

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 502.1:528.855

Н.С. Касимов¹, Е.И. Голубева², И.К. Лурье³, М.В. Зимин⁴, Т.Е. Самсонов⁵, О.В. Тутубалина⁶,
У.Г. Рис⁷, А.И. Михеева⁸, А.Р. Аляутдинов⁹

БИБЛИОТЕКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В СТРУКТУРЕ ГЕОПОРТАЛА МГУ имени М.В. ЛОМОНОСОВА

Рассмотрена концепция структуры спектральной библиотеки Геопортала МГУ. Одна из частей спектральной библиотеки содержит информацию о растениях Севера (Кольский полуостров). Спектры объектов пространственно привязаны к базовой карте местности, а также наложены на многозональные и гиперспектральные космические снимки территории и тематические карты, полученные в результате дешифрирования снимков. При формировании библиотеки основное внимание уделено спектрам типичных видов растений. В полученной коллекции спектров учтены вариации спектральных характеристик отдельного вида, связанные с различием условий произрастания (например, увлажнением, экспозицией и крутизной склонов, свойствами почв и др.), характером и степенью техногенного воздействия. Авторами спроектирована спектральная библиотека северных растений, включающая следующие основные элементы для каждого объекта: описание объекта, данные спектрометрических измерений в виде текстового файла и графики, географические координаты и фото образца.

Ключевые слова: спектральные библиотеки, данные дистанционного зондирования, гиперспектральные космические снимки, растения Севера, Геопортал МГУ.

Введение. Спектральные библиотеки, или библиотеки спектральных характеристик объектов на поверхности Земли, представляют собой ценный источник информации для обработки данных дистанционного зондирования, они незаменимы при дешифрировании гиперспектральных космических снимков, которые содержат информацию о тонких спектральных различиях объектов и явлений.

В связи с запуском в 2013 г. российского спутника «Ресурс-П» с гиперспектральной аппаратурой на борту, а также начатыми ранее белорусско-российскими экспериментами по гиперспектральной съемке с борта Международной космической станции (МКС) и наличием в открытом доступе гиперспектральных космических снимков EO-1 Nuregion задачи по созданию библиотек спектральных характеристик различных поверхностей становятся все более востребованными.

Отметим, что на сегодняшний день в России общедоступных спектральных библиотек нет. Поэтому создание спектральных библиотек на основе систематических наземных спектрометрических измерений представляет актуальную задачу для повышения достоверности дешифрирования космических снимков.

Геопортал МГУ – геоинформационный комплекс, включающий аппаратную и программную части, а также базы данных космических снимков и карт, которые регулярно пополняются новыми материалами космических съемок, а также материалами пользователей самой системы [Касимов и др., 2013]. Для всех пользователей Геопортала МГУ реализована возможность доступа к файловому хранилищу космических снимков и Геопорталу МГУ из любой точки мира по интернету. Кроме того, существует открытая часть Геопортала МГУ, на которой публикуются резуль-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, проф., академик РАН; *e-mail:* secretary@geogr.msu.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра рационального природопользования, проф., докт. биол. н.; *e-mail:* egolubeva@gmail.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, заведующая, проф., докт. геогр. н.; *e-mail:* lurie@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория аэрокосмических методов, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* ziminmv@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, зав. лаборатории автоматизации в картографии, канд. геогр. н.; *e-mail:* tsamsonov@geogr.msu.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория аэрокосмических методов, вед. науч. с., канд. геогр. н., Ph.D.; *e-mail:* olgatut@mail.ru

⁷ Институт полярных исследований имени Р. Скотта, Кембриджский университет, Великобритания, старший лектор, Ph.D.; *e-mail:* wgr2@cam.ac.uk

⁸ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория аэрокосмических методов, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* arvin2@yandex.ru

⁹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория автоматизации в картографии, ст. науч. с.; *e-mail:* ali_alia@mail.ru

таты научных и учебных проектов, выполненных на основе различных пространственных данных.

Таким образом, есть все предпосылки использовать платформу Геопортала МГУ для формирования и развития спектральных библиотек, чтобы платформа объединяла пространственную составляющую, представленную географической основой, материалами дистанционного зондирования, результатами их тематического дешифрирования, и спектральными характеристиками объектов, что до настоящего времени не было реализовано.

Создание спектральных библиотек на основе систематических наземных спектрометрических измерений является актуальной задачей для радиометрической калибровки данных дистанционного зондирования и повышения достоверности дешифрирования снимков.

Цель наших исследований – создание пилотной версии спектральной библиотеки для северных растений и некоторых других объектов Кольского полуострова.

В соответствии с поставленной целью были поставлены и решались следующие задачи:

- формулировка принципов формирования спектральной библиотеки;
- получение спектральных характеристик различных объектов;
- создание пилотной версии спектральной библиотеки Геопортала МГУ.

Материалы и методы исследований. Сбор и подготовка данных для создания спектральной библиотеки различных природных объектов проводятся авторами с 2011 г. Измерения выполнены с помощью гиперспектрорадиометра «FieldSpec3 Hi-Res» (ASD Inc.), предназначенного для измерения абсолютных значений энергетической яркости и коэффициента спектральной яркости (КСЯ) с разрешением от 3 нм (в диапазоне 350–1000 нм) до 10 нм (в диапазоне 1000–2500 нм), прибор закуплен по Программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

В 2012–2013 гг. отрабатывалась методика измерений, получено около 200 спектров для будущей библиотеки [Зимин и др., 2014], а в 2014 г. работа была ориентирована на реализацию проекта по созданию библиотеки спектральных образов арктических растений (Spectral library of Arctic plants) по программе ЕС для поддержки сети научных и образовательных арктических станций (INTERACT; www.eu-interact.org).

Измерения спектров растений проводились на Кольском п-ове в 2012–2014 гг. как контактными, так и бесконтактными методами в полевых условиях, а также в лаборатории по двум направлениям: измерения типичных видов растений в разных экологических условиях, измерения наиболее типичных экосистем по профилям с характерными сочетаниями растений (микробоценозами).

В полученной коллекции спектров учтены вариации спектральных характеристик отдельных видов, а также их сочетаний, которые связаны с разными условиями произрастания (например, с ув-

лажнением, экспозицией и крутизной склонов, свойствами почв и др.), характером и степенью техногенного воздействия.

При спектрометрических работах проводили комплексные описания территории и фиксировали условия освещенности. Всего в библиотеку включено около 500 образцов отдельных видов растений и их сообществ в различных условиях местообитаний и при разном техногенном воздействии.

Результаты исследований и их обсуждение.

Опыт создания спектральных библиотек. Один из примеров создания спектральной библиотеки – ASTER Spectral Library [ASTER..., 2015], эта библиотека создана для поддержки дешифрирования 14-канальных снимков системы ASTER со спутника «Терра». Текущая версия библиотеки (2.0), выпущенная в декабре 2008 г., содержит более 2400 спектров природных и искусственных материалов из трех коллекций данных – Университета Джона Хопкинса, Лаборатории реактивного движения НАСА и Геологической службы США [Baldridge et al., 2009].

Библиотека оснащена описанием методик спектрометрических измерений для каждой коллекции и интерфейсом поиска спектров по типу объекта. После поиска можно визуализировать спектр выбранного объекта (только один) и скачать текстовый файл данных (значения КСЯ на разной длине волны) для самостоятельной визуализации и анализа. Имеется возможность бесплатного заказа всей библиотеки на CD-ROM. На август 2014 г. библиотека содержала 1748 спектров минералов, 473 спектра горных пород, 69 спектров почв, 4 спектра растительности, видов растений, 9 спектров воды, снега и льда, 84 спектра искусственных материалов, 17 спектров лунного грунта и 60 спектров метеоритных материалов. Измерения, как правило, проводились в лабораторных условиях, у образцов нет географической привязки. Из указанного видно, что в библиотеке ASTER Spectral Library представлены в основном минералы и горные породы, практически нет информации о спектральных образах растений, в то время как значительные территории суши Земли покрыты сомкнутым растительным покровом, кроме того, отсутствуют фото образцов, нет их привязки к местности.

Существуют также спектральные библиотеки, направленные на дистанционное изучение других планет, например Марса. Среди них можно отметить спектральную библиотеку лаборатории полетов на Марс Аризонского университета [ASTER..., 2015], которая позволяет одновременно визуализировать несколько выбранных спектров, просматривать химические формулы выбранных минералов, экспортировать выбранные спектры и др.

Отметим, что данные о спектральных характеристиках объектов на земной поверхности редко организованы в виде общедоступных библиотек (исключение ASTER Spectral Library). Исследовательские проекты, в которых собраны и систематизированы спектрометрические данные, достаточно многочисленны, но обработанные результаты измерений пока не опубликованы.

Анонсирована, но пока недоступна спектральная и биохимическая база данных проекта изучения тропических лесов Spectranomics [The Spectranomics..., 2015].

Группа исследователей [Durgante et al., 2013] по спектральным характеристикам определяла виды деревьев в тропических лесах, в результате получено 36 образцов каждого вида (6 измерений шести листьев), достигнута достоверность 99,4% определения вида растения по усредненным значениям коэффициента спектральной яркости. Для измерений использованы высушенные листья, в том числе гербарные образцы, однако спектральная библиотека не опубликована.

В работе [Cambule et al., 2012] приводится пример создания библиотеки спектральных характеристик почв для оценки содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в почве, на примере Мозамбика. Были измерены 412 образцов почв в диапазоне 1,25–2,5 мкм с разрешением 3,86 нм, 129 образцов использовано для создания модели определения содержания $C_{\text{орг}}$ по спектральным характеристикам. Результат рекомендован к использованию для картографирования почв в пределах Национального парка Лимпопо (1 млн га), однако спектральная библиотека не опубликована.

Создана библиотека спектральных характеристик болотной растительности (1336 образцов) на примере болота береговой зоны Калифорнии, Техаса и Миссисипи, что крайне актуально для воздушного и космического мониторинга труднодоступных болотных территорий [Zomer et al., 2009]. Для обработки измерений использована специализированная программа Spectral Analysis Management System (SAMS) [Spectral..., 2015], для обработки снимков результирующая спектральная библиотека создана в программе ENVI и успешно апробирована для дешифрирования гиперспектральных снимков. Авторы этой работы указывают на важность создания стандартизированных спектральных библиотек для различных регионов, свои данные они не опубликовали.

Спектральные характеристики верховых торфяных болот на возвышенностях исследованы на севере Англии, где детально изучены фенологические вариации на основе данных ежемесячных измерений в течение года, выявлена характерная динамика для каждого рассмотренного вида растений, но библиотека также не опубликована [Cole et al., 2014].

Принципы формирования спектральной библиотеки. На основе многолетнего опыта работы в области дешифрирования космических снимков, получения и использования данных спектрометрических измерений [Касимов и др., 2013; Экология..., 2003; Rees et al., 2004] мы считаем, что при создании спектральных библиотек важно соблюдать ряд принципов:

- использовать высококачественное калиброванное измерительное оборудование, которое обеспечивает получение подробных и достоверных данных;
- применять обоснованную и хорошо документированную методику измерений;

– выбирать типичные виды и их состояния, т.е. доминантные виды растений в основных фенологических фазах;

– обеспечить удобное пользование спектральной библиотекой, в том числе доступ через интернет, возможности поиска по территории, типу объекта, времени измерений, просмотр данных онлайн, экспорт данных из библиотеки для просмотра и анализа в программном обеспечении пользователя.

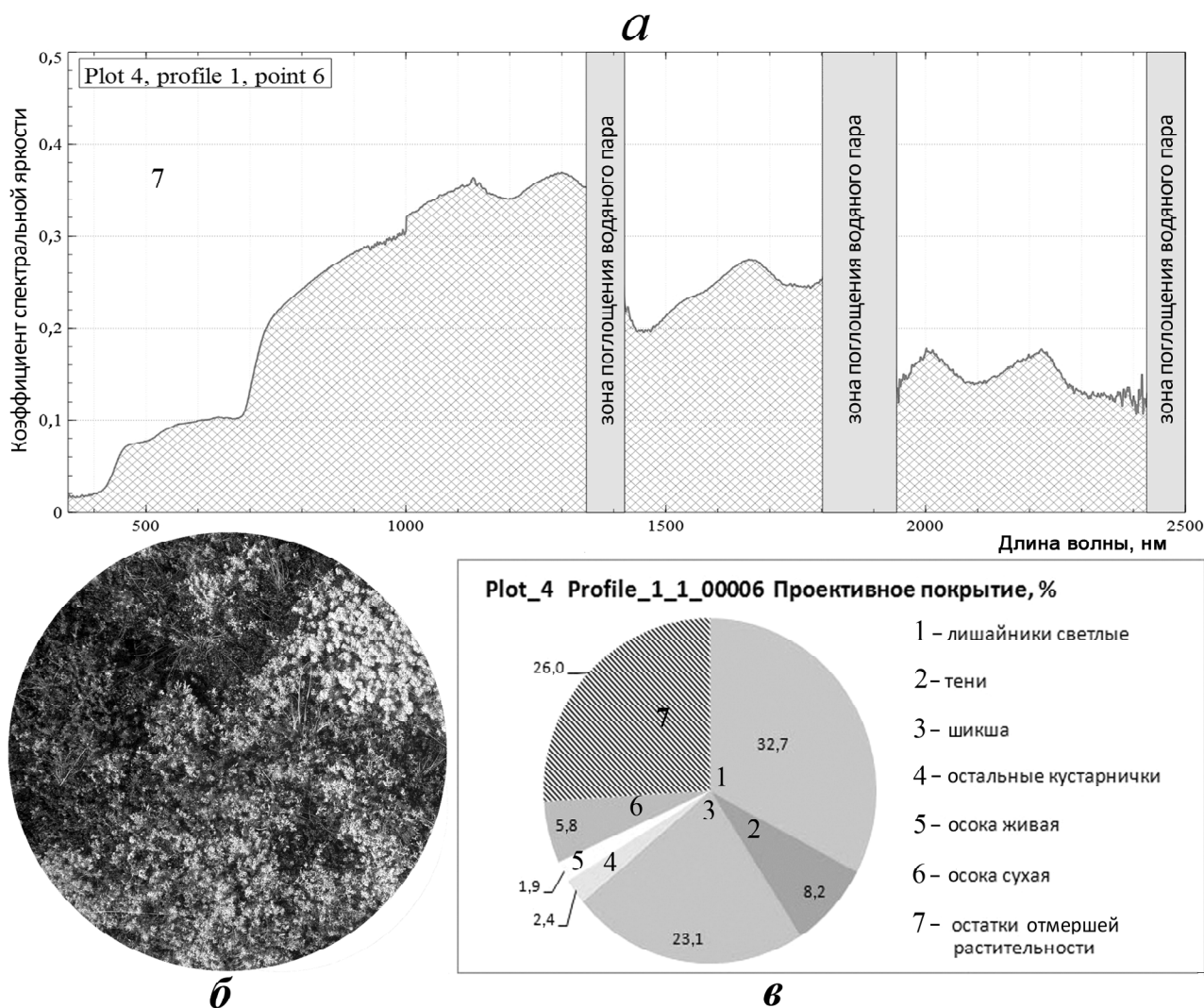
Спектральные характеристики объектов. Нами спроектирована спектральная библиотека северных растений, включающая следующие основные элементы: описание объекта (географическое положение, рельеф и почвенный покров, флора и растительность, характер и степень антропогенного воздействия и др.), данные спектрометрических измерений (в текстовой и графической форме), условия проведения измерений и другая информация (рисунок).

Пилотная версия спектральной библиотеки Геопортала МГУ. К наиболее активно развивающимся направлениям геоинформатики на сегодняшний момент относятся геопортальные технологии, позволяющие не только визуализировать пространственные данные и анализировать их, но и обмениваться данными в рамках открытых коммуникационных сетей. С этой точки зрения геопортальные технологии оптимальны для развертывания и организации доступа к спектральной библиотеке.

Нами сформулирована и апробирована концепция создания спектральной библиотеки в структуре Геопортала МГУ. Эта платформа объединяет пространственную составляющую, представленную географической основой, исходными материалами дистанционного зондирования и результатами их тематического дешифрирования, а также содержательную часть базы данных, включающую результаты измерения, фотографии и другие характеристики образцов. Эффективное функционирование Геопортала МГУ в научно-исследовательской и образовательной сфере во многом опирается на данные изучения спектральных образов. Создание библиотеки спектральных образов позволит оптимизировать работу с данными дистанционного зондирования Земли разного уровня пространственного и спектрального разрешения.

Начаты работы по развертыванию программных средств поиска и анализа спектрометрических данных на Геопортале МГУ. Система предоставляет три вида поиска данных: по координатам, по адресной базе данных, по атрибутивной информации.

Результатом проведенного в 2014 г. исследования стала пилотная версия спектральной библиотеки для северных растений и некоторых других типов поверхностей в центре Кольского п-ова, включающая следующие основные элементы для каждого объекта: описание объекта, данные спектрометрических измерений в виде текстового файла и графика, географические координаты и фото образца. Данные из спектральной библиотеки можно использовать в междисциплинарных исследованиях поверхности Земли. Такого рода спектральная биб-



Графические данные для маршрутной точки спектрометрирования в экосистеме кустарничково-лишайниковых тундр, Ловозерский горный массив: *a* – график значений коэффициента спектральной яркости образца, *б* – фото образца (обрезано по полю зрения спектрорадиометра), *в* – диаграмма фракционного состава образца

лиотека создается впервые. Пилотная версия спектральной библиотеки Геопортала МГУ размещена по адресу URL: <http://www.geogr.msu.ru:8082/api/index.html?RUBKP>.

Выводы:

– исследования показали, что существуют разнообразные перспективы использования спектральных библиотек как для решения научных, так и прикладных задач. Эффективное функционирование Геопортала МГУ в образовательной и исследовательской сфере во многом опирается на данные изучения спектральных характеристик различных объектов. Предложенная концепция создания спектральной библиотеки и ее пилотная версия позволят оптимизировать работу с данными дистанционного зондирования Земли разного уровня разрешения;

– результаты исследований показали существенную вариацию спектральных характеристик различных видов растений, горных пород и минералов. Поэтому при создании спектральной библиотеки растений особое внимание необходимо обратить на их вариабельность в зависимости от фенологи-

ческого состояния, условий произрастания (увлажнение, затененность, экспозиция и крутизна склонов и др.), степени и характера техногенного воздействия. Это предполагает формирование сложной структуры базы спектральных характеристик и данных о состоянии каждого вида растения и возможность ее пополнения. Особого внимания требуют спектральные характеристики растительных сообществ, образуемых разнообразными сочетаниями растений разных видов и жизненных форм, которые преимущественно отображаются на космических снимках. Такая структура библиотеки касается не только растительности, но и почвенного покрова и каменистого субстрата. В соответствии с этим индивидуальные образы любых поверхностей должны дополняться образами их сочетаний на исследуемых территориях;

– анализ отечественного и зарубежного опыта показал, что создание спектральных библиотек относится к задачам, решаемым мировым научным сообществом, и вклад нашей страны составляет значимую величину.

Благодарности. Исследования выполнены за счет гранта РФФИ (гранты 13-05-12061, 13-05-00870), проекта Spectral Library of Arctic Plants международной программы ЕС INTERACT, а также Президентской программы поддержки ведущих научных школ РФ (НШ-2248.2014.5.) и Программы развития МГУ до 2020 г.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ и ее заведующему Ю.Ф. Книжникову за предоставление спектрометрического оборудования, а также студентам А.А. Деркачевой, А.В. Устюхиной, Т.М. Гизатулину, С.А. Буториной, А.М. Трофайер и З. Звирад за помощь в сборе полевых данных, а В.Н. Семину за консультации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Зимин М.В., Тутубалина О.В., Голубева Е.И., Рус Г.У. Методика наземного спектрометрирования растений Арктики для дешифрирования космических снимков // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2014. № 4. С. 34–41.

Касимов Н.С., Зимин М.В., Тутубалина О.В., Ботавин Д.В. Геопортал МГУ – инновационная база для географических исследований // Информатизация географических исследований и пространственное моделирование природных и социально-экономических систем. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2013. С. 42–56.

Экология Севера: дистанционные методы изучения нарушенных экосистем (на примере Кольского полуострова). М.: Научный мир, 2003.

ASTER Spectral Library. URL: <http://speclib.jpl.nasa.gov> (Accessed: 15.10.2015).

Baldrige A.M., Hook S.J., Grove C.I., Rivera G. The ASTER Spectral Library Vers. 2.0 // Remote Sensing of Environment. 2009. Vol. 113, pp. 711–715.

Cambule A.H., Rossiter D.G., Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A. Building a near infrared spectral library for soil organic carbon estimation in the Limpopo National Park, Mozambique // Geoderma. 2012. Vol. 183–184, pp. 41–48.

Cole B., McMorro J., Evans M. Spectral monitoring of moorland plant phenology to identify a temporal window for hyperspectral remote sensing of peatland // ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2014. Vol. 90, pp. 49–58.

Durgante F.M., Higuchi N., Almeida A., Vicentini A. Species Spectral Signature: Discriminating closely related plant species in the Amazon with Near-Infrared Leaf-Spectroscopy // Forest Ecology and Management. 2013. Vol. 291, pp. 240–248.

Rees W.G., Tutubalina O.V., Golubeva E.I. Reflectance spectra of subarctic lichens between 400 and 2400 nm. // Remote Sensing of Environment. 2004. Vol. 90, pp. 281–292.

Spectral Analysis and Management System. URL: <https://github.com/carueda/sams> (Accessed: 15.10.2015).

The Spectranomics Database. URL: http://spectranomics.stanford.edu/spectranomics_database (Accessed: 15.10.2015).

Zomer R.J., Trabucco A., Ustin S.L. Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing // J. Environ. Management. 2009. Vol. 90, pp. 2170–2177.

Поступила в редакцию 08.04.2015

Принята к публикации 11.09.2015

N.S. Kasimov¹, E.I. Golubeva², I.K. Lurie³, M.V. Zimin⁴, T.E. Samsonov⁵,
O.V. Tutubalina⁶, W.G. Rees⁷, A.I. Mikheeva⁸, A.R. Alyautdinov⁹

LIBRARY OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF GEOGRAPHICAL OBJECTS WITHIN THE STRUCTURE OF THE LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY GEOPORTAL

Structural framework of the MSU Geoportal spectral library is discussed. A part of the library includes information about northern plants (of the Kola Peninsula). The spectra are referred to the topographic map and placed over multi- and hyperspectral space images and thematic maps resulting from imagery interpretation. Primary attention was given to the spectra of typical plant species. The collection of spectra considers the variations of spectral parameters of a certain species due to different site conditions, such as humidity, slope aspect and gradient, soil properties, etc., and the type and degree of technogenic impact. Each item of the designed spectral library of northern plants provides the description of the object, spectrometry data (textual file and graph), geographic coordinates and photo of a sample plant.

Keywords: spectral libraries, remote sensing data, hyperspectral satellite images, MSU Geoportal, northern plants.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; *e-mail*: secretary@geogr.msu.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Nature Management, Professor, D.Sc. in Biology; *e-mail*: egolubeva@gmail.com

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Head of the Department, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail*: lurie@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Laboratory of Aevospace methods, Senior Research Scientist, Ph.D. in Geography; *e-mail*: ziminmv@mail.ru

⁵ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Head of the Laboratory of Automatization in Cartography, Ph.D. in Geography; *e-mail*: tsamsonov@geogr.msu.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Laboratory of Aerospace Methods, Leading Research Scientist, Ph.D. in Geography; *e-mail*: olgatut@mail.ru

⁷ Scott Polar Research Institute, University of Cambridge, UK, Senior Lecturer, Ph.D.; *e-mail*: wgr2@cam.ac.uk

⁸ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Laboratory of Aerospace Methods, Senior Research Scientist, Ph.D. in Geography; *e-mail*: arwin2@yandex.ru

⁹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Laboratory of Automatisation in Cartography, Senior Research Scientist; *e-mail*: ali_alia@mail.ru

Acknowledgement. The research was financially supported by the RFBR (projects 13-05-12061 and 13-05-00870), the Spectral Library of Arctic Plants Project of the EC INTERACT International Programme, the Presidential Programme of Support for the RF Leading Scientific Schools (SSc-2248.2014.5) and the MSU Development Programme till 2020.

The authors are grateful to the staff of the Laboratory of Aerospace Methods of the Department of Cartography and Geoinformatics, the MSU Faculty of Geography, and its Head, Prof. Yu.F.Knizhnikov for the provision of spectrometric equipment, to the students A.A.Derkacheva, A.V.Ustyukhina, T.M.Gizatulin, S.A.Buturin, A.M.Trofayer and Z.Zvirad for their assistance in obtaining the field data, as well as to V.N.Semin for his consultations.

REFERENCES

ASTER Spectral Library. URL: <http://speclib.jpl.nasa.gov> (Accessed: 15.10.2015).

Baldrige A.M., Hook S.J., Grove C.I., Rivera G. The ASTER Spectral Library Vers. 2.0 // *Remote Sensing of Environment*. 2009. Vol. 113, pp. 711–715.

Cambule A.H., Rossiter D.G., Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A. Building a near infrared spectral library for soil organic carbon estimation in the Limpopo National Park, Mozambique // *Geoderma*. 2012. Vol. 183–184, pp. 41–48.

Cole B., McMorrow J., Evans M. Spectral monitoring of moorland plant phenology to identify a temporal window for hyperspectral remote sensing of peatland // *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*. 2014. Vol. 90, pp. 49–58.

Durgante F.M., Higuchi N., Almeida A., Vicentini A. Species Spectral Signature: Discriminating closely related plant species in the Amazon with Near-Infrared Leaf-Spectroscopy // *Forest Ecology and Management*. 2013. Vol. 291, pp. 240–248.

Jekologija Severa: distancionnye metody izuchenija narushennyh jekosistem (na primere Kol'skogo poluostrova) [Ecology of the North: remote sensing study of disturbed ecosystems (on the example of the Kola Peninsula)]. M.: Nauchnyj mir, 2003 (in Russian).

Kasimov N.S., Zimin M.V., Tutubalina O.V., Botavin D.V. Geoportal MGU – innovacionnaja baza dlja geograficheskikh issledovanij [Geoportal State University – an innovative framework for geographical research], Informatizacija geograficheskikh issledovanij i prostranstvennoe modelirovanie prirodnyh i social'no-jekonomicheskikh sistem. M.: Tov-vo nauchnyh izdanij KMK, 2013, pp. 42–56 (in Russian).

Rees W.G., Tutubalina O.V., Golubeva E.I. Reflectance spectra of subarctic lichens between 400 and 2400 nm. // *Remote Sensing of Environment*. 2004. Vol. 90, pp. 281–292.

Spectral Analysis and Management System. URL: <https://github.com/carueda/sams> (Accessed: 15.10.2015).

The Spectranomics Database. URL: http://spectranomics.stanford.edu/spectranomics_database (Accessed: 15.10.2015).

Zimin M.V., Tutubalina O.V., Golubeva E.I., Rees G.U. Metodika nazemnogo spektrometrirovanija rastenij Arktiki dlja deshifirovanija kosmicheskikh snimkov [Methods of ground spectrometry of Arctic plants for satellite image interpretation], *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografija*. 2014, no 4. pp. 34–41 (in Russian).

Zomer R.J., Trabucco A., Ustin S.L. Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing // *J. Environ. Management*. 2009. Vol. 90, pp. 2170–2177.

Received 08.04.2015

Accepted 11.09.2015