

**ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ
СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СЕВЕРА
(НА ПРИМЕРЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА)**

Проф., д.б.н. **Голубева Е.И.**¹, к.г.н. **Зимин М.В.**¹, проф. **Рис У.Г.**²,
к.г.н. **Тутубалина О.В.**¹, асп. **Тимохина Ю.И.**¹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет

² Институт полярных исследований имени Р. Скотта,
Кембриджский университет, Великобритания

**REMOTE SENSING METHODS FOR STUDYING THE STATE
OF NORTHERN VEGETATION
(CASE STUDY OF KOLA PENINSULA)**

Golubeva E.I., Zimin M.V., Rees U.G., Tutubalina O.V., Timokhina Yu.I.

Ключевые слова: космический снимок, методика, индикатор, структура

Key words: cosmic image, methodics, indicator, structure

Изменение показателей состояния отдельных видов растений и растительного покрова в целом позволяет использовать их в качестве индикаторов естественных и антропогенных процессов, выраженных в разных значениях спектральной яркости исследуемой поверхности. В статье рассматривается методика наземного спектрометрирования с применением многоканального гиперспектрорадиометра, рассмотрены факторы, влияющие на спектральный образ растений, рекомендована методика измерений для создания наземных спектральных библиотек. Сформулирована концепция структуры спектральной библиотеки Геопортала МГУ, содержащая 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, характером и степенью техногенного воздействия. Спроектирована спектральная библиотека северных растений, включающая следующие основные элементы для каждого объекта: описание объекта, данные спектрометрических измерений в виде текстового файла и графика, географические координаты и фотография образца.

The changes in the indices of the state of individual plant species and vegetation cover as a whole makes it possible to use them as indicators of natural and anthropogenic processes expressed in different values of the spectral reflectance of the investigated surface. The article considers the technique of ground-based measurements of plants with a hyperspectroradiometer, the factors influencing the spectral image of plants, and the measurement methodology for creating terrestrial spectral libraries is

recommended. The concept of the structure of the spectral library of the Moscow State University geoportals is formulated. It contains information about the plants of the North (Kola Peninsula). Spectra of objects are spatially linked to the base map of the terrain, and also superimposed on the multispectral and hyperspectral satellite images of the territory and thematic maps obtained as a result of image interpretation. The library focuses on the spectra of typical plant species. In the obtained collection of spectra, variations of the spectral characteristics of individual species related to the difference in conditions of growth, the nature and the degree of technogenic impact, are taken into account. The spectral library of northern plants has been designed with the following basic elements for each object: object description, spectroradiometric measurements in the form of a text file and a graph, geographical coordinates and a sample photograph.

Введение. Современные возможности использования данных дистанционного зондирования поверхности Земли (космо- и аэроснимков) чрезвычайно широки и позволяют решать самые разные теоретически и прикладные задачи. Однако вопросы интерпретации полученных изображений зачастую остаются сложными и требуют теоретического обоснования и разработки комплекса методов и технологий интеграции результатов данных наземных измерений объектов и их спектрометрирования. Кроме того, такие материалы позволяют формировать различные базы данных на геопорталах для мониторинга окружающей среды.

Цель настоящего исследования – анализ возможностей и ограничений использования дистанционных методов для изучения состояния растительности Севера на примере экосистем центральной части Кольского полуострова.

Задачи включали исследование взаимосвязей между наземными спектральными характеристиками и фитометрическими параметрами объектов и их отображением на гиперспектральных и многозональных космических снимках; создание базы данных спектральных характеристик объектов, их снимковых образов и результатов дешифрирования для разных условий произрастания и степени антропогенного воздействия; разработку методов интеграции данных дистанционного зондирования, карт и баз геоданных в единое геоинформационное пространство средствами геопорталов.

Обсуждение результатов. Для картографирования структуры растительного покрова центральной части Кольского полуострова использованы космические гиперспектральные снимки EO-1 Hyperion и наземные спектрометрические данные, собранные в натуральных условиях. На составленной схеме дешифрирования растительности ключевого участка выделены лесные и болотные экосистемы, водные объекты. Основные трудности при интерпретации космических гиперспектральных снимков связаны с необходимостью выполнения атмосферной коррекции, отделяющей влияние варьирующих параметров воздушной среды от спектральных характеристик изучаемых объектов на земной поверхности.

Наиболее перспективным был признан алгоритм «эмпирической линии» EL. Проведение экспедиционных работ на исследуемой территории позволило собрать наземные спектрометрические данные целенаправленно для атмосферной коррекции. В результате исследований сформулированы рекомендации по выбо-

ру наземных эталонов для атмосферной коррекции по алгоритму эмпирической линии EL. Они должны:

- занимать достаточную площадь, соответствующую, как минимум, нескольким пикселям на снимке; при этом, если они однородны, на земле могут быть измерены меньшие площади;
- обеспечивать достаточный яркостной охват (от темных до светлых объектов) для корректного определения регрессионных зависимостей;
- быть стабильными во времени, поскольку наземные измерения редко проводятся синхронно со съемкой.

Приборная база и методика спектрометрических измерений. Спектрометрические измерения выполнены с помощью гиперспектрорадиометра «FieldSpec3 Hi-Res» (ASD Inc.), предназначенным 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), закупленным по Программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

Оптоволоконный измерительный кабель прибора фиксировался на горизонтальной выносной штанге длиной 1,3 м за спиной оператора при бесконтактных измерениях, и в специальном зажиме Leaf Clip - при контактных. Измерения выполнялись либо при ясной погоде, либо сплошной облачности.

На Кольском полуострове измерения спектров растений проводились как контактным, так и бесконтактным методами в полевых условиях либо по лаборатории, по двум направлениям:

- измерения типичных видов растений в разных экологических условиях;
- измерения наиболее типичных экосистем по профилям с характерными сочетаниями растений микроценозами.

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

Для каждого образца проводилось десять серий измерений, а результаты в каждой из серий осреднялись по 25 индивидуальным измерениям. До начала и после окончания серии измерения образца замерялась калибровочная панель с коэффициентом спектральной яркости (КСЯ) 0,95. Выполнялось также фотографирование образца с высоты сенсора, фотоаппаратом с известным полем зрения, фиксировалась высота инструмента, название и состав образца, в файл измерений автоматически заносились географические координаты и время измерений. После измерений проверялась стабильность освещенности для каждого образца путем сравнения величин, измеренных по калибровочной панели. Затем результаты измерений переводились в КСЯ, делением среднего (из 10 серий) отчета по образцу на среднее из двух измерений панели. Рассчитывалось стандартное отклонение КСЯ образца по 10 сериям. Проводилась визуализация графика КСЯ и стандартных отклонений КСЯ в программе Veusz (<http://home.gna.org/veusz/>). Фотографии образцов обрезались по полю зрения спектрорадиометра с помощью круглой маски в программе FastStoneViewer (<http://www.faststone.org/>). По полевым записям заполнялась таблица метаданных образцов в MS Excel. Таким образом, были подготовлены все основные материалы для использования спектральной библиотеки.

Концепция создания спектральной библиотеки. 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 измерений, 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 позволяет оптимизировать работу с данными дистанционного зондирования Земли разного уровня пространственного и спектрального разрешения [3]. В результате создана библиотека спектральных характеристик различных видов растений, их образов и результатов дешифрирования в условиях различной степени антропогенного воздействия на Кольском полуострове.

Спектральные библиотеки, или библиотеки спектральных характеристик объектов на поверхности Земли, представляют собой ценный источник информации для обработки данных дистанционного зондирования. Они особенно незаменимы при дешифрировании гиперспектральных космических снимков, которые содержат информацию о тонких спектральных различиях объектов и явлений. Спектральная библиотека, содержащая информацию о растениях Кольского полуострова, включает спектры объектов, которые пространственно привязаны к базовой карте местности, а также наложены на многозональные и гиперспектральные космические снимки территории и тематические карты, полученную в результате дешифрирования снимков. В коллекции спектров учтены вариации спектральных характеристик отдельного вида, связанные с различием условий произрастания (например, увлажнением, экспозицией и крутизной склонов, свойствами почв и др.) и характером и степенью техногенного воздействия.

Заключение. На основе многолетнего опыта работы в области дешифрирования космических снимков, получения и использования данных спектрометрических измерений [1, 2, 4], мы считаем, что при создании спектральных библиотек важно соблюдать ряд принципов:

- использовать высококачественное калиброванное измерительное оборудование, которое обеспечит получение подробных и достоверных данных;
- применять обоснованную и хорошо документированную методику измерений;
- выбирать типичные виды объектов и их состояния, например, 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.

Исследования выполнены при поддержке Программы развития Московского университета до 2020 года, проекта «Геопортал МГУ» (<http://www.geogr.msu.ru/science/projects/geoportal/>), проекта РФФИ 17-05-41173 РГО_а.

Литература

1. Зимин М.В., Тутубалина О.В., Голубева Е.И., Рис Г.У. Методика наземного спектрометрирования растений Арктики для дешифрирования космических снимков. // *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya Geografiya*. 2014. № 4. С. 34–41.
2. Касимов Н.С., Голубева Е.И., Лурье И.К., Зимин М.В., Самсонов Т.Е., Тутубалина О.В., Рис У.Г., Михеева А.И., Аляутдинов А.Р. Библиотека спектральных характеристик географических объектов в структуре Геопортала МГУ. // *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya Geografiya*. 2015. № 5. С. 3–8.
3. Open Access Spectral Libraries – Online resources for obtaining in situ spectral data // *Hyspeed Computing*. July 12, 2013. <https://hyspeedblog.wordpress.com/2013/07/12/open-access-spectral-libraries-online-resources-for-obtaining-in-situ-spectral-data/>
4. M. Jiménez, R. Díaz-Delgado. Towards a Standard Plant Species Spectral Library Protocol for Vegetation Mapping: A Case Study in the Shrubland of Doñana National Park // *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2015, 4, 2472-2495; doi:10.3390/ijgi4042472