

СИСТЕМА «ВЕГА-SCIENCE»: ВОЗМОЖНОСТИ РАБОТЫ С ДАННЫМИ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗЕМЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

ЛУПЯН Евгений Аркадьевич, доктор технических наук

ПРОШИН Андрей Алексеевич, кандидат технических наук

БУРЦЕВ Михаил Александрович, кандидат технических наук

ТОЛПИН Владимир Аркадьевич, кандидат технических наук

Институт космических исследований РАН



DOI: 10.7868/S0044394825010050

Поступила в редакцию: 31.03.2025

Принята к публикации: 31.03.2025

Статья посвящена системе «ВЕГА-Science», предназначенной для работы с данными сверхбольших распределенных архивов центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных Института космических исследований Российской академии наук (ЦКП «ИКИ-Мониторинг», <http://ckp.geosmis.ru/>). Система была создана в 2012 г., в настоящее время ее пользователями являются более 150 различных научных и образовательных организаций. С ее использованием выполнено и ведется более 100 различных российских и международных проектов, по результатам которых уже вышло более 900 публикаций. В статье рассматривается сама система, основные технологии, разработанные в ИКИ РАН и лежащие в ее основе, а также приводятся примеры задач и направлений исследований, для которых система применяется.

ВВЕДЕНИЕ

Данные спутниковых систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в настоящее время практически неза-

менимы при решении широкого спектра различных задач, связанных с мониторингом природной среды и антропогенных факторов. Это стало возможным благодаря стремительному развитию спутниковых систем ДЗЗ

в последние десятилетия, которое сопровождалось практически экспоненциальным ростом числа действующих космических аппаратов, существенным повышением качества и разнообразия получаемых с них данных, а также появлением множества новых и более эффективных методов обработки таких данных. В свою очередь, это привело к резкому увеличению объемов информации, используемой специалистами для решения реальных задач, и к такому же стремительному росту требований к необходимым для этого вычислительным ресурсам. В результате традиционный подход к использованию спутниковых данных, в рамках которого специалисты получали интересные их наборы данных из центров распространения спутниковой информации, а затем хранили и обрабатывали их на базе локальной инфраструктуры, во многих случаях оказывается крайне затратным и практически нереализуемым. Поэтому возникла необходимость в создании новых подходов к работе со спутниковой информацией, которые позволили бы не только предоставить доступ к данным сверхбольших архивов ДЗЗ, но и обеспечить их анализ и обработку с использованием коллективно используемых вычислительных ресурсов. В настоящее время можно выделить два основных направления развития таких подходов.

В рамках первого направления пользователям предоставляются услуги виртуального хостинга, позволяющего создавать и выполнять процедуры обработки спутниковых данных, используя данные сверхбольших архивов ДЗЗ. По сути, пользователи могут арендовать вычислительные ресурсы с требуемыми характеристиками, на которых можно размещать собственное ПО обработки и анализа данных или обращаться к уже предоставленному. Лидером среди систем

такого типа является созданная компанией Google в 2013 г. система *Earth Engine* (<https://earthengine.google.com/>). С использованием синхронизированной распределенной модели вычислений *Earth Engine* может проводить запрограммированную пользователем обработку больших объемов геопространственных данных на вычислительных ресурсах Google. Важным преимуществом подходов, развивающихся в данном направлении, является их гибкость, однако при этом они требуют от исследователей компетенций в области написания программного кода для анализа и обработки данных ДЗЗ, а в некоторых случаях – и навыков администрирования виртуальных хостов.

В рамках второго направления пользователям предоставляется инструментарий, заменяющий настольные приложения анализа пространственных данных, в первую очередь спутниковых данных, который обеспечивает возможность распределенной работы как с архивами данных крупных центров, так и с вычислительными ресурсами, которые они предоставляют для проведения анализа и обработки данных. По сути, пользователям предоставляются веб-интерфейсы работы с данными – так называемые веб-ГИС. На основе подобных подходов в настоящее время реализуются различные системы, в частности, сервис EO Browser (<https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>). Хотя такие системы несколько ограничивают возможности пользователей по созданию нестандартных и новых методов обработки данных, они позволяют широкому кругу специалистов легко использовать процедуры доступа к сверхбольшим архивам спутниковых данных ДЗЗ, проведения их анализа и обработки, реализованные в системах. Именно в рамках такого подхода в ИКИ РАН уже на протяжении более 20 лет разрабатываются

информационные системы доступа к спутниковым данным, предназначенные для решения различных исследовательских и прикладных задач.

В 2012 г. на основе созданных в ИКИ технологий работы со спутниковыми данными был создан Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ИКИ РАН, предназначенный для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды – ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru>). Для обеспечения доступа научных коллективов и проектов к спутниковым данным и их анализа в его составе была создана уникальная научная информационная система «ВЕГА-Science» (<http://sci-vega.ru/>). Система обеспечивает интерактивную работу со сверхбольшими архивами ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и представляет пользователям большой набор картографических и аналитических веб-интерфейсов и инструментов, позволяющих проводить сложные операции по обработке и анализу больших объемов данных с использованием вычислительных ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг». «ВЕГА-Science» позволяет в полной мере использовать все возможности инфраструктуры ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и предоставляемые центром сверхбольшие архивы спутниковых данных и результатов их обработки для решения различных научных и прикладных задач. Во многих случаях это позволяет пользователям полностью избежать необходимости создания специальной дорогостоящей инфраструктуры работы со спутниковыми данными в интересах отдельных научных и прикладных проектов.

Основной целью при создании системы «ВЕГА-Science» была максимальная доступность и простота работы с огромными объемами данных ДЗЗ с возможностью их обра-

ботки и анализа с использованием вычислительных ресурсов предоставляемых ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Это позволяет пользователю, имея на своем компьютере лишь привычный веб-браузер и возможность доступа к сети Интернет, вести эффективную обработку и анализ данных дистанционного зондирования Земли.

В настоящее время по возможностям интерактивной распределенной обработки и анализа спутниковых данных система «ВЕГА-Science» не имеет аналогов в России и сопоставима с лучшими зарубежными аналогами, а по некоторым функциям даже превосходит их. На текущий момент возможностями этой уникальной научной установки и информационных систем, построенных на ее основе, пользуется значительное число различных научных и образовательных организаций.

Настоящая статья посвящена описанию особенностей системы «ВЕГА-Science», ее основных возможностей и опыта использования при решении различных научных и прикладных задач. В ней кратко описывается архитектура построения системы и основные технологии разработанные в ИКИ РАН, использованные при ее создании. Также представлены основные возможности системы «ВЕГА-Science» и на примерах рассмотрен опыт ее использования системы при решении различных научных и прикладных задач.

АРХИТЕКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ «ВЕГА-SCIENCE»

Система «ВЕГА-Science» входит в состав ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (далее ЦКП) и является основным инструментом для работы с данными сверхбольших распределенных архивов центра – фактически его лицом. Общая схема функционирования системы, показывающая

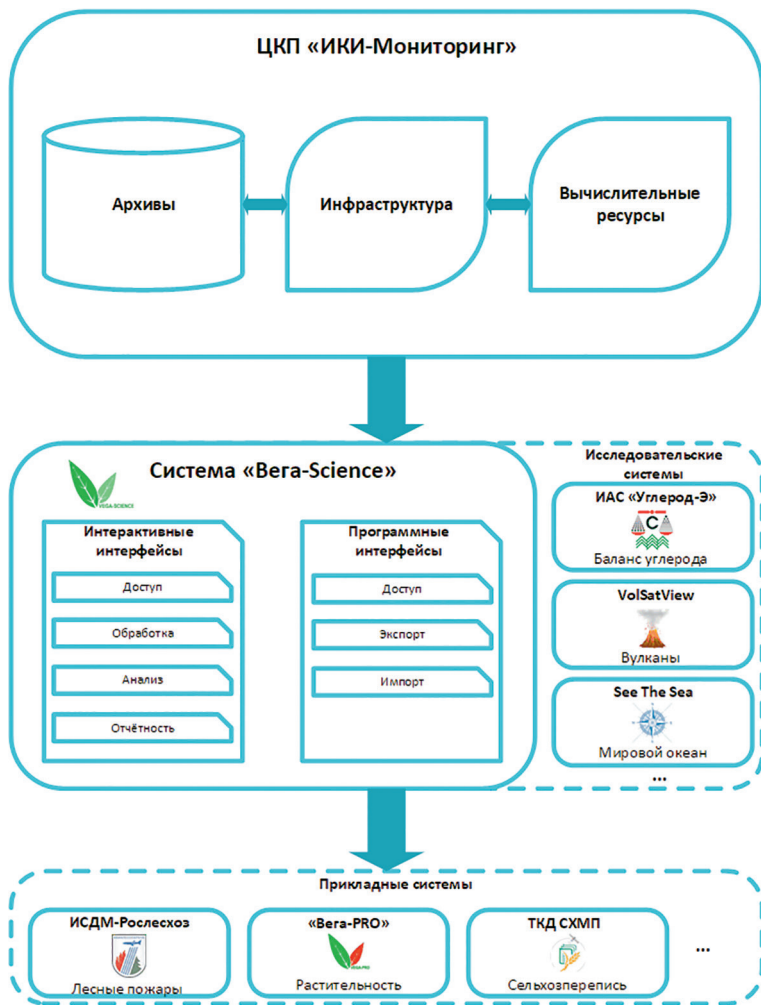


Рис. 1. Принципиальная схема функционирования системы «ВЕГА-Science» в составе ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

ее место в составе ЦКП, приведена на рис. 1. На схеме представлен сам ЦКП и его основные ресурсы, которые доступны через систему «ВЕГА-Science», в первую очередь – распределенные архивы данных и вычислительные ресурсы для обработки и анализа данных. Кроме того, реализованные в рамках ЦКП программные шлюзы позволяют полноценно использовать в работе системы данные из внешних источников. По такой схеме в системе доступ-

ны как данные российских спутниковых систем, содержащиеся, например, в архивах Геопортала Роскосмоса (<http://next.gptl.ru/>), так и данные различных зарубежных спутниковых систем. Также на схеме представлены базовые возможности работы с данными и интерфейсы, которые предоставляет пользователям система «ВЕГА-Science».

Одной из особенностей построения системы «ВЕГА-Science» является её модульность. Помимо того, что она

позволяет расширять возможности самой системы, не меняя ее архитектуры, она позволяет быстро и относительно просто создавать целевые системы дистанционного мониторинга на основе технологий «Веги». Именно таким образом были созданы системы для мониторинга пограничных морей России и мирового океана (*See the Sea*, <http://ocean.smislab.ru>), вулканической активности Камчатки и Северных Курил (*VolSatView*, <http://volcano.es.smislab.ru>) и многие другие, также представленные на схеме.

Еще одной характерной особенностью системы стала ее возможность информационного взаимодействия с внешними системами, т. н. взаимодействия «машина-машина», через программные интерфейсы обмена данными. Эти интерфейсы являются двунаправленными и служат как для импорта данных в систему, так и для предоставления информации внешним системам, также могущим решать самые разнообразные задачи.

Как и ЦКП «ИКИ-Мониторинг», система «ВЕГА-Science» построена на основе технологий и программного обеспечения, разрабатываемых в отделе «Технологии спутникового мониторинга» ИКИ РАН (<http://smiswww.iki.rssi.ru/>). Ниже кратко описаны технологии, использованные при создании и поддержке системы «ВЕГА-Science».

Технология UNISAT

Современные задачи, решаемые с использованием ДЗЗ, требуют все больших объемов данных как с точки зрения пространственного покрытия, так и с точки зрения временной глубины. Кроме того, зачастую для решения многих задач используются результаты комплексной обработки разнородных данных, что позволяет получить более полную информацию об интересующих объектах или процессах. Объемы на-

копленных данных на сегодня превышают петабайтные масштабы, и работа с ними может быть реализована только с использованием систем хранения на базе большого числа серверов хранения данных, в том числе распределенных. Для поддержки использования таких систем в ИКИ РАН была разработана технология UNISAT (см. рис. 2). Она позволяет однотипно реализовать работу с самыми разными типами спутниковых данных, отличающихся как пространственным разрешением, так и схемой организации хранения данных в архиве. Под схемой организации здесь имеется в виду пространственное разбиение данных на отдельные фрагменты и то, по какому принципу эти фрагменты группируются в сцены, которые в результате видит пользователь в интерфейсе. Унификация схемы хранения также существенно облегчает задачу построения веб-интерфейсов для работы со спутниковой и сопутствующей информацией.

Одним из основных преимуществ технологии UNISAT является реализация механизма так называемых «виртуальных продуктов», т. е. продуктов, которые в режиме реального времени формируются по запросу пользователя на основе имеющихся в архиве исходных данных. В качестве таковых, как правило, выступают исходные спектральные каналы прибора наблюдения, но могут использоваться и результаты более глубокой обработки. Это позволяет пользователю работать с очень широким набором данных и продуктов без необходимости физического хранения этих данных в архиве. Более того, за счет механизмов работы с данными, реализованных в интерфейсах системы «ВЕГА-Science», пользователь может не только работать с predeterminedным в системе множеством продуктов, но и самостоятельно создавать необходимые ему продукты, про которые системе

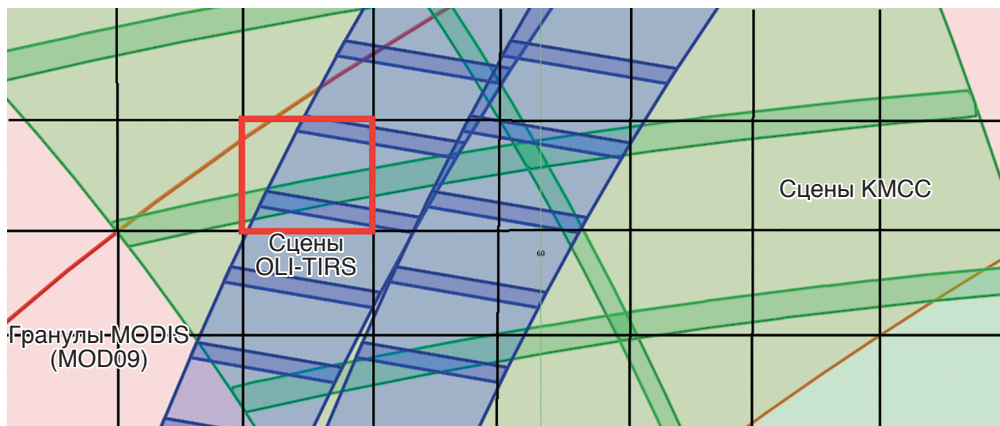


Рис. 3. Пример регулярной сетки разбиения данных

сделать. Такая же задача возникает и тогда, когда необходимо провести совместную обработку разных типов спутниковой информации, имеющих разное пространственное разбиение.

Очевидным решением в этом случае кажется хранение всех спутниковых данных в едином пространственном разбиении, однако по целому ряду причин это нецелесообразно. Во-первых, универсально хорошего разбиения для всех типов данных и алгоритмов обработки не существует. Во-вторых, из этого следует, что для разных случаев одни и те же данные придется хранить в нескольких вариантах разбиения, что слишком затратно. Таким образом, фактически единственным разумным вариантом является подготовка спутниковых данных в требуемом пространственном разбиении для проведения требуемой операции над ними на лету. Именно такую подготовку и обеспечивает технология динамического блочного доступа, когда блоки фиксированного разбиения информации формируются на основе данных, хранящихся в различном виде (проекциях и пространственных покрытиях), только на момент их запроса. На рис. 3 показан пример приведения разно-

родных данных (показаны зеленым, синим и красным цветами) к такому разбиению (черная сетка на рисунке), единичный фрагмент выделен красным контуром.

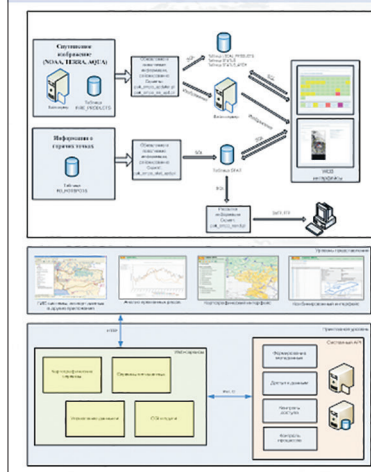
Технология GEOSMIS

Основным инструментом работы с системой «ВЕГА-Science» является картографический веб-интерфейс, посредством которого можно подбирать, просматривать, обрабатывать и анализировать данные, и набор сопутствующих сервисов. Эти интерфейсы и сервисы были созданы на базе технологии GEOSMIS (см. рис. 4).

Интерфейсы на основе этой технологии по структуре и организации схожи с интерфейсами настольных приложений и включают в себя базовую область отображения данных, элементы навигации по карте, а также набор вкладок управления данными. Двухуровневая система вкладок позволяет пользователю выбрать интересующий его тип данных или операцию по их обработке и анализу. Пример такого картографического веб-интерфейса приведен на рис. 5.

Работы по созданию технологии GEOSMIS были начаты в ИКИ РАН еще

Технология построения интерфейсов для распределенной работы с данными (GEOSMIS)



Построение динамических картографических Web-интерфейсов

Поддержка инструментов для распределенной обработки и анализа данных

Работа с динамически формируемыми продуктами

Возможность онлайн-интеграции различных информационных ресурсов и систем мониторинга

Возможность конфигурации интерфейсов под задачи отдельных пользователей

Рис. 4. Основные задачи технологии GEOSMIS

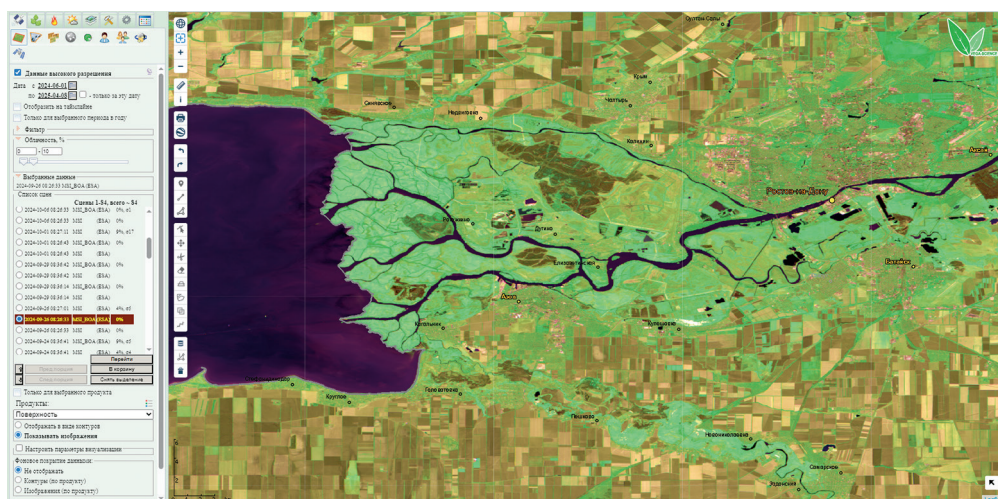
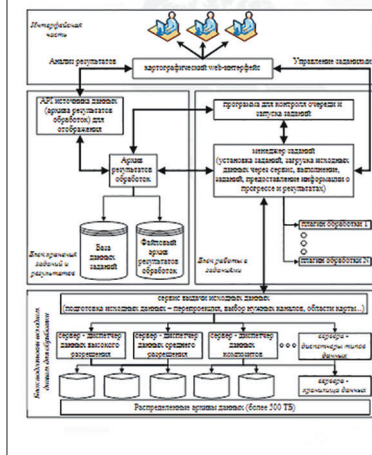


Рис. 5. Пример картографического веб-интерфейса, построенного по технологии GEOSMIS

в 2010 г. Уже тогда было понятно, что системы спутникового мониторинга должны представлять собой сервисы работы с данными как для отдельных пользователей, так и для сторонних систем. Поэтому в базовых программных блоках технологии GEOSMIS был реализован и общий базовый функционал, необходимый для создания

интерфейсов работы со спутниковыми данными, и механизмы для реализации и интеграции дополнительных инструментов и алгоритмов при необходимости и возникновении новых задач. Надо отметить, что базовые блоки GEOSMIS тесно интегрированы с другими технологиями работы с данными, описанными в этой

Технология для создания инструментов удаленной обработки данных с использованием распределенных ресурсов



Позволяет однотипно:

- Создавать блоки управления подбором данных для обработки
- Реализовывать блоки управления различными типами обработки данных (ведение очереди заданий, запуск и контроль исполнения заданий)
- Организовывать хранение заданий и результатов обработки данных (ведение специализированных БД)
- Создавать блоки контроля управления заданиями
- Создавать блоки представления и анализа результатов обработки

Рис. 6. Основные возможности технологии ProcGeoSMIS

работе, что позволяет обеспечить создаваемые сервисы практически неограниченным набором данных и инструментов анализа без переобработки данных в архивах и выделения отдельных мощностей для их хранения. Такой подход при реализации технологии GEOSMIS позволил обеспечить быстрое и малозатратное создание и развертывание новых информационных сервисов на общей базе, но со специфическими настройками и наборами инструментов.

На протяжении всех пятнадцати лет, которые прошли с момента начала разработки технологии, она продолжает развиваться, чтобы отвечать растущим запросам по скорости и надежности работы и меняющимся представлениям пользователей о комфортной работе с картографическими данными. Так, в базовых блоках технологии были поддержаны механизмы описанного выше динамического блочного доступа для работы с изображениями в картографических интерфейсах.

Технология создания интерактивных инструментов для анализа и обработки спутниковых данных ProcGeoSMIS

Как уже отмечалось, одним из основных трендов в развитии систем работы с данными ДЗЗ является существенное увеличение их возможностей в области обработки и анализа данных, доступных пользователю. Традиционные интерфейсы поиска и визуализации данных постепенно превращаются в полноценные веб-ГИС, по своим возможностям не уступающие тяжелым настольным приложениям. Для реализации этого подхода в системах ЦКП «ИКИ-Мониторинг» была создана технология ProcGeoSMIS (см. рис. 6). Она предназначена для создания и интеграции в систему разнородных инструментов для анализа и обработки спутниковых данных как в синхронном и асинхронном режимах. В первом случае пользователь сразу видит результаты обработки, этот сценарий применяется для вычислительно несложных процедур, во втором же пользователь

создает задание на обработку и получает его результаты через какое-то время. Пока же задание обрабатывается, пользователь может продолжать работу в системе. Такой сценарий используется для вычислительно тяжелых задач или задач, требующих обработки значительного объема данных.

ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ «ВЕГА-SCIENCE»

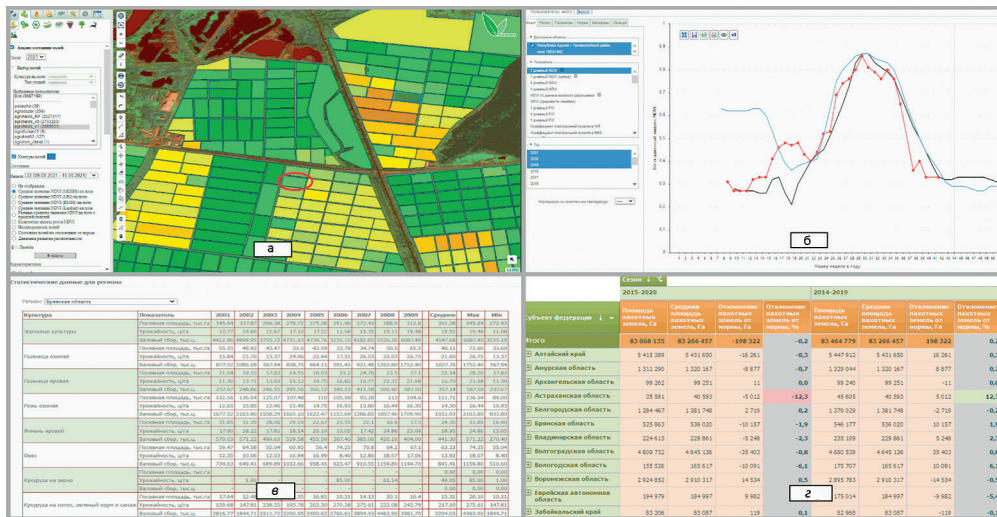
Основные возможности

Система «ВЕГА-Science» (<http://sci-vega.ru/>) представляет собой комплексное веб-приложение, предоставляющее функционал настольных ГИС и аналитических систем, совмещенный с прямым доступом к сверхбольшим архивам данных ДЗЗ. В рамках системы рабочим инструментом пользователя, благодаря которому ему доступны многочисленные возможности доступа,

обработки и анализа данных, является набор многофункциональных веб-интерфейсов. Основным из них является картографический интерфейс, обеспечивающий поиск, просмотр, анализ и интерактивную обработку выбранных экземпляров данных. Также в системе «ВЕГА-Science» реализованы: многофункциональный интерфейс для анализа временных рядов данных в виде графиков, подсистема для получения различных форм отчетности и бюллетеней, а также интерфейс для анализа больших объемов многомерных данных на основе интерактивных отчетных форм, построенных по BI-технологии. Примеры различных типов интерфейсов, реализованных в системе, приведены на рис. 7.

Как уже было отмечено выше, система «ВЕГА-Science» является основным инструментом для работы с данными сверхбольших архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг», поэтому для описания

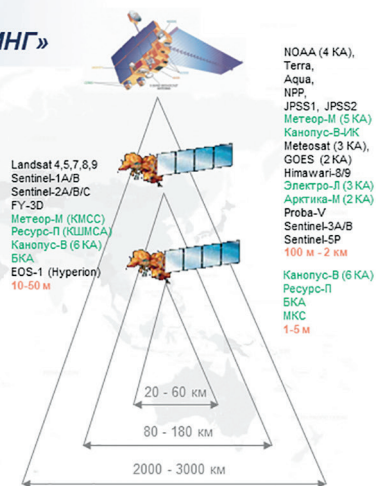
Рис. 7. Примеры использования разных типов интерфейса для задач мониторинга с/х полей: а – карта полей с цветовой индикацией усредненного индекса NDVI за выбранную неделю года, б – графики хода индекса NDVI для выбранного поля за три последних года, в – статистика по площадям и урожайности различных культур для выбранного региона РФ, г – интерактивная форма для получения площадей пахотных земель по разным регионам РФ



Основные спутниковые данные, с которыми работает ЦКП «ИКИ-МОНИТОРИНГ»

- В основном ориентирован на использование **РОССИЙСКИХ** и **ОБЩЕДОСТУПНЫХ** зарубежных данных
- Информация в систему поступает из **РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЦЕНТРОВ** сбора, обработки и архивации спутниковых данных
- Обеспечивает работу с данными **БОЛЕЕ ЧЕМ 50 СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ**
- Обеспечивает работу с данными **БОЛЕЕ ЧЕМ 30 ТИПОВ ПРИБОРОВ** наблюдения
- **ГЛУБИНА АРХИВОВ** более **40 ЛЕТ**

Информация приведена на март 2025 г.



• Зеленым выделены российские и белорусские спутниковые системы

* Система также позволяет работать с различными данными, загружаемыми пользователями

ИКИ

5

Рис. 8. Основные типы данных, доступные в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

ее функционала мы начнем с представления общей информации об архивах центра, с которыми работает система.

Возможности работы с архивами ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

Ядром ЦКП, без которого было бы невозможно представить его работу, являются его архивы. На сегодня они содержат данные более 50 различных приборов наблюдения, установленных более чем на 60 отечественных и зарубежных спутниках дистанционного зондирования Земли (см. рис. 8). В настоящее время суммарный объем доступных пользователям данных превышает 8 петабайт, а в сутки в архивы может поступить более 15 терабайт новых данных.

Доступ к данным российских систем наблюдения в первую очередь обеспечивается благодаря многолетнему плодотворному сотрудничеству с научно-исследовательским центром космической гидрометеорологии «Планета» – ведущей организаци-

ей России по эксплуатации и развитию национальных космических систем наблюдения Земли гидрометеорологического, океанографического, гелиогеофизического назначения и мониторинга окружающей среды. В частности, у пользователей ЦКП есть доступ к данным отечественных спутников серий «Канопус-В», «Ресурс-П», «Метеор-М», «Электро-Л» и «Арктика-М». Данные зарубежных спутниковых систем преимущественно получают из крупных центров распространения спутниковых данных, таких как USGS (США) и ESA (Европа).

Основная зона интереса, по которой наполняются архивы ЦКП – северная Евразия, то есть территория России и сопредельных государств, хотя технологически нет никаких ограничений по пространственному покрытию данных. Примеры покрытия этой зоны интереса различными данными приведен на рис. 9. Существенно, что для многих типов спутниковой информации в архивах центра накоплены достаточно

ПРИМЕРЫ текущих зон покрытия данными

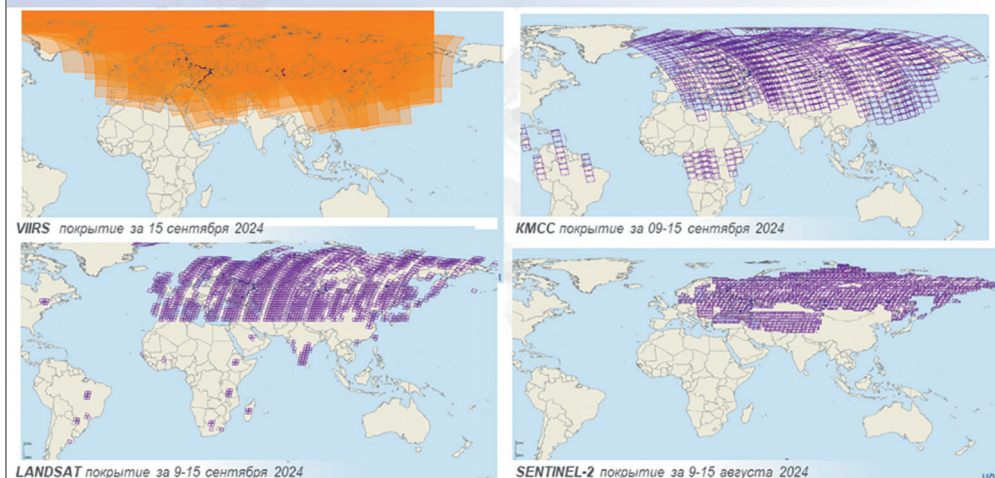


Рис. 9. Примеры покрытия карты контурами данных различных приборов из архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

длинные ряды данных, что позволяет анализировать динамику тех или иных исследуемых процессов на протяжении десятилетий. Рекордсменом по этой характеристике являются данные спутников Landsat, наиболее ранние экземпляры которых датируются 1984 г.

Архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» достаточно разнородны. Кроме спутниковых данных и продуктов их обработки в них содержатся и другие типы информации, используемые при решении задач мониторинга окружающей среды. Некоторые из таких типов кратко описаны ниже.

Для задач исследования и мониторинга растительного покрова и наземных экосистем, активно используются тематические карты растительного покрова по территории России, карты покрытых лесом земель, преобладающих пород, стволового запаса древесины, карты сельскохозяйственных земель, в том числе обрабатываемых земель, озимых, яровых и пара и многие другие.

Не менее важной и нужной для решения задач мониторинга является информация о природных пожарах и их последствиях. В архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг» накоплены ряды таких данных по всей территории России больше чем за двадцать лет. Основу для получения этих данных составляет информация низкого и среднего пространственного разрешения (375–1000 м), полученная с приборов MODIS (спутники Terra, Aqua) и VIIRS (спутники Suomi NPP, NOAA-20, NOAA-21). Нельзя не отметить, что сегодня активно используются и данные о пожарах с отечественных спутников серии «Метеор-М». Кроме того, для получения более детальной информации о пожарах и их последствиях, в том числе для уточнения и детального картографирования площадей, пройденных огнем, используются данные более высокого пространственного разрешения (10–60 м) в видимом и ближнем ИК-диапазонах, получаемые со спутников серий Landsat, Sentinel-2 и «Метеор-М».

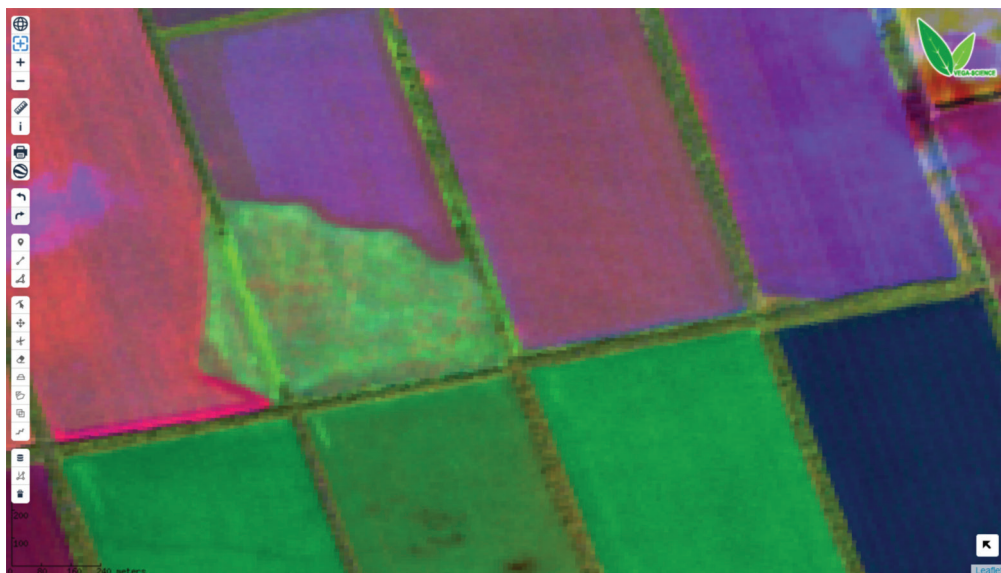


Рис. 10. Анализ состояния полей с использованием разновременных наблюдений в картографическом интерфейсе (красный – 2022 г., зеленый – 2023 г., синий – 2024 г.)

В рамках ЦКП «ИКИ-Мониторинг» также ведутся многолетние архивы метеорологической информации, в которые поступают прогнозные и ретроспективные данные из различных источников, значительно различающиеся по набору доступных показателей (измеряется десятками), временному разрешению (от трех часов до суток) и пространственной локализации (по точкам расположения метеостанций либо по узлам регулярной сетки). В частности, в архивах хранятся более двух десятков показателей состояния атмосферы у поверхности Земли, а также вертикальные профили температуры на различных изобарических поверхностях.

Возможности обработки и анализа данных

Как уже говорилось выше, система «ВЕГА-Science» представляет собой веб-ГИС, сочетающую в себе возможности онлайн-доступа к инструмен-

там и данным и широкие функциональные возможности, близкие к настольным приложениям. Для реализации таких возможностей в системе создан целый набор специализированных веб-интерфейсов для работы с пространственными данными, аналитическими формами, отчетностью и тому подобным. На сегодня пользователю доступен целый ряд различных сценариев работы с данными, среди которых:

- работа, предполагающая многокритериальный поиск и просмотр данных, с последующим анализом и интерактивной обработкой в картографическом интерфейсе (см. рис. 10);
- анализ временных рядов разнородных данных и различных интегральных показателей с использованием графиков, регулярных форм отчетности и бюллетеней по заданным параметрам (см. рис. 11);
- анализ больших объемов многомерных данных в виде динамических

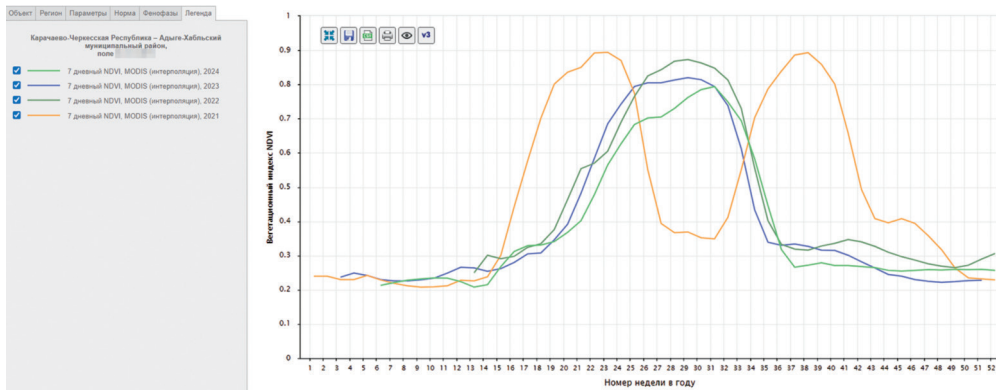


Рис. 11. Анализ динамики развития посевов в специализированном интерфейсе построения графиков

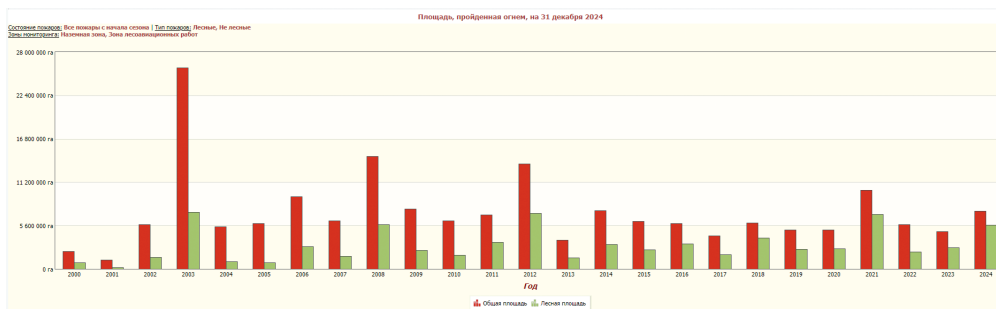


Рис. 12. Гистограмма площадей, пройденных огнём за 2001–2023 гг. в системе BI-аналитики

отчетных форм, гистограмм, графиков и карт на основе OLAP-кубов и BI-технологий в специализированном BI-интерфейсе (см. рис. 12).

Эти сценарии использования системы позволяют пользователям проводить мониторинг интересующих их объектов, как, например, сельскохозяйственных полей, территорий, подвергающихся антропогенному воздействию, объектов лесопользования и тому подобных, проводить моделирование различных процессов, как, например, распространение пожаров или пепловых шлейфов, создавать презентационные веб-интерфейсы для иллюстрации различных явлений и процессов и многое другое.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ВЕГА-SCIENCE» ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНЫХ ЗАДАЧ И РЕАЛИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРОЕКТОВ

Разнообразие доступных данных, модульность и широкий спектр инструментов работы с данными позволяют использовать систему «ВЕГА-Science» для решения самых разнообразных научных и прикладных задач на протяжении многих лет. В рамках ЦКП «ИКИ-Мониторинг» пользователями системы сегодня (на нача-

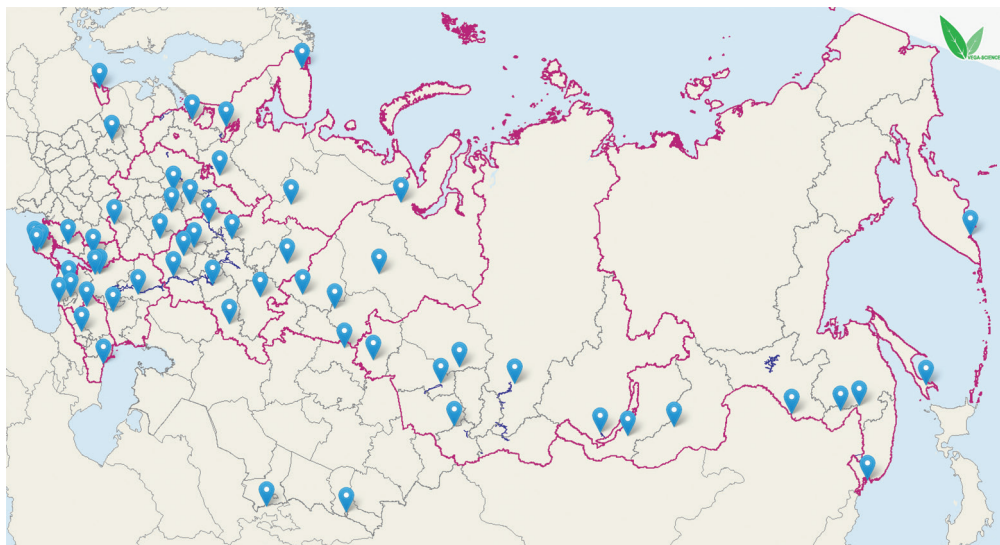


Рис. 13. Примерная география пользователей системы «ВЕГА-Science»

ло 2025 г.) являются около 150 научных и образовательных организаций, а также индивидуальных пользователей. География пользователей системы «ВЕГА-Science» и ЦКП «ИКИ-Мониторинг» частично представлена на рис. 13.

По состоянию на начало 2025 г. система использовалась для реализации более 100 различных российских и международных проектов, в том числе проектов инфраструктуры мирового уровня, по результатам которых было подготовлено более 1000 публикаций. Особо следует отметить, что система в равной степени доступна и обеспечивает возможность работы со сверхбольшими архивами спутниковых данных не только для крупных научных и образовательных организаций, но и для небольших, в том числе распределенных команд исследователей. Не менее важно то, что система используется для реализации проектов в совершенно различных областях исследований, связанных в том числе с изучением океана и водных объек-

тов, атмосферы, наземных экосистем, опасных природных явлений, изучения и контроля экологической обстановки и многого другого.

Для демонстрации разнообразия задач, при решении которых в настоящее время используется система «ВЕГА-Science», ниже приведено несколько примеров различных научных направлений и проектов, активно использующих ее возможности. Более полный список проектов, для выполнения которых использовалась система, можно найти по адресу <http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=5>.

Основным для создания, поддержки и развития системы стал комплексный проект «Разработка методов и технологий спутникового мониторинга для научных исследований глобальных изменений и обеспечения безопасности», который выполняется ИКИ РАН при поддержке Министерства образования и науки РФ. Проект посвящен разработке научных основ, подходов и технологий спутникового

мониторинга для планеты Земля, а также исследованию различных процессов, происходящих на нашей планете, с помощью современных методов дистанционного зондирования. Одной из основных задач, стоящих в проекте, является создание новых подходов и инфраструктуры работы со спутниковыми данными для решения в интересах различных научных проектов. Именно в рамках проекта был создан и в настоящее время развивается ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и ИС «ВЕГА-Science». Сегодня система является одним из базовых инструментов, позволяющих решать задачи проекта в различных областях.

Серия проектов, ориентированных на исследование различных процессов, происходящих в пограничных морях России и мировом океане. Основой данного направления является созданная с использованием ЦКП и ИС «ВЕГА-Science» специализированная информационная система *Sea The Sea* (<http://ocean.smislab.ru>), позволяющая решать широкий класс задач, связанных с анализом различных процессов, происходящих на морской поверхности, в том числе анализ загрязнений. См., например, рис. 14, на котором показана обстановка в Керченском проливе после разлива мазута 15.12.2024 (<https://iki.cosmos.ru/news/sputnikovyy-monitoring-mazutnogo-razliva-v-rayone-kerchenskogo-proлива-15-dekabrya-2024-g>).

На базе системы *Sea The Sea* в настоящее время выполнено и продолжает реализовываться значительное число различных научных проектов при поддержке Минобрнауки РФ, РНФ и РФФИ, в том числе проекты, выполненные в ИКИ РАН, ИО РАН и ИВМ РАН. В частности, создана и развивается специализированная система комплексного дистанционного мониторинга Каспийского моря *See the Caspian Sea*

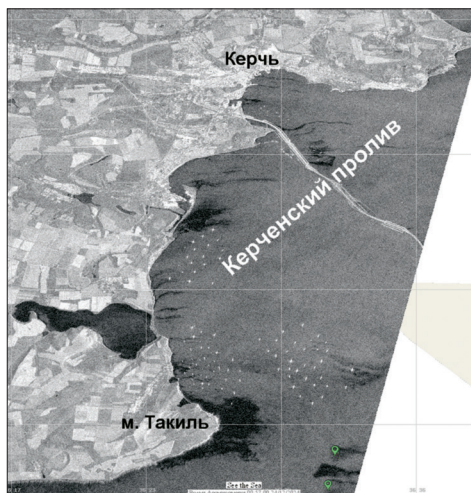


Рис. 14. Фрагмент радиолокационного изображения C-SAR Sentinel-1A, полученного 23 декабря 2024 г. в 03:49 GMT (© ESA). Метками отмечены нос и корма судна «Волгонепфть-212»

(<http://caspien.geosmis.ru>). На рис. 15 представлено пространственное распределение встречаемости цветения водорослей на Каспийском море, полученное с использованием возможностей системы по данным наблюдений за десять лет – с 2014 по 2024 г.

Серия проектов, ориентированных на научный мониторинг вулканической активности Камчатки и Курил. Данные проекты выполнялись и ведутся ИВиС ДВО РАН (<http://www.kscnet.ru/ivs>) при поддержке ИКИ РАН, ВЦ ДВО РАН (<http://www.ccfbras.ru>) и НИЦ «Планета» (<http://planet.iitp.ru>), а также при поддержке Минобрнауки РФ, РНФ и РФФИ. Для решения задач проектов в составе ЦКП с использованием возможностей системы «ВЕГА-Science» была создана специализированная информационная система *VolSatView* (<http://volcanoes.smislab.ru>). Один из примеров использования возможностей системы для мониторинга извержений представлен на рис. 16.

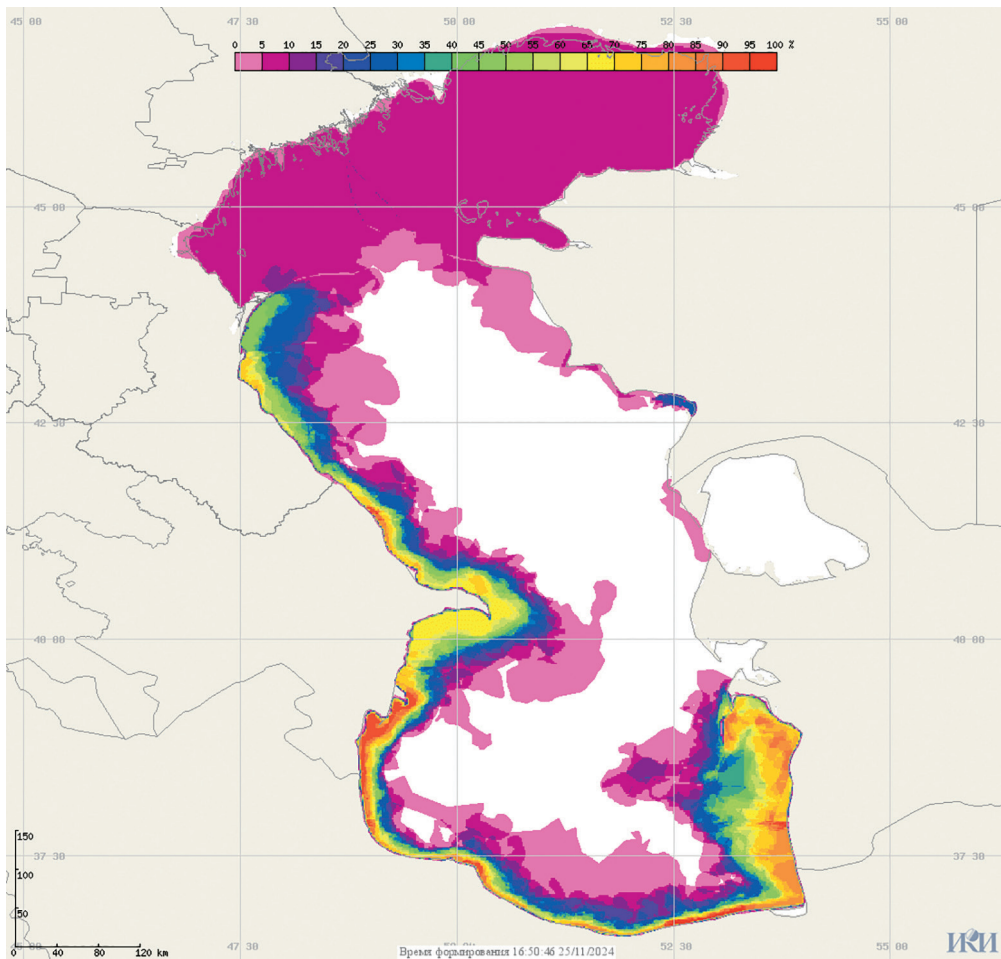


Рис. 15. Пространственное распределение встречаемости цветения водорослей на Каспийском море по данным наблюдений за десять лет – с 2014 по 2024 г.

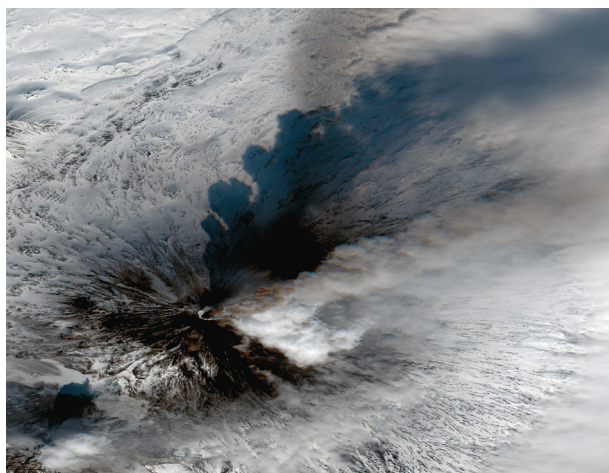
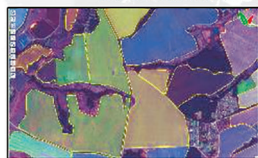


Рис. 16. Извержение вулкана Ключевской 17.04.2020. На изображении хорошо различим кратер вулкана, пепловый шлейф и его тень. Съемка прибора MSI/Sentinel-2A (ESA)

Информационная система «ВЕГА-PRO»

<http://pro-vega.ru>

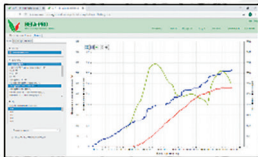
Профессиональный информационный сервис анализа данных спутниковых наблюдений для оценки и мониторинга возобновляемых биологических ресурсов



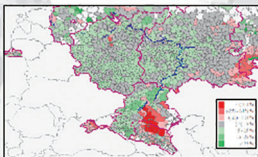
Анализ состояния полей с использованием разновременных наблюдений



Анализ использования сельскохозяйственных угодий



Анализ динамики развития посевов



Анализ состояния культур на основе сравнения со среднепогодными нормами динамики их развития



Введена в эксплуатацию в 2011 году
Зона действия: вся территория РФ, пограничные страны, западная Европа
Разработчики: ИКИ РАН, ООО «ИКИЗ» при поддержке фонда «Сколково».
Эксплуатирующая организация: ООО «ИКИЗ» при поддержке ИКИ РАН

Сервис ориентирован в основном на специалистов, работающих в области сельского хозяйства.

Его задача - обеспечение возможности контроля текущего состояния растительности на интересующем специалиста объекте (с/х полях, участках пастбищ, сенокосов и т.п.).

Пользователи сервиса самостоятельно могут задать границы интересующего объекта и производить анализ имеющихся для него данных.

Обеспечивает возможности работы как с оперативной, так и с архивной информацией. Глубина архивов около 40 лет.

Обеспечивает работу с БД, содержащей информацию о нескольких миллионах объектов. Информация в системе обновляется ежедневно.

С системой работают более 500 пользователей

Рис. 17. Основные задачи и возможности системы «ВЕГА-Pro»

Серия проектов по развитию методов и технологий дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных земель и посевов. За последние годы ИКИ РАН и партнеры выполняли достаточно много работ в области сельскохозяйственного мониторинга в интересах различных заказчиков – МСХ РФ, Росстата, министерств сельского хозяйства различных регионов, страховых компаний и компаний, занимающихся сельскохозяйственным производством. Эти работы в основном были направлены на создание и использование методов и технологий работы с данными спутникового наблюдения Земли для оценки состояния сельскохозяйственных земель и посевов. Для решения данных задач на базе системы «ВЕГА-Science» в 2013 г. ИКИ РАН совместно с ООО «ИКИЗ» был создан информационный сервис «ВЕГА-Pro» (<http://pro-vega.ru>), ориентированный на обеспечение работы с обновляемыми в режиме, близком к реальному времени, архивами спутниковых дан-

ных и другой геопространственной информацией, обеспечивающей решение широкого круга задач оценки и мониторинга растительного покрова, прежде всего в интересах решения задач мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов и их состояния. Основные возможности задачи системы представлены на рис. 17.

Разработка методов оценки пулов и бюджета углерода в наземных экосистемах для развития системы национального мониторинга бюджета углерода лесов России в условиях глобальных изменений климата. Работы в этом направлении позволили реализовать технологии автоматизированной регулярной оценки запаса и бюджета углерода в наземных экосистемах и создать информационно-аналитическую среду (ИАС) «Углерод-Э» (<http://carbon.geosmis.ru>), в которой были внедрены не только традиционные инструменты для работы со спутниковой информацией, но и обширный блок работы с данными наземных обследований.

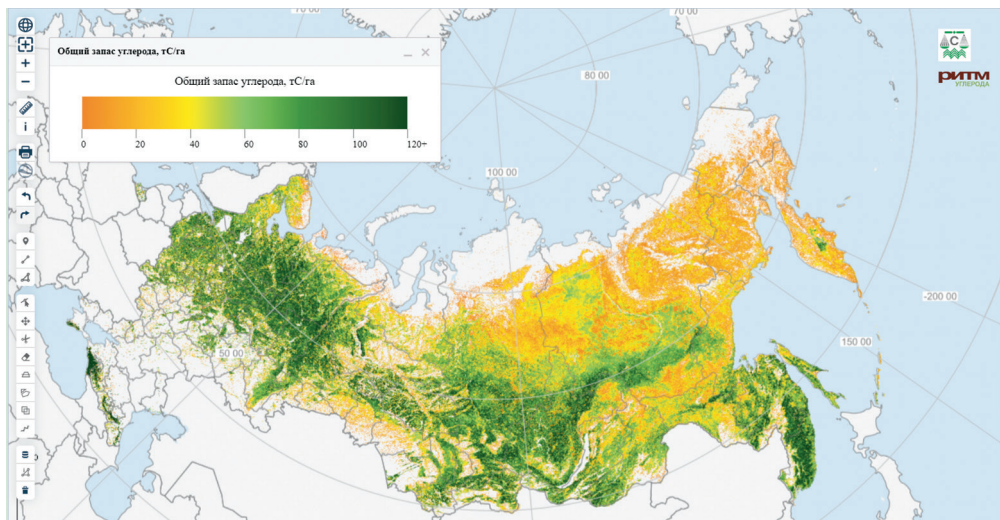


Рис. 18. Карта общего запаса углерода в наземных экосистемах на 2023 г.

ИАС доступна для участников проекта и широкого круга пользователей в части блока открытых данных. На рис. 18 показана карта общего запаса углерода в наземных экосистемах России на 2023 г.

Разнообразие направлений использования системы «ВЕГА-Science» также подтверждают и другие проекты, выполненные при поддержке Минобрнауки РФ, РАН и различных Российских и зарубежных фондов. Например, выполнялись проекты по:

- созданию на основе технологий ДЗЗ методологии анализа и прогнозирования влияния климатических и экологических факторов на заболеваемость природно-очаговыми инфекциями;
- разработке научных основ учета, оценки экологического состояния, климатогенной роли и пожарной опасности антропогенно измененных торфяных болот на основе спутниковых и наземных данных;
- изучению на основе данных ДЗЗ пространственно-временных особен-

ностей теплового поля урбанизированных территорий засушливой зоны;

- изучению природно-климатических трендов Байкальского региона (Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН);

Представленный список проектов далеко не полон и не может показать все разнообразие задач, для которых используется система «ВЕГА-Science». С более полным списком проектов можно ознакомиться на сайте ЦКП «ИКИ-Мониторинг» по адресу <http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=5>.

В последние годы система «ВЕГА-Science» активно используется не только для проведения исследовательских работ, но и для обучения студентов и школьников. С использованием системы проводятся специализированные курсы по мониторингу растительного покрова и водных объектов в рамках магистерских программ ФКИ МГУ и НИУ ВШЭ, она используется для практических занятий по освоению методов и технологий обработки и анализа данных. Кроме того, возможности

«BEGA-Science» используются для задач популяризации науки – при подготовке и проведении научно-популярных лекций, Дней открытых дверей в ИКИ РАН и других образовательных мероприятий, как, например, Летняя космическая школа, регулярно проходящая в ИКИ РАН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На протяжении всего времени своего существования система «BEGA-Science» непрерывно развивается. Из специализированной системы, ориентированной в основном на дистанционный мониторинг и изучение растительного покрова, «BEGA-Science» превратилась в действительно уникальный научный инструмент, обеспечивающий возможности решения самых разнообразных научных задач.

В систему постоянно добавляются новые инструменты, обеспечивающие проведение обработки и анализа спутниковых данных. Также создаются специализированные процедуры, обеспечивающие возможности максимально автоматизированной обработки данных для решения различных задач и реализации конкретных научных проектов.

Естественно, что развитие системы требует постоянного совершенствования технологий работы со спутниковыми данными, в том числе развития подходов к организации хранения и доступа к сверхбольшим распределенным архивам спутниковых данных, использующихся системой, и развития веб-инструментария, обеспечивающего работу с данными с учетом новых технологий. При этом специалисты, обеспечивающие развитие и поддержку системы, стараются обеспечить баланс между разнообразием доступ-

ных возможностей и сложностью использования системы для пользователя, а также ее производительностью и быстродействием. Нельзя также не отметить, что развитие системы, расширение круга задач, для которых она используется, а также увеличение числа исследователей, работающих с ней, требует постоянного наращивания вычислительной инфраструктуры, которое ведется в рамках развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

Одним из наиболее актуальных направлений развития системы является формирование на ее основе распределенной образовательной среды, позволяющей проводить весь курс обучения различной сложности, от ознакомления с базовыми понятиями до освоения сложных технологических процессов (в том числе по доработке информационных систем дистанционного мониторинга). При этом немаловажно, что система позволяет выполнять образовательные проекты различной сложности на основе реальных, максимально актуальных спутниковых данных.

В заключение отметим, что основное развитие системы сегодня осуществляется при поддержке Минобрнауки в рамках темы «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164, при этом развитие технологий ведения и доступа к сверхбольшим архивам спутниковых данных осуществляется в рамках темы «Большие данные в космических исследованиях: астрофизика, солнечная система, геосфера», госрегистрация № 0024-2019-0014. Также нельзя не отметить, что многие инструменты и методы работы с данными, реализованные сегодня в системе «BEGA-Science», были созданы в рамках различных проектов, поддержанных Минобрнауки, РФН, РФФИ и другими научными фондами.