

ОТКРЫТЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ И ЦИФРОВЫЕ СЕРВИСЫ ДОСТУПА К НИМ

И. П. Карачевцева, С. С. Дубов, М. В. Андреев, А. С. Гаров,
А. Э. Зубарев, И. Е. Надеждина, Н. А. Козлова✉, Н. А. Слодарж

Московский государственный университет геодезии и картографии,
г. Москва, Российская Федерация

Рассмотрена концепция «Открытые данные» с точки зрения ее применения для доступа пользователей к пространственным данным. Показано, что из-за особенностей пространственных данных к ним могут быть не применимы некоторые принципы концепции «Открытые данные» и методические рекомендации для их публикации. Создаваемый в Московском государственном университете геодезии и картографии информационный ресурс «Навигатор открытых пространственных данных» для подготовки специалистов в области исследования территорий призван упростить доступ к геоданным. Особенности применения открытых пространственных данных показаны на примере Луны, поскольку планетные данные давно имеют статус свободно распространяемых. Представлены цифровые сервисы доступа к планетным данным для обучения специалистов в области космических исследований. Обсуждены форматы хранения планетных геоданных. Накопленные в Московском государственном университете геодезии и картографии открытые лунные данные и созданные интерактивные сервисы обеспечивают организацию свободного доступа к онлайн-модели «Цифровая Луна», которую можно рассматривать как точку сбора необходимой инфраструктуры, информационных массивов и цифровых инструментов для обработки геоданных в области исследования территорий. С внедрением технологий искусственного интеллекта и машинного обучения потенциал сервисов «Цифровая Луна» может быть расширен, а накопленные планетные геоданные обеспечат возможность создания дополнительных междисциплинарных связей.

Ключевые слова: исследование территорий, открытые пространственные данные, открытые планетные данные, Цифровая Луна, интерактивный онлайн-сервис.

Введение

Развитие концепции «Открытые данные» (ОД) началось несколько десятков лет назад и в настоящий момент также развивается и в России, поскольку различные государственные программы («Цифровая экономика», «Электронная Россия», «Открытое Правительство» и т. п.) обусловили внимание к открытым данным, которые должны быть представлены в общий доступ через интернет-порталы государственных органов для обработки в различных информационных системах. Основные принципы концепции ОД сводятся к следующим положениям [1]:

- полнота – информация должна быть предоставлена в полном объеме;

✉ mexlab@miigaik.ru

© Ассоциация «ТП «НИСС», 2023

- первичность – данные публикуются «сырыми», «как есть», т. е. без фильтрации и обработки, которая может скрыть истинные значения;
- своевременность – моментальное открытие данных общественности, они должны быть актуальными, а не годовой и более давности;
- доступность – публикуемые данные доступны всем желающим без ограничений для ознакомления, сохранения и дальнейшего использования в виде обработки, визуализации и др.;
- пригодность к машинной обработке – обязательное использование универсальных форматов, специально предназначенных для представления и машинной обработки любых данных, таких как *xml*, *csv*, *rdf* и *json*, и недопустимость применения документо- и проблемно-ориентированных форматов, таких как *doc*, *pdf* и т. п.;
- лицензионная чистота – процесс получения данных должен быть юридически чист;

- анонимность доступа – данные доступны для всех пользователей, без каких-либо требований к регистрации и аутентификации;

- отказ от проприетарных форматов – обязательное использование только открытых форматов представления информации.

Целью раскрытия ОД (включая пространственные данные, имеющие координатную компоненту) и их публикации в машиночитаемых форматах является облегчение к ним доступа заинтересованных лиц, которые могут анализировать и перерабатывать ОД, использовать их в различных отраслях, научных исследованиях, образовательных программах и т. п.

ОД являются важной основой для социальных и общественно-значимых направлений, в том числе для образования. В настоящей статье обсуждаются такие специфические ОД, как пространственные данные, в особенности, планетные геоданные, сложность которых требует разработки специальных подходов для их использования в учебных процессах.

1. Использование открытых данных при подготовке специалистов в области исследования территорий

В Российской Федерации основным источником пространственных данных для развития территорий является федеральная государственная информационная система территориального планирования [2] – ФГИС ТП. Эта система содержит в свободном доступе сведения о текущем состоянии территорий РФ и планы по их дальнейшему развитию. Представленная в ней информация подготовлена в соответствии с требованиями к описанию и отображению в документах объектов территориального планирования [3]. Однако слабая связь с земельными и имущественными информационными системами и доступность для пользователей при загрузке только некоторых форматов (таких как *doc* или *pdf*) затрудняют машинную обработку значительной части геоданных, размещенных в ФГИС ТП. Федеральный портал пространственных данных [4] – ФППД – предоставляет пользователям возможность получения открытой информации в различных ГИС-форматах, используемых для представления геоданных, в том числе в рекомендуемом формате *json*, однако, сделать это можно только по запросу после авторизации. Регистрация пользователя необходима и в ФГИС ТП, хотя требования аутентификации противостоят концепции ОД в части свободного анонимного доступа к данным. Во многом это объясняется необходимостью информационной защиты, однако, следует искать баланс между открытостью, определяющей темпы развития государства, и огра-

ждением от злоумышленников. Все это создает серьезные трудности для построения эффективных цифровых сервисов обработки ОД, тем самым влияя на качество управления территориями.

Для решения задач территориального планирования РФ, включая повышение качества образования в области управления геоданными, в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) создается специализированный информационный ресурс «Навигатор открытых пространственных данных» (Навигатор), обеспечивающий развитие кадрового потенциала, инфраструктуры и цифровых сервисов.

При разработке Навигатора будет не только аккумулирован накопленный ранее опыт поиска, обработки и анализа ОД, но и учтены особенности геоданных, включая используемые программные платформы, механизмы обработки и анализа пространственной информации. Основная цель – облегчить доступ к открытым геоданным путем обеспечения пользователей необходимой инфраструктурой, информационными массивами и инструментами, необходимыми для их обработки. Новый информационный ресурс МИИГАиК направлен на решение следующих образовательных задач:

- вовлечение обучающихся в работу с реальными данными в рамках лабораторных работ, курсовых и дипломных проектов;
- приращение рынка труда специалистами, обладающими опытом работы с открытыми пространственными данными;
- формирование ресурсной базы для развития технологий искусственного интеллекта в области управления геоданными.

При разработке Навигатора выявлен ряд особенностей пространственной информации, которые вступают в противоречие с некоторыми положениями концепции ОД и методических рекомендаций [5]. Как известно, пространственный объект определяют взаимосвязанные элементы – координаты и атрибуты, где первый компонент определяет местоположение геообъекта в установленной системе координат, второй – представляет его качественные и количественные параметры. Если атрибутивная информация может быть довольно просто представлена в машиночитаемых форматах, то описание пространственной компоненты имеет свои особенности, связанные с необходимостью поддержки координат в различных системах отсчета. Таким образом, сложная структура геоданных вызывает необходимость учета их свойств и, в том числе, выбирать подходящие способы их публикации в качестве ОД. Например, в науках о Земле основным источником пространственной информации являются данные дистанционного зондирования и результаты их обработки (цифровые модели рельефа и ортомозаики), имеющие

растровое представление. Однако открытый формат *GeoTIFF*, который фактически стал стандартом для представления растровых пространственных данных и поддерживает описание систем координат, отсутствует в методических рекомендациях [5].

В процессе разработки Навигатора среди всего многообразия подмножества открытых пространственных данных выделена информация по телам Солнечной системы, поскольку она является открытой уже не один десяток лет, а политика открытости в области земных геоданных является достижением лишь новейшего времени. Например, открытый доступ к космической съемке Земли высокого разрешения ограничен либо высокой стоимостью, либо соображениями секретности, тогда как, например, космические изображения Луны высокого разрешения (с размером пикселя до 50 см) распространяются свободно и без ограничений. Поэтому создание общедоступных цифровых сервисов, связанных с планетной информацией, широко развивается в странах, ведущих космические исследования.

2. Открытые планетные данные

Рациональность открытого подхода в организации доступа к планетным геоданным обусловлена их следующими особенностями: трудность получения, большой объем, сложность обработки, а также высокая научная ценность. Поэтому для отработки технологических подходов организации свободного доступа к открытым пространственным данным при создании Навигатора исследованы методы распространения планетной информации. Это связано также и с тем, что пространственные планетные данные не столь разнообразны, как земные данные, что позволяет их изучать на небольшой выборке различных типов данных.

Пространственные планетные данные, такие как космические изображения поверхности небесных тел и продукты их обработки, включая цифровые модели рельефа (ЦМР) и ортомозаики, являются свободно доступными (за некоторыми исключениями, касающимися новых данных, что связано с приоритетом научных команд, обеспечивающих их получение), однако, далеко не каждый потенциальный потребитель может свободно использовать планетную информацию, особенно такую, как первичные «сырые» изображения, как того требуют принципы ОД. Это связано со сложностью внутренней структуры и обработки планетных данных, что, в свою очередь, определяется такими факторами, как:

- удаленность объектов от Земли, наличие радиации и космического излучения;
- система координат определяется более, чем 6-ю параметрами: положение в пространстве

Солнечной системы, форма тела, ориентация, вращение;

- привязка времени, связанная с небесным телом, а не с Землей;
- разновременные условия съемки;
- использование в обработке данных, полученных разнородными съемочными системами различных космических аппаратов (КА).

Каждая космическая миссия и приборы уникальны, также имеют свои особенности формат и структура планетных данных. Требуется потратить значительное время на поиск и обработку информации для ее дальнейшего использования в научных исследованиях, и, тем более, для образовательных целей. Таким образом, полнота использования такой сложной и ценной информации как планетные данные является важной задачей, для решения которой требуются современные подходы, как для хранения и обработки, так и для доступа к результатам космических исследований Солнечной системы на новом технологическом уровне.

Одним из примеров внедрения новых технологий для организации доступа к планетным данным является европейский проект VESPA (Virtual European Solar and Planetary Access) – так называемая Виртуальная обсерватория для исследований Солнечной системы [6]. Пользователи системы получают свободный открытый доступ через единый интерфейс – портал запросов VESPA [7], который обеспечивает поиск данных и работу служб передачи информации с помощью протокола EPN-TAP. Этот протокол, специально разработанный для описания характеристик планетных данных, включает в себя набор различных параметров, а также связанных с ними условий сбора и наблюдений, обеспечивая доступ к широкому спектру планетной информации, включая космические, наземные, экспериментальные и имитационные модели в различных научных областях: от визуализации поверхности планет до спектроскопии, структуры атмосферы, электромагнитных полей и измерений частиц [8]. Протокол EPN-TAP поддерживает передачу геоданных не только в рекомендуемых для ОД форматах (например, *GeoJSON*), но и в растровом формате, а также в формате *pdf*, который является с 2008 года открытым стандартом ISO 32000, что переводит его из статуса проприетарных к рекомендованным для использования, особенно для хранения и публикации таких документов, как географические карты.

Современные программные решения в области обработки планетных данных картографо-геодезическими методами и организации к ним свободного доступа разрабатываются также в МИИГАиК в рамках Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий.

3. Исследование внеземных территорий и «Цифровая Луна»

В Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий обработаны и накоплены пространственные данные о поверхности более десятка небесных тел, таких как Луна, Меркурий, Марс и его спутник Фобос, спутники Сатурна (Энцелад, Гиперион и др.) и Галилеевы спутники Юпитера [9; 10]. Среди обработанных данных, помимо базовой координатной информации (опорные сети, ЦМР и ортомозаики), имеются каталоги кратеров (Луна, Меркурий) и каталоги борозд (Фобос). Все эти данные, как в растровом, так и векторном форматах имеют пространственную привязку в соответствующих каждому небесному телу международных системах координат и свободно доступны через геопортал планетных данных МИИГАиК (Геопортал), первый прототип которого был создан в 2013 году [11].

По мере накопления массива планетной информации возникла задача не только хранения и организации удобного доступа, но и необходимость развития цифровых сервисов, обеспечивающих дальнейшее использование пространственных данных для изучения внеземных территорий на современном технологическом уровне. С этой целью была предложена концепция распределенной коммуникационной среды на основе новой программной архитектуры [12]. Предлагаемый методологический подход основан на возможности комплексного использования разнородных данных в рамках единой унифицированной информационной среды.

Это имеет большое значение для доступности данных на качественно новом уровне, где экспертный анализ и автоматизированные подходы к обработке данных дополняют друг друга. Основная идея заключается в создании для исследовательских/учебных групп гибкой рабочей среды, которую можно масштабировать в соответствии с требуемым объемом данных и вычислительной мощностью при сохранении минимальных затрат на инфраструктуру. Использование принципа «единого окна» сочетает в себе доступ к данным через функциональность Геопортала и возможности обработки и коммуникации между исследователями.

Основываясь на этом инновационном подходе, станет возможным организовывать как научные исследования, так и образовательные процессы при исследовании внеземных территорий на новом технологическом уровне, который предоставляет больше возможностей для немедленного и непосредственного повторного использования материалов исследования, включая данные, алгоритмы, методологию и компоненты. Новая программная среда ориентирована на удаленные

научные/учебные группы и обеспечивает доступ к пространственно-распределенной информации, для обработки которой реализуется интерфейс в виде развитых цифровых сервисов.

Луна – приоритетный объект Федеральной космической программы России. Различные свойства пространственной планетной информации, усложняющие обработку и доступ к ней, относятся и к лунным данным, несмотря на относительную близость этого небесного тела к Земле, включая и условия съемки, и высокую ценность данных. Интенсивность научных исследований Луны на современном этапе привела к тому, что объем получаемых данных значительно вырос и продолжает быстро расти. Так, например, число снимков, полученных к настоящему времени с 2009 года КА LRO (Лунный орбитальный зонд, США) с помощью бортовой узкоугольной камеры (LROC NAC), составляет более 1,3 миллиона изображений [13], что соответствует более чем 700 ТБ, причем ежемесячно поступают терабайты новых данных. Такой массив информации просто не может быть полностью обработан только исследовательской командой, поэтому снимки КА LRO свободно доступны для международного научного сообщества.

Однако в большинстве случаев команды КА публикуют только необработанные (сырые некалиброванные) данные с бортовых приборов, поэтому их невозможно использовать в качестве ОД по причине сложной структуры пространственных данных, в особенности, планетных. То есть в качестве реально общедоступной для применения разными группами пользователей открытых пространственных данных можно использовать лишь калиброванную, предварительно подготовленную, информацию.

Обработка и анализ таких данных требуют специализированных подходов, включая обработку, различные методы категоризации и интеграции данных, а также совместный анализ разнородной информации, полученной из разных источников. Для решения этих проблем мы предложили идею «Цифровой Луны» [14] – интеграцию всей имеющейся пространственной лунной информации, а также новых данных, которые будут получены в будущем, на основе представленной выше концепции единой универсальной среды [12], которая включает решения для хранения, архивирования, совместной обработки, доступа, распространения, визуализации и анализа планетных данных.

Созданная ранее версия Геопортала в настоящий момент обновляется с использованием развиваемой программной архитектуры и представляет собой инновационную цифровую среду, которая будет поддерживать онлайн-обработку, анализ и трехмерную визуализацию пространственных данных. Для ее реализации мы предла-

гаем различные программные решения, которые обеспечат:

- обмен научными знаниями на основе сохранения сценариев обработки;
- формирование коллективного рабочего пространства, которое позволит осуществлять совместную обработку пространственных данных удаленными научными/учебными группами;
- организацию образовательных процессов с проведением онлайн-лекций и мастер-классов на новом технологическом уровне управления геоданными.

146

Предлагаемые методы обрабатываются сейчас с использованием лунных данных, которые накапливаются в развитие концепта «Цифровая Луна» с помощью Геопортала планетных данных и формируемых на его основе интерактивных онлайн-сервисов для исследования внеземных территорий.

4. Интерактивные сервисы для доступа и обработки планетных данных

Новая программная платформа Геопортала позволяет создавать унифицированную распределенную коммуникационную среду для обработки пространственных данных, которая объединяет веб-, настольные и мобильные приложения, а также может поддерживать возможности общедоступного облака и модель добровольных вычислений. В частности, предложенная программная архитектура Геопортала позволяет создавать цифровые сервисы, которые можно использовать как для исследований, так и для образовательных задач по различной тематике для обработки, анализа и трехмерной визуализации пространственных планетных данных. Среди них приведем в качестве примера приложение «OrbitCalc» – интерак-

тивный сервис для вычисления орбит КА и планирования съемки поверхности. Предварительное планирование будущей съемки планет является частью подготовки миссий и призвано обеспечить выполнение фотограмметрических требований для последующего корректного создания высокоточных цифровых моделей местности для топографического картографирования. В рамках исследования Луны, которое имеет ключевое значение для российской лунной программы, планируется орбитальная миссия Луна-26 (Луна-Ресурс-1 ОА) для топографического картографирования поверхности. Стерефотографирование в рамках миссии Луна-Ресурс-1 ОА будет выполняться с помощью лунной стереотопографической камеры (ЛСТК), которая разработана в Институте космических исследований Российской академии наук [15].

В текущей версии веб-приложения «OrbitCalc» реализован расчет орбит КА и параметров их визуализации вокруг Луны, а также Меркурия (рис. 1). Вычислительный модуль написан на C++ и скомпилирован в виде библиотеки DLL, доступ к которой осуществляется серверным приложением Геопортала [16]. Для проверки разработанного алгоритма использованы реальные параметры орбит КА двух миссий НАСА: к Луне (КА LRO) и к Меркурию (КА MESSENGER). Онлайн-сервис «OrbitCalc» для расчета параметров орбиты КА основан на использовании программных библиотек SPICE [17].

При загрузке веб-приложения, после того как пользователь выбирает небесное тело в меню интерфейса с помощью команды SelectBody (список доступных тел указан в файле конфигурации), приложение отправляет всем зарегистрированным сервисам широкополосный запрос для получения информации о растровых/векторных слоях, имеющихся для выбранного небесного тела, а также доступных серверных инструментах.

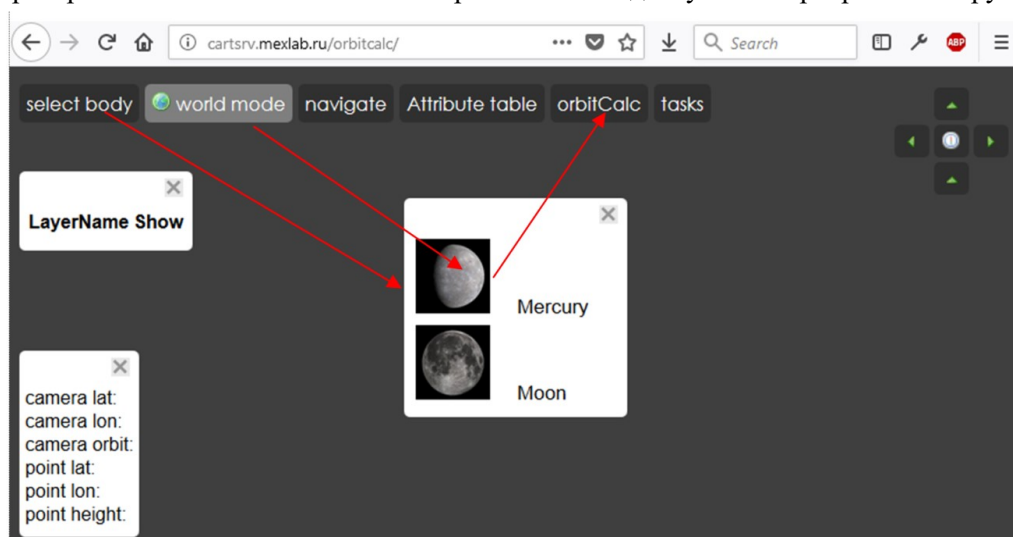


Рис. 1. Пользовательский интерфейс «OrbitCalc»: выбор небесного тела и метода визуализации (2D- или 3D-режим)

Пользователь может указать входные данные для расчетов: начальный момент, период и разрешение, параметры выбранной камеры, начальные орбиты и скорость КА, а также его массу для учета гравитационных возмущений и влияния солнечного давления (рис. 2).

Для учета гравитационных возмущений и влияния солнечного давления разработан алгоритм интегрирования орбит с использованием метода Адамса-Башфорта 5-го порядка [18]. В качестве входного параметра алгоритма указывается небесное тело, для которого известны параметры гравитационного поля (Солнце и Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн). Алгоритм был протестиро-

ван с использованием навигационной информации КА LRO, поскольку гравитация Луны теперь хорошо известна из миссии НАСА GRAIL [19].

Для проверки алгоритма использована модель гравитационного поля Луны с точностью до 100 порядков [20], а также модель гравитационного поля Земли с точностью до 20 порядков [21]. Из сравнения параметров орбиты КА LRO, рассчитанных в «OrbitCalc», с эталонными данными (параметрами реальной орбиты КА LRO) получена точность около 50 м с интервалом в 24 часа, что позволяет прогнозировать движение КА в соответствии с требованиями будущей российской орбитальной миссии Луна-Ресурс-1 ОА [15].

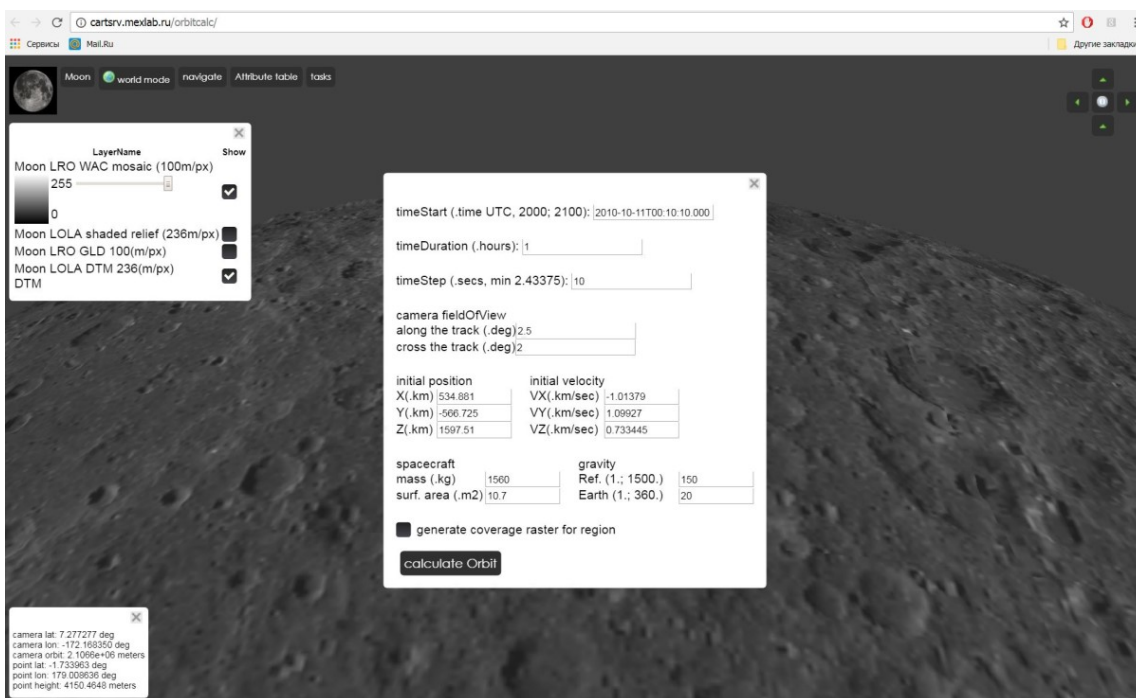


Рис. 2. Входные параметры для расчета орбит КА «Orbit Calc» (для КА LRO на орбите Луны параметры выбираются по умолчанию)

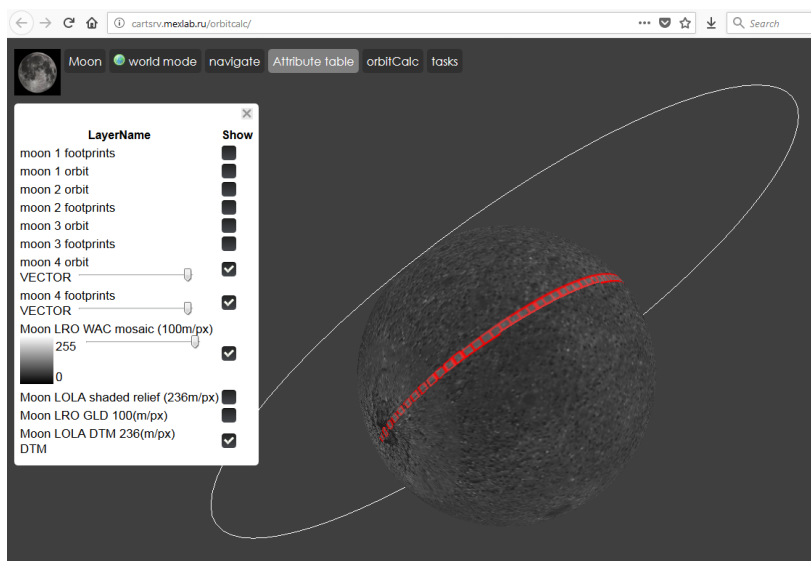


Рис. 3. Пример модельной орбиты и границ съемки КА LRO, рассчитанных с помощью цифрового сервиса «OrbitCalc»

Приложение «OrbitCalc» поддерживает вычисление и визуализацию трехмерных координат орбит КА не только для текущих или уже завершенных миссий за выбранное время в прошлом (рис. 3), но и для прогнозирования орбит в будущем с целью моделирования съемки, например, для планируемой российской миссии Луна-Ресурс-1 ОА. Так, с помощью «OrbitCalc» на основе параметров камеры можно производить расчеты покрытий поверхности небесного тела

отпечатками будущих изображений, которые могут быть получены выбранной камерой (рис. 4), а также оценку перекрытия между изображениями, что необходимо при стереосъемке, в соответствии с требованиями фотограмметрии для последующего формирования ЦМР. Пользователь может установить зону покрытия в географической системе координат и дискретность выходной информации, например, шаг регулярной сетки в градусах.

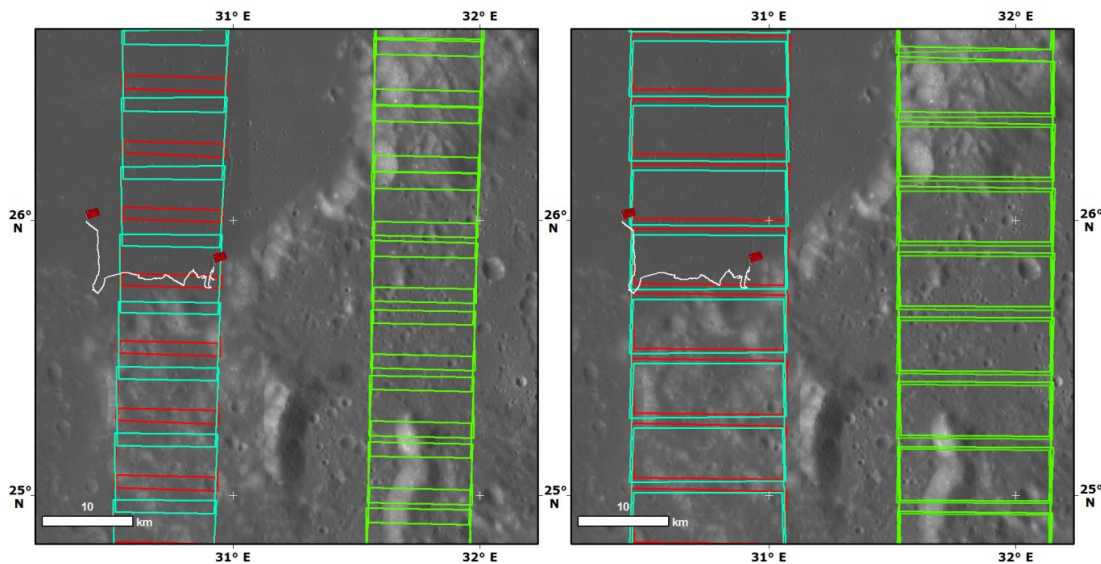


Рис. 4. Пример границ модельных изображений камеры ЛСТК [10] с двух соседних орбит высотой 50 км (слева) и 70 км (справа): границы, смоделированные для передней камеры ЛСТК, выделены красным цветом, для обратной камеры – голубым

По окончании расчетов цифровой сервис «OrbitCalc» информирует пользователя о наличии результатов в виде новых слоев, например, границ будущих снимков, которые могут быть визуализированы в режиме наложения с другими слоями, имеющимися для выбранного тела на район исследований. Так, на рис. 4 показаны границы снимков, смоделированные с помощью «OrbitCalc», на район посадки советской миссии Луна-21, включая территорию передвижения Лунохода-2 (маршрут которого показан линией белого цвета).

При визуализации результатов расчетов на разных масштабных уровнях – от планетарного (рис. 2, 3) до детального (рис. 4) – в качестве дополнительного слоя показана глобальная мозаика Луны, полученная по результатам обработки снимков широкоугольной камеры (WAC), установленной на борту КА LRO [22].

Заключение

Для повышения качества образования в области управления геоданными, включая задачи территориального планирования РФ, в МИИГАиК

создается специализированный информационный ресурс «Навигатор открытых пространственных данных» для доступа к ОД, имеющим координатную компоненту.

В связи с накопленным мировым опытом организации свободного доступа к планетной информации, особенности публикации открытых пространственных данных исследованы на примере подготовки геоданных для исследования внеземных территорий. Сложность пространственных данных показала необходимость использования калиброванных (специально предобработанных) данных на основе различных форматов, отсутствующих в списке рекомендованных к использованию при публикации ОД.

Для онлайн-доступа к геоданным используются интерактивные сервисы, функциональность которых активно расширяется, что показывают представленные цифровые инструменты Геопортала. Совершенствование программной архитектуры Геопортала для решения различных тематических задач обеспечивает следующий этап эволюции ГИС-систем, примером чего можно рассматривать формирование онлайн-модели «Цифровая Луна».

С внедрением технологий искусственного интеллекта и машинного обучения разрабатываемая в МИИГАиК модель «Цифровая Луна» может быть трансформирована в «Цифровой двойник Луны» – концепт, предложенный Роскосмосом в качестве обучающего проекта, для реализации которого необходимы открытые планетные данные.

Новый информационный ресурс «Навигатор открытых пространственных данных», создаваемый в МИИГАиК для обучения в области исследования территорий, облегчит

доступ к геоданным, как в науках о Земле, так и при изучении небесных тел, за счет упрощенного стандартизированного описания, принятого в концепции «Открытые данные», а интеграция и адаптация программных платформ и цифровых сервисов, отработанных на примере Луны и планет, позволит применять и обрабатывать геоданные широкому кругу пользователей, как для научных исследований и образовательных программ разного уровня, так и для популяризации космических исследований.

Список литературы

- [1] Гордеев М. О., Гришмановский П. В. Роль открытых данных // Вестник кибернетики. 2017. № 3. С. 26–30.
- [2] Федеральная государственная информационная система территориального планирования [Электронный ресурс]. URL: <https://fgistp.economy.gov.ru/> (дата обращения: 03.04.2023).
- [3] Приказ об утверждении Требований к описанию и отображению в документах территориального планирования объектов федерального значения, объектов регионального значения и объектов местного значения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/7f78d53c0a4bbd9676ff1e149e4118b7/10.pdf> (дата обращения: 03.04.2023).
- [4] Федеральный портал пространственных данных [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.fppd.cgkipd.ru/main> (дата обращения: 03.04.2023).
- [5] Методические рекомендации по публикации открытых данных. Версия 3.0 [Электронный ресурс]. URL: <https://data.gov.ru/metodicheskie-rekomendacii-po-publikacii-otkrytyh-dannyh-versiya30> (дата обращения: 03.04.2023).
- [6] VESPA/Europlanet-2024 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.europlanet-vespa.eu/> (дата обращения: 03.04.2023).
- [7] VESPA/Data Services [Электронный ресурс]. URL: <https://vespa.obspm.fr/planetary/data/> (дата обращения: 03.04.2023).
- [8] Erard S., Cecconi B., Le Sidaner P., Rossi A. P., Capria M. T., Schmitt B., Géno V., André N., Vandaele A. C., Scherf M., Hueso R., Määttänen A., Thuillot W, Carr B., Achilleos N, Marmo C., Santolik O., Benson K., Fernique P. VESPA: a community-driven Virtual Observatory in Planetary Science // Planetary and Space Science. 2018. vol. 150. pp. 65–85. doi: 10.1016/j.pss.2017.05.013.
- [9] Зубарев А. Э., Надеждина И. Е., Брусникин Е. С., Карачевцева И. П., Оберст Ю. Методика обработки космических изображений с неоднородными характеристиками для оценки фундаментальных параметров небесных тел на примере Ганимеда // Астрономический вестник. 2016. Т. 50. № 5. С. 372–380. doi: 10.7868/S0320930X1605008X.
- [10] Надеждина И. Е., Зубарев А. Э. Создание опорной координатной сети как основы для изучения физических параметров Фобоса // Астрономический вестник. 2014. Т. 48. № 4. С. 290–299. doi:10.7868/S0320930X14040082.
- [11] Карачевцева И. П., Матвеев Е. Н., Коханов А. А., Козлова Н. А., Гаров А. С. Разработка системы хранения планетных данных и организация доступа к ним на основе ГИС-технологий (Геопортал) // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 89–97.
- [12] Garov A. S., Karachevtseva I. P., Matveev E. V., Zubarev A. E., Florinsky I. V. Development of heterogenic distributed environment for spatial data processing using cloud technologies // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 2016. vol. XLI-B4. pp. 385–390, XXIII ISPRS Congress. doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B4-385-2016.
- [13] Robinson M. S., Brylow S. M., Tschimmel M., Humm D., Lawrence S. J., Thomas P. C., Denevi B. W., Bowman-Cisneros E., Zerr J., Ravine M. A., Caplinger M. A., Ghaemi F. T., Schaffner J. A., Malin M. C., Mahanti P., Bartels A., Anderson J., Tran T. N., Eliason E. M., McEwen A. S., Turtle E., Jolliff B. L., Hiesinger H. Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) Instrument Overview // Space Science Reviews. 2010. vol. 150. pp. 81–124. doi: 10.1007/s11214-010-9634-2.
- [14] Karachevtseva I. P., Garov A. S., Zubarev A. E., Matveev E. V., Kokhanov A. A., Zharkova A. Yu. Planetary Remote Sensing and Mapping. London : CRC Press, 2019. 350 p. doi: 10.1201/9780429505997.
- [15] Polyansky I., Zhukov B., Zubarev A., Nadejdina I., Brusnikin E., Oberst J., Duxbury T. Stereo topographic mapping concept for the upcoming Luna-Resurs-1 orbiter mission // Planetary and Space Science. 2018. vol. 162. pp. 216–232. doi: 10.1016/j.pss.2017.09.013.

- [16] Брусникин Е. С., Патратий В. Д., Зубарев А. Э. Использование эфемерид и библиотек SPICE для расчетов и трехмерной визуализации положения космических аппаратов на орбитах небесных тел в веб-приложении // Труды XIII Конференции молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования». Москва. 2016.
- [17] Utility and Application Programs [Электронный ресурс]. URL: <https://naif.jpl.nasa.gov/naif/utilities.html> (дата обращения: 03.04.2023).
- [18] Montenbruck O., Gill E. Satellite orbits: models, methods and applications. Springer, 2000. 382 p.
- [19] Zuber M. T., Smith D. E., Watkins M. M., Asmar S. W., Konopliv A. S., Lemoine F. G., Melosh H. J., Neumann G. A., Phillips R. J., Solomon S. C., Wiczorek M. A., Williams J. G., Goossens S. J., Kruizinga G., Mazarico E., Park R. S., Yuan D.-N. Gravity Field of the Moon from the Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) Mission // Science. 2013. vol. 339. issue 6120. pp. 668–671. doi: 10.1126/science.1231507.
- [20] Lunar gravitational field, NASA Level 2 data and SPICE geometry and navigation kernels created by the GRAIL SDS [Электронный ресурс]. URL: http://pds-geosciences.wustl.edu/grail/grail-l-lgrs-5-rdr-v1/grail_1001/shadr/ (дата обращения: 03.04.2023).
- [21] Глобальная модель гравитационного поля Земли ГАО2012 [Электронный ресурс]. URL: <https://cgkipd.ru/opendata/gao2012/?ysclid=liipsvbh35587301909> (дата обращения: 03.04.2023).
- [22] Scholten F., Oberst J., Matz K.-D., Roatsch T., Wählisch M., Speyerer E. J., Robinson M. S. GLD100: The near-global lunar 100 m raster DTM from LROC WAC stereo image data // Journal Geophysical Research. 2012. vol. 117. doi: 10.1029/2011JE003926.

OPEN SPATIAL DATA FOR THE EXPLORATION OF TERRITORIES AND DIGITAL SERVICES FOR ACCESSING THEM

**I. P. Karachevtseva, S. S. Dubov, M. V. Andreev, A. S. Garov,
A. E. Zubarev, I. E. Nadezhkina, N. A. Kozlova, N. A. Slodarch**

*Moscow State University of Geodesy and Cartography,
Moscow, Russian Federation*

«Open Data» concept is presented considering its application for wide public access to spatial data. It is shown that some principles of the «Open Data» may not be applicable to spatial data due to their peculiarities. The information source «Navigator of Open Spatial Data» is being created at Moscow State University of Geodesy and Cartography to simplify access to geodata for training specialists in this field. Some aspects of the use of open spatial data are shown on the example of the Lunar data, since planetary data has the status of freely distributed. Digital services for access to planetary data are presented. Formats used for storage of spatial planetary data are discussed. Created interactive services and open lunar data accumulated at Moscow State University of Geodesy and Cartography provide free online access to the «Digital Moon» system, which can be considered as a collection of Lunar data, digital tools and infrastructure for processing of spatial data in the field of territory exploration. With growing artificial intelligence and machine learning technologies, the potential of the created «Digital Moon» system can be expanded, and the accumulated planetary spatial data will gain additional interdisciplinary connections.

Keywords: exploration of territories, open spatial data, open planetary data, Digital Moon, interactive online services.

References

- [1] Gordeev M. O., Grishmanovskij P. V. *Rol' otkrytyh dannyh* [The role of open data] // Proceedings in Cybernetics, 2017, no. 3, pp. 26–30. (In Russian)

- [2] *Federal'naya gosudarstvennaya informacionnaya sistema territorial'nogo planirovaniya* [Federal State Information System of Territorial Planning]. Available at: <https://fgistp.economy.gov.ru/> (accessed 03.04.2023). (In Russian)
- [3] *Prikaz ob utverzhenii Trebovanij k opisaniyu i otobrazheniyu v dokumentah territorial'nogo planirovaniya ob"ektov federal'nogo znacheniya, ob"ektov regional'nogo znacheniya i ob"ektov mestnogo znacheniya* [Order on Approval of the Requirements for the Description and Display in the Documents of Territorial Planning of Objects of Federal Importance, Objects of Regional Importance and Objects of Local Importance]. Available at: <https://www.economy.gov.ru/material/file/7f78d53c0a4bbd9676ff1e149e4118b7/10.pdf> (accessed 03.04.2023). (In Russian)
- [4] *Federal'nyj portal prostranstvennyh dannyh* [Federal portal of spatial data]. Available at: <https://portal.fppd.cgkipd.ru/main> (accessed 03.04.2023). (In Russian)
- [5] *Metodicheskie rekomendacii po publikacii otkrytyh dannyh. Versiya 3.0* [Guidelines for the publication of open data. Version 3.0]. Available at: <https://data.gov.ru/metodicheskie-rekomendacii-po-publikacii-otkrytyh-dannyh-versiya30> (accessed 03.04.2023). (In Russian)
- [6] VESPA/Europlanet-2024. Available at: <http://www.europlanet-vespa.eu/> (accessed 03.04.2023).
- [7] VESPA/Data Services. Available at: <https://vespa.obspm.fr/planetary/data/> (accessed 03.04.2023).
- [8] Erard S., Cecconi B., Le Sidaner P., Rossi A. P., Capria M. T., Schmitt B., Géno V., André N., Vandaele A. C., Scherf M., Hueso R., Määttänen A., Thuillot W, Carr B., Achilleos N, Marmo C., Santolik O., Benson K., Fernique P. VESPA: a community-driven Virtual Observatory in Planetary Science // *Planetary and Space Science*, 2018, vol. 150, pp. 65–85. doi: 10.1016/j.pss.2017.05.013.
- [9] Zubarev A. E., Nadezhdina I. E., Brusnikin E. S., Karachevtseva I. P., Oberst J. A technique for processing of planetary images with heterogeneous characteristics for estimating geodetic parameters of celestial bodies with the example of Ganymede // *Solar System Research*, 2016, vol. 50, no. 5, pp. 352–360, doi: 10.1134/S0038094616050087.
- [10] Nadezhdina I. E., Zubarev A. E. Formation of a reference coordinate network as a basis for studying the physical parameters of Phobos // *Solar System Research*, 2014, vol. 48, no. 4, pp. 269–278. doi: 10.1134/S003809461404008X.
- [11] Karachevceva I. P., Matveev E. N., Kohanov A. A., Kozlova N. A., Garov A. S. *Razrabotka sistemy hraneniya planetnyh dannyh i organizaciya dostupa k nim na osnove GIS-tehnologij (Geoportal)* [Development of planetary data storage system and organization of access to them based on GIS technologies (Geoportal)] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, vol. 10, no. 4, pp. 89–97. (In Russian)
- [12] Garov A. S., Karachevtseva I. P., Matveev E. V., Zubarev A. E., Florinsky I. V. Development of heterogenic distributed environment for spatial data processing using cloud technologies // *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 2016, vol. XLI–B4, pp. 385–390, XXIII ISPRS Congress. doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B4-385-2016.
- [13] Robinson M. S., Brylow S. M., Tschimmel M., Humm D., Lawrence S. J., Thomas P. C., Denevi B. W., Bowman-Cisneros E., Zerr J., Ravine M. A., Caplinger M. A., Ghaemi F. T., Schaffner J. A., Malin M. C., Mahanti P., Bartels A., Anderson J., Tran T. N., Eliason E. M., McEwen A. S., Turtle E., Jolliff B. L., Hiesinger H. Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) Instrument Overview // *Space Science Reviews*, 2010, vol. 150, pp. 81–124. doi: 10.1007/s11214-010-9634-2.
- [14] Karachevtseva I. P., Garov A. S., Zubarev A. E., Matveev E. V., Kokhanov A. A., Zharkova A. Yu. *Planetary Remote Sensing and Mapping*. London, CRC Press, 2019, 350 p. doi: 10.1201/9780429505997.
- [15] Polyansky I., Zhukov B., Zubarev A., Nadejdina I., Brusnikin E., Oberst J., Duxbury T. Stereo topographic mapping concept for the upcoming Luna-Resurs-1 orbiter mission // *Planetary and Space Science*, 2018, vol. 162, pp. 216–232. doi: 10.1016/j.pss.2017.09.013.
- [16] Brusnikin E. S., Patratij V. D., Zubarev A. E. *Ispol'zovanie efemerid i bibliotek SPICE dlya raschetov i trekhmernoj vizualizacii polozheniya kosmicheskikh apparatov na orbitah nebesnyh tel v veb-prilozhenii* [Using ephemeris and SPICE libraries for calculations and 3D visualization of the position of spacecraft in the orbits of celestial bodies in a web application] // *Proceedings of the XIII Conference of Young Scientists «Fundamental and Applied Space Research»*, Moscow, 2016. (In Russian)
- [17] Utility and Application Programs. Available at: <https://naif.jpl.nasa.gov/naif/utilities.html> (accessed 03.04.2023).
- [18] Montenbruck O., Gill E. *Satellite orbits: models, methods and applications*. Springer, 2000, 382 p.
- [19] Zuber M. T., Smith D. E., Watkins M. M., Asmar S. W., Konopliv A. S., Lemoine F. G., Melosh H. J., Neumann G. A., Phillips R. J., Solomon S. C., Wieczorek M. A., Williams J. G., Goossens S. J., Kruizinga G., Mazarico E., Park R. S., Yuan D.-N. Gravity Field of the Moon from the Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) Mission // *Science*, 2013, vol. 339, issue 6120, pp. 668–671. doi: 10.1126/science.1231507.
- [20] Lunar gravitational field, NASA Level 2 data and SPICE geometry and navigation kernels created by the GRAIL SDS. Available at: http://pds-geosciences.wustl.edu/grail/grail-1-lgrs-5-rdr-v1/grail_1001/shadr/ (accessed 03.04.2023).
- [21] *Global'naya model' gravitacionnogo polya Zemli GAO2012* [Global model of the Earth's gravitational field GAO2012]. Available at: <https://cgkipd.ru/opendata/gao2012/?ysclid=liipsvbh35587301909> (accessed 03.04.2023). (In Russian)
- [22] Scholten F., Oberst J., Matz K.-D., Roatsch T., Wählisch M., Speyerer E. J., Robinson M. S. GLD100: The near-global lunar 100 m raster DTM from LROC WAC stereo image data // *Journal Geophysical Research*, 2012, vol. 117. doi: 10.1029/2011JE003926.

Сведения об авторах

Андреев Максим Вячеславович – преподаватель Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК), специалист-разработчик Лаборатории открытых данных МИИГАиК. Окончил МИИГАиК в 2009 году. Область научных интересов: компьютерные науки, разработка программного обеспечения, ГИС, дистанционное зондирование Земли.

Гаров Андрей Сергеевич – ведущий программист Комплексной лаборатории исследования вземных территорий МИИГАиК. Окончил Московский физико-технический университет (национальный исследовательский университет) в 1993 году. Область научных интересов: компьютерные науки, разработка программного обеспечения, информационные системы, геопорталы.

ORCID: 0000-0003-2409-3603

Дубов Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, директор Центра отраслевых мониторинговых систем и информационной безопасности МИИГАиК. Окончил МИИГАиК в 2000 году. Область научных интересов: геоинформатика, информационная безопасность, открытые данные.

Зубарев Анатолий Эдуардович – старший научный сотрудник Комплексной лаборатории исследования вземных территорий МИИГАиК. Окончил МИИГАиК в 2008 году. Область научных интересов: высшая геодезия, фотограмметрия, обработка данных дистанционного зондирования, планетные данные.

ORCID: 0000-0002-7280-8426

Карачевцева Ирина Петровна – кандидат технических наук, заведующий Комплексной лабораторией исследования вземных территорий МИИГАиК. Окончила МИИГАиК в 1982 году. Область научных интересов: геоинформатика, базы планетных данных, планетная картография.

ORCID: 0000-0002-0013-4186

Козлова Наталья Александровна – младший научный сотрудник Комплексной лаборатории исследования вземных территорий МИИГАиК. Окончила МИИГАиК в 2012 году. Область научных интересов: геодезия, фотограмметрия, обработка данных дистанционного зондирования, планетные данные.

ORCID: 0000-0002-5737-0059

Надеждина Ирина Евгеньевна – научный сотрудник Комплексной лаборатории исследования вземных территорий МИИГАиК. Окончила МИИГАиК в 2005 году. Область научных интересов: высшая геодезия, обработка данных дистанционного зондирования, исследования малых тел Солнечной системы.

ORCID: 0000-0002-1615-9142

Слодарж Николай Алексеевич – техник Лаборатории открытых данных МИИГАиК. Окончил Уральский федеральный университет в 2021 году. Область научных интересов: геоинформатика, фотограмметрия, дистанционное зондирование.