

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МИКРОЛАНДШАФТОВ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Статья посвящена опыту картографирования ландшафтов участка Крапивинского нефтяного месторождения с использованием данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Проведена спектральная классификация снимка RapidEye в специализированном программном обеспечении ENVI с помощью инструмента Decision Tree Classifier. Приведены алгоритмы обработки и значения яркостей спектральных каналов, используемые в автоматизированной классификации изображения. Выявлены наиболее значимые каналы КС RapidEye для идентификации различных поверхностей.

Ключевые слова: космические снимки; микроландшафт; верховое болото; морфологическая структура; спектральная классификация.

Введение

Западно-Сибирская равнина – один из крупнейших нефтегазоносных регионов мира. Освоение его богатств в значительной степени затруднено из-за высокой степени заболоченности. Зачастую территория нефтепромыслов – это участки междуречных равнин, занятые болотными массивами. Интенсивное развитие нефтегазового комплекса предполагает проведение большого объема инженерно-экологических изысканий (ИЭИ) с обязательным построением крупномасштабных ландшафтно-экологических карт на обширные территории, в том числе на участки верховых болот.

В основном эти болота труднопроходимы, из-за этого возникают проблемы с получением исходных данных о пространственной структуре их растительного покрова. Поэтому для проведения качественного дешифрирования растительного покрова верховых болот большую актуальность приобретают методы автоматизированного дешифрирования космических снимков (КС). Методы спектральной классификации изображений КС должны опираться на данные наземных наблюдений, которые можно использовать, например, в качестве обучающих выборок. Основной задачей данного исследования явилось определение наиболее значимых параметров классификации многозональных КС RapidEye с помощью методов спектрального анализа программного комплекса ENVI на участки верховых болот с использованием ботанических и ландшафтных описаний, выполненных ранее в рамках ИЭИ.

Материалы и методы исследования

В качестве ключевого участка для исследования был выбран болотный массив на юго-востоке Западно-Сибирской равнины, в районе Крапивинского нефтяного месторождения на границе Томской и Омской областей. Выбор основан на наличии первичных материалов и, прежде всего, материалов полевых исследований. Этот массив является частью Большого Васюганского болота – самого крупного болота в мире. Структуру микроландшафтов выбранного участка можно считать репрезентативной для большинства верховых болот.

Исследуемый болотный массив находится на междуречье рр. Бол. Юнкуль и Крапивная, левых притоков р. Ягыльях (левобережный приток р. Васюган). Абсолютные высоты междуречной равнины неоген-четвертичного возраста составляют 125–133 м, общий уклон местности – на северо-запад. Площадь ключевого участка около 90 км².

Для оценки достоверности результатов автором выполнен следующий объем работы:

1. Анализ полевых исследований (2009 г.).
2. Визуальное дешифрирование космоснимков.
3. Автоматическая классификация спектрально-зонального КС спутника RapidEye.

Материалы полевых исследований, на которых основано дешифрирование, включали описания ботанических площадок и почвенных профилей на территории ключевого участка, фотоотчет.

Визуальное дешифрирование КС (RapidEye 2010 г., Landsat-7 2000 г., QuickBird 2006 г.) на территорию ключевого участка проведено на основе материалов ИЭИ 2009 г., материалов лесоустройства, крупномасштабных топографических карт и карт четвертичных отложений. В пределах контура верхового болота автором на основе исследований Е.Д. Лапшиной [1] выделено четыре основных типа биогеоценозов:

1. Озерково-грядово-мочажинные комплексы. Комплекс представляет собой сочетание гряд, сильно обводненных мочажин, чередующихся с озерами, занимающими центральные части крупных мочажин.

2. Выпуклые центральные участки верхового болота занимают сосново-кустарничково-сфагновые сообщества (низкий рям – местное название сосново-кустарничково-сфагновых болот в Западной Сибири). Древесный ярус образован сосной (*Pinus sylvestris* f. *Litwinii*, f. *willkomii*). Кустарниковый ярус представлен преимущественно хамедафной (*Chamaedaphne calyculata*), багульником (*Ledum palustre*), клюквой болотной и мелкоплодной (*Oxycoccus palustris*, *O. Microcarpus*). Среди травянистых растений обильно произрастает морошка (*Rubus chamaemorus*). Отдельные пятна формируют осока шаровидная (*Carex globularis*) и пушица влагилищная (*Eriophorum vaginatum*). Доминантом мохового покрова является сфагнум бурый (*Sphagnum fuscum*), с несколько меньшим покрытием представлены сфагнум магелланский (*Sph. Magellanicum*), сфагнум узколистный

(*Sph. Angustifolium*), плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi*).

3. Сфагново-кустарничково-сосновый тип биогеоценозов (рослый ряб – местное название сфагново-кустарничково-сосновых болот в Западной Сибири). Этот тип биогеоценозов характерен преимущественно для краевых участков верхового болота и занимает незначительные территории. Отличие высокорослого ряма от низкорослого заключается в обилии сфагнума узколистного (*Sph. Angustifolium*) и сфагнума магелланского *Sph. Magellanicum* в моховом ярусе, а также более высокой продуктивности древостоя сосны.

4. Пушицево-сфагновый тип биогеоценозов распространён на небольших площадях. Представляет собой топяные участки по периферии верховых болот, которые нередко заканчиваются ручейками или болотными речками. Основу растительного покрова образуют пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum*), осока топяная (*Carex limosa*), сфагнум балтийский (*Sphagnum balticum*), сфагнум папиллозный (*S. papillosum*), сфагнум бурый (*S. fuscum*).

Для выполнения автоматической классификации изображения был выбран спектрально-анализирующий КС спутника RapidEye с разрешением 6,5 м. Выбор этого типа снимка обусловлен его пространственным разрешением – оно оптимально для выполнения карт требуемого масштаба (М 1:25000). Спектральный диапазон КС RapidEye (от 0,44 до 0,85 мкм) охватывает видимую (4 канала) и ближнюю инфракрасную (1 канал) области. Наличие последнего особенно важно, так как это предоставляет расширенные возможности в индикации растительного покрова как одного из компонентов ландшафта.

Классификация изображения выполнялась в специализированном программном обеспечении ENVI с помощью инструмента Decision Tree Classifier, алгоритм которого предполагает пошаговое деление пространства пикселей на классы в соответствии с заданным условием. Условия обычно задают по граничным значениям яркостей пикселей как по отдельным каналам, так и по их комбинациям. В проведенной классификации КС использованы яркостные характеристики зеленого, длинноволнового красного и ближнего инфракрасного (БИК) каналов, а также вычисленных значений NDVI (нормализованный относительный индекс растительности).

$$NDVI = (p_{nir} - p_{red}) / (p_{nir} + p_{red}),$$

где p_{nir} – коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра; p_{red} – коэффициент отражения в красной области спектра.

Назначение переменных (спектральный канал или значения NDVI), по характеристикам которых формируют условие, проводилось на основе сравнительного анализа изображений. Такой анализ предполагал выявление канала КС, где граница выделяемого класса поверхности прослеживается наиболее отчетливо. Для получения качественного результата условия часто содержали несколько переменных, т.е. выполнение условий проверялось одновременно по нескольким изображениям (таблица).

Для анализа растительного покрова была построена классификация КС RapidEye (рис. 1). Последова-

тельность выделения классов при построении классификации влияет на итоговый результат. Поэтому в первую очередь были выделены классы, которые не относятся к предмету исследования. В дальнейшем анализировался класс растительного покрова, результат которого во многом был предопределен правильностью выделения границы леса и болота.

Информативность спектральных каналов КС RapidEye

Класс объектов	Канал КС, в котором граница выделяемого класса отчетливо прослеживается
Водная поверхность	Ближний ИК
Антропогенно нарушенная поверхность, грунт	Значения NDVI
Лесная растительность	Длинноволновый красный, ближний ИК
Пушицево-сфагновые сообщества	Зеленый
Озерково-грядово-мочажинные комплексы	Длинноволновый красный
Сосново-кустарничково-сфагновые сообщества	Ближний ИК
Сфагново-кустарничково-сосновые сообщества	Ближний ИК, длинноволновый красный

Результаты исследования и их обсуждение

В результате пошагового деления болотной растительности нами выделено 4 класса:

- озерково-грядово-мочажинные комплексы;
- сосново-кустарничково-сфагновые сообщества;
- сфагново-кустарничково-сосновые сообщества;
- пушицево-сфагновые сообщества.

Анализ растительности верхового болота показал, что растительные сообщества с наличием древесного яруса целесообразно выделять по БИК, топяные участки по окраинам болотного массива с обилием травянистой растительности отчетливо отделяются по зеленому каналу. Граница озерково-грядово-мочажинных комплексов лучше всего прослеживается в длинноволновом красном канале.

Разнообразие растительного покрова верхового болотного массива объясняется неоднородностью рельефа и различиями в увлажнении. Так, озерково-грядово-мочажинные комплексы занимают центральные участки олиготрофного болотного массива с уклонами поверхности 0,0019, абсолютные высоты 125–133,4 м. Они представляют собой своеобразный водораздел, формирующий поверхностный сток. При визуальном дешифрировании КС RapidEye (31.08.2010) в видимой части спектра озерково-грядово-мочажинные комплексы имеют красный оттенок, что предопределило подбор значений спектральных яркостей, характерных для данного биогеоценоза именно в красной зоне спектра.

Сосново-кустарничково-сфагновые сообщества расположены по периферии озерково-грядово-мочажинных комплексов на центральных участках олиготрофного болотного массива и вдоль по склону, уклон поверхности 0,0028. При дешифрировании данного типа биогеоценоза отмечено, что, используя инструмент Decision Tree Classifier ПО ENVI, очень трудно провести границу между рослым и низким рямами. Предположительно это связано со схожим

составом растений данных фитоценозов. Анализ полевых материалов и КС показал, что спектральные яркости низкого ряма с высоким проективным покрытием очень близки к значениям спектральной яркости высокого ряма. Благодаря тому, что увеличение ярус-

ности растительности ведет к увеличению отражения в ближней инфракрасной зоне спектра, граница высокого и низкого рямов была определена сочетанием параметров длинноволнового красного и БИК зон спектра.

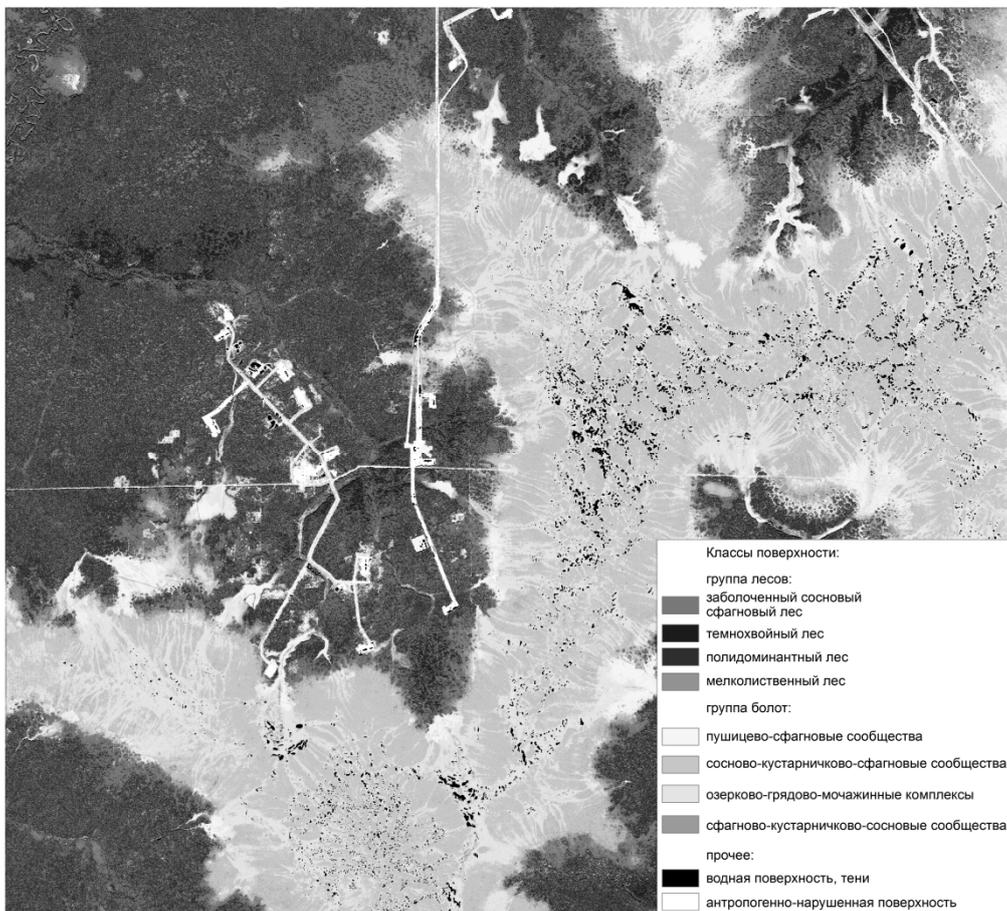


Рис. 1. Классифицированный КС RapidEye, территория ключевого участка

Пушицево-сфагновые сообщества преимущественно приурочены к сильно обводненным окраинам олиготрофного болота. Уклон поверхности 0,003. Для определения границ данного типа биогеоценоза выбрана зеленая зона спектра, так как она позволяет выявлять и изучать содержание хлорофилла на обводненных поверхностях, а именно в зеленом видимом спектральном диапазоне граница пушицево-сфагновых топей прослеживается наиболее отчетливо.

Заключение

В результате исследования отмечено, что применение инструмента Decision Tree Classifier для составления классифицированных изображений КС способствовало достаточно точному определению границ микроландшафтов верхового болотного массива по сравнению с визуальным дешифрированием. Анализ спектральной отражательной способности растительных сообществ по каналам КС RapidEye позволил

выявить наиболее предпочтительные каналы, а также диапазон значений яркости данных каналов для идентификации различных типов биогеоценозов. Данные значения яркостей спектральных каналов применены в дальнейшем в алгоритме построения автоматической классификации. Таким образом, анализ итогового классифицированного изображения КС позволил определить морфологическую структуру микроландшафтов исследуемого болотного массива.

Результаты данного исследования можно использовать при автоматическом дешифрировании основных типов микроландшафтов большинства верховых болот. Построение классифицированных изображений повышает точность и достоверность картографирования болотных микроландшафтов. Однако важно отметить, что значения яркостных характеристик различных типов биогеоценозов, полученные в результате исследования, справедливы только при схожих условиях, в данном случае это съемка КС RapidEye (август 2010 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапшина Е.Д. Флора болот юго-востока Западной Сибири. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2003. 296 с. Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 23 декабря 2014 г.

STUDYING THE MICROLANDSCAPE MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF THE VASYUGAN PEAT BY SATELLITE IMAGES DECODING

Tomsk State University Journal, 2014, 388, pp. 253-256. DOI: 10.17223/15617793/388/41

Slabukhina Svetlana V. Tomsk Scientific Research Institute of Oil and Gas ("TomskNIPIneft") (Tomsk, Russian Federation). E-mail: slabuhinasv@mail.ru, slabuhinasv@nipineft.tomsk.ru

Keywords: satellite images; microlandscapes; top peat; morphological structure; spectral classification.

The Great Vasyugan Mire is a unique natural formation. Located in the area of two natural zones (taiga and parvifoliolate forest), it has a complicated landscape structure. Such factors as the large terrain, high bogginess are obstacles to a detailed integrated study. The only source of reliable and current information on the ecosystem condition is remote sounding data. Consequently, at present the method of automatic decoding of aerospace images has become relevant. The research is aimed at studying the landscape structure of the Vasyugan peat with the use of geoinformation technologies. The object of study is the south-eastern edge of the Vasyugan peat, the interfluvial area between the Bolshoy Unkul and the Krapivnaya Rivers (the left tributaries of the Yagiliakh River). The subject of research is the microlandscape morphological structure of the top peat on the territory of the key site. RapidEye and Landsat satellite images, on-site research data, digital base map at the 1: 25000 scale, Tomsk Region quaternary deposits map at the 1: 500000 scale were used. Visual decoding of RapidEye and Landsat satellite images based on on-site research data was made. The satellite images data were chosen basically on account of the near infrared region. During visual decoding in ArcGIS software by Landsat-7 ETM+ satellite images around the study peat, four types of geobiocoenosis were found: 1) lakelet-ridge-pattern; 2) pinaceous-scrubby-sphagnum; 3) sphagnum-scrubby-pinaceous; 4) eriophorum-sphagnum. The vegetation cover was further studied by RapidEye satellite images in ENVI software. The values of the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) were calculated for each every geobiocoenosis using the tools of the given program. The map of NDVI values, the types of geobiocoenosis were used to create the spectral classification of satellite images together with green, red and near infrared regions. In order to divide images into pixel classes the ENVI Decision Tree Classifier tool was used. It was noted that the usage of the Decision Tree Classifier tool to produce classified satellite images made it possible to define precisely the boundaries of microlandscapes of the peat as compared to visual decoding. The analysis of plant association spectral albedo by RapidEye satellite images allowed identifying the most preferable channels as well as spectral channel intensity values for identification of different types of geobiocoenosis. Therefore, the analysis of resulting classified satellite images made it possible to identify the morphological structure of microlandscapes of the peat under study.

REFERENCES

1. Lapshina E.D. *Flora bolot yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri* [Flora of the swamps of the southeast of Western Siberia]. Tomsk: Tomsk State University Publ., 2003. 296 p.

Received: 23 December 2014