

УДК 004.550

## ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТУПА И ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГЕОЛОГИИ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

**В.В. Наумова<sup>1</sup>, С.Е. Дьяков<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, 690022; e-mail: naumova@fegi.ru

<sup>2</sup> Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, 690041

Существующие спутниковые системы наблюдения и технологии обработки данных обеспечивают сотни миллионов измерений различных геофизических и пространственных параметров океана, атмосферы и суши в Дальневосточном регионе в день. С использованием информации спутниковых центров сотрудниками институтов Дальневосточного отделения РАН решаются различные научные задачи в следующих областях наук о Земле: решение задач структурной геологии и тектоники: выявления линейных элементов, разрывных нарушений, тектонических блоков разной степени переработки, уточнение границ геологических структур и зон различных типов; исследование рудоносных площадей Дальнего Востока России для построения минерагенических реконструкций.

*Ключевые слова:* дистанционное зондирование, Дальний Восток, геология.

Дальний Восток России издавна привлекал внимание геологов и геофизиков; благодаря своему положению в глобальной системе складчатых структур Тихоокеанского рудно-тектонического пояса и в то же время – как область перехода от крупнейшего континента к величайшему океану. Представлялось, что именно здесь можно получить решение многих спорных вопросов эндогенной геологии и выявить общие закономерности, расширив, таким образом, круг поставленных задач разработкой крупных геотектонических проблем. И действительно, следуя на восток от внутренних районов Азиатского континента в сторону Тихого океана, можно видеть последовательную смену докембрийских щитов палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими складчатыми (орогенными) поясами, затем впадинами современных окраинно-континентальных морей, а последних – сейсмотектонически активными вулканическими островными дугами и сопровождающими их глубоководными желобами. Наконец, еще далее – внешне спокойными, но характеризующимися активным подводным толеит-базальтовым вулканизмом необъятными пространствами океанического ложа. Это наиболее полный на Земле ряд структур, выражающий переход от древнейших участков мощной, очень

сложной континентальной коры через ее промежуточные типы к тонкой и весьма простой по своему строению океанической коре (Ханчук и др., 2009).

### СПУТНИКИ И ЦЕНТРЫ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Существующие спутниковые системы наблюдения и технологии обработки данных обеспечивают сотни миллионов измерений различных геофизических и пространственных параметров океана, атмосферы и суши в Дальневосточном регионе в день.

В этом регионе работают два Центра спутникового мониторинга природной среды: Российской Академии наук, г. Владивосток и филиал Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии «Планета» (НИЦ «Планета»), г. Хабаровск.

НИЦ «Планета» – ведущая организация России по эксплуатации и развитию национальных космических систем гидрометеорологического, океанографического, гелиогеофизического мониторинга и мониторинга окружающей среды, а также по приему и обработке данных с зарубежных спутников, взаимодействующая

с национальными гидрометеорологическими службами и космическими агентствами более 30 стран: США, ЕС, Японии, Индии, Китая, Кореи и др. Филиал НИЦ «Планета» в г. Хабаровск ведет оперативный прием и обработку метеорологических спутников Метеор М-1, MTSAT-1R, MTSAT-2, POES NOAA, Terra, Aqua, Suomi NPP, данные спутника RadarSat-1. Обработка снимков в филиале ориентирована на получение информации о состоянии атмосферы и восстановлении физических параметров поверхности Земли для обеспечения прогноза погоды.

Центр коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН осуществляет получение, хранение и поставку спутниковой и сопутствующей информации для научных исследований на Дальнем Востоке России; автоматизацию обработки данных и интеграцию данных в глобальные информационные системы; первичную обработку-коррекцию, калибровку и географическую привязку изображений (Multiple Access Centre ..., 2013). В Центре одновременно работает несколько приемных станций. Через систему заказов потребителям передаются в форме цифровых массивов измерений (мгновенных и композиционных) поля температур, коэффициентов отражений и других физических параметров. Исторически лаборатория спутникового мониторинга Института автоматизации и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН, на базе которой создан Центр, была ориентирована на поставку полей температуры поверхности океана, что и определило выбор принимаемых спутников: полярно орбитальных POES NOAA, Aqua, Terra, FY-1C, FY-1D, MetOp, Meteor М-1, MTSAT-1R, MTSAT-2, FY-2B, FY-2C.

С использованием информации этих Центров, а также данных других спутниковых центров решаются научные задачи в области наук о Земле на Дальнем Востоке России.

#### РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ДОСТУПА К СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГЕОЛОГИИ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

На основе анализа научных статей, опубликованных в российских журналах по геологической тематике, был выполнен обзор способов и направлений использования спутниковых данных, который позволил выделить несколько направлений такого использования, а именно:

- классификация типов подстилающей поверхностей (базальтов, гранитов и т.п.) по данным видимых каналов радиометров MODIS, OLI (спутник LANDSAT-8), ETM+ (спутник LANDSAT-7);

- построение карт теплоемкости поверхности Земли (данные ИК-радиометров);

- использование данных спутниковой топографии (миссии STRM, Aster) для построения топооснов, геоморфологического анализа поверхности Земли и др.;

- исследование «горячих точек» и «горячих» разломов земной коры по данным ИК-каналов радиометров MODIS и AVHRR;

- поиск и анализ геометрических структур на поверхности Земли: разломов, кольцевых структур, линеаментов и т.п.

Было обнаружено, что обычным источником спутниковых данных для подобных задач являются сервисы Геологической службы США (USGS), такие как earthexplorer (earthexplorer.usgs.com) и glovis (glovis.usgs.com). Данные сервисы предоставляют собой открытый доступ к большому массиву спутниковых данных по запросу, при этом время выполнения запроса для сцены полного разрешения может достигать трех суток, а форматы представления результатов ориентированы на специалистов в обработке и интерпретации спутниковых снимков.

В настоящее время данные спутникового зондирования почти не используются при геологических исследованиях Дальнего Востока России. В качестве одного из способов активизации использования спутниковых данных было принято решение о создании системы обеспечения данными спутниковых измерений научных исследований в области геологии на Дальнем Востоке России.

Предполагается, что данная система будет предоставлять доступ к основным спутниковым данным, полезным для геологических исследований, а именно, к данным спутниковой топографии, данным ИК-каналов радиометров AVHRR и MODIS (для поздней осени), данным измерений видимых каналов спутников Aqua, Terra, спутников серии Landsat.

Особенностями создаваемого сервиса должны быть: ограниченность набора спутниковых снимков, что вызвано малой изменчивостью геологических объектов, однородность условий наблюдения отобранных снимков, что должно облегчить поиск и сопоставление спутниковых изображений. С другой стороны, для того, чтобы облегчить непосредственное использование данных, предлагается использовать форматы данных GeoTIFF для представления подложек ГИС-проектов и формат ASCII GRID (ESRI) для представления результатов измерений и цифровых продуктов.

Разработка Сервиса производится в Дальневосточном геологическом институте (ДВГИ) ДВО РАН в рамках работ по созданию Информационной инфраструктуры для поддержки и

сопровождения научных геологических исследований (<http://fareastgeology.ru>) (Наумова, 2014; Naumova et al., 2014).

В настоящее время реализован функциональный прототип, предоставляющий доступ к данным спутниковой топографии STRM и данным спутников Landsat7, Landsat8. С его помощью тестируются различные системы доступа к спутниковым данным, обрабатываются вопросы организации взаимодействия с ГИС-порталом ([fareastgeology.ru](http://fareastgeology.ru)) и сервисом доступа к картографической информации Инфраструктуры.

По пользовательскому запросу сервис осуществляет доступ к данным, находящимся на серверах Центра спутникового мониторинга ИАПУ ДВО РАН, а также на серверах Геологической службы США: к данным спутниковой топографии; данным ИК-каналов радиометров TIRS, AVHRR, MODIS; данным измерений видимых каналов спутников Aqua, Terra, Suomi NPP, спутников серии Landsat. Система содержит сервисы обработки спутниковых данных: атмосферной коррекции, преобразования систем координат в систему координат ГИС пользователя, объединения спутниковых снимков и т.п.

При предоставлении данных конечному пользователю используется несколько распространенных форматов данных, ориентированных на экспорт в ГИС-форматы, а также формат MatLab.

Наборы данных предоставляются пользователям, упакованные в архив *tar*. Все данные предоставляются в исходном разрешении, без потерь при сжатии. Каждый файл набора представлен в трех форматах:

– GeoTIFF – для пользователей ГИС и для использования в редакторах для растровых изображений: Adobe Photoshop, Irfan View и др.;

– ERSI ASCII Grid format – для усвоения данных в MatLab и для обработки программами пользователя;

– Pro – формат для быстрого просмотра данных с помощью небольшой программы Glance.

Сервис доступа к спутниковым данным на территорию Дальнего Востока России (Diakov, Naumova, 2013) создается для решения научных геологических задач (рисунок). Решение каждой из этих задач требует предварительной подготовки данных, связанной с устранением влияния сторонних факторов, а именно точности географической привязки, искажений, вызванных рельефом наблюдаемого района, влияния атмосферы.

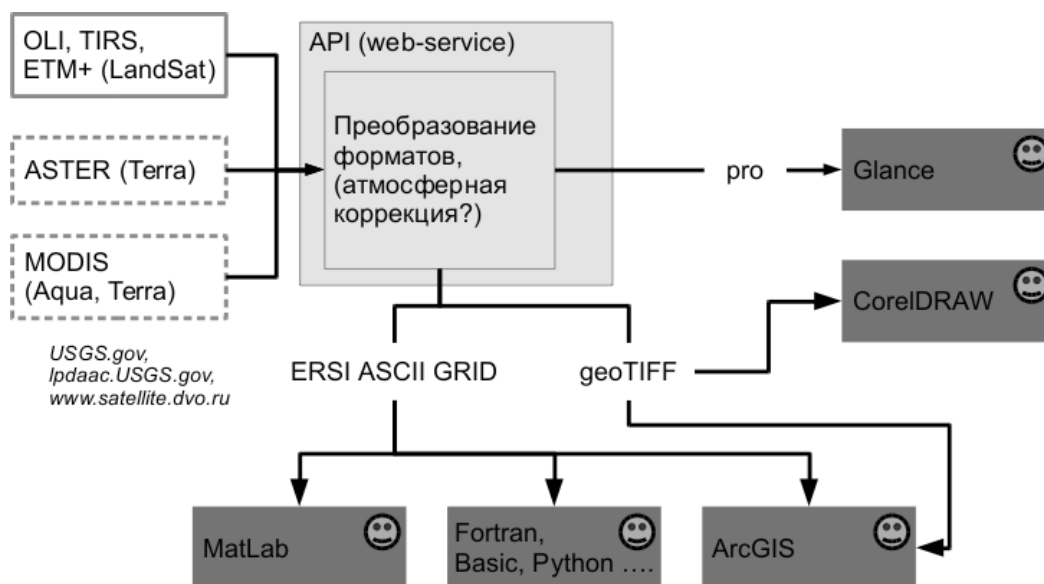
Таким образом, сервис доступа к спутниковым данным обладает следующими функциями обработки данных:

Коррекция географической привязки выполняется на этапе преобразования системы координат исходного изображения в систему географических координат пользователя с помощью библиотеки GDAL на основе задания контрольных точек (GCP).

Орто-трансформация изображения производится с помощью приложений комплекса программ OSSIM (Open Source Software Image Map) с применением данных о рельефе STRM или ASTER GDEM.

Атмосферная коррекция выполняется с помощью утилит ГИС GRASS, которые, в свою очередь, используют модель распространения солнечного излучения 6S с привлечением осредненных метеорологических данных NCEP.

Определение спектральных характеристик подстилающей поверхности подразумевает возможность получения данных о отражающей способности поверхности Земли в данной точке



Обобщенная схема спутникового сервиса Дальневосточного геологического института ДВО РАН.

по данным нескольких радиометров. Очевидно, что в связи с недостаточным спектральным разрешением радиометров высокого разрешения, непосредственный переход от данных спутниковых измерений к спектральным функциям отклика невозможен, но возможность расчета обобщенных индексов (NDVI, карбонатного, кварцевого, мафического индексов) и сопоставления их с модельными значениями была бы полезно.

Определение величин параметров теплового излучения Земли само по себе несложно, но вклад собственного излучения Земли в общее количество энергии пренебрежимо мало (около 0.1%), и определить его достаточной точностью в настоящее время невозможно, если не говорить о вулканической активности. С другой стороны, величина дневного хода температур связана с теплоемкостью верхнего слоя поверхности Земли. С 1978 по 1980 гг. в рамках программы исследования космического пространства США проводился эксперимент НСММ (Heat Capacity Mapping Mission) по измерению теплоемкости поверхности Земли. В настоящее время можно повторить данный эксперимент, используя данные спутника Suomi NPP, обладающие высокой точностью 0.1°C, приемлемым разрешением (350 м) и сканирующим один и тот же район поверхности Земли в 13 часов дня и в 1 ночи.

#### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО СЕРВИСА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ДВО РАН

Выделены основные направления использования данных и технологий обработки данных этой Системы:

- классификация типов подстилающей поверхностей (базальтов, гранитов и т.п.) по данным видимых каналов радиометров MODIS, OLI (спутник LANDSAT-8), ETM+ (спутник LANDSAT-7);
- построение карт теплоемкости поверхности Земли (данные ИК-радиометров);
- использование данных спутниковой топографии (миссии STRM, Aster) для построения топооснов, геоморфологического анализа поверхности Земли и др.;
- поиск и анализ геометрических структур на поверхности Земли: разломов, кольцевых структур на основе данных спутниковой топографии и измерений в видимом диапазоне спектра;
- исследование «горячих точек» и «горячих» разломов земной коры по данным ИК-каналов радиометров MODIS и AVHRR;
- мониторинг состава газов, попадающих в атмосферу через земную кору;
- другие задачи.

#### ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

В Институте тектоники и геофизики ДВО РАН осуществляется разработка технологий анализа спутниковой информации для решения задач структурной геологии и тектоники: выявления линейных элементов, разрывных нарушений, тектонических блоков разной степени переработки, уточнение границ геологических структур и зон различных типов (Didenko et al., 2014).

В Дальневосточном геологическом Институте ДВО РАН проводится дистанционное исследование рудоносных площадей Дальнего Востока России для минерагенических реконструкций (Shevyrev et al., 2013).

В Северо-Восточном комплексном научно-исследовательском институте им. Н.А. Шило ДВО РАН осуществляется использование данных дистанционного зондирования для построения топооснов для ГИС «Месторождения благородных металлов Магаданской области» (Golubenko, Goryachev, 2014)

#### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ЗА СОСТОЯНИЕМ ВУЛКАНОВ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

Необходимость оперативного мониторинга вулканической активности вулканов Курильских островов вызвана тем, что на островах выделяется более 68 четвертичных вулканических построек, среди которых 36 являются действующими и потенциально опасными. В последние десятилетия в связи с расширением объема и географии авиаперевозок участились случаи попадания авиалайнеров в облака вулканических пеплов. Вдоль Курильских островов проходит наибольшее количество авиатрасс, соединяющих Аляску с Восточно-Азиатским регионом. Полноценных систем комплексного мониторинга включающих сейсмические, деформационные, газовые, акустические, электромагнитные, спутниковые методы, в настоящее время нет ни для одного вулкана Курильских островов. Большая же часть действующих вулканов расположена на значительном удалении от населенных пунктов, морских транспортных путей, и в ближайшие десятилетия они вряд ли будут охвачены постоянными наземными наблюдениями.

В 2003 г. для организации мониторинга активных вулканов Курильских островов на базе Института морской геологии и геофизики ДВО РАН совместно с Сахалинским филиалом Геофизической службы РАН и ФГУ НПП «Росгеолфонд» при поддержке Аляскинской вул-

канологической обсерватории (AVO, University of Alaska, Fairbanks) создана группа SVERT – Сахалинская группа оперативного реагирования на вулканические извержения.

В связи с техническими проблемами, начиная с февраля 2012 г. для оперативного наблюдения за состоянием вулканов Курильской гряды использовалось только одно спутниковое изображение в сутки, построенное на основе данных MODIS. При этом не осуществляется поставка ночных спутниковых снимков, что не позволяет наблюдать за появлением «горячих точек» – предвестников извержений.

В 2013 г. нами была организована полностью автоматизированная поставка отдельных продуктов спутникового мониторинга специалистам группы SVERT. Были изучены требования к спутниковым данным, определены форматы данных, очередность их поставки.

Определено, что поставляемая продукция должна включать псевдоцветные изображения, ориентированные на обнаружение парогазовых выбросов, выбросов пепла и горячих точек (в случае ночных снимков). Кроме этого, было обнаружено, что должна выполняться поставка одноцветных изображений разностей каналов 11мкм и 12мкм, 8 мкм и 12 мкм предназначенных для поиска пепловых облаков, и разностей каналов 3.75 мкм и 11 мкм предназначенных для идентификации «горячих точек».

В соответствии с заданными требованиями организована полностью автоматическая обработка и передача обработанных данных радиометра MODIS спутников AQUA и TERRA. Также организована поставка аналогичных продуктов, построенных на основе данных AVHRR/POES NOAA (Diakov, Rybin, 2013).

Увеличение количества и качества принимаемых сцен значительно расширило возможности для выявления термальных аномалий как предвестников вулканических извержений и идентификации пепловых выбросов для всех вулканов Курильских островов.

Работа выполняется при финансовой поддержке Гранта РФФИ №14-07-00068

#### Список литературы

*Наумова В.В.* Информационная инфраструктура для поддержки и сопровождения научных исследований в области наук о Земле на Дальнем Востоке России: текущее состояние

- и перспективы развития // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 5(8). С. 119-128.
- Ханчук А.И., Кемкин И.В., Голозубов В.В.* Тектоника и региональная геология // Дальневосточный геологический институт. 50 лет в пути. Владивосток: Дальнаука, 2009.
- Didenko A.N., Gilmanova G.Z., Goroshko M.V.* Specialized radar data processing and lineament analysis of morphostructures of the uchurmaya basin // Proceedings of the International Conference «Modern information technologies in earth sciences». Petropavlovsk on Kamchatka. 2014, P. 50-51.
- Diakov S.E., Naumova V.V.* Satellite data providing system for a investigations on the Far East of Russia // Abstracts of the International Conference. Remote Sensing of Environment: Scientific and Applied Research in Asia-Pacific (RSAP2013). 2013. Vladivostok, Russia. P. 60-61.
- Diakov S.E., Rybin A.V.* Satellite monitoring of volcanic activity in the Kuril Islands // Abstracts of the International Conference. Remote Sensing of Environment: Scientific and Applied Research in Asia-Pacific (RSAP2013). 2013. Vladivostok, Russia. P. 61.
- Golubenko I.S., Goryachev N.A.* Information System of Precious Metal Deposits of the Magadan Region // Proceedings of the International Conference . Modern Inforfomation Technologies in Earth Sciences. 2014. P. 80.
- Levin V.A., Alexanin A.I.* Multiple Access Centre for Regional Satellite Monitoring of Environment, FEB RAS // Abstracts of the International Conference. Remote Sensing of Environment: Scientific and Applied Research in Asia-Pacific (RSAP2013). 2013. Vladivostok. P. 12-13.
- Naumova V.V., Goryachev I.N., Dyakov S.V., Belousov A.B., Platonov K.A.* Modern technologies for development of the information infrastructure supporting scientific geological investigations in the Russian Far East // Proceedings of the International Conference. Modern Information Technologies in Earth Sciences. 2014. Vladivostok. P. 129.
- Shevyrev S., Khomich V., Boriskina N., Shevyreva M.* Remote sensing of ore-bearing areas of Russian Far East for mineragenic reconstruction // Abstracts of the International Conference. Remote Sensing of Environment: Scientific and Applied Research in Asia-Pacific (RSAP2013). 2013. Vladivostok. P. 94.

**ORGANIZATION OF ACCESS AND PROCESSING OF DATA FROM REMOTE SENSING FOR GEOLOGICAL RESEARCH IN THE RUSSIAN FAR EAST**

**V.V. Naumova<sup>1</sup>, S.E. Dyakov<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Far East Geological Institute Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690022;*

*<sup>2</sup>Institute Automation and Control Processes Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 69041*

Modern systems of satellite observation and data processing allow millions of measurements of various geophysical and spatial parameters of the ocean, atmosphere and earth in the Far East daily. Data from the satellite centres allow the scientist from the institutes of the Far East Branch RAS to find solutions for various problems in such fields of science as: structural geology and tectonics; discovery of lineation, faults, tectonic blocks of various reworking degree; updates for geological structure boundaries and various types of zones; investigation of ore-bearing fields in the Russian Far East for minerogenic reconstructions.

*Keywords: remote sensing, Russian Far East, geology.*