

ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ГОРОДСКИХ ЭКОСИСТЕМ ПО МАТЕРИАЛАМ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Профессор, доктор геолого-минерал. наук **А.Т. Зверев**¹, аспирант **Е.В. Фисенко**¹, кандидат техн. наук **И.Н. Горохова**²

¹Московский государственный университет геодезии и картографии

²Научный геоинформационный центр РАН (НГИЦ РАН)

zverev@miigaik.ru, g-irina@rambler.ru, helenfis@mail.ru

Аннотация. Проведено изучение почвенно-растительного покрова (п. Курилово, Новая Москва) по данным дистанционного зондирования. Установлено, что цветная летняя фотосъемка с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) позволяет определить видовой состав деревьев, тип почв и привязать любую точку к космическому мультиспектральному снимку высокого пространственного разрешения (КС), открывая возможность построить по КС спектральные кривые анализируемых объектов, восполняя тем самым отсутствие наземных спектральных измерений. Для подтверждения правильности проделанных работ выполнено сравнение спектральных кривых разных видов древесной растительности и типов почв, построенных по КС, с наземными спектральными кривыми, взятыми из литературных источников.

Ключевые слова: фотосъемка с БПЛА, космические мультиспектральные снимки, высокое разрешение, спектральные характеристики

Abstract. Land cover in Kurilovo, New Moscow was studied after remote sensing data. It has been ascertained that summer color photography from an unmanned aerial vehicle (UAV) establishes determining specific composition of trees and soil type. It also can be bound to space multispectral imagery of high spatial resolution, what opens the possibility to build spectral curves of the analyzed objects, thereby filling up the lack of ground spectral measurements. The spectral curves of different species of woody vegetation and soil types, constructed from the imagery were compared with terrestrial spectral curves taken from literature to validate the work.

Keywords: photography from UAV, space multispectral images of high spatial resolution, spectral characteristics

Введение. Современный мониторинг городских экосистем требует постоянного и объемного анализа дистанционной информации и активного, в связи с этим, использования программ автоматического дешифрирования. Однако в условиях России применение таких программ сдерживается ограниченностью или отсутствием наземных спектральных баз данных, что связано с обширной и разнообразной по природно-климатическим условиям территорией нашей страны, а также недостаточным количеством лабораторий, ведущих такие исследования [1]. Разрешить сложившуюся ситуацию предлагается путем привлечения материалов с БПЛА в качестве альтернативы наземным спектральным измерениям.

В последнее десятилетие идет активное развитие беспилотных авиационных систем, которое открыло новую главу в истории аэрокосмической отрасли. Использование БПЛА особенно развито в военной отрасли, однако, эта тенденция распространяется и на граждан-

ский сектор. Данной проблеме была посвящена Международная конференция [<http://ec.europa.eu/enterprise/flipbook/gras>], проходившая в Брюсселе 24–27 июня 2013 г. На ней отмечалось, что, будучи беспилотными, БПЛА могут выполнять задачи, которые не под силу пилотируемым системам из-за рисков для пилотов и дороговизны съемок. Поэтому исследования, проведенные с БПЛА, сейчас как никогда актуальны и будут еще более востребованы в перспективе.

Высокое пространственное разрешение фотоснимков, полученных с беспилотных систем, позволяют идентифицировать объекты исследования, не прибегая к наземным маршрутам. Вместе с тем, малые габариты БПЛА не позволяют устанавливать на его борту аппаратуру для проведения многоканальной съемки, что позволило бы построить спектральные кривые изучаемых объектов. Для восполнения данного недостатка приходится привлекать многоканальную космическую съемку.

В настоящее время наиболее популярны мультиспектральные космические снимки высокого разрешения, такие как: QuickBird; Ikonos; WorldView; GeoEye-1; Ресурс-ДК и др. Следует отметить, что мультиспектральные данные позволяют получать спектральные яркости любых исследуемых объектов.

Цель данной работы — изучение и построение спектральных кривых почвенно-растительного покрова по материалам с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и космическим мультиспектральным снимкам высокого разрешения WorldView и GeoEye-1 на примере ключевого участка «Курилово» в Новой Москве.

Объект и методы исследования. Ключевой участок «Курилово» включает в себя поселок городского типа Курилово и прилегающие к нему территории. Он расположен у пересечения Московского автомобильного малого кольца с автодорогой «Подольск-А101», примерно в 13 км к юго-западу от города Подольска. Общая площадь участка — 191,4 га, из которой 44% — это массивы лесов. Остальная территория занята кварталами многоэтажной и частной застройки, промышленными предприятиями, гаражами, дорогами и др. Ключевой участок представляет собой полого-увалистую равнину с перепадом высот около 115 м. Территория равнинная, но не плоская и покрыта густой сетью балок.

Согласно ботанико-географическому районированию [1], ключевой участок входит в зону распространения широколиственно-еловых (подтаежных) лесов. В настоящее время широколиственно-еловые леса, как занимающие наиболее плодородные почвы, вырублены, на их месте сохранились небольшие по площади массивы, представленные главным образом длительнопроизводными березовыми и осиновыми лесами с участием широколиственных пород (преимущественно дуба). Значительные площади заняты искусственными посадками ели, возрастом около 50 лет.

Особенности почвенного покрова определяются спецификой почвообразующих пород, среди которых широкое распространение имеют покровные суглинки. Наиболее распространены дерново-среднеподзолистые почвы. Они

приурочены, главным образом, к водоразделам и слабопологим склонам. Однако строительство крупных автомобильных дорог вокруг поселка Курилово привело к подпору и выклиниванию на поверхность грунтовых вод, образованию многочисленных болот вдоль трасс и созданию условий для формирования избыточно увлажненных (глеевых) почв.

В работе использовалась цветная фото-съемка с БПЛА «Птеро-Е», проведенная ООО «АФМ-Серверс». Съемка проводилась с высоты 300 м в августе 2012 г. На БПЛА была размещена профессиональная фотокамера Cannon Marck II с разрешением матрицы 5616×3744 пикселей. Все фотоснимки были обработаны и сшиты в ортофотоплан с привлечением программного обеспечения PhotoScan.

На ту же территорию были подобраны снимки с космических аппаратов WorldView-2 и GeoEye-1. Космический аппарат WorldView-2 оснащен телескопом с апертурой 110 см, что позволяет получать цифровые изображения земной поверхности с пространственным разрешением 0,46 м в панхроматическом диапазоне и 1,84 м в 8 мультиспектральных диапазонах при съемке в надир, а у GeoEye-1 камера позволяет получать снимки с разрешением 0,41 м в панхроматическом диапазоне и 1,65 м в синем, зеленом, красном и инфракрасном диапазонах спектра [<http://www.innoter.com/>]. Даты космических съемок были подобраны следующим образом: WorldView-2 05.06.2012 г. (максимально близко к дате съемки с БПЛА 07.2012 г.), а с GeoEye-1 была взята весенняя съемка за 22.03.2013 г.

Все космические снимки прошли уровень обработки OrthoReady Standard: геометрически и радиометрически откалиброваны, приведены к картографической проекции (система координат WGS 84, проекция UTM), разрядностью 16 бит. Использовались четыре мультиспектральных канала: красный; зеленый; синий; ближний-ИК. На основе каждого отдельного канала производился анализ данных спектральной отражательной способности древесной растительности и почв, строились спектральные кривые. Программное обеспечение, используемое в данной работе, Erdas Img., Envi, ArcGis.

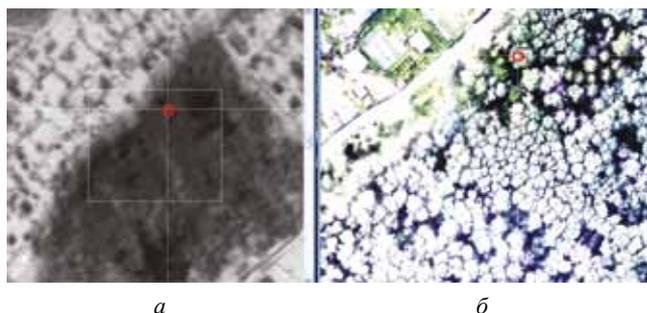


Рис. 1. Поканальное открытие снимков и наведение на нужный объект:

a — участок космоснимка с КА GeoEye-1; *б* — с БПЛА

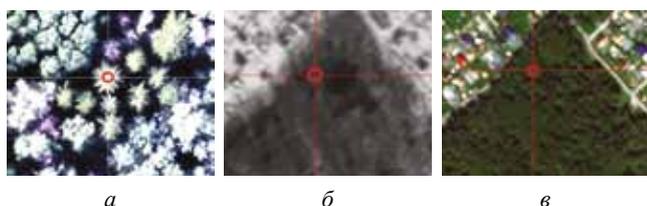


Рис.2. Некоторые выбранные объекты изучения, например, ель:

a — снимок с БПЛА. Дата съемки август 2012 г. Разрешение 4 см. Координаты 55°22'35,91" N; 37°22'13,20" E; *б* — снимок с GeoEye-1. Дата съемки 22.03.2013 г. Разрешение 1,64 м. Координаты 55°22'35,90" N; 37°22'13,17" E. Расхождение с БПЛА 31,4 см по широте, 53,52 см по долготе; *в* — снимок с WorldView-2. Дата съемки 05.06.2012 г. Разрешение 1,84 м. Координаты 55°22'35,92" N; 37°22'13,18" E. Расхождение с БПЛА: 31,4 см по широте, 35,68 см по долготе

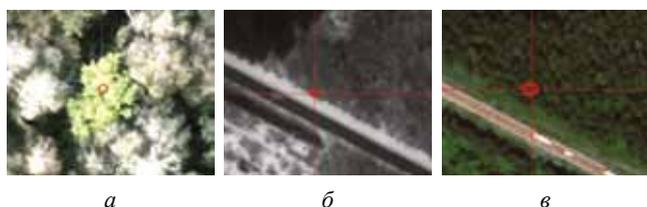


Рис. 3. Некоторые выбранные объекты изучения, например, дуб:

a — снимок с БПЛА. Дата съемки август 2012 г. Разрешение 4 см. Координаты 55°23'00,55" N; 37°22'21,70" E; *б* — снимок с GeoEye-1. Дата съемки 22.03.2013 г. Разрешение 1,64 м. Координаты 55°23'00,53" N; 37°22'21,70" E. Расхождение с БПЛА 31,4 см по широте, 0 см по долготе; *в* — снимок с WorldView-2. Дата съемки 05.06.2012 г. Разрешение 1,84 м. Координаты 55°23'00,56" N; 37°22'21,71" E. Расхождение с БПЛА: 31,4 см по широте, 17,84 см по долготе

Снимки с БПЛА и КС были приведены к одной проекции и системе координат. Затем один и тот же участок космоснимка поканально загружался в окна Erdas Img. совместно со снимком с БПЛА (рис. 1).

Далее на фотоснимках с БПЛА была интерпретирована интересующая нас древесная растительность, характерная для данной террито-

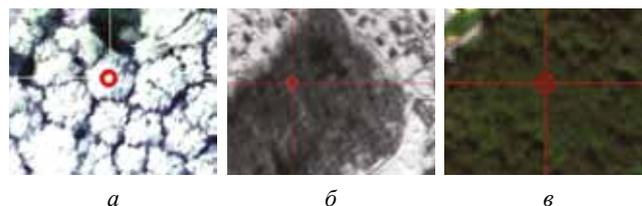


Рис. 4. Некоторые выбранные объекты изучения, например, береза:

a — снимок с БПЛА. Дата съемки август 2012 г. Разрешение 4 см. Координаты 55°22'34,48" N; 37°22'12,40" E; *б* — снимок с GeoEye-1. Дата съемки 22.03.2013 г. Разрешение 1,64 м. Координаты 55°22'34,40" N; 37°22'12,43" E. Расхождение с БПЛА 251,2 см по широте, 53,52 см по долготе; *в* — снимок с WorldView-2. Дата съемки 05.06.2012 г. Разрешение 1,84 м. Координаты 55°22'34,42" N; 37°22'12,45" E. Расхождение с БПЛА 188,4 см по широте, 89,2 см по долготе

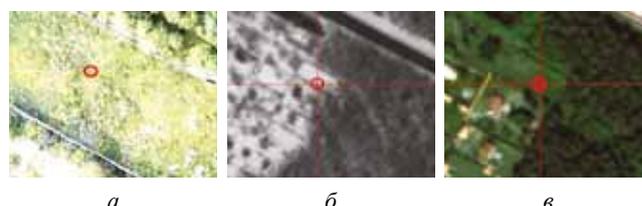


Рис. 5. Некоторые выбранные объекты изучения, например, почва:

a — снимок с БПЛА. Дата съемки август 2012 г. Разрешение 4 см. Координаты 55°22'56,46" N; 37°22'22,09" E; *б* — снимок с GeoEye-1. Дата съемки 22.03.2013 г. Разрешение 1,64 м. Координаты 55°22'56,46" N; 37°22'22,10" E. Расхождение с БПЛА 0 см по широте, 17,84 см по долготе; *в* — снимок с WorldView-2. Дата съемки 05.06.2012 г. Разрешение 1,84 м. Координаты 55°22'56,42" N; 37°22'22,11" E. Расхождение с БПЛА 125,6 см по широте, 35,68 см по долготе

рии (ель, береза, дуб, осина, клен американский) и др. На открытых от растительности пространствах анализировался тип почв. Всего было выбрано 27 точек. Из-за различия в разрешении съемок БПЛА и КС возникло расхождение в привязках точек по координатам (рис. 2–5).

Затем в каждом канале КС для каждой точки были выбраны значения спектральных яркостей, занесены в таблицу, переведены и интерпретированы для шкалы от 0 до 1, как обычно и делается для спектральных кривых. Для подтверждения правильности построенных нами кривых в литературных источниках [2] были найдены наземные спектральные кривые анализируемых объектов, созданные в аналогичное время года и для сходных природных условий (рис. 6–9).

Результаты исследований. Проведенные исследования показали, что можно построить спектральные кривые, полученные по косми-

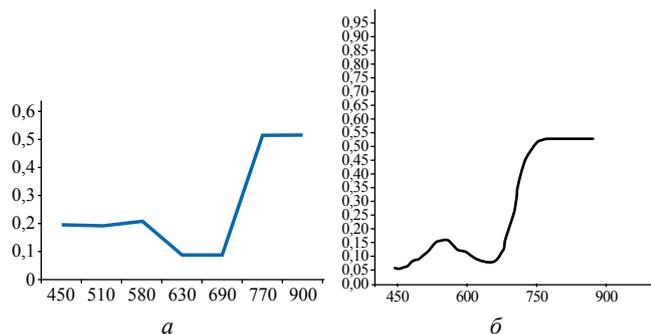


Рис. 6. Спектральные кривые ели с КА WorldW-2: расхождение с БПЛА составляет: 31,4 см по широте, 35,68 см по долготе; *a* — спектральная кривая ели, построенная по данным с КА на 5 июня 2012 г.; *б* — подобранная наземная спектральная кривая молодой хвои ели на 21 июля, полученная в Иркутской области

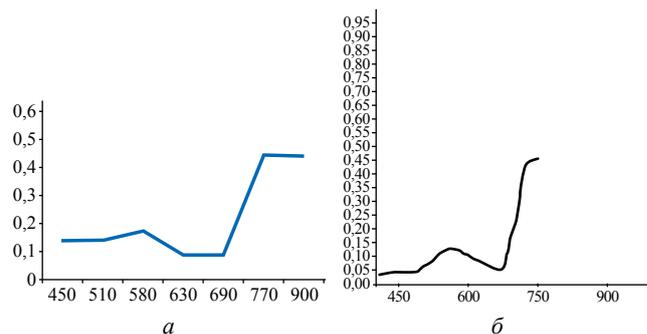


Рис. 8. Спектральные кривые березы с КА WorldW-2:

расхождение с БПЛА составляет: 188,4 см по широте, 89,2 см по долготе; *a* — спектральная кривая березы, построенная по данным с КА на 5 июня 2012 г.; *б* — подобранная наземная спектральная кривая кроны березы на 17 мая, полученная в Московской области

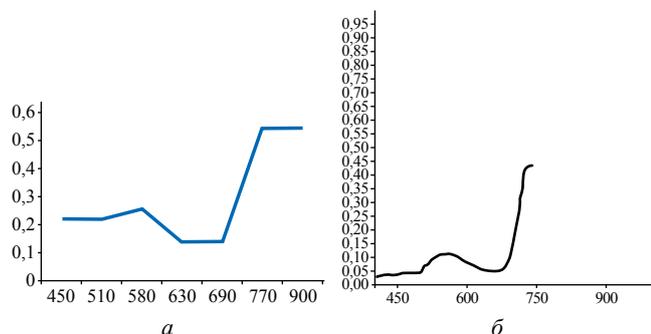


Рис. 7. Спектральные кривые дуба с КА WorldW-2: расхождение с БПЛА составляет: 31,4 см по широте, 17,84 см по долготе; *a* — спектральная кривая дуба, построенная по данным с КА на 5 июня 2012 г.; *б* — подобранная наземная спектральная кривая кроны дуба на 4 июля, полученная в Московской области

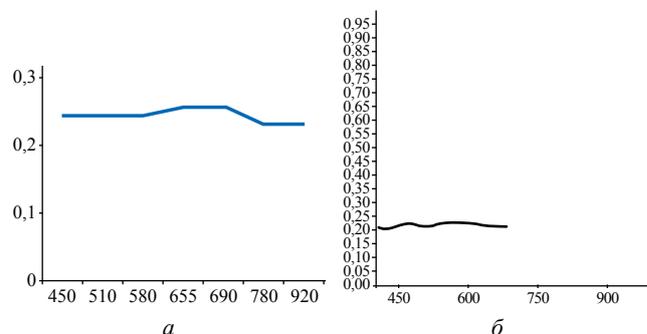


Рис.9. Спектральные кривые березы с GeoEye-1:

расхождение с БПЛА составляет: 251 см по широте, 53,52 см по долготе; *a* — спектральная кривая березы, построенная по данным с КА на 22 марта 2013 г. (обратите внимание, что данный спектр более похож на спектр почвы, а не растительности, космоснимок сделан весной, когда только сошел снег, а листья на деревьях еще нет, поэтому спектральная кривая, взятая с КА GeoEye-1 — это спектральная кривая почвы, а не березы); *б* — подобранная наземная спектральная кривая подзолисто-глеевой почвы бореального пояса, полученная в Московской области

ческим снимкам высокого разрешения, однако, спектральное разрешение у данных снимков низкое и кривые имеют обобщенный вид. Это можно наблюдать на построенных спектральных кривых (см. рис. 6–9) (материал взят из литературных источников).

Хороший результат имеется у спектральных кривых почв, полученных ранней весной, когда сошел снег. Вид этих кривых был сопоставлен с наземными кривыми (взятыми из литературных источников) и наблюдалась некая тенденция различия, например, дерново-подзолистых участков почв от глеевых. Типы почв были определены с помощью взятых образцов почв на исследуемых участках.

Спектральные кривые растительности имеют схожий вид, и различить видовой состав деревьев, например, березу и ель, по полученным спектрам нет возможности. Спектры похожи

в исследуемых диапазонах (0,45–0,90 мкм) и различие в видовом составе деревьев не удалось выявить (см. рис. 6–8). Было все же подмечено, что для определения видового состава деревьев по спектральным кривым необходимо использовать летнюю съемку; деревья, находящиеся в массиве, выделяются лучше, чем стоящие отдельно.

Заключение. Проведенные исследования показали возможность использования материалов БПЛА для идентификации почвенно-растительного покрова в городских условиях и построения спектральных кривых изучаемых объектов по КС, взамен наземным спектральным измерениям. В последующих исследо-

ваниях городских ландшафтов необходимо привлекать снимки, полученные с гиперспектральных спутниковых систем, которые позволяют значительно увеличить спектральное разрешение анализируемых объектов при сохранении высокого пространственного разрешения и построить более детальные спектральные кривые.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 11-04-00356 и проект № 13-05-00534 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Растительность* европейской части СССР. –Л.: Наука, 1980. –429 с.
2. *Толчельников Ю.С.* Оптические свойства ландшафтов –Л.: Наука, 1974. –252 с.

*Принята к печати 19 ноября 2013 г.
Рекомендована кафедрой космического мониторинга
МИИГАиК*