УДК 519.688

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ БАЗ ДАННЫХ В ИССЛЕДОВАНИИ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

А.Н. Серебренников

Институт природно-технических систем
г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: swsilv@gmail.com

В статье приводится обзор и анализ зарубежных и российских спутниковых баз данных и геоинформационных систем. Также приведены ссылки на популярные ресурсы спутниковых данных.

Введение. В продуктах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в последнее время произошли принципиальные изменения, которые сводятся к следующему:

– объем данных ДЗЗ непрерывно растет. Это связано с появлением новых сенсоров, таких как гиперспектральные сканеры, увеличение разрешающей способности сенсоров, рост количества спутников и стран, участвующих в космических проектах;

– благодаря постоянному развитию техники и применению современных моделей и методов обработки, спутниковые данные стали точнее отражать действительность;

– операторы спутниковых проектов стали предоставлять космические снимки конечному потребителю не в сыром виде, во внутренних форматах, а в унифицированных форматах, где уже проделана предварительная обработка.

– для обработки данных практически со всех спутников появились универсальные программные комплексы, например, ENVI.

Благодаря этим факторам значительно расширилась область применения данных дистанционного зондирования, они стали более востребованы.

Наряду с традиционными бюджетными организациями, имеющими собственные станции приема данных, появились компании и научные организации, занимающиеся сбором спутниковых данных и рассылкой их потребителям на коммерческой основе.

Для конечного потребителя, при наличии у него достаточных средств (стоимость при заказе больших массивов данных будет существенно выше, чем при собственном приеме), преимущества этого способа получения данных очевидны:

– возможность получения данных с почти любых космических аппаратов, в том числе со спутников сверхвысокого разрешения и за пределами зоны радиовидимости станции;

– доступ к архивным данным ДЗЗ крупнейших российских и зарубежных операторов;

– получение данных требуемого уровня обработки в необходимых или унифицированных форматах;

– возможность заказа съемки конкретных регионов и на конкретный временной период.

Данные низкого и среднего разрешения можно получать в общедоступных ресурсах через Интернет. Эти данные постоянно обновляются, старые архивные данные пересчитываются по новым методикам и упаковываются в унифицированные форматы. Благодаря этим ресурсам даже небольшие компании имеют возможность заниматься исследованием Земли. Например, с сайта NASA PO.DAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center) можно скачивать обработанные данные с разных сенсоров, платформ, по различной тематике.

В журнале "Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники" № 1 (35), 2015 г. была представлена статья [1], являющаяся хорошим примером работы с общедоступными данными в Интернете.

Авторы статьи привели описание информационной системы для накопления, обработки и анализа спутниковых данных, полученных со спектрарадиометра MODIS [http://modis.gsfc.nasa.gov/].

MODIS имеет 36 спектральных каналов от видимого до ИК области спектра. Пространственное разрешение сенсора составляет 250 м в видимом, 500 м в

ближнем ИК и 1000 м в ИК диапазоне. По данным этого прибора можно получить аэрозольную оптическую толщину, содержание водяного пара, параметры облаков, альбедо и температуру поверхности Земли и так далее. Данные берутся с файловых серверов NASA в формате HDF (иерархический формат данных). Например, на этом сайте http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/data/terra представлены данные сенсора MODIS с 2000 г. по настоящее время с разными уровнями обработки.

В последнее время многие страны приняли решение о свободном распространении информации не только низкого, но и достаточно высокого пространственного разрешения (10 – 30 м). Соответствующие решения приняты, например, для действующей системы Landsat и перспективной системы Sentinel 2. Sentinel 2 – это спутник Европейского Космического Агентства, имеет 13 спектральных каналов. 4 канала с пространственным разрешением 10 м, 6 – 20 м, 3 – 60 м. Полоса – 290 км. Подробности можно посмотреть на сайте https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2.

Это привело к появлению различных систем, ориентированных на автоматическое получение информации из специализированных центров.

Например, в ИКИ (Институт Космических Исследований) РАН реализован полностью автоматизированный процесс получения архивов однотипным образом из различных центров распространения данных. На основе созданной технологии в настоящее время в ИКИ РАН постоянно пополняются архивы данных спутников Terra и Aqua (прибор MODIS), спутников Landsat 4, 5, 7, 8 (приборы ETM, ETM+, OLI/TIRS), а также различных продуктов, полученных на основе их обработки. Технология также была использована для формирования различных исторических наборов спутниковых данных, в том числе данных приборов ASAR и Hyperion (USGS EO-1).

В 2013 г. общий объем получаемых в ИКИ РАН данных приблизился к 1 ТБ в день [2].

Частично свободный доступ к данным ДЗЗ и появление “облачных” вычислений, когда расчеты делаются на удаленных серверах, привели к появлению разнообразных геоинформационных пакетов, на базе которых были созданы тысячи геоинформационных систем (ГИС). Данные ДЗЗ были интегрированы с ГИС.

За рубежом и в России сформированы архивы космических и сопутствующих данных разного разрешения и разной степени обработки по большей части территории Земли. Благодаря ГИС потребитель может просмотреть интересующие его изображения, сделать заказ и получить его через сеть Интернет. Современные ГИС дают потребителю возможность самому обработать и проанализировать космических снимки с помощью различных встроенных программных средств или заказать обработку.

Сейчас любая организация при необходимости и наличии средств может установить у себя ГИС-пакет (приобретенный или собственный) и интегрировать с данными дистанционного зондирования Земли.

Этим направлением стали заниматься как государственные, так и частные компании по всему миру, не в последнюю очередь из-за коммерческого интереса.

Типичная ГИС имеет веб интерфейс, т.е. работает через браузер, который позволяет просматривать и выбирать данные с различных спутников и сенсоров, а затем их заказывать или самостоятельно загружать.

Рассмотрим основные технологические особенности в крупных зарубежных центрах предоставления спутниковых и метеорологических данных.

1. Система доступа к данным глобального архива данных Landsat Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey). Информация о доступности данных может быть получена либо через служебный каталог, либо через картографический интерфейс на сайте. Доступны три интерфейса поиска данных:

http://earthexplorer.usgs.gov, http://glovis.usgs.gov и http://landsatlook.usgs.gov .

Для получения доступа к сценам, находящимся в неоперативном доступе, необходимо произвести заказ через специальный раздел на сайте. Чтобы скачать доступную сцену, как через интерфейс, так и через систему автоматического получения данных, необходимо пройти специальную процедуру авторизации. При наличии авторизации ссылку на скачивание данных по протоколу HTTP можно получить из картографического интерфейса.

2. Система доступа к данным спутника Envisat Европейского космического агентства (ESA) [https://earth.esa.int]. Система представляет собой веб-каталог с авторизацией и прямыми ссылками для скачивания данных через протокол FTP.

Для пространственной фильтрации данных каталога можно скачать заголовок сцены и принять решение о необходимости загрузки.

3. Система доступа к метеоданным модели Национального центра атмосферных исследований США (NCAR - National Center for Atmospheric Research): http://ncar.ucar.edu.

В системе реализован веб-каталог с функциями фильтрации и поиска. Скачивание данных происходит по протоколу HTTP с использованием cookie-авторизации.

4. Система Lance-Modis доступа к архиву оперативных продуктов, получаемых по данным прибора MODIS аппаратов Aqua и Terra. Основная страница проекта расположена по адресу: http://lance-modis.eosdis.nasa.gov.

Система доступа представляет из себя веб-интерфейс с возможностью перехода на FTP каталог после авторизации.

Для получения данных MODIS первого уровня обработки можно воспользоваться сервисом LAADS Web: http://gis-lab.info/qa/laadsweb.html

Основным источником этих данных является система LAADS Web: Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System: https://ladsweb.nascom.nasa.gov/ .

Это система архивирования и распространения данных первого уровня обработки. Помимо данных первого уровня, через эту систему распространяются различные атмосферные продукты (второго и третьего уровней обработки), такие как покрытие облачности, аэрозоли, водяные пары и др.

5. Система Climate Wikience – это 3D визуализация и анализ больших объемов данных экологического мониторинга: http://gis-lab.info/qa/climate-wikience.html

Climate Wikience предоставляет возможность интерактивно исследовать в 3D и выполнять анализ более 700 показателей с глобальным покрытием за последние 13, 35 и 143 года в зависимости от показателя. Подробности в документации: http://www.wikience.org/rodriges/brochure_Wikience_A4_v3.pdf .

Пользователю не требуется загружать на свой компьютер никаких файлов: данные загружаются автоматически по Интернет по мере надобности. Благодаря интеграции со средой R доступно более 5000 пакетов для анализа предоставляемых данных. Windows-приложение Climate Wikience свободно доступно для загрузки по адресу: http://www.wikience.org/ru/ .

6. Коллекция данных с более чем 50-ти зарубежных спутников имеется на сайте http://podaac.jpl.nasa.gov/datasetlist. На сайте имеется фильтр, по которому можно выбрать интересуемые данные. Так же можно зайти в каталог FTP и выбрать оттуда имеющиеся данные: ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/ .
Кроме общих и служебных, имеются каталоги:

- геодезическая гравитация;
- циркуляция океана;
- температура океана;
- океанские ветры;
- плотность солености;
- морской лед;
- топография морской поверхности.

Теперь рассмотрим некоторые Российские геоинформационные системы.

1. Геопортал Роскосмоса [www.gptl.ru] разработан в ОАО “НИИ ТП” в рамках создания Единой территориально-распределенной информационной системы дистанционного зондирования Земли из космоса (ЕТРИС ДЗЗ) и эксплуатируется в Научном центре опе-

ративного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ, г. Москва) с декабря 2010 г.

Сервисы Геопортала Роскосмоса предназначены для доступа к ресурсам ЕТРИС ДЗЗ. На данный момент доступными являются:

– единый каталог и банк геоданных ЕТРИС ДЗЗ;

– информационные слои на основе данных ДЗЗ.

На сегодняшний день веб-сервисами геопортала Роскосмоса пользуется целый ряд информационных систем:

– системы ИКИ РАН;

– системы Росгидромета;

– региональные центры космического мониторинга, космических услуг и другие информационные системы.

Сервис обеспечивает оперативный доступ, поиск и заказ данных ДЗЗ и продуктов их обработки, а также возможность мониторинга наземных территорий.

2. Спутниковый сервис "Вега – Дальний Восток" [http://vega-dv.geosmis.ru].

Пользователи “Вега – Дальний Восток” имеют возможности работать с архивами информации, полученной на основе данных спутников NOAA, Метеор М №1, Terra, Aqua, Landsat и др., а также с метаинформацией. Система обеспечивает возможность работы с более чем 10-летними архивами данных.

Система доступна только после регистрации.

3. Единая система работы со спутниковыми данными ФГБУ "НИЦ "Планета" [http://moscow.planeta.smislab.ru/].

ФГБУ “НИЦ “Планета” обеспечивает доступ, как к исходным данным, так и к продуктам тематической обработки по всей территории России. Информация поступает с Европейского, Сибирского и Дальневосточного центров приема и обработки данных.

Требуется регистрация, как и для сервиса “Вега – Дальний Восток”.

4. Спутниковый сервис SEE THE SEA (STS) [http://ocean.smislab.ru/static/index.sht].

Это информационная система, ориентированная на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных задач исследования Мирового океана. Особое внимание в системе уделяется возможностям работы с данными спутниковой радиолокации (в основном с данными, получаемыми со спутника ENVISAT). В то же время, система позволяет проводить комплексный анализ данных различных спутниковых систем наблюдения Земли. В системе используются данные спутников Terra, Aqua, NOAA, LANDSAT и др. Система обеспечивает возможность работы как с ежедневно получаемыми спутниковыми данными, так и с многолетними архивами данных, накопленных в Институте космических исследований российской академии наук (ИКИ РАН).

Требуется регистрация, как и для сервиса “Вега – Дальний Восток”.

5. Геопортал ЮГРА. Предоставление доступа к пространственным данным на территорию Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Мониторинг осуществляется с использованием космических снимков различного пространственного разрешения со спутников: Landsat-5, 7, 8 (разрешение 15 – 30 м), ALOS/PRISM (2,5 м), ALOS/AVNIR-2 (10 м), ASTER (15 м), Formosat-2 (8 м), QuickBird (0,6 м), GeoEye-1 (0,5 м), IKONOS (0,9 м), RapidEye (5 м).

6. Компания “Совзонд” – ведущий российский интегратор в области геоинформационных технологий и космического мониторинга – образована в 1992 г. : http://sovzond.ru/ .

Основные направления деятельности компании:

– Разработка и внедрение геоинформационных систем.

– Продукты и услуги:

а) фотограмметрия;

б) картография;

в) геоаналитика и тематические проекты;

г) программное обеспечение;

д) пространственные данные;

е) технические средства.

– Онлайн-сервисы:

а) геоаналитика. Архив. (Организация структурированного хранения пространственных данных);

б) геомонитор. (Веб-сервис обеспечения территориальных проектов информацией);

в) каталог снимков. (Уникальный каталог для поиска космических снимков с 16-ти КА ДЗЗ).

На сайте www.sovzond.ru функционирует каталог для поиска снимков с космических аппаратов высокого и сверхвысокого пространственного разрешения – www.catalog.sovzond.ru.

Каталог предназначен для анализа покрытия территорий космическими данными и представляет собой архив информации о спутниковых покрытиях. Для удобства пользования архивом предусмотрены различные критерии отбора данных (территориальные, временные, аппаратурные, по условиям съемки и пр.). На текущий момент каталог "Совзонд" содержит в себе информацию о покрытиях с наиболее востребованных спутников ДЗЗ и является самым большим (по количеству спутников) архивом. В настоящее время в каталоге доступен архив съемки со спутников «Ресурс-ДК1», «Монитор-Э», «Ресурс-Ф» (Россия), QuickBird, WorldView-1, WorldView-2, GeoEye, IKONOS (США), TerraSAR-X, RapidEye (Германия), ALOS (Япония), Pleiades-1A,B (Франция), TH-1 (Китай), Deimos-1 (Испания). Пользователь может выбрать любую территорию одним из трех способов: указав название города, воспользовавшись инструментом для рисования или загрузив shapefile. Основные критерии поиска снимков: название спутника, интервал времени съемки, допустимый процент облачности. Результат поиска данных отображается на экране, а также сопровождается таблицей с характеристиками имеющихся снимков. Для снимков с ряда спутников можно дополнительно загрузить «квик-луки» – загрубленные изображения снимка с файлами привязки. При поиске покрытий на интересующую территорию можно вводить параметр сезонности.

7. Веб-сервисы Satin и Syntool Arctic, призванные упростить работу пользователя с данными дистанционного зондирования океана путём их каталогизации и обеспечения единого доступа, а также визуализации для проведения синергетического анализа. Т.е. найти общие закономерности в сложной системе атмосфера – океан, основываясь на принципе самоорганизации.

Сервисы были разработаны в Лаборатории спутниковой океанографии (г. Санкт-Петербург). Для поиска, предварительной визуализации и загрузки спутниковых данных был разработан веб-каталог Satin, доступный по адресу: http://satin.rshu.ru.

Правительства США и РФ периодически принимают решения о снятии ограничений на распространение космических снимков высокого разрешения.

Спутник WorldView-1 компании DigitalGlobe был выведен на околоземную солнечно-синхронную орбиту 18 сентября 2007 г. Космический аппарат оснащен телескопом с апертурой 60 см для съемки только в панхроматическом режиме с пространственным разрешением до 0,5 м.

Министерство торговли США разрешает продажу космических снимков с разрешением до 50 см. В РФ еще есть ограничение на снимки с разрешением лучше, чем 2 метра.

Космический аппарат WorldView-2 был запущен 8 октября 2009 года. WorldView-2 позволил получать цифровые изображения земной поверхности с пространственным разрешением 46 см в панхроматическом режиме и 1,84 м в мультиспектральном режиме при съемке в надир.

WorldView-3 был запущен 13 августа 2014 года.

Спутник имеет:

– панхроматический канал с пространственным разрешением 31 см;

– 8 каналов видимого и ближнего ИК-диапазонов с разрешением 1,24 м;

– 8 каналов в коротковолновом ИК диапазоне (SWIR) с разрешением 3,7 м;

– 12-канальный прибор CAVIS с 30-метровым разрешением.

Информация с CAVIS позволяет производить коррекцию облаков, аэрозолей, дымки, льда и снега для собственных снимков высокого разрешения.

В июне 2014 г., Министерство торговли США приняло решение о снятии ограничений на продажу космических снимков с разрешением до 25 см.

В феврале 2015 года РФ тоже сняло 2-метровое пространственное ограничение на использование спутниковых снимков.

Российская орбитальная группировка спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) к 2025 г. увеличится почти в семь раз – до 48 единиц. Такой прогноз озвучил 14 сентября 2015 г. заместитель генерального конструктора АО "Российские космические системы (РКС)" Виктор Селин.

"По состоянию на этот год мировая орбитальная группировка спутников ДЗЗ составляет 90 космических аппаратов, российская – семь спутников. В период с 2016 по 2025 гг. ожидается, что будут запущены 353 космических аппарата (41 страна мира) и 48 российских спутников ДЗЗ", – сказал Селин, выступая в рамках Международной школы по спутниковой навигации в Москве.

В заключении приведены интересные факты, взятые из журналов “Геоматика” компании “Совзонд” [3].

В 2014 г. компания Planet Labs (Калифорния, США) начала разворачивать космическую группировку нано спутников ДЗЗ Flock. Последний запуск в августе 2015 г. довел количество спутников Flock до 101. Спутники находятся на разных орбитах высотой 380 – 410 км и ведут съемку с пространственным разрешением 3 на 5 м.

Компания Skybox Imaging (Калифорния, США) разворачивает группировку мини-спутников SkySat-1, каждый весом 100 кг. К примеру, Метеор М2, запущенный вместе со вторым SkySat-2 в 2014 г., весит 3 тонны. Всего к 2016 г. планируется создать группировку из 24 спутников SkySat. После полного развертывания группировки спутников сверхвысокого разрешения у пользователей будет возможность просмотра любой точки Земли в режиме, близком к реальному времени. Будет проводиться также видеосъемка из космоса. Разработчики компании Skybox Imaging создали спутник, способный вести съемку с разрешением более 1 м, избегая использования дорогостоящих устройств, которые увеличили бы цену каждого спутника. Вероятно, вся группировка SkySat будет стоить дешевле одного современного тяжелого полномасштабного спутника ДЗЗ. Программное обеспечение для управления спутниками разрабатывалось с учетом простоты использования: инженеры Skybox Imaging могут следить за спутниковой телеметрией со своих домашних компьютеров.

Японское агентство аэрокосмических исследований (JAXA) составит глобальную цифровую 3D-карту с самой высокой точностью в мире, используя для этого 3 млн космических снимков, полученных со спутника ALOS. Составляемая 3D-карта будет иметь пространственное разрешение 5 м как в плане, так и по высоте.

В журнале Nature Communications была опубликована статья о речной системе в пустыне Сахара. Русло реки ученые обнаружили при помощи радиолокационных наблюдений научного инструмента PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) с японского спутника ALOS (Advanced Land Observing Satellite). Трехмерные снимки позволили ученым заметить ровные края древних каналов, спрятавшиеся под песками современной пустыни.

Центр дистанционного зондирования Земли Японии (RESTEC) успешно разработал технологию преобразования монохромных изображений, снятых радарным сенсором L-диапазона (1-2 ГГц), которым оснащен спутник ALOS-2. Радарные одно поляризационные снимки автоматически раскрашиваются в естественные цвета, близкие к оптическому изображению.

Съемка в L-диапазоне просвечивает растительность, в том числе не слишком плотный лес. Излучение данного диапазона может частично (на глубину до нескольких метров) проникать в сухой снег, лед и почву. Номинальное пространственное разрешение в зависимости от режима съемки – от 1 до 100 м.

В последние годы появился новый источник данных о паросодержании атмосферы. Измеряются задержки сигналов, принимаемых наземными станциями, со спутников GPS (Global Position System) и ГЛОНАСС [4]. Одним из преимуществ данного подхода является то,

что в отличие от радиозондовых станций (число которых не велико) сеть островных, береговых и материковых приёмных станций GPS/ГЛОНАСС позволяет проводить измерения с интервалом в 5 мин (GPS).

В статье Жантаева Ж.Ш. и соавторов [5] описан радарный мониторинг смещений и деформаций зданий методом радарной интерферометрии.

В 1971 г. D.Richman (США) изобрел метод радарной интерферометрии и зарегистрировал на него патент. Патент засекретили, т.к. технология позволяла строить высокоточные (с метровыми точностями) цифровые модели местности и рельефа, а также отслеживать изменения рельефа и смещения земной поверхности с миллиметровыми точностями. В начале 1980-х гг. к открытию данной технологии вплотную подошли другие исследователи, и патент был рассекречен и опубликован.

Технологии радарной интерферометрии широко стали применять с начала 1990-х гг., когда был запущен спутник ERS-1 (Европейское космическое агентство) с радаром с синтезированной апертурой на борту.

Суть технологии в том, что снимается одна и та же территория за разные даты, в одной и той же геометрии съемки спутникового радара. Далее программа строит интерферограммы и оценивает величины когерентности по каждой паре снимков. В итоге получаем разности фаз каждого снимка, что и дает величину смещений за период между съемками.

По данным со спутников COSMOSkyMed-1-4 авторам удалось установить отдельные оседающие и/или деформирующиеся здания и сооружения с миллиметровой точностью на территории Астаны.

Заключение. В итоге получается, что снимки высокого разрешения надо заказывать и покупать в компании “Совзонд”, а снимки среднего и низкого разрешения искать на зарубежных сайтах или получать по договору от российских или зарубежных компаний, таких как Роскосмос, ИКИ РАН и т.д. В открытых источниках имеются снимки высокого разрешения, но вряд ли удастся найти им практическое применение из-за их нерегулярности и не нужного вам района съемки. На многих российских и зарубежных сайтах приведены снимки с космических аппаратов в виде изображений далеко не максимального качества. Такие изображения годятся только для ознакомительных и образовательных целей.

Крупные компании, такие как PO.DAAC (USA, NASA), Aviso (Франция) постоянно пересчитывают старые данные по новым методикам (реанализ) и выставляют их для свободного пользования. Более того, в свободном доступе появляются ранее закрытые данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Катаев М.Ю., Бекеров А.А., Лукьянов А.К.* Интернет-информационная система накопления, обработки и анализа спутниковых данных MODIS // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – № 1 (35). – С. 93.
2. *Организация* автоматического получения наборов информационных продуктов из центров архивации и распространения спутниковых и метеоданных / И.В. Балашов, О.А. Халикова, М.А. Бурцев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10. – № 3. – С. 9–20.
3. Журнал “Геоматика”. – 2014. – № 1, 4. – 2015. – № 1, 2, 3.
4. *Evaluation* of GPS Precipitable Water over Canada and the IGS Network / Godelieve Deblonde, Stephen Macpherson, Yves Mireault [et al.] // Journal of Applied Meteorology. – 2005. – V. 44, Issue 1. – P. 153–166.
5. *Результаты* космического радарного мониторинга смещений и деформаций зданий и сооружений в Астане / Ж.Ш. Жантаев, Б.К. Курманов, А.В. Иванчукова [и др.] // Геоматика. – 2013. – № 4. – С. 37–53.