

Использование материалов дистанционного зондирования Земли для цифрового моделирования рельефа в составе региональных инфраструктур пространственных данных*

И. Н. РОТАНОВА^{1,2}, А. В. КОШКАРЕВ³, А. А. МЕДВЕДЕВ³

¹Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

²Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

³Институт географии РАН, Москва, Россия

e-mail: rotanova07@inbox.ru, akoshkarev@yandex.ru

Ротанова И.Н., Кошкарёв А.В., Медведев А.А. Использование материалов дистанционного зондирования Земли для цифрового моделирования рельефа в составе региональных инфраструктур пространственных данных // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19, № 3. С. 38–47.

Данные дистанционного зондирования, включая ортоизображения, цифровые модели рельефа и производные от материалов аэро- и космических съёмки в разных зонах электромагнитного спектра, играют всё более важную роль в качестве источника информации для решения как научных, так и прикладных задач, а также в реализации программ создания инфраструктур пространственных данных. Приводятся примеры использования материалов дистанционного зондирования Земли в региональных проектах инфраструктур пространственных данных РФ и научно-исследовательских работах “виртуальной ГИС-лаборатории” Института географии РАН и Алтайского государственного университета.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, цифровая модель рельефа, инфраструктура пространственных данных, геопортал, геоинформационная система, космический снимок, ортоизображение.

Rotanova I.N., Koshkarev A.V., Medvedev A.A. Application of remote sensing data for digital elevation modeling in regional spatial data infrastructures // Computational Technologies. 2014. Vol. 19, No. 3. P. 38–47.

Purpose. This study is aimed at demonstration of the specific challenges and experiences while using Earth remote sensing data for regional spatial data infrastructures (SDIs).

Methodology. The study shows methods and technologies for development and processing of digital elevation models (DEM) based on the remote sensing data, which include data sources, methods of DEM development, processing methods, results and products.

Originality/value. Digital elevation model is one of the promising directions in dealing with the Earth remote sensing data. Remote methods for receiving of DEM are used instead of the traditional ones. High-tech approaches are used for their development.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 13-05-00462 А, 13-05-12047 офи_м, 12-07-98012-р_сибирь_а).

Various DEM processed with the help of GIS allows getting the results, which can be obtained by the traditional methods. Remote sensing data, including orthoimagery and DEM, derived from aero- and satellite imagery in different regions of electromagnetic spectrum, play an important role as the data source for solution of the scientific and applied problems as well as for implementation of a SDIs development program.

Findings. Some examples are given to illustrate their application to regional projects of Russian SDI, and in research output of “virtual GIS-Laboratory” of the Institute of Geography RAS, and Altai State University. Participants of the “virtual GIS-Laboratory” produced series of maps of morphometric indicators over the territory of the Kuril Islands. In the Altai District, geoinformation technology for implementation of digital maps is conveyed to the organizations in Barnaul, which are responsible for the performance of cartographic processing and development of regional SDI.

Keywords: remote sensing data, digital elevation models, satellite imagery, orthoimagery, spatial data infrastructure, geographical information system, geo-portal.

Средства и технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) не только находят все большее применение в решении научных и производственных задач, но и активно реализуются в сфере предоставления услуг и сервисов населению, при внедрении “инвестиционных карт”, совершенствовании землепользования, использовании природных ресурсов, в системах поддержки принятия управленческих решений и проектах территориального развития и др. Космическая информация является одним из источников базовых пространственных данных в составе инфраструктуры пространственных данных (ИПД) федерального и регионального уровней.

В формировании региональных ИПД роль данных дистанционного зондирования Земли состоит в следующем: космические снимки являются базовой информацией для создания картографических материалов; на основе метаданных осуществляется каталогизация космических снимков, упрощается их поиск и отбор для конкретных задач; метаданные позволяют идентифицировать спутниковые изображения и объекты, отображённые на них в пространственно-временной системе координат; развитие технологий ДЗЗ делает материалы съёмки из космоса все более оперативными и доступными, повышаются качественные характеристики снимков и продуктов на их основе; существующие средства и методы обработки снимков обеспечивают высокое качество их привязки к местности.

В предоставлении информации ДЗЗ, электронных услуг и сервисов при формировании ИПД существуют определенные ограничения и проблемы, которые находят выражение в отсутствии единого каталога данных ДЗЗ и продуктов их обработки, в недостаточной оперативности доступа потребителей к каталогам данных различной принадлежности и выполнения заявок на поставку данных, наконец, в использовании несогласованных форматов представления данных и классификаторов.

Вместе с тем массовое использование ДЗЗ в программах создания инфраструктуры пространственных данных разного типа и назначения остаётся одним из самых перспективных направлений внедрения результатов космической деятельности в практику. В апреле 2014 г. исполняется двадцать лет с начала реализации первой из национальных ИПД, определившей переход от эпохи ГИС к эпохе ИПД, а именно ИПД США NSDI, создаваемой согласно Распоряжению Президента США У.Д. Клинтона от 13 апреля 1994 г. С тех пор аналогичные работы ведутся в десятках стран, созданы и успешно развиваются ИПД разного типа и назначения: межнациональные, национальные, межрегиональные, региональные, муниципальные, ведомственные, корпоративные, научные

и образовательные. Сегодняшним примером, достойным внимания и воспроизведения, стала программ ИПД Европейского союза INSPIRE.

Спецификацией набора данных “Ортоизображения” в Директиве INSPIRE, к примеру, предусмотрено их пороговое пространственное разрешение 0.1 м при наличии реальных данных в диапазоне 0.25–0.30 м. Поиск данных на геопортале программы INSPIRE (<http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/discovery/>) позволяет найти 1869 ортоизображений на территорию Европейского союза (02.09.2010). На геопортале ИПД США NSDI (02.09.2010) количество этих изображений составляет 4464 из общего числа 88 798 доступных (http://catalog.data.gov/-dataset?-q=Orthoimagery&sort=none&text_location=&text_bbox=&text_prev_extent=-139.21874999999997%2C8.754794702435618%2C-61.87499999999999%2C61.77312286453146). Ортоизображения входят в число семи базовых наборов INSPIRE, существуя в составе “Национальной карты” (The National Map — Orthoimagery) с пространственным разрешением 1 м (<http://pubs.er.usgs.gov/publication/fs20093055>).

На фоне этих успехов в инфраструктурном обустройстве наций, регионов, ведомств, производственных и научно-образовательных институций российский опыт выглядит весьма скромным. Визуализация в форме бесшовных ортомозаик, в том числе в составе гибридных изображений, поддерживается визуализационными сервисами, к числу которых принадлежат геопортал Роскосмоса (<http://geoportal.ntsomz.ru/>, <http://www.gptl.ru/>) и аналогичный ему геопортал НПК “Рекод” (<http://geoportal.rekod.ru/>), геопортал Космоснимки.ру (<http://kosmosnimki.ru/>), российские геопорталы и сервисы веб-картографирования региональных сегментов ИПД РФ, в том числе Ульяновской, Кировской, Воронежской и Архангельской областей, Республики Татарстан и Республики Чувашия.

Одним из перспективных направлений использования данных ДЗЗ является цифровое моделирование рельефа земной поверхности (как и других небесных тел), т. е. “твёрдой” поверхности суши и ледников, дна океанов, морей и внутренних водоемов, обычно в форме матрицы отметок высот (глубин) в узлах регулярной решетки (сеточной модели данных) или с использованием их нерегулярной треугольной сети (модели TIN — Triangulated Irregular Network). В начале XXI в. дистанционные методы получения цифровых моделей рельефа (ЦМР) сменили традиционные, в рамках которых основным источником данных были топографические карта или план, а также морские навигационные и батиметрические карты. На сегодня ситуация коренным образом изменилась. Модели рельефа стали массовым продуктом ДЗЗ, востребованным потребителем, для их создания используются высокотехнологические средства: многозональная космическая съёмка в видимом и ближнем ИК-диапазонах, радиолокационная съёмка радарными с синтезированной апертурой, воздушное лазерное сканирование с воздухоплавательных летательных аппаратов и космических платформ. На рис. 1 отражены потоки данных и работ, обслуживающих современные процессы моделирования рельефа.

Цифровое моделирование рельефа, объединяющее методики и технологии создания и использования цифровых моделей рельефа (в том числе анализ и интерпретацию результатов их обработки), остаётся наиболее перспективным направлением применения геоинформационных систем для изучения рельефа поверхности. Разносторонняя обработка ЦМР средствами ГИС позволяет получать результаты, не достижимые традиционными методами. Это не только набор “традиционных” производных расчётных морфометрических показателей, таких как углы наклона, экспозиции, показатели расчленённости рельефа, но и более глубокий их анализ, для чего разработаны

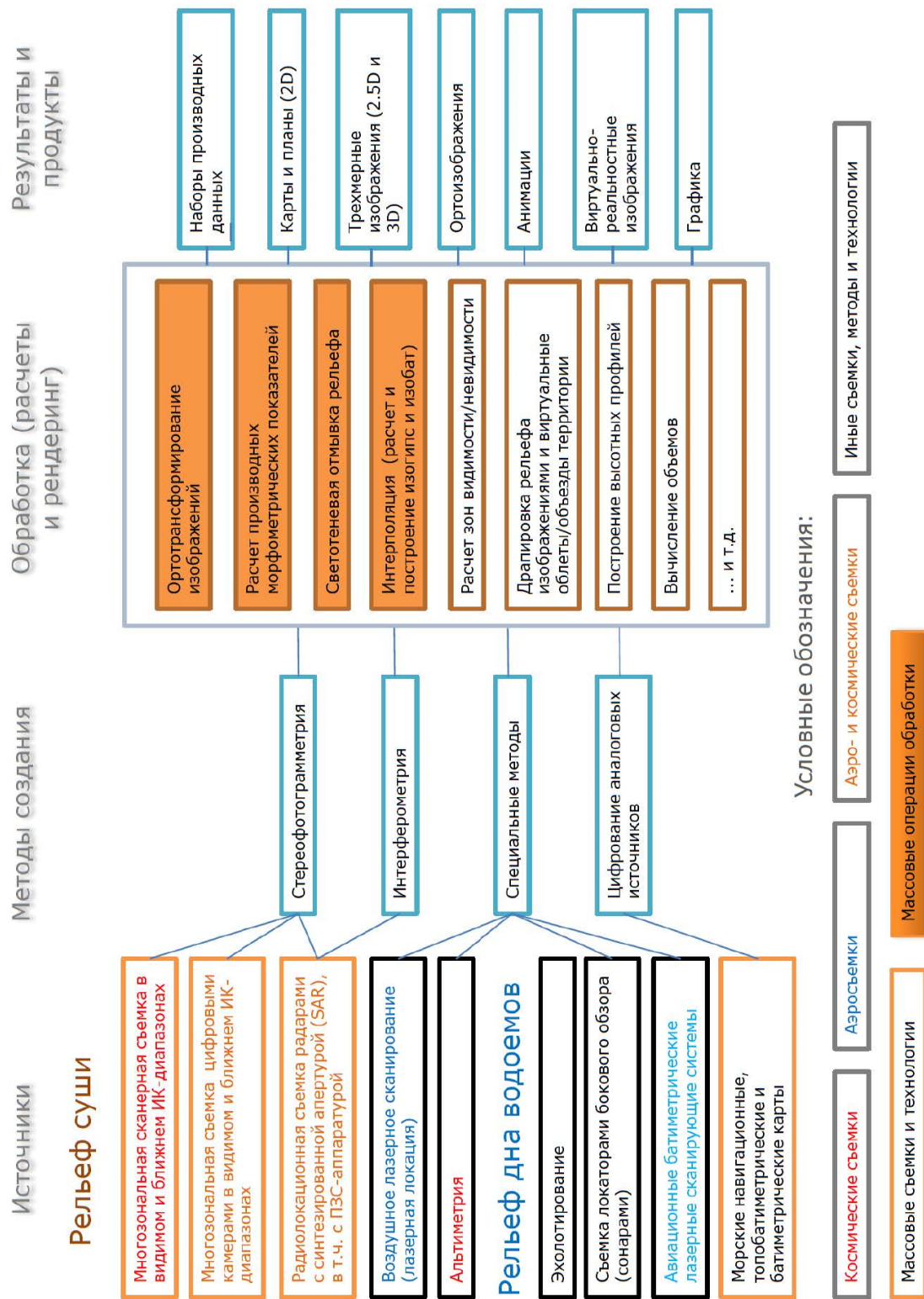


Рис. 1. Методы и технологии создания и обработки цифровых моделей рельефа по данным дистанционного зондирования

и используются, например, алгоритмы расчета кривизны земной поверхности, фрактального и двумерного спектрального анализа рельефа. Итогом обработки ЦМР становятся производные данные, новые знания, карты. Методы трёхмерного моделирования позволяют строить объёмные, в том числе виртуально-реальностные изображения. Разработаны новые мультимасштабные модели для ЦМР.

Для обработки цифровых моделей рельефа давно и успешно используются соответствующие модули полнофункциональных программных средств ГИС. Это коммерческое программное обеспечение (ПО) или ПО с открытым исходным кодом. Для малобюджетных проектов оптимальны в применении MicroDEM (Peter Guth, Oceanography Department, U.S. Naval Academy), SAGA (Institute of Geography, University of Hamburg, Germany), QuantumGIS, а также некоторые другие ПО в формате проектов Open Source Geospatial Foundation.

Данных о рельефе территории Российской Федерации в виде высокодетальной национальной ЦМР, как это практикуется в США или странах Европейского союза, не существует. Более того, на сегодня остаются секретными бумажные и цифровые топографические карты масштаба 1:100 000 и крупнее и эквивалентные им ЦМР с шагом сети 100 м и менее. В этих условиях для научно-исследовательских целей в региональных проектах разнообразной тематики широко используется ЦМР SRTM. В целом, оценивая ресурсы открытых данных о рельефе, включая общедоступные глобальные и семиглобальные цифровые модели рельефа, выделим (в порядке убывания пространственного разрешения, измеряемого шагом сетки высотных отметок) глобальную ЦМР ASTGTM (ASTER GDEM), созданную в результате стереофотограмметрической обработки снимков космического аппарата ASTER (США) (шаг сетки около 30 м), семиглобальную ЦМР SRTM, полученную в результате съёмки земной поверхности многоразовым транспортным космическим кораблем NASA “Индевор” (Endeavour) в феврале 2000 г. (три угловые секунды, или около 100 м в низких широтах, в пределах области от 60° с.ш. до 60° ю.ш.), глобальную ЦМР GTOPO30, созданную Геологической съёмкой США USGS (30 угловых секунд, или около 1 км в низких широтах), подобные ей GTOPO5, GTOPO2 и GTOPO1, а также ETOPO5 (пять угловых минут, или около 10 км).

Широкое использование российскими исследователями открытых, но достаточно грубых ЦМР, включая ETOPO5, GTOPO30, ETOPO2, ETOPO1, ASTER GDEM и др., связано с сохранившимися до сих пор режимными ограничениями на детальные ЦМР.

Интерес к цифровым моделям рельефа высокого разрешения связан прежде всего с практическими задачами. Рельеф — безусловно, необходимый набор базовых пространственных данных национальных ИПД, шаг сетки которых достигает 5×5 м (бесплатные наборы на территорию США и стран Европейского союза) и лучше, вплоть до субметрового разрешения. Часто эти данные доступны на геопорталах ИПД как коммерческий продукт или в визуализированных формах (рис. 2), включая картографические и виртуально-реальностные. Для них разработаны стандартные спецификации национального и международного уровня, в частности, документация программы INSPIRE Европейского союза, где в Приложении II Директивы INSPIRE под рельефом понимаются “Цифровые модели рельефа суши, ледниковых покровов и дна океанов и морей, включая отметки высот земной поверхности, батиметрические данные и положение береговых линий” [1].

По состоянию на начало января 2014 г. поиск среди 17275 ЦМР, описанных в виде метаданных на территорию ЕС на геопортале INSPIRE, позволяет найти 182 модели

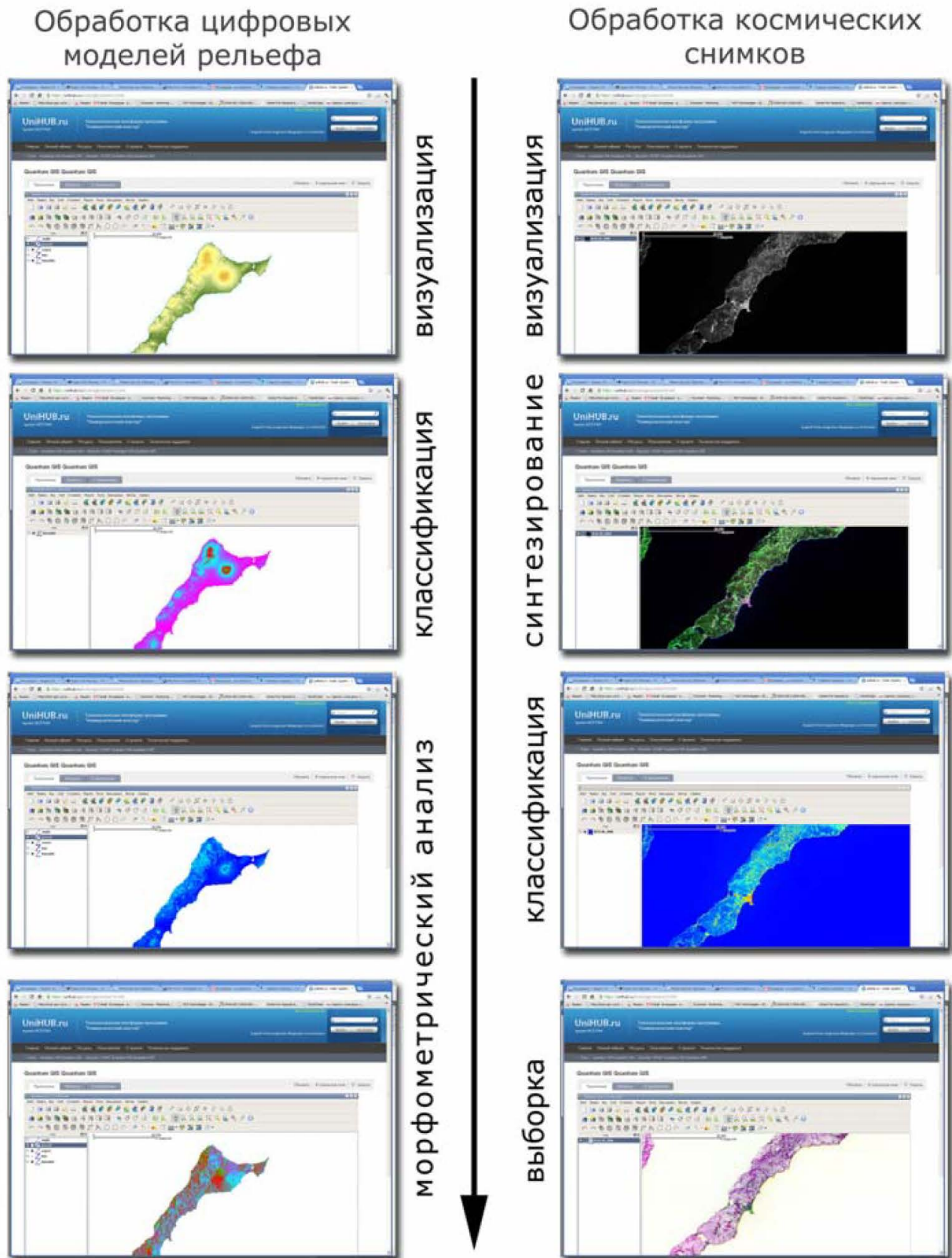


Рис. 2. Геопортал ИПД Словении: метаданные о ЦМР с разрешением 5 м (<http://prostor.gov.si>)

для территории Испании, в частности, матрицу высотных отметок с шагом 5 м, созданную в процессе фотограмметрической обработки снимков по программе PNOA (долгосрочной национальной программе высокоточной аэрофотосъемки). Число опубликованных метаданных о рельефе существенно различается по странам ЕС: от 1545 для территории Польши до одного набора данных для территорий Ирландии, Люксембурга, Нидерландов и Словакии. Подобных данных (и метаданных о них) нет ни на национальном геопортале РФ (<http://nsdi.ru/geoport/>), ни на региональных геопорталах.

Одной из площадок, обеспечивающих функции обработки ЦМР, причём в сетевой облачной среде, стала «виртуальная ГИС-лаборатория», созданная на базе «Университетского кластера» (<http://www.unihub.ru>), нацеленная на интеграцию данных дистанционного зондирования в интересах наук о Земле [2]. Следуя тенденции использования открытых (свободно распространяемых) геоинформационных ресурсов и «открытых ГИС», в том числе программных продуктов с открытым исходным кодом, предполагается использование уже существующих ЦМР (например, SRTM и ASTER GDEM) и программных средств их обработки, включая ГИС QuantumGIS, GRASS, а также некоторых других средств в числе проектов Open Source Geospatial Foundation. В хранилище ГИС-лаборатории доступны также данные космической и аэрофотосъемки, включая космические снимки Landsat глобального охвата с разрешением 150 м, синтезированные космические снимки Landsat за 1990 и 2000 гг. с разрешением 30 м и каталог аэрофотоснимков (метаданные) Института географии РАН.

В результате работы на кроссплатформенных геоинформационных системах участниками «виртуальной ГИС-лаборатории» созданы серии карт морфометрических показателей на территорию Курильских островов (рис. 3). В лаборатории были также обработаны космические снимки с различных съёмочных платформ, в результате чего получены данные и произведена интегральная оценка современного использования земель и процессов на данной территории. Следует отметить, что все данные и процесс их



обработки проходят в “облачной” (виртуальной) среде, которая даёт возможность распределённо и с высокой долей оперативности работать с большими массивами данных (клиент-серверные технологии).

В результате экспериментов по гео моделированию рельефа, т. е. обработке ЦМР, и других данных спутникового ДЗЗ на тестовых участках (Курильские острова, Северный Кавказ, Республика Крым и др.), сотрудниками “виртуальной ГИС-лаборатории” показано, что одной из современных тенденций развития геоинформатики является миграция пространственных данных и функций их обработки, включая картографическую визуализацию данных, в сетевую облачную среду с использованием свободно распространяемых информационных ресурсов и программных средств ГИС с открытым исходным кодом, что существенно повышает эффективность научных географических исследований в условиях дефицита финансовых средств на реализацию научных проектов [3–5].

Направление исследования по разработке технологии создания цифровых моделей рельефа с использованием материалов ДЗЗ успешно развивается в Алтайском государственном университете. Космические снимки высокого разрешения, полученные со спутников QuickBird и Ikonos с разрешением 0.6 и 1 м соответственно, применены для создания ЦМР 27 сел Республики Алтай [6]. Для построения изолиний рельефа использовалась матрица SRTM, а для интерполяции и сглаживания высот — разработанная программа создания сплайновых поверхностей.

Апробированная геоинформационная технология создания цифровых карт передана в ряд организаций г. Барнаула, занимающихся выполнением картографических работ и созданием региональной инфраструктуры пространственных данных (рис. 4, 5) [7, 8].

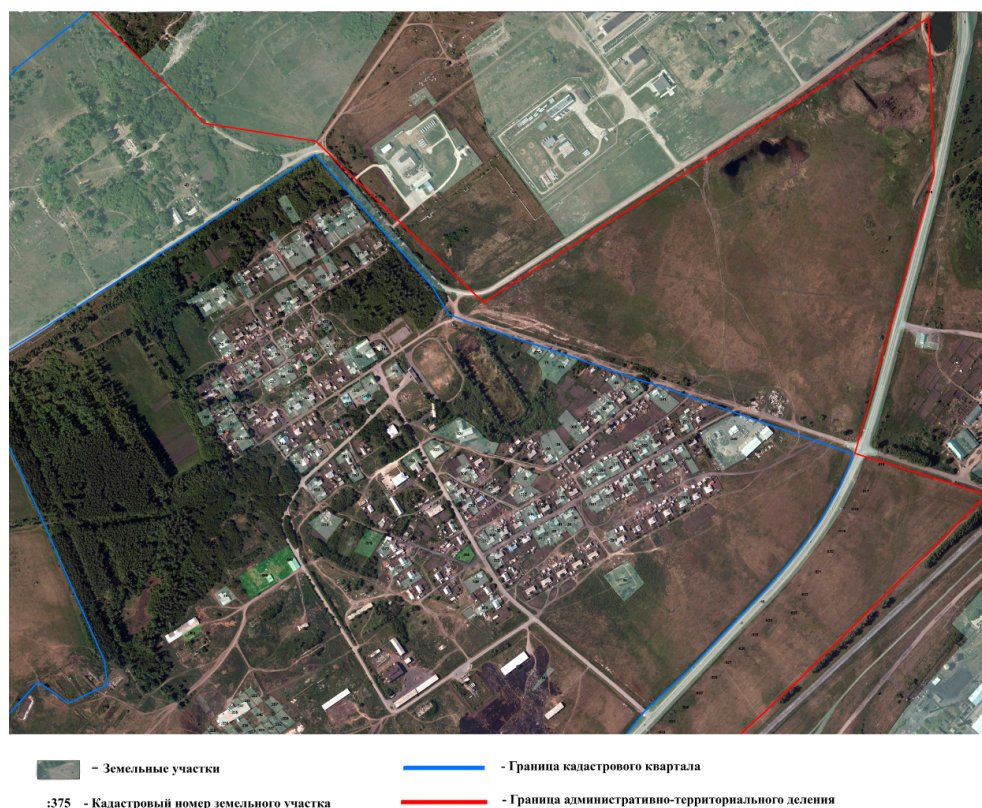


Рис. 4. Фрагмент ортофотоплана Алейского района Алтайского края

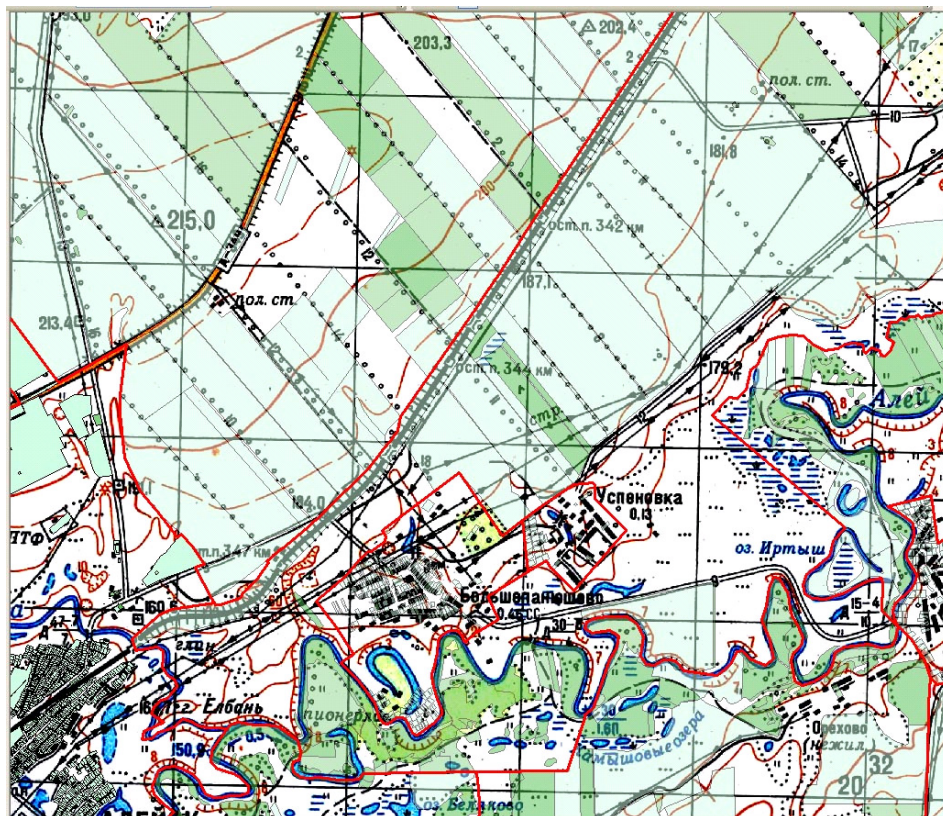


Рис. 5. Фрагмент кадастровой карты Алейского района на фоне растровой основы М 1:100 000

В проекте “Основ государственной политики в области использования результатов космической деятельности в интересах модернизации экономики РФ и развития её регионов на период до 2030 года” обоснована необходимость обеспечения максимальной эффективности использования данных ДЗЗ в экономической сфере страны на основе формирования и функционирования информационно-телекоммуникационных полей, использование которых способно придать процессу управления регионами, территориями, объектами такие свойства как системность, оперативность, непрерывность и глобальность [9]. Решение поставленных задач возможно с учётом новых источников и технологий получения данных о рельефе, а также данных ДЗЗ, включая прежде всего многозональную космическую съёмку в видимом и ближнем ИК-диапазонах, радиолокационную съёмку радарными с синтезированной апертурой (SAR) и воздушным лазерным сканированием (лазерной локацией).

Список литературы

- [1] КОШКАРЕВ А.В. Инфраструктуры пространственных данных: Текущее состояние и проблемы. Российский и зарубежный опыт // Охрана окружающей среды и природопользование. 2011. № 3. С. 37–47.
- [2] КОШКАРЕВ А.В., МЕДВЕДЕВ А.А., ВИШНЯКОВ Ю.С. и др. Виртуальная ГИС-лаборатория как инструмент анализа пространственных данных // Труды Института системного программирования РАН. 2012. Т. 23. С. 245–255.
Копия: http://www.ispras.ru/ru/proceedings/docs/2012/23/isp_23_2012_245.pdf.

- [3] КОШКАРЕВ А.В., МЕДВЕДЕВ А.А. Сетевые геосервисы Академической ИПД // Географические исследования молодых ученых в регионах Азии: Материалы молодежной конф. с международным участием / Под ред. О.В. Останина, Н.Ф. Харламовой. Барнаул: Алтай-Циклон, 2012. С. 15–18. Копия: <http://www.asu.ru/files/documents/00006764.pdf>.
- [4] ЛИХАЧЁВА Э.А., ПАЛИЕНКО В.П., ПАЛИЕНКО Э.Т. и др. Новые подходы к оценке и картографированию антропогенно-преобразованных территорий // Антропогенная геоморфология / Отв. ред. Э.А. Лихачева, В.П. Палиенко, И.И. Спасская. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 348–373.
- [5] ЛИХАЧЁВА Э.А., КОШКАРЕВ А.В., МЕДВЕДЕВ А.А. Геоинформационное картографирование для эколого-геоморфологических приложений // Проблемы окружающей среды и выделение групп риска среди населения: Сборник статей / НАН РА. Центр эколого-ноосферных исследований. Ереван: Гигутюн, 2013. С. 108–117.
- [6] ОСКОРБИН Н.М., СУХАНОВ С.И. Создание цифровой модели местности на основе космических снимков высокого разрешения // Изв. Алтайского гос. ун-та. 2013. № 1/2(77). С. 87–91.
- [7] ОСКОРБИН Н.М., СУХАНОВ С.И., ФЕДИН Л.Ю. Сглаживание массива данных рельефа с использованием сплайновых поверхностей // Изв. Алтайского гос. ун-та. 2010. № 1/1(65). С. 112–115.
- [8] РОТАНОВА И.Н., ВОРОБЬЁВ К.В., ОСКОРБИН Н.М. Принципы построения, технологии и программное обеспечение региональной модели инфраструктуры пространственных данных Алтайского края // Изв. Алтайского гос. ун-та. 2013. № 1/1(77). С. 143–147.
- [9] ОСНОВЫ государственной политики в области использования результатов космической деятельности в интересах модернизации экономики РФ и развития её регионов на период до 2030 года. Утв. Президентом РФ от 19.04.2013. № Пр-906. [Электронный ресурс] <http://base.garant.ru/70375384/>

Поступила в редакцию 21 мая 2014 г.