		Поддержка основных и дополнительных потоков	Наличие		
		Разрешение основного потока, пиксель	Не менее 1920x1080		
		Разрешение дополнительного потока, пиксель	Не менее 720x576		
		Минимальный битрейт видео, Кбит/с	Не более 32		
		Максимальный битрейт видео, Кбит/с	Не менее 20 000		
		Поддержка сжатия аудио AAC	Наличие		
		Поддержка протоколов: TCP/IP, HTTP, RTSP, RTMP, ONVIF, DHCP, Multicast	Наличие		
		Интерфейс вывода видео HDMI, шт.	Не менее 1		
		Интерфейс вывода видео 3G-SDI, шт.	Не менее 1		
		Сетевой интерфейс RJ-45, шт.	Не менее 1		
		Коммуникационный интерфейс RS-232/485, шт.	Не менее 1		
		Аудио интерфейс, Line IN	Не менее 1		
		Вес устройства, кг	Не более 2,5		
	Потолочный кронштейн для PTZ-камеры	Совместимость с PTZ камерой	Наличие	Шт.	2
	Карта захвата HDMI	Поддержка масштабирования с 4K/60 до 1080p/60	Наличие	Шт.	2
		Захват видео с разрешением до 4K/60 и трансляция через USB 3.0 с разрешением до 1080/60p	Наличие		
		Поддержка H.264	Наличие		
		Автоматическое определение формата видео	Наличие		
		Аудиовход для микрофона и аудиовыход для наушников или активных динамиков	Наличие		
		Микширование микрофона и источника звука	Наличие		
		Поддержка ОС Windows 7/8.1/10, Mac и Linux	Наличие		
		Совместимость с OBS Studio	Наличие		
		Интерфейс вывода видео HDMI (Loop Out), шт.	Не менее 1		
		Интерфейс захвата видео HDMI, шт.	Не менее 1		

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
		Интерфейс USB 3.0	Не менее 1		
	Мультивьювер	Поддержка входных разрешений от 640x480 до 4096x2160@60Гц	Наличие	Шт.	1
		Поддержка выходных разрешений до 4096x2160@60Гц	Наличие		
		Поддержка раскладки картинки на экране: PIP, PBP, POP, 4-х экранный режим, полная картинка	Наличие		
		Поддержка совместимости HDCP 1.4/2.2	Наличие		
		Поддержка фоновой картинки	Наличие		
		Поддержка HDMI 2.0	Наличие		
		Входной интерфейс HDMI IN, шт.	Не менее 4		
		Выходной интерфейс HDMI OUT, шт.	Не менее 2		
		Интерфейс RS-232, шт.	Не менее 1		
		Выходной интерфейс Audio OUT, шт.	Не менее 1		
		Интерфейс Ethernet, шт.	Не менее 1		
	Комплект из приемника и передатчика HDMI / HDBT	Поддержка HDMI 1.4a	Наличие	Шт.	21
		Максимальное расстояние передачи контента с разрешением 4K/30 (4:4:4), 4K/60 (4:2:0), м	Не менее 40		
		Максимальное расстояние передачи контента с разрешением 1080p, м	Не менее 70		
		ИК (инфракрасный) интерфейс	Наличие		
		Интерфейс HDMI	Наличие		
		Интерфейс HDBT, RJ-45	Наличие		
		Поддержка передачи информации по кабелю категории 5е или лучше	Наличие		
	Матричный коммутатор HDMI	Поддержка видеоразрешений: 480i, 576i, 480p, 576p, 720p, 1080i, 1080p@24/30/50/60 Гц, 4K@30/60Гц	Наличие	Шт.	1
		Поддержка HDCP 1.4/ 2.2	Наличие		
		Поддержка глубины цвета 10 и 12 бит	Наличие		
		Поддержка аудио: LPCM 7.1CH, Dolby TrueHD, Dolby Digital Plus, Dolby Atmos, DTS-HD Master Audio	Наличие		
		Кнопки управления и ЖК дисплей на фронтальной панели	Наличие		
		Входной интерфейс HDMI IN, шт.	Не менее 8		
		Выходной интерфейс HDMI OUT, шт.	Не менее 8		
		Интерфейс RS-232, шт.	Не менее 1		
		ИК интерфейс IR, шт.	Не менее 1		
		Выходной интерфейс Audio OUT, шт.	Не менее 8		
		Интерфейс Ethernet, шт.	Не менее 1		
	Корпус лючка круглый	Тип крепления: в мебель	Наличие	Шт.	1
		Рабочее напряжение 220 В переменного тока 50/60 Гц	Наличие		
	Вставка USB в круглый лючок	Совместимость с корпусным лючком круглым	Наличие	Шт.	1

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
		Интерфейс USB 3.0	Наличие		
	Вставка HDMI в круглый лючок	Совместимость с корпусным лючком круглым	Наличие	Шт.	1
		Поддержка HDMI 2.0	Наличие		
	Вставка CAT6 в круглый лючок	Совместимость с корпусным лючком круглым	Наличие	Шт.	1
		Коннектор RJ-45	Наличие		
	Корпус лючка прямоугольный	Способ монтажа: в мебель	Наличие	Шт.	1
		Модульное решение	Наличие		
	Рамка в прямоугольный лючок	Совместимость с корпусом лючка прямоугольного	Наличие	Шт.	1
	Вставка 220В в прямоугольный лючок	Совместимость с корпусом лючка прямоугольного	Наличие	Шт.	2
		Модуль-переходник сетевой розетки	Наличие		
	Вставка аудио в прямоугольный лючок	Совместимость с корпусом лючка прямоугольного	Наличие	Шт.	1
		Модуль-переходник VGA/minijack 3.5 mm	Наличие		
	Вставка HDMI в прямоугольный лючок	Совместимость с корпусом лючка прямоугольного	Наличие	Шт.	1
		Модуль-переходник HDMI	Наличие		
	Вставка CAT6 в прямоугольный лючок	Совместимость с корпусом лючка прямоугольного	Наличие	Шт.	1
		Модуль-переходник RJ45	Наличие		
	Презентационный коммутатор	Входной интерфейс HDMI IN 2.0, шт.	Не менее 3	Шт.	1
		Входной интерфейс DisplayPort IN 1.2a, шт.	Не менее 1		
		Входной интерфейс VGA IN, шт.	Не менее 1		
		Входной интерфейс аудио 3,5мм для VGA IN, шт.	Не менее 1		
		Выходной балансный интерфейс аудио 5pin Phoenix, шт.	Не менее 1		
		Интерфейс USB-C, шт.	Не менее 1		
		Выходной интерфейс HDMI OUT, шт.	Не менее 1		
		Интерфейс Ethernet, шт.	Не менее 1		
		Поддержка разрешений на интерфейсах HDMI IN и DisplayPort IN до 4K/60 (4:4:4)	Наличие		
		Поддержка разрешения на интерфейсе VGA до 1920x1200@50/60Гц	Наличие		
		Поддержка разрешений на интерфейсе HDMI OUT до 4K/60 (4:4:4)	Наличие		
		Поддержка разрешений на интерфейсе USB до 4K/30	Наличие		
		Поддержка HDCP 2.2	Наличие		
		Поддержка СЕС для удаленного управления конечными устройствами	Наличие		
	Видеоконтроллер	Шасси с резервированием по электропитанию 1+1	Наличие	Шт.	1
		Активная система охлаждения процессора	Наличие		

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
		Количество ядер процессора, шт.	Не менее 14		
		Тип процессора Intel Xeon	Наличие		
		Максимальная частота работы процессора, ГГц	Не менее 4		
		Общий объем оперативной памяти, Гб	Не менее 32		
		Рабочая частота шины одной планки оперативной памяти, МГц	Не менее 3200		
		Тип оперативной памяти DDR4	Наличие		
		Общий объем памяти видеокарты, Гб	Не менее 64		
		Тип памяти видеокарты GDDR6	Наличие		
		Общий объем памяти SSD дисков, Гб	Не менее 960		
		8-ми канальная звуковая плата	Наличие		
		Дополнительная корзина HDD 2x2.5"	Наличие		
		Входные интерфейсы HDMI IN, шт.	Не менее 4		
		Максимальное разрешение входного интерфейса HDMI IN 4K@60Гц	Наличие		
		Выходной интерфейс DisplayPort OUT, шт.	Не менее 16		
		Настройка RAID 0\1\5	Наличие		
		Операционная система Windows 10 Pro	Наличие		
		Расширенная гарантия, мес.	Не менее 36		
		Расширенная техническая поддержка, мес.	Не менее 36		
		Стоечное исполнение для установки в 19" шкаф	Наличие		
		Комплект телескопических направляющих	Наличие		
Энергопотребление, Вт	Не более 1000				
КВМ-консоль 19"		консоль ЖК монитором, клавиатурой и мышью типа тачпад в едином выдвижном корпусе	Наличие	Шт.	1
		Диагональ ЖК монитора, дюйм	Не менее 19		
		Яркость, Кд/м2	Не менее 250		
		Контрастность	Не менее 1000:1		
		Угол обзора по горизонтали, град.	Не менее 170		
		Угол обзора по вертикали, град.	Не менее 160		
		Количество поддерживаемых компьютеров, шт.	Не менее 8		
		Поддержка интерфейсов PS/2, USB	Наличие		
		Автоматическое определение интерфейсов PS/2 и USB	Наличие		
		Поддержка качества видеоизображения до 1280x1024@75Гц	Наличие		
		Мульти-платформенная поддержка – Windows 2000/XP/Vista, Linux, Mac	Наличие		
		Переключение между компьютерами с использованием клавиш на передней панели, горячих клавиш с клавиатуры или	Наличие		

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
		через многоязычное экранное меню (OSD)			
		Поддержка безопасности с двухуровневыми паролями	Наличие		
		Поддержка «горячая замены»	Наличие		
		Возможность монтажа в стойку	Наличие		
		Поддержка русского языка	Наличие		
		Стоечное исполнение	Наличие		
	Звуковая колонна	Тип звуковой колонны: активный линейный массив	Наличие	Шт.	2
		Количество 4-х дюймовых излучателей, шт.	Не менее 14		
		Количество одно дюймовых излучателей, шт.	Не менее 4		
		Минимальный частотный диапазон линейного массива, Гц	Не более 130		
		Максимальный частотный диапазон линейного массива, Гц	Не менее 18000		
		Горизонтальный угол раскрыва луча, град.	Не менее 130		
		Поддержка регулировки вертикального угла раскрыва луча при помощи цифрового алгоритма	Наличие		
		Максимальный уровень звукового давления (на 30м), дБ	Не менее 90		
		Динамический диапазон, дБ	Не менее 100		
		Мощность (RMS) при 4 Ом, Вт	Не менее 8x40		
		Размеры (Ш x В x Г), мм	Не более 135x2800x100		
		Вес устройства, кг	Не более 25		
	Крепление звуковой колонны	Совместимость со звуковой колонной	Наличие	Шт.	2
		Тип крепления: поворотный настенный	Наличие		
	Аудиопроцессор	Звуковой аудиопроцессор с матричной структурой коммутации аудиосигналов	Наличие	Шт.	1
		Количество входов с микрофонным/линейным уровнем сигнала с АЕС, шт.	Не менее 12		
		Количество выходов с микрофонным/линейным уровнем сигнала	Не менее 8		
		Количество настраиваемых каналов передачи звука по USB, шт.	Не менее 8		
		Количество логических входов/выходов (GPIO)	Не менее 4		
		Порт Gigabit Ethernet, шт.	Не менее 1		
		Интерфейс управления RS-232, шт.	Не менее 1		
		Фантомное питание +48 В пост. тока	Наличие		
		Динамический диапазон от 22 Гц до 22 кГц, дБ	Не менее 108		
		Частота дискретизации, кГц	Не менее 48		
		Кэф. гармонических искажений + шум (20Гц~20кГц): при усилении 0 дБ, вход +4 dBu, %	Не более 0,006		

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
		Коэф. гармонических искажений + шум (20Гц~20кГц): при усилении 54 дБ, вход -50 dBu, %	Не более 0,040		
		Минимальное входное усиление, дБ	Не более 0		
		Максимальное входное усиление, дБ	Не менее 66		
		Настройка и управление маршрутизацией сигналов, микшированием, эквалайзером, фильтрами, задержкой с помощью ПО	Наличие		
		Встроенный универсальный блок питания	Наличие		
		OLED-дисплей с емкостным сенсорным управлением	Наличие		
		Возможность установки в рэк (1U)	Наличие		
		Настройка и управление системой по Ethernet	Наличие		
	Радиосистема	Радиосистема двухканальная с двумя ручными микрофонами	Наличие	К-т	1
		Частотный диапазон 470-510 МГц	Наличие		
		ЖК дисплей	Наличие		
		Функция автоматического сканирования частоты SCAN	Наличие		
		Частотный диапазон, дБ	Не менее 100		
		Количество каналов	Не менее 100		
		Минимальная частотная характеристика, Гц	Не более 80		
		Максимальная частотная характеристика, Гц	Не менее 18000		
		Соотношение сигнал-шум, дБ	Не менее 105		
		Интерфейс для подключения антенн BNC/50 Ом	Наличие		
		Количество выходных балансных аудиоинтерфейсов XLR, шт.	Не менее 2		
		Количество выходных небалансных аудиоинтерфейсов 6,3мм Jack, шт.	Не менее 2		
		Возможность установки приемника в рэковую стойку (монтажные уши должны быть в комплекте)	Наличие		
	Зарядное устройство	Универсальное зарядное устройство	Наличие	Шт.	2
		Типоразмер аккумулятора, AA	Наличие		
		Типоразмер аккумулятора, AAA	Наличие		
		Комплектные аккумуляторы типоразмер AA, шт.	Не менее 4		
		Емкость комплектных аккумуляторов, мА*ч	Не менее 2700		
Напряжение 1,2 В	Наличие				
	Контроллер программируемый	Сервер управления в составе:	Наличие	Шт.	1
		Частота процессора, ГГц	Не менее 1		
		Оперативная память, Мб	Не менее 512		
		Энергонезависимая память, Гб	Не менее 4		
		Интерфейс LAN	Не менее 1		
Интерфейс RS-485	Не менее 1				

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
		Интерфейс USB A	Не менее 1		
		Максимальное количество тегов	Не менее 7 000		
		Среда разработки интерфейсов визуализации в комплекте	Наличие		
	Разветвитель RS232	Передача управляющих сигналов посредством канала TCP/IP	Наличие	Шт.	5
		Количество портов RS-232	Не менее 4		
		Количество портов Ethernet	Не менее 1		
	Трибуна	Тип материала: ЛДСП	Наличие	Шт.	1
		Толщина ЛДСП, мм	Не менее 16		
		Ширина трибуны, мм	Не менее 500		
		Глубина трибуны, мм	Не менее 500		
		Высота трибуны, мм	Не менее 1150		
	Стол, тип 1	Материал столешницы из ламинированной ДСП	Наличие	Шт.	4
		Усиленный механизм сложения ног из металла	Наличие		
		Защитный противоударный кант из пластика	Наличие		
		Стопорный механизм для предотвращения складывания стола в рабочем положении	Наличие		
		Ножки должны быть снабжены регулируемой опорой и заглушками для компенсации неровностей пола	Наличие		
		На все окончания деталей должны быть установлены пластиковые заглушки	Наличие		
		Замки для соединения	Наличие		
		Высота экрана, мм	Не менее 300		
		Габаритные размеры 1800x900x750, мм	Наличие		
	Стол, тип 2	Материал столешницы из ламинированной ДСП	Наличие	Шт.	1
		Усиленный механизм сложения ног из металла	Наличие		
		Защитный противоударный кант из пластика	Наличие		
		Стопорный механизм для предотвращения складывания стола в рабочем положении	Наличие		
		Ножки должны быть снабжены регулируемой опорой и заглушками для компенсации неровностей пола	Наличие		
		На все окончания деталей должны быть установлены пластиковые заглушки	Наличие		
		Высота экрана, мм	Не менее 300		
		Габаритные размеры 1800x900x750, мм	Наличие		
	Подставка под ПК	Высота, мм	Не менее 175	Шт.	1
		Ширина, мм	Не менее 300		
		Глубина, мм	Не менее 500		
	Полка 19"	Консольная полка переднего крепления на направляющие	Наличие	Шт.	6

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
		шкафов и стоек 19"			
		Перфорация	Наличие		
		Максимальная нагрузка, кг	Не менее 20		
		Покрытие - порошковая ударопрочная краска	Наличие		
		Цвет: черный	Наличие		
		Толщина стали, мм	Не менее 1,3		
		Поддержка стандартного крепежа для 19" стоек	Наличие		
		Высота полки, мм	Не более 90		
		Габаритный диапазон глубины полки от 300 до 400мм	Наличие		
	Блок розеток	Номинальный ток нагрузки, А	Не менее 16	Шт.	8
		Номинальное напряжение, В	230		
		Рабочая частота, Гц	50		
		Длина кабеля питания, м	Не менее 1,8		
		Тип розеток: Schuko	Наличие		
		Количество розеток, шт.	Не менее 8		
		Кнопка выключателя	Наличие		
		Возможность установки на направляющие 19" шкафов и стоек	Наличие		
		Расположение розеток по углом 45 градусов	Наличие		
Комплект крепежа для монтажа в 19" стойку или шкаф	Наличие				
	ПК администратора	Активная система охлаждения процессора	Наличие	Шт.	1
		Количество ядер процессора, шт.	Не менее 4		
		Тип процессора	x86 64bit		
		Максимальная частота работы процессора, ГГц	Не менее 3,8		
		Общий объем оперативной памяти, Гб	Не менее 32		
		Рабочая частота шины одной планки оперативной памяти, МГц	Не менее 1600		
		Тип оперативной памяти DDR3	Наличие		
		Количество разъемов для установки модулей оперативной памяти	Не менее 4		
		Количество интерфейсов EthernetRJ-45, не менее	2		
		Скорость интерфейсаEthernet, Гбит/с	Не менее 1000		
		Общее количество интерфейсов PCIExpress, не менее	3		
		Количество интерфейсов PCIExpressx8, не менее	2		
		Выделенный сетевой порт управления	Наличие		
		Тип видеокарты	Дискретная		
		Общий объем памяти видеокарты, Гб	Не менее 4		
		Тип памяти видеокарты GDDR6	Наличие		
Тип системы охлаждения видеокарты	Активное				
Общий объем памяти SSD дисков, Гб	Не менее 240				

№	Наименование компонентов	Требуемые характеристики	Требуемые значения	Ед. изм.	Кол-во
		Общий объем памяти HDD дисков, Гб	Не менее 4000		
		Дисковая корзина HDD 2x5.25"	Наличие		
		Дисковая корзина HDD 4x3.5"	Наличие		
		Количество выходных интерфейсов видеокарты	Не менее 4		
		Тип выходных интерфейсов видеокарты Mini DisplayPort	Наличие		
		Настройка RAID 0\1\5	Наличие		
		Операционная система Windows 10 Pro	Наличие		
		Расширенная гарантия, мес.	Не менее 36		
		Расширенная техническая поддержка, мес.	Не менее 36		
		Башенное исполнение	Наличие		
		Энергопотребление, Вт	Не более 300		
		Привод DVD-RW	Наличие		
		Количество мониторов	Не менее 2		
		Диагональ монитора, дюймов	Не менее 34		
		Разрешение монитора, пикселей	Не менее 3440x1440		
		Соотношение сторон	21:9		
		Тип матрицы монитора	IPS		
		Яркость монитора, не менее	400 cd/m2		
		Угол обзора по горизонтали, градусов	Не менее 178		
		Угол обзора по вертикали, градусов	Не менее 178		
		Возможность поворота монитора	Наличие		
		Возможность регулировки высоты монитора	Наличие		
		Ход регулировки по высоте, мм	Не менее 150		
		Наличие портов HDMI у монитора	Не менее 1		
		Наличие портов DisplayPort у монитора	Не менее 2		
		Наличие портов USB3.0 у монитора	Не менее 2		
		Клавиатура	Наличие		
		Манипулятор типа «мышь»	Наличие		
		Количество кнопок клавиатуры	Не менее 101		
		Формат клавиатуры	Полноразмерная		
		Интерфейс подключения клавиатуры	Проводной		
		Количество кнопок мыши	Не менее 3		
		Интерфейс подключения мыши	Проводной		
		Операционная система	Windows 10 Pro		