

С. В. Ардашникова (ОАО «ТомскНИПИнефть»)

В 2009 г. окончила Томский государственный университет, геолого-географический факультет по специальности «география». В настоящее время инженер 1-й категории сектора экологического картографирования департамента экологии ОАО «ТомскНИПИнефть».

Картографирование болотных микроландшафтов на основе спектральной классификации космических снимков RapidEye

Западно-Сибирская равнина — один из крупнейших нефтегазоносных регионов мира. Освоение его богатств в значительной степени затруднено заболоченностью территории. Зачастую, нефтепромыслы — 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.

Их труднопроходимость — серьезная проблема в получении исходных данных о пространственной структуре растительного покрова. Логичным решением в такой ситуации становится детальное исследование ландшафтной структуры на доступных ключевых (репрезентативных) участках и дальнейшая интерполяция этих данных на другие площади. При этом большое значение приобретают методы автоматизированного дешифрирования космических снимков (КС) или, как минимум, их спектрального анализа для дальнейшего дешифрирования. Спектральная классификация изобра-

жений КС в этом случае базируется на данных наземных наблюдений, выполняющих роль обучающих выборок. Основной задачей данного исследования явилось определение наиболее значимых параметров классификации многозональных КС RapidEye (с помощью методов спектрального анализа программного комплекса ENVI) на участок верхового болота с использованием ботанических и ландшафтных описаний, выполненных ранее в рамках ИЭИ.

В качестве ключевого участка для исследования был выбран болотный массив на юго-востоке Западно-Сибирской равнины, на одном из месторождений Томской области. Выбор основан на наличии первичных материалов и, прежде всего, материалов полевых исследований. Этот массив является частью Большого Васюганского болота — самого крупного верхового болота в мире. Структуру микроландшафтов выбранного участка можно считать репрезентативной для большинства верховых болот региона.

Исследуемый болотный массив расположен на левобережье Оби в бассейне р. Васюган. Абсолютные высоты междуречной равнины неоген-четвертичного возраста составляют

125–133 м. общий уклон местности — на северо-запад. Площадь ключевого участка около 90 кв. км.

Для оценки достоверности результатов был выполнен следующий объем работ:

1. Анализ полевых исследований (2009 г.);
2. Визуальное дешифрирование космоснимков;
3. Спектральная классификация спектрального КС спутника RapidEye.

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

Визуальное дешифрирование КС (RapidEye 2010 г., Landsat-7 2000 г., QuickBird 2006 г.) проведено на основе материалов ИЗИ 2009 года, материалов лесоустройства, крупномасштабных топографических карт и карт четвертичных отложений. В пределах контура верхового болота нами на основе исследований Е. Д. Лапшиной [1] выделено четыре основных фитоценоза (растительных сообществ):

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 – «рям» (далее мы будем называть его «низкий рям»). Древесный ярус образован сосной (*Pinus sylvestris* f. *Litwiniwii*, 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 влагалищная (*Eriophorum vaginatum*). Доминантом мохово-

го покрова является сфагнум бурый (*Sphagnum fuscum*), с несколько меньшим покрытием представлены сфагнум магелланский (*Sph. Magellanicum*), сфагнум узколистный (*Sph. Angustifolium*), плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi*).

3. Сосново-осоково-кустарничково-сфагновое болото – «рослый рям» (в нашем исследовании — сфагново-кустарничково-сосновые сообщества). Этот фитоценоз характерен преимущественно для краевых участков верхового болота и занимает незначительные территории. Отличие высокорослого рьяма от низкорослого заключается в обилии сфагнума узколистного (*Sph. Angustifolium*) и сфагнума магелланского (*Sph. Magellanicum*) в моховом ярусе, а также более высокой продуктивностью древостоя сосны.

4. Пушицево-сфагновые сообщества распространены на небольших площадях. Представляют 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 спектральной классификации изображения был выбран спектрально-зональный КС спутника RapidEye с разрешением 6,5 м. Выбор обусловлен его пространственным разрешением — оно оптимально для построения карт требуемого масштаба (М 1:25 000). 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, т.к. 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).

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, то есть выполнение условий проверялось одновременно по нескольким изображениям (табл.).

В результате было получено классифицированное изображение исходного снимка RapidEye (рис. 1), на котором дискретно ото-

бражены различные типы подстилающей поверхности. В последовательности алгоритма классификации мы стремились к минимизации количества итераций и, прежде всего, к корректному определению границы «лес/болото». На выбранном участке это не составило особой проблемы, поскольку растительные сообщества на болоте не имеют верхнего сомкнутого «перекрывающего» яруса. Определив границу суходолов (лесных массивов) и слабодренированных территорий (болот) в дальнейшем мы рассматривали только болотные микроландшафты.

В результате пошагового деления болотной растительности нами выделено четыре класса:

- озерково-грядово-мочажинные комплексы;
- сосново-кустарничково-сфагновые сообщества;
- сфагново-кустарничково-сосновые сообщества;
- пушицево-сфагновые сообщества (рис. 2).

Растительные сообщества с наличием древесного яруса целесообразно выделять по ближнему ИК каналу, топяные участки по окраинам болотного массива с обилием травянистой растительности отчетливо отделяются по зеленому каналу. Граница озерково-грядово-моча-

Классы поверхности	Канал КС, в котором граница выделяемого класса отчетливо прослеживается
Водная поверхность	Ближний ИК
Антропогенно-нарушенная поверхность, грунт	Значения NDVI
Граница лес/болото	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

Табл. Информативность спектральных каналов КС RapidEye

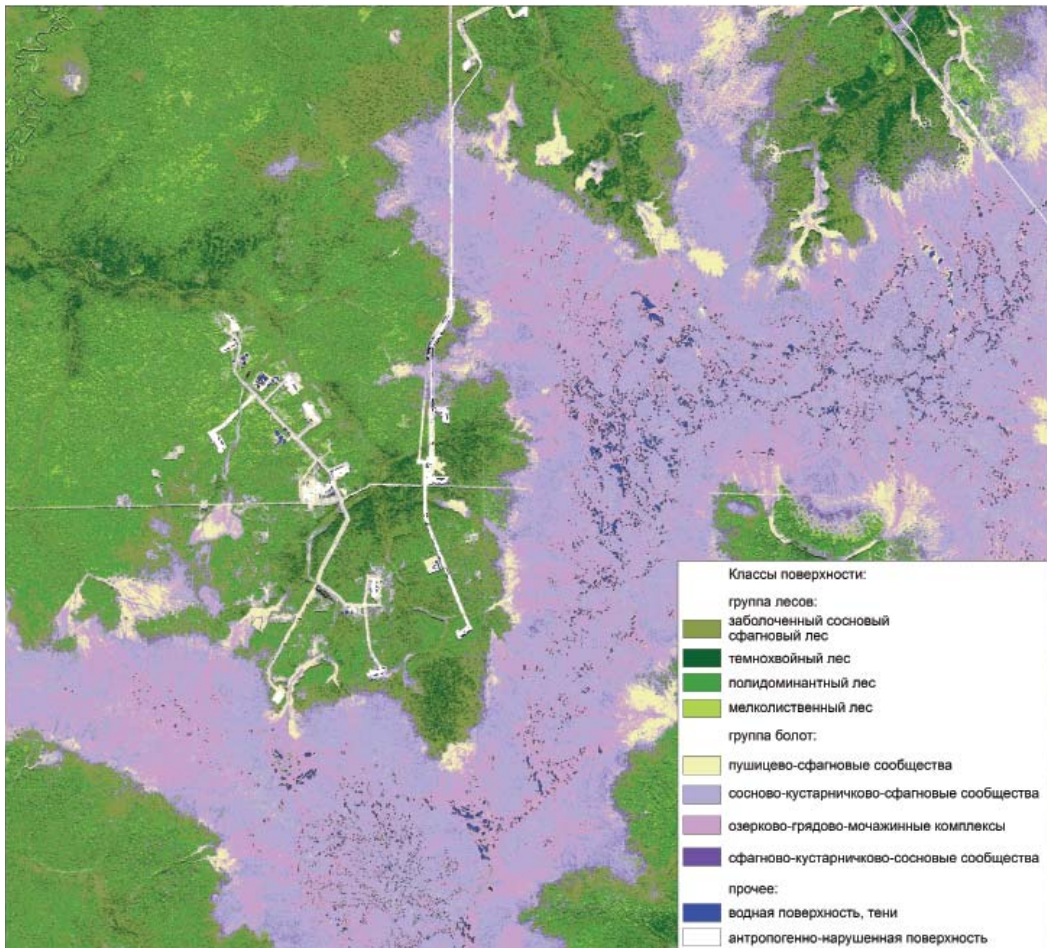


Рис. 1. Классифицированный КС RapidEye, территория ключевого участка

жинных 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 своеобраз-

ный 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 фитоценоза именно в красной зоне спектра.

Сосново-кустарничково-сфагновые сообщества расположены по периферии озерково-гря-

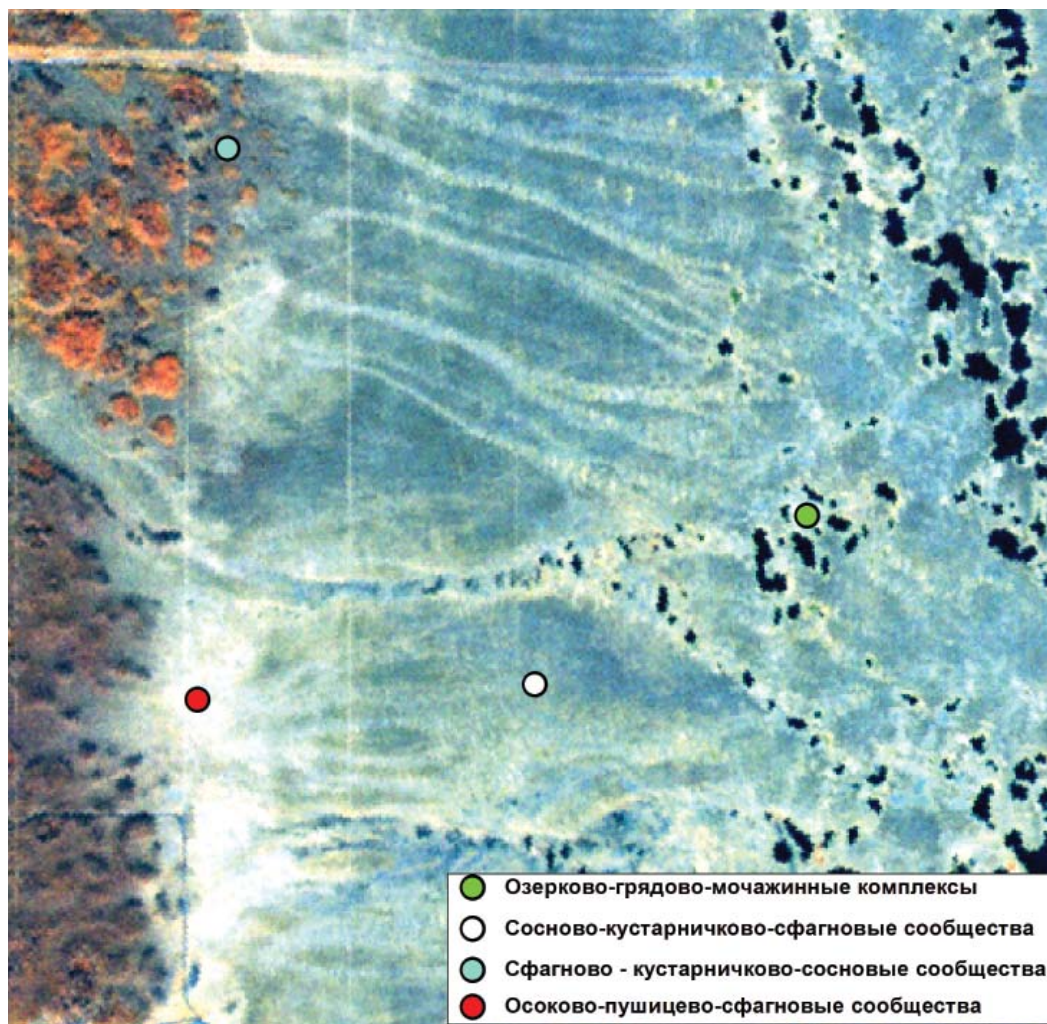


Рис. 2. Растительные сообщества верхового болотного массива на КС RapidEye

дово-мочажинных комплексов на центральных участках олиготрофного болотного массива и вдоль по склону, уклон поверхности 0,0028. При дешифрировании низкого ряма 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 яркости растительности ведет к увеличению отражения в ближней ИК зоне спектра, граница рослого и низко-

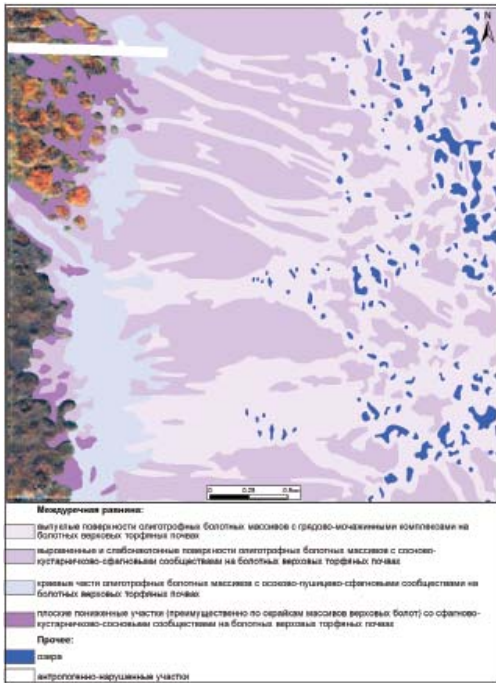


Рис. 3. Фрагмент ландшафтной карты верхового болотного массива в районе участка работ

го рямов была определена сочетанием параметров длинноволнового красного и ближнего ИК зон спектра.

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.

На основе анализа различных тематических материалов (цифровая топографическая карта (ЦТК), карта лесоустройства, почвенная карта, карта четвертичных отложений), разновременных космических снимков и полученного клас-

сифицированного изображения КС RapidEye нами выделены характерные для участка работ болотные микроландшафты (рис. 3).

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 фитоценозов. Полученные значения яркостей спектральных каналов применены в дальнейшем в алгоритме построения спектральной классификации. Таким образом, анализ итогового классифицированного изображения КС позволил определить морфологическую структуру микроландшафтов исследуемого болотного массива.

Результаты проведенного исследования можно использовать при построении классифицированных изображений поверхности большинства верховых болот с целью повышения точности и достоверности картографирования болотных микроландшафтов. Есть основание полагать, что использование полученных результатов в дальнейшем повысит достоверность картографирования болотных микроландшафтов. Однако важно отметить, что выявленная информативность спектральных каналов в идентификации болотных фитоценозов справедлива только в схожих условиях. В данном случае — это КС RapidEye (август 2010 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапшина Е. Д. Флора болот юго-востока Западной Сибири. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. — 296 с.