

А.А. Кадочников¹**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
ДЛЯ КОМПЛЕКСА ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ****АННОТАЦИЯ**

Сегодня данные дистанционного зондирования Земли являются важнейшим источником оперативной информации об окружающей природной среде для тематических ГИС; эти данные могут быть использованы для развития водного, лесного и сельского хозяйства, в экологии и природопользовании, при территориальном планировании и так далее. Для решения задачи по обеспечению эффективного использования результатов космической деятельности в Красноярском крае создан Единый региональный центр дистанционного зондирования Земли Красноярского края, на базе которого был введён в эксплуатацию новый спутниковый приёмный комплекс ФИЦ КНЦ СО РАН. В настоящее время с его помощью осуществляется приём спутниковых данных с космических аппаратов TERRA, AQUA, Suomi NPP, NOAA-20 и FENG-YUN. В рамках работ, проводимых при взаимодействии с Сибирским региональным центром дистанционного зондирования Земли, выполнены работы по созданию архива спутниковых данных с отечественных аппаратов Ресурс-П и Метеор-М2.

В работе рассматриваются некоторые особенности разработки программных инструментальных средств для загрузки, обработки и публикации данных дистанционного зондирования. Описаны механизмы пакетной обработки больших объёмов ежедневно поступающих данных, особенности подготовки данных перед публикацией их в веб-приложении и методы по снижению размера архива промежуточных данных для работы этого веб-приложения, структура веб-приложения и используемые технологии и стандарты. Разработка создаётся в сервис-ориентированной парадигме на основе геопортальных технологий и средств интерактивной веб-картографии. Основное внимание в настоящей работе уделяется особенностям реализации программных компонент веб-ГИС, вопросам эффективной обработки и представления геопространственных данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: веб-картографирование, геоинформационная система, геопортал, геопространственные данные, данные дистанционного зондирования

Alexey A. Kadochnikov²**DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND TECHNOLOGY PLATFORM
FOR SATELLITE DATA PROCESSING COMPLEX****ABSTRACT**

The United Regional Remote Sensing Center was created to solve the problem of ensuring the effective use of the results of space activities in the Krasnoyarsk Territory. Based on the United Center a new satellite receiving complex of FRC KSC SB RAS was put into operation. It is currently receiving satellite data from TERRA, AQUA, Suomi NPP, NOAA-20 and FENG-YUN

¹ Институт вычислительного моделирования СО РАН, Академгородок 50/44, 660036, Красноярск, Россия, e-mail: scorant@icm.krasn.ru

² Institute of Computational Modelling SB RAS, Akademgorodok 50/44, 660036, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: scorant@icm.krasn.ru

satellites. Within the framework of the work carried out in cooperation with the Siberian Regional Center for Remote Sensing of the Earth, work has been done to create an archive of satellite data from domestic Resource-P and Meteor-M2 satellites.

The work considers some features of the development of software and technological support tools for loading, processing and publishing of remote sensing data. Described batch processing mechanisms high volume of daily incoming data. Features of preparing data before publishing them in a web application and methods for reducing the size of the intermediate data archive for the operation of this web application, the structure of the web application and the technologies and standards used. Development is created in the service-oriented paradigm based on geoportal technologies and interactive web-cartography. The focus in this article is paid to the peculiarities of implementing the software components of the web GIS, the efficient processing and presentation of geospatial data.

KEYWORDS: web mapping, geographic information system, geoportal, geospatial data, remote sensing data

ВВЕДЕНИЕ

Красноярский край обладает рядом географических и экономических особенностей, такими как протяженная с юга на север территория с разнообразными климатом и ландшафтами, большие запасы природных ресурсов, множество труднодоступных и слабо освоенных зон и их удалённость от мест концентрации промышленного производства и населения и др. Эффективное использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и производных на их основе информационных продуктов, их интеграция с реальными процессами обеспечения жизнедеятельности органов государственной власти и населения приобретает значение стратегического фактора для дальнейшего ускорения социально-экономического развития края. Данные ДЗЗ являются важнейшим источником оперативной информации об окружающей природной среде для тематических ГИС, а также являются инструментом для поддержания существующих пространственных данных в актуальном состоянии. С помощью ДЗЗ можно решать актуальные задачи социально-экономического и инновационного развития региона и при взаимодействии с региональными и федеральными информационными системами; эти данные могут быть использованы для развития водного, лесного и сельского хозяйства, в экологии и природопользовании, при территориальном планировании и др. [Якубайлик, Кадочников, 2017].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения задачи по обеспечению эффективного использования результатов космической деятельности в Красноярском крае в мае 2017 года был введён в эксплуатацию новый спутниковый приёмный комплекс ФИЦ КНЦ СО РАН на базе Единого регионального центра дистанционного зондирования Земли Красноярского края (ЕРЦ ДЗЗ; <http://ksc.krasn.ru/news/2017-05-12/>). Приёмный комплекс построен на основе приёмной станции Сканекс УниСкан-3.7. В настоящее время с его помощью осуществляется приём спутниковых данных с космических аппаратов TERRA, AQUA, Suomi NPP, NOAA-20 и FENG-YUN. Использование данных Suomi NPP, NOAA-20 и FENGYUN позволяет существенно расширить возможности систем дистанционного мониторинга с привлечением новых данных повышенного пространственного разрешения и радиометрической чувствительности. Сибирский региональный центр ДЗЗ Роскосмоса на базе АО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнёва» в городе Железногорске по заказам потребителей обеспечивает поставку данных с российских спутников – Метеор-М2, Ресурс-П, Канопус-В.

Для информационного обеспечения решаемых задач в ЕРЦ ДЗЗ началась работа по формированию локального архива актуальных снимков спутников LANDSAT и SENTINEL

на территорию Красноярского края. В рамках работ, проводимых при взаимодействии с СРЦ ДЗЗ, выполнены работы по созданию архива спутниковых данных с отечественных аппаратов Ресурс-П и Метеор-М2. Данные загружаются по выделенному каналу с сервера СРЦ ДЗЗ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для доступа к данным приёмного комплекса и созданным архивам разработан каталог спутниковых данных, сформирован комплекс инструментов для обработки исходных данных и подготовки их для быстрого отображения посредством веб-браузера. Перед разработкой программного обеспечения были проанализированы существующие на сегодняшний день инструменты каталогизации спутниковых данных в мире и России [Cheng et al., 2016; Innerebner et al., 2017; Setiyoko et al., 2018; Strotov et al., 2017]. Рассмотренные решения можно условно отнести к двум группам:

- простой инструмент для поиска по каталогу снимков с их просмотром в виде мелкомасштабных цветных растровых изображений;
- инструменты поиска и навигации с возможностью визуализации разных каналов снимка и их комбинаций, а также инструменты для анализа спутниковых данных.

Первая группа позволяет найти снимки в каталоге, а затем просмотреть их в виде одного или нескольких обзорных изображений «quicklook» (небольшое изображение с упрощенной детализацией), либо позволяет посмотреть более детальное цветное изображение в естественных цветах на ограниченном масштабе. К этой группе можно отнести такие решения:

- Геопортал Роскосмоса (<https://gptl.ru>);
- Информационный сервис «Космоснимки» (<http://search.kosmosnimki.ru/>);
- Каталог для поиска космических снимков от компании «Совзонд» (<http://catalog.sovzond.ru/>).

Существуют также решения, которые позволяют более детально рассмотреть спутниковые снимки, используя технологию «тайлов». В этом случае для каждого снимка или группы снимков за определённый период времени (обычно сутки) формируется пирамида растровых изображений (тайлов). Такой подход требует значительного объёма дискового пространства, но упрощает для пользователя выбор снимка.

Вторая группа Интернет-сервисов позволяет просматривать детальные изображения найденных снимков, а также позволяет управлять каналами снимков для создания тематических продуктов с искусственными цветами. Яркими представителями этой группы являются:

- Land Viewer от компании EOS (<https://eos.com/landviewer/>);
- Sentinel Hub Playground (<https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/>);
- Ряд проектов для просмотра данных ДЗЗ (<https://remotepixel.ca/projects/>);
- LandsatLook Viewer (<https://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>);
- Геопортал Республики Саха (Якутия) (<https://sakhagis.ru/map/terra>);
- NASA WorldView (<https://worldview.earthdata.nasa.gov>).

Основными недостатками первой группы являются отсутствие возможности загрузки более детальных изображений на крупных масштабах в веб-браузере и отсутствие возможности визуализации разных комбинаций каналов снимков. Однако для создания таких решений требования к дисковому пространству минимальны и минимальна нагрузка на сервер при просмотре изображений, так как все операции по масштабированию выполняются на стороне клиента. Основным преимуществом такого решения является возможность предварительного просмотра всех найденных снимков и их комбинации с дальнейшей загрузкой их на компьютер пользователя для самостоятельной обработки.

Отличительной особенностью второй группы является возможность детального просмотра снимка до максимального разрешения, а также возможность выбора комбинации

каналов и некоторых продуктов на их основе (NDVI, NSDI, NDWI, температура поверхности и так далее). С помощью такого сервиса пользователь может начинать анализ до загрузки данных на собственных компьютер, либо в веб-браузере создавать готовый продукт без загрузки исходных данных. Основным недостатком такого подхода является требование к большому объёму дискового пространства и к вычислительным мощностям на сервере, так как помимо исходных данных возникает необходимость в хранении ряда производных продуктов, каждый из которых может занимать на диске в несколько раз больше места, чем исходное изображение.

В результате анализа существующих продуктов было решено создать сервис доступа к каталогу спутниковых данных на территорию, охватываемую нашей приёмной станцией в виде комбинации инструментов из двух рассмотренных групп. Так как наш приёмный центр не обладает огромными дисковыми пространствами для хранения всего спектра готовых продуктов, предварительно формируется архив из снимков с ограниченным числом каналов для визуализации и анализа спутниковых данных. Дополнительной задачей явилась разработка технологии для публикации в онлайн-режиме данных из каталога снимков, так как внутренняя структура существующих решений слабо представлена в публикациях и Интернет.

Выбран подход, который позволяет экономить дисковое пространство и позволяет получить приемлемый результат. На основе исходных снимков ежедневно формируется два «базовых продукта» для данных с приборов MODIS, VIIRS и данных спутника SENTINEL и LANDSAT:

– Многоканальное изображение с неполным набором каналов в отличие от исходного снимка, но достаточным списком каналов для создания основных продуктов с изображением в искусственных цветах. Для MODIS использовались такие комбинации, как 1-4-3 (цветосинтезированное изображение в «естественных цветах»), 7-2-1 (комбинация каналов снимка, наиболее подходящая для обнаружения пожаров и огня) и 3-6-7 (комбинация используется для отображения снега и льда). Дополнительно новое изображение содержало каналы для расчёта индексов NDVI (нормализованный относительный индекс биомассы – Normalized Difference Vegetation Index) [Шукилович и др., 2016], NDWI (нормализованный разностный водный индекс – Normalized Difference Water Index) и температуры поверхности (по 31 каналу). Аналогично формировались каналы для прибора VIIRS [Пчельников, Добрецов, 2017];

– Одноканальное изображение для определения процента облачности. Так как снимки покрывают очень большую площадь и практически всегда имеют участки, покрытые облачностью на территории нашей страны, общая облачность всего снимка интереса не представляет. Такие изображения с грубой маской облачности позволяют осуществлять поиск снимков по каталогу по проценту облачности в пределах небольшой выбранной территории. Дополнительно такое изображение накладывается поверх основных слоёв для визуального разделения полезных данных и облачности.

Разработан набор скриптов для создания небольших обзорных цветных изображений в естественных цветах в формате png для просмотра нескольких снимков одновременно. Такие изображения позволяют получить общую картину за сутки или несколько дней в области приёма комплекса. Для дневных сцен используется каналы MODIS 7-2-1 в диапазоне от 0 до 100 % альбедо с гаммой 1,8. В ночное время используется одноканальное изображение с 31 каналом прибора MODIS в диапазоне от 220К до 300К с гаммой 0,5 в негативе.

Для прибора VIIRS при создании обзорных изображений используется комбинация каналов M11-I2-I1; для многоканальных изображений используются следующие наборы каналов, наиболее близкие к прибору MODIS:

- I5-M4-M3 естественные цвета;
- M11-I2-I1 комбинация для обнаружения пожаров;

- M3-I3-M11 комбинация для отображения снега и льда;
- I5 температура поверхности;
- I1, I2 для расчёта индекса NDVI.

Для обзорных изображений вместо формата png более эффективно было бы использовать формат jpeg, так как он лучше подходит для хранения и отображения спутниковых снимков. Основное его преимущество заключается в меньшем объёме файла, в результате чего происходят более быстрая загрузка в веб-приложение и меньший расход оперативной памяти браузером. Однако отсутствие у этого формата поддержки прозрачности делает его бесполезным при отображении снимков поверх растровой подложки, где прозрачность является обязательным условием [Фу, Сунь, 2013].

В результате для быстрого просмотра обзорных изображений используются файлы в формате png, построенные на основе многоканальных изображений. В этой части разрабатываемая система работает как представитель большинства существующих систем каталогизации спутниковых снимков. Для анализа спутниковых снимков в веб-браузере также используется многоканальное изображение, которое позволяет комбинировать в онлайн-режиме разные доступные каналы. Дополнительно формируются продукты в виде одноканальных снимков, требующие расчёта. Например, индекс NDVI, рассчитываемый из данных красного (1 канал для MODIS, I1 канал для VIIRS) и инфракрасного каналов (2 канал для MODIS, I2 канал для VIIRS) по формуле $(2-1)/(2+1)$ для прибора MODIS, $(I2-I1)/(I2+I1)$ для прибора VIIRS или температура, приведённая в градусы Цельсия из яркости пикселей соответствующего канала (рис. 1).

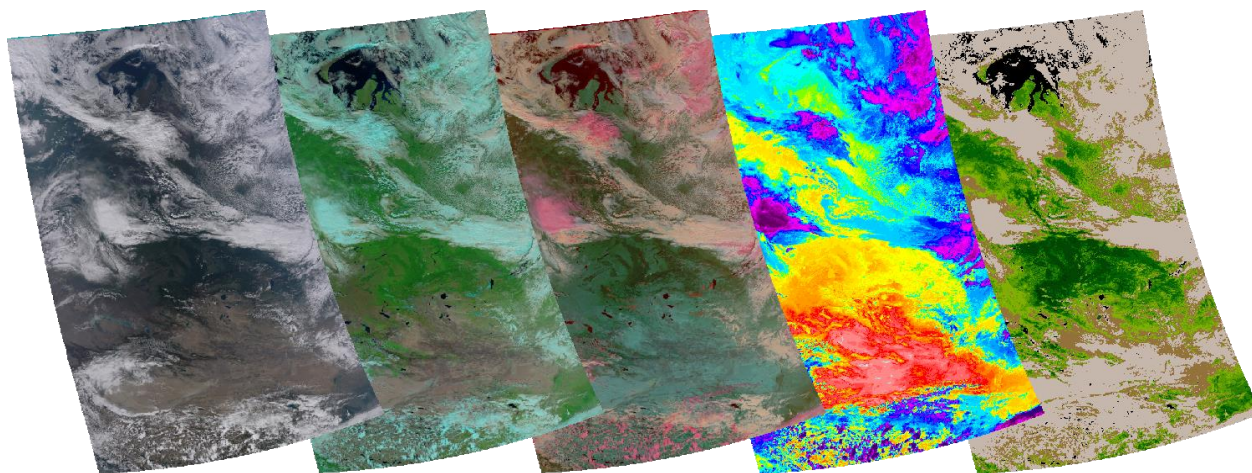


Рис. 1. Комбинации слоёв
(естественные цвета, пожары, снег и лёд, температура, NDVI)
Fig. 1. Combinations of layers
(natural colors, fires, snow and ice, temperature, NDVI)

При формировании цветных изображений используется LUT (Look Up Table) – это своеобразная «таблица поправок» для внесения изменений в каждый из трёх каналов [Li et al., 2017]. Ранее для улучшения качества изображения использовалось спектральное преобразование, которое строится на работе со спектральной диаграммой, показывающей зависимость между количеством пикселей изображения и значениями спектральной яркости. При спектральных преобразованиях изменяется такой параметр, как контрастность. Для повышения контрастности использовалось линейное растяжение гистограммы, заключающееся в том, что всем значениям яркости присваиваются новые значения с целью охватить весь возможный диапазон от 0 до 255. LUT позволяет изменять

значение яркости точек изображения при преобразовании снимков с помощью линейной интерполяции и сохраняет общую контрастность для всех снимков. Дополнительно производится преобразование значение яркости пикселей из 16 бит к 8 битам.

Перед отображением снимков в веб-интерфейсе выполнялась настройка гаммы (gamma) для программного обеспечения MapServer для 16 битных изображений с помощью таблиц LUT для 10 опорных точек, которые рассчитываются по формуле:

$$LUT_i = \left(\left(\frac{pixel_i}{65536} \right)^{1/gamma} \times 65536 \right) / 256$$

В июле 2018 года вышло обновление для программного обеспечения MapServer с поддержкой LUT для растров с размером 16 бит на пиксель. Без этих изменений растры выглядели намного темнее; приходилось использовать автоматический расчёт гистограммы раstra для каждого снимка, что в свою очередь приводило к некоторым артефактам при просмотре снимков в веб-интерфейсе, и общая контрастность всех снимков отличалась, так как автоматический расчёт выполнялся независимо для каждого раstra.

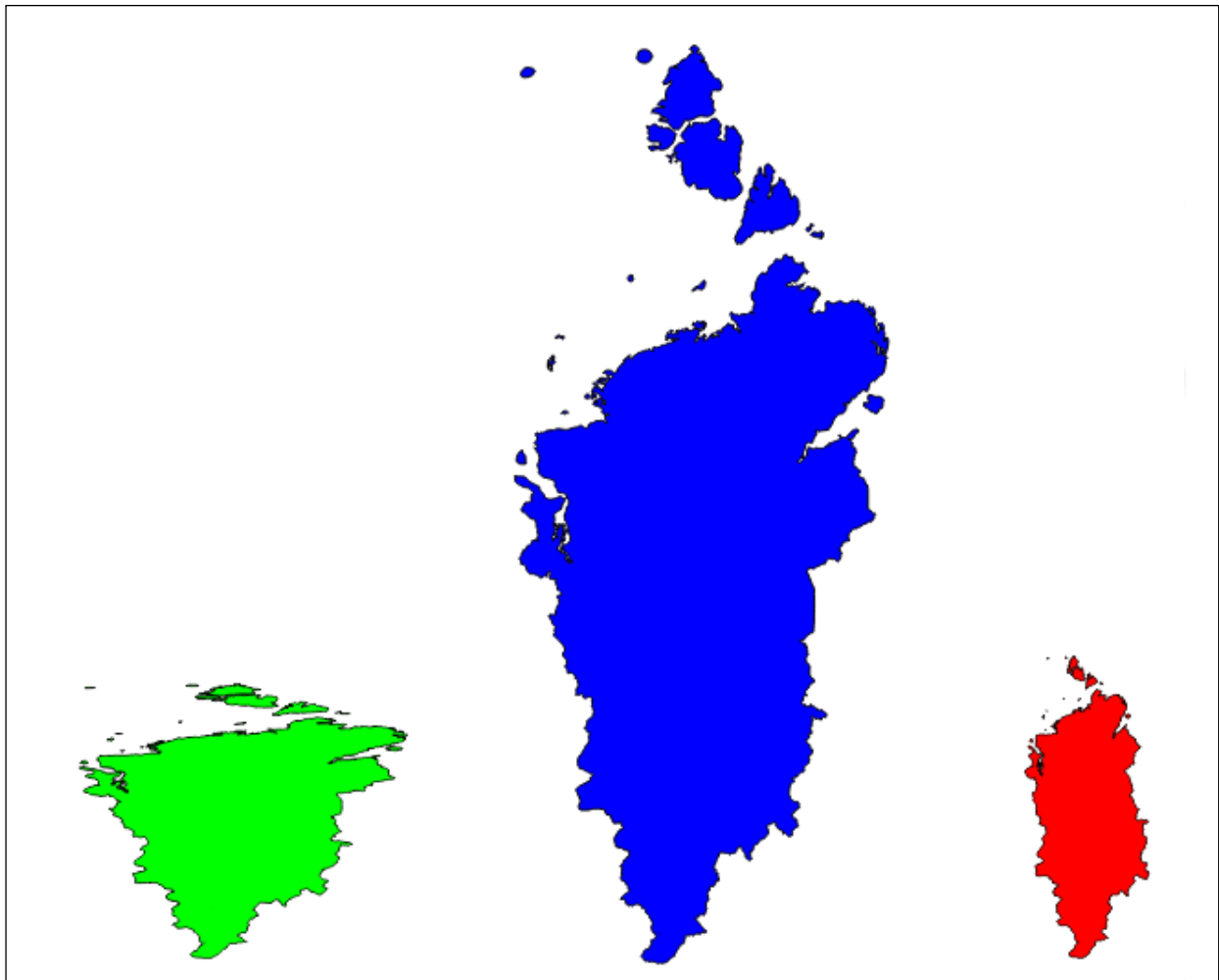


Рис. 2. Выбор проекции карты для визуализации тематических данных (слева – EPSG:4326; по центру – EPSG:3857; справа EPSG:3576)

Fig. 2. Selection of the map projection for visualization of thematic data (on the left – EPSG: 4326; centered – EPSG: 3857; on the right EPSG: 3576)

Отдельное внимание в работе уделено созданию карты подложки для отображения спутниковых данных на территории Красноярского края. Большинство доступных карт на основе растровых фрагментов в сети Интернет представлены в нормальной цилиндрической проекции Меркатора, проекции сферы (код EPSG:3857, или в старом варианте EPSG:900913). Эта проекция используется в таких сервисах, как Google Maps, OpenStreetMap и др. Большинство систем показывают данные своего каталога на картах OpenStreetMap. В Яндекс. Картах используется система координат с использованием нормальной цилиндрической проекции Меркатора, построенной на основе эллипсоида WGS 84 (код EPSG:3395). Однако эти проекции обладают рядом недостатков при отображении территории Красноярского края. Он вытянут на карте с юга на север, и при отображении его территории в описанных выше проекциях происходят искажения северных территорий. В свою очередь основные проекции мелкомасштабных карт России (различные редакции нормальной конической равнопромежуточной, косой перспективно-цилиндрической проекций и прочих) обычно не используются при создании веб-карт – для них не определены коды в системе классификации EPSG, которая является обязательной для работы публичных сервисов на основе стандартов OGC (Open Geospatial Consortium, <http://www.opengeospatial.org/>). При просмотре тематических данных поверх карты подложки пользователь обращает внимание не только на стилевое отличие представленных данных, но также соотносит размеры территорий. На рис. 2 представлен вид территории Красноярского края в трёх разных проекциях для одного масштаба. Для решения этой проблемы были созданы альтернативные карты подложки с применением проекции, более подходящей для территории Красноярского края. В частности, использовалась система координат 1942 в проекции Гаусса–Крюгера (СК 1942) (код EPSG:28416) и азимутальная равновеликая проекция Ламберта (Lambert Azimuthal Equal Area) (код EPSG:3576) [Кадочников, 2015]. Эта же проекция используется для генерации «базовых продуктов» с целью исключить ресурсоёмкую операцию перепроектирования при просмотре таких снимков.

В результате работы для быстрого и удобного поиска в каталоге спутниковых данных и минимизации нагрузки на серверное программное и аппаратное обеспечение подготовлен набор серверных приложений предварительной обработки спутниковых данных, включающей следующие этапы:

1. Преобразование исходных растровых данных в формат GeoTiff с преобразованием исходной проекции в азимутальную равновеликую проекцию Ламберта;
2. Создание базового цветного изображения для разных масштабов отображения, состоящего из нескольких спектральных каналов. Такие изображения будут использоваться для детального просмотра спутникового снимка с сохранением исходного разрешения;
3. Создание растрового изображения в формате png для показа «quicklook» в веб-приложении для разных масштабов отображения, но с меньшим разрешением (до 1 км на точку). В отличие от базового цветного изображения «quicklook» в веб-приложении могут отображаться группами в зависимости от выбора пользователя, тогда как базовое цветное изображение будет активно только для одного выбранного снимка;
4. Создание продуктов в виде растрового многоканального изображения в формате GeoTIFF с индексами NDVI и NDWI для КА Метеор-М № 2 и одноканальных изображений для приборов MODIS и VIIRS;
5. Преобразование из 16-битного формата к 8-битному, более подходящему для показа спутниковых снимков в веб-приложении и требующее значительно меньших ресурсов в системе хранения данных.

Для поиска и навигации по каталогу спутниковых данных разработано веб-приложение с применением серверного языка программирования PHP, СУБД PostgreSQL и

клиентского веб-интерфейса на языке программирования typescript с использованием фреймворка Angular 5.

Анализ существующих сегодня технологий и программного обеспечения, предназначенных для работы с пространственными данными в среде Интернет, многолетний опыт коллектива авторов и разработанных ими программных средств привели к использованию открытых технологий и программного обеспечения. В качестве основы использовались разработанные программные средства для анализа пространственных данных в среде геопортала Института вычислительного моделирования СО РАН с использованием технологий, предлагаемых международной организацией OGC, и программного обеспечения MapServer и MapProxy. MapProxy используется для создания карты из фрагментов. Источником пространственных данных для сервера с программным обеспечением MapProxy послужил OGC WMS (Web Map Service) сервер с базовой картой на основе программного обеспечения MapServer. Спутниковые снимки для веб-приложения формируются с использованием программного обеспечения MapServer и GDAL. Набор инструментов для предварительной обработки снимков разработан с использованием языка Python и процессора bash в среде Unix. Основными модулями для приложений на Python выступала библиотека GDAL и NumPy. Пример веб-интерфейса каталога спутниковых снимков представлен на рис. 3.

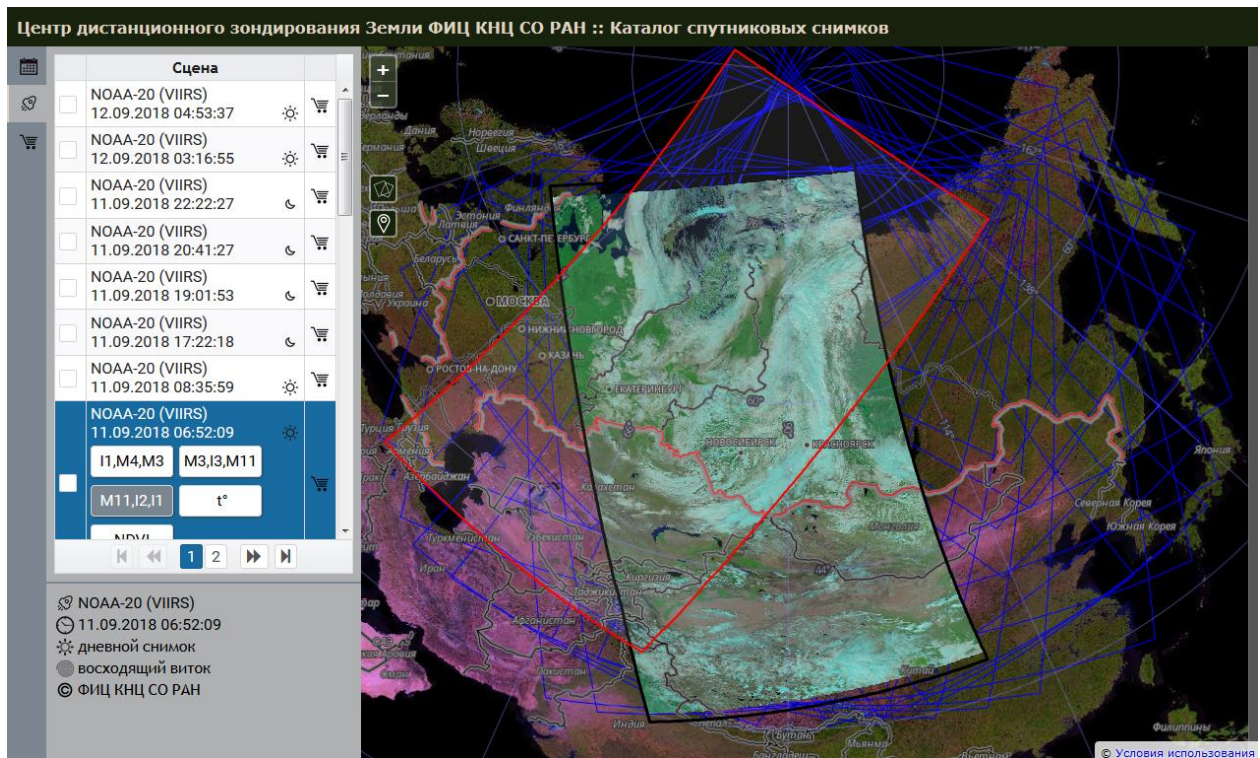


Рис. 3. Веб-интерфейс каталога спутниковых снимков
Fig. 3. Web interface of satellite images catalog

ВЫВОДЫ

Разработанная платформа для каталога спутниковых снимков обеспечивает пользователя современными инструментами для работы со спутниковыми данными и навигацией среди них в рамках приёмного комплекса регионального центра в Красноярском крае и соседних регионах. Возможности создаваемого программного продукта позволяют комбинировать любые сочетания каналов, доступных в изображении

без дополнительной настройки серверного программного обеспечения, что выделяет созданную систему среди подобных систем каталогизации спутниковых данных. Разработанные технологии и алгоритмы позволяют внедрять элементы системы для других архивов спутниковой информации. В ближайшем будущем разработанная платформа позволит создавать новые специализированные продукты на основе спутниковых данных в сотрудничестве с другими институтами Сибирского отделения РАН, которые могут быть использованы для анализа и мониторинга различных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кадочников А.А.* Особенности построения геопространственных веб-приложений и сервисов для систем мониторинга состояния окружающей природной среды. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии, 2015. № 8 (7). С. 908–916.
2. *Пчельников Д.В., Добрецов Н.Н.* Построение временных рядов с одновременным использованием данных дистанционного зондирования SUOMI NPP VIIRS и TERRA/AQUA MODIS. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2017. Т. 23. Ч. 3. С. 46–51.
3. *Фу П., Сунь Ц.* Веб-ГИС: Принципы и применение. М.: Издательство Дата+, 2013. 356 с.
4. *Шукилович А.Ю., Федотова Е.В., Маглинец Ю.А.* Применение сенсора MODIS для оперативного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии, 2016. № 9 (7). С. 1035–1044.
5. *Якубайлик О.Э., Кадочников А.А.* Формирование информационно-аналитического обеспечения Единого регионального центра дистанционного зондирования Земли Красноярского края. Распределённые информационно-вычислительные ресурсы. Наука – цифровой экономике (DICR-2017). Труды XVI всероссийской конференции 4–7 декабря 2017 года, Новосибирск. Новосибирск: Институт вычислительных технологий СО РАН, 2017. С. 380–385.
6. *Cheng M.C., Chou S.C., Chen Y.C., Chen B. et al.* Automated Formosat image processing system for rapid response to international disasters. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2016. V. XLI-B4. P. 755–762.
7. *Innerebner M., Costa A., Chuprikova E., Monsorno R., Ventura B.* Organizing Earth observation data inside a spatial data infrastructure. Earth Sci Inform., 2017. № 10. V. 1. P. 55–68.
8. *Li Gf., Li Gj., Han G.* Enhancement of low contrast images based on effective space combined with pixel learning. Information, 2017. № 8 (4). P. 135. DOI: 10.3390/info8040135.
9. *Setiyoko A., Meiyanti R., Nurbojatmiko, Syamsudin A., Sensuse D., Noprison H.* Satellite image catalog system improvement based on process innovation method. AIP Conference Proceedings, 2018. Melville, New York: AIP Publishing, 2018. V. 1977. № 1. P. 020015.
10. *Strotov V.V., Taganov A.I., Kolesenkov A.N., Kostrov B.V.* High-performance technology for indexing of high volumes of Earth remote sensing data. Proceedings of Conf. of SPIE “High-Performance Computing in Geoscience and Remote Sensing VII”, 5 October 2017. Bellingham, WA, USA: International Society for Optics and Photonics, 2017. V. 10430. P. 104300K.

REFERENCES

1. *Cheng M.C., Chou S.C., Chen Y.C., Chen B. et al.* Automated Formosat image processing system for rapid response to international disasters. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2016. V. XLI-B4. P. 755–762.
2. *Fu P., Jiulin Sun J.* Web GIS: Principles and applications. Moscow: Data+ Publishing, 2013. 356 p. (in Russian).

3. *Innerebner M., Costa A., Chuprikova E., Monsorno R., Ventura B.* Organizing earth observation data inside a spatial data infrastructure. *Earth Sci Inform.*, 2017. No 10. V. 1. P. 55–68.
 4. *Kadochnikov A.A.* Features construction geospatial web applications and services for the environmental monitoring systems. *Journal of Siberian Federal University. Series: Technics & Technologies*, 2015. No 8 (7). P. 908–916 (in Russian).
 5. *Li Gf., Li Gj., Han G.* Enhancement of low contrast images based on effective space combined with pixel learning. *Information*, 2017. No 8 (4). P. 135. DOI: 10.3390/info8040135.
 6. *Pchel'nikov D.V., Dobtretsov N.N.* The construction of time series simultaneously using SUOMI NPP VIIRS and TERRA/AQUA MODIS remote sensing data. *InterCarto. InterGIS. Proceedings of the International conference*. Moscow: Moscow University Press, 2017. V. 23. Part 3. P. 46–51 (in Russian).
 7. *Setiyoko A., Meiyanti R., Nurbojatmiko, Syamsudin A., Sensesuse D., Noprisson H.* Satellite image catalog system improvement based on process innovation method. *AIP Conference Proceedings*, 2018. Melville, New York: AIP Publishing, 2018. V. 1977. No 1. P. 020015.
 8. *Shukilovich A.Y., Fedotova E.V., Maglinets Y.A.* Using Modis data for Agricultural Areas Monitoring. *Journal of Siberian Federal University. Series: Technics & Technologies*, 2016. No 9 (7). P. 1035–1044 (in Russian).
 9. *Strotov V.V., Taganov A.I., Kolesenkov A.N., Kostrov B.V.* High-performance technology for indexing of high volumes of Earth remote sensing data. *Proceedings of Conf. of SPIE “High-Performance Computing in Geoscience and Remote Sensing VII”*, 5 October 2017. Bellingham, WA, USA: International Society for Optics and Photonics, 2017. V. 10430. P. 104300K.
 10. *Yakubailik O.E., Kadochnikov A.A.* The formation of information and analytical software for United Regional Remote Sensing Center of the Krasnoyarsk region. *Distributed information and computing resources. Science for digital economy (DICR-2017)*. *Proceedings of the XVI All-Russian Conference 4–7 December, 2017, Novosibirsk*. Novosibirsk: Institute of Computational Technologies of SB RAS, 2017. P. 380–385.
-