
**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ
И ИНТЕРПРЕТАЦИИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**ВОЗМОЖНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ
СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ
НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПОЖАРООПАСНЫХ
И ОБВОДНЯЕМЫХ ТОРФОРАЗРАБОТОК**

© 2017 г. М. А. Медведева¹ *, А. Е. Возбранная², А. А. Сири¹, А. А. Маслов¹

¹*Институт лесоведения Российской академии наук, Московская область*

²*Национальный парк “Мещера”, Владимирская область, Гусь-Хрустальный*

*e-mail: evezza@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.12.2015 г.

Рассмотрены возможности разных многоспектральных спутниковых данных для определения состояния нарушенных добычей и не используемых в настоящее время торфяных месторождений для оценки их потенциальной пожароопасности и эффективности вторичного обводнения. На примере болотных массивов Национального парка “Мещера” (Владимирская область) показана доступная степень детализации типов земельного/растительного покрова при проведении мониторинга состояния заброшенных торфяных разработок на базе спутниковых изображений Spot-5 HRG, Spot-6 HRG и Landsat-7 ETM+. Предложенные результаты характеризуют плюсы и минусы использования разных типов данных при анализе состояния заброшенных торфяников с целью их инвентаризации, мониторинга изменений и выявления участков, требующих первоочередных мер по обводнению и восстановлению, оценки эффективности этих мероприятий.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, многоспектральные изображения, торфяные болота, торфяники, торфяные разработки, растительный покров, лесоторфяные пожары, обводнение

DOI: 10.7868/S0205961417020051

ВВЕДЕНИЕ

Торфяные болота вместе с заболоченными мелководными землями занимают более 20% территории России (Вомперский и др., 1994, 2005, 2011) и во многих регионах существенно изменены хозяйственной деятельностью человека (A Quick Scan..., 2009). Наиболее сильное воздействие на болота оказывает добыча торфа, особенно фрезерным – наиболее распространенным в большинстве стран – промышленным способом получения этого сырья. В отличие от распространенных до середины 20-го столетия карьерного и других так называемых “мокрых” способов добычи торфа, при которых оставленные выработки самостоятельно заполнялись водой и постепенно заболачивались, фрезерный предполагает интенсивное осушение разрабатываемых площадей и соответственно необходимость их последующей рекультивации. Всего, по разным оценкам, в стране при добыче торфа было нарушено 850 тыс.–1.5 млн га болот, которые после нормативной выработки залежи были большей частью рекультивированы для с.-х. использования (включая частные садоводства), реже – для создания лесных культур и других задач (Торфяные болота..., 2001).

К началу 1990-х годов использовалось, преимущественно для фрезерной добычи торфа, примерно 250 тыс. га торфяников; оценка приблизительна по причине специфики учета (Торфяные..., 2001). Впоследствии, после закрытия или приостановки работы предприятий, значительные площади фрезерных торфяных разработок были заброшены без требуемой выработки залежи и необходимой рекультивации. Из-за сильного осушения на них крайне медленно формируется растительный покров: больше двадцати лет после прекращения добычи торфа на полях фрезерной добычи сохраняются участки открытого торфа. На них происходят интенсивная деградация и разложение торфа, водная и ветровая эрозия, эмиссия диоксида углерода в атмосферу. Здесь наиболее велика вероятность торфяных пожаров (Минаева, Сири, 2002; Сири и др., 2011). Это одна из наиболее острых экологических проблем, связанных с торфяными болотами в стране (Основные направления..., 2003; A Quick Scan..., 2009), которая может усиливаться в связи с изменением климата (Assessment..., 2008; Минаева, Сири, 2011). Осушенные торфяники и торфяные пожары являются одним из существенных антропо-

погенных источников поступления парниковых газов в атмосферу (IPCC, 2014).

Наиболее эффективный путь предотвращения неблагоприятных процессов и снижения пожарной опасности таких земель, при отсутствии оснований возвращения их в хозяйственный оборот, обводнение и искусственное заболачивание (Водный кодекс РФ, 2006, ст. 52). Учитывая масштаб проблемы, это требует определения первоочередных объектов для обводнения, а также организации последующего мониторинга для оценки эффективности указанных мероприятий. При этом неиспользуемые торфоразработки имеют значительные размеры, труднопроходимы и сложны для наземного картографирования. Их растительный покров отличается высокой мозаичностью и разнонаправленной динамикой растительного покрова, в том числе, из-за чувствительности к погоднo-климатическим условиям отдельных лет и периодического воздействия торфяных пожаров. Поэтому данные спутниковых наблюдений представляются наиболее перспективной и практически реализуемой основой для создания системы мониторинга неиспользуемых торфоразработок даже с учетом уже имеющихся методов дистанционного зондирования (ДЗ). Регулярная съемка из космоса позволяет отслеживать состояние торфоразработок, планировать и контролировать мероприятия по их обводнению, оценивать эффективность этих мероприятий.

Основы такого подхода на базе съемки Landsat-7 уже апробировались ранее на примере болотных массивов Национального парка “Мещера”, Владимирская обл. (Медведева и др., 2011). Однако обширные пожары 2010 г. в центральных регионах ЕТР (Сирин и др., 2011) показали необходимость дальнейшего развития методических подходов к использованию ДЗЗ для решения задач по оценке состояния пожароопасных торфяных болот и эффективности обводнения (Сирин и др., 2014б; Sirin et al., 2014). Для организации постоянного мониторинга торфяников в пожароопасный период (с весны до осени) необходимо, по меньшей мере, 2–3-кратное покрытие их космической съемкой. Как показывает опыт, даже в таком регионе, как Московская обл. (который снимается очень часто), оперативная съемка с различных ресурсных спутников высокого разрешения имеет весьма фрагментарный характер во времени и в пространстве, и даже заказ коммерческой съемки с заданным интервалом и с высоким приоритетом районов не гарантирует ее получения с использованием одной спутниковой системы (Сирин и др., 2014а). В этой связи особую актуальность приобретает возможность одновременно использовать не одну, а две–три космические системы, которые могут дополнять друг друга.

В данной работе была поставлена цель – выявить доступную степень детализации типов земельного покрова для проведения мониторинга за-

брошенных торфоразработок на базе различных спутниковых изображений Spot-5 HRG, Spot-6 HRG и Landsat-7 ETM+ (характеризует также возможности Landsat-8) для определения их состояния и анализа изменений, происходящих в результате обводнения и вторичного заболачивания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на примере объектов ФГУ Национальный парк “Мещера” (НП), в границах которого расположен один из наиболее значительных по площади в европейской России комплексов торфяных болот, нарушенных торфяными разработками разного времени и с применением разных технологий добычи, включая фрезерную (Медведева и др., 2011). НП, который был создан в 1992 г. в Гусь-Хрустальном районе Владимирской обл., примыкает к восточной границе Московской обл., и на его территории площадью 118,7 тыс. га представлено большое разнообразие болотных экосистем Мещерской низменности, в том числе 62 крупных болотных массива. По причине частоты воздействия лесоторфяных пожаров НП стал пионером масштабных работ в нашей стране по обводнению торфяников для восстановления болотных экосистем (Сирин и др., 2011).

Растительность болот и антропогенно нарушенных торфяников НП изучена достаточно подробно (Антипин и др., 2004); имеются цифровые карты части заброшенных торфоразработок, что позволило сформировать набор опорных данных для идентификации типов земельного/растительного покрова. Начиная с 2005 г., на постоянных пробных площадях трех наиболее репрезентативных болотных массивов – Тасин Борского, Островского и Гаринского – ведутся наблюдения за изменением растительного покрова и показателей среды. Выявлены основные тенденции и факторы динамики растительного покрова нарушенных торфяников (Возбранная и др., 2008). Для настоящего исследования были использованы девять участков на болотных массивах НП общей площадью около 8 тыс. га.

Для проведения исследований были отобраны три набора данных высокого разрешения: Spot-5 HRG, Spot-6 HRG и Landsat-7 ETM+ за 2013 г. (далее соответственно Spot-5, Spot-6 и Landsat-7). Для анализа использовались изображения, полученные в шести спектральных диапазонах для Landsat-7 и во всех имеющихся диапазонах для остальных наборов данных (табл. 1). Необходимо также отметить наличие набора данных Landsat-8, включающего дополнительные относительно Landsat-7 каналы Deep Blue 0,43–0,45 мкм и SWIR 1,36–1,39 мкм. Покрытие исследуемого участка спутниковыми данными Landsat-7 за 2013 г. проводилось при использовании двух сцен с датами съемки 11.08.2013 и 01.07.2013. Как известно, с 2003 г. система ETM+ предлагает сцены с неот-

Таблица 1. Характеристики используемых спутниковых данных

Название набора данных	Landsat-7	Spot-5	Spot-6
Разрешение (размер 1 пиксела), м	30	10	6
Дата съемки	11.08.2013*	13.09.2013	13.09.2013
Спектральные каналы	Используемые длины волн, мкм		
Синий (Blue)	ETM+1 0.45–0.52	–	0.45–0.52
Зеленый (Green)	ETM+2 0.53–0.61	0.50–0.59	0.53–0.59
Красный (Red)	ETM+3 0.63–0.69	0.61–0.68	0.63–0.70
БИК (NIR)	ETM+4 0.75–0.90	0.78–0.89	0.76–0.89
БИК 2 (SWIR 2)	ETM+5 1.55–1.75	1.58–1.75	–
БИК 3 (SWIR 3)	ETM+7 2.09–2.35	–	–

Примечание.* Преобладание сцены за 11.08.2013 и местами за 01.07.2013.

снятыми участками. Поэтому изображение за 2013 г. было собрано с преобладанием сцены за 11.08.2013 и местами за 01.07.2013.

Анализ и обработка спутниковых изображений включали следующие основные этапы:

- оценка необходимого для распознавания в рамках тестового участка множества различных классов земного покрова;
- подготовка опорных наземных данных и результатов визуального экспертного анализа;
- подготовка обучающей выборки для контролируемой классификации спутниковых изображений;
- классификация земного покрова независимо по данным каждого спутникового прибора;
- экспертная оценка достоверности полученных результатов;
- сравнение результатов классификации и оценка достоверной степени детализации классов земного покрова для решения поставленных задач по данным разных спутниковых изображений.

Ранее проведенные исследования (Медведева и др., 2011) показали возможность использования набора из шести классов растительного/земельного покрова, достаточного для решения поставленных задач (Sirin et al., 2014b). Они включают: 1) *открытый торф* – участки открытого (включая пройденного огнем) торфа с разреженным растительным покровом (отдельные экземпляры березы, пушицевые кочки, мелкие фрагменты покрова 2-го типа); 2) *кипрейные, вейниковые и березово-вейниковые сообщества*, формирующиеся при зарастании открытого торфа; 3) *сообщества с преобладанием сосны* различной степени угнетенности, характерные для естественной восстановительной динамики участков торфоразработок с карьерной и ручной добычей торфа; 4) *сообщества с преобладанием ивы и березы* на зарастающих фрезерных полях (березняки, реже ольшаники или осинники с примесью березы, распространены березово-вейниковые и кустарниково-вейниковые ассоциации); 5) *гидрофильные сообщества с розогом и камышом* на обводненных участках (встречается частуха, пушица); 6) *водные поверхности* – водо-

емы, образовавшиеся в результате естественного или искусственного затопления или подтопления участков торфяников. Классы 1 и 2 характеризуются наиболее низкими уровнями болотных вод (УБВ), периодически сильно высыхающей поверхностью почвы и наиболее высокой степенью пожарной опасности. Классы 3 и 4 занимают промежуточное положение. Класс 5 характеризуется значениями УБВ, близкими к поверхности почвы, не представляя значительной пожарной опасности. Классы 5 и 6 формируют площади, которые будут в дальнейшем развиваться как водно-болотные угодья.

Для шести указанных классов на спутниковом изображении Landsat-7 было отобрано 12 эталонных участков на семи из девяти болотных массивов. Согласно результатам наземного обследования, эталонные участки достаточно однородны, что позволило сформировать набор опорных данных для проведения классификации с обучением. Для класса 1 удалось выбрать четыре обучающих участка, для класса 2 и 3 – по одному, для класса 4 – два, для класса 5 – три и для класса 6 – один. Для других спутниковых изображений опорные данные были получены на основе пространственного экспертного анализа ранее используемых 12 эталонных участков.

Для проведения классификации изображения Landsat-7, Spot-5 и Spot-6 были сегментированы по спектральным характеристикам при помощи программы обработки данных ДЗ Земли ScanEx Image Processor v.4.0 (СканЭкс, 2011). Первоначальный этап представлял собой стадию быстрого роста небольших сегментов из исходных пикселей. Дальнейший процесс сегментации заключался в слиянии попарно мелких сегментов, полученных на первоначальном этапе. В случае многоканальной сегментации метрика несхожести рассчитывается как разница между гетерогенностью результирующего сегмента и гетерогенностями исходных сегментов, взвешенными количеством пикселей соответствующих сегментов.

Далее осуществлялась интерактивная классификация сегментированных изображений. Сегменты могут рассматриваться как операционно-

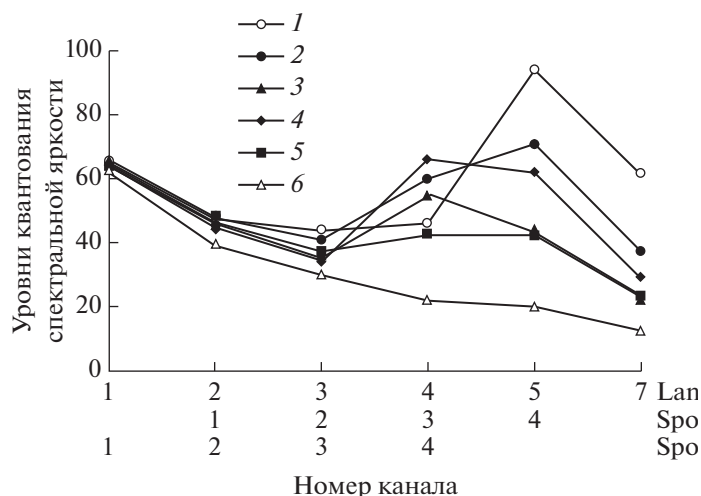


Рис. 1. Средние значения спектральной яркости в каналах используемых данных для набора распознаваемых классов: 1 — открытый торф; 2 — кипрейные, вейниковые и березово-вейниковые сообщества; 3 — сообщества с преобладанием сосны; 4 — сообщества с преобладанием ивы и березы; 5 — гидрофильные сообщества с рогозом и камышом; 6 — водные поверхности.

территориальные единицы (ОТЕ), для которых может решаться задача отнесения к тематическим классам на основании вычисленных для них яркостных характеристик (средних яркостей и дисперсий в каналах). Для этого используется заданная пользователем тематическая информация, позволяющая отнести сегменты обучающей выборки к тому или иному тематическому классу, и математические методы дискриминации — линейный и квадратичный дискриминационный анализ (СканЭкс, 2011). Для проверки результатов классификации были выбраны 73 точки, находящиеся на пяти из девяти болотных массивов. Качество полученных классифицированных данных оценивалось, исходя из полных матриц ошибок и вычисленных точностей классификаций (Лабутина, 2004).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены средние значения спектральной яркости распознаваемых классов земной поверхности, полученные на основе используемых многоспектральных спутниковых изображений и данных обучающей выборки. Рисунок 2 характеризует области, занимаемые различными распознаваемыми классами в двумерных пространствах значений спектральной яркости, образуемых различными сочетаниями наиболее информативных для решаемых задач каналов Landsat-7, Spot-5 и Spot-6. Иллюстрации позволяют получить визуальное представление о возможностях разделения исследуемых классов при помощи различных спутниковых данных.

По спектральному разрешению наилучшее разделение классов обеспечивают данные Landsat-7, имеющие шесть каналов с длинами волн от 0.45 до 2.35 мкм (табл. 1, рис. 2). Необходимо отметить пре-

имущество Landsat-8, у которого имеется два дополнительных к набору Landsat-7 канала — № 1 Deep Blue 0.43–0.45 и № 9 SWIR 1.36–1.39. Последний канал упрощает поиск облаков на снимках. Данные Spot-5 (четыре канала с длинами волн от 0.50 до 1.75 мкм) также являются приемлемыми для разделения рассматриваемых классов. Оба спутника — Landsat-7 (Landsat-8) и Spot-5 — обладают необходимым для проводимой работы каналом в диапазоне 1.58–1.75 мкм, который, однако, отсутствует в наборе данных Spot-6 (четыре канала с длинами волн от 0.45 до 0.89 мкм). Как и ожидалось, результаты классификации данных Spot-6 показали невысокую точность. Поэтому для набора данных Spot-6 проводилась дополнительно неконтролируемая классификация ISODATA с 30-ю классами (Итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных — Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). Алгоритм базируется на кластеризации изображения, основанной на разнице между средними значениями кластеров (минимальном спектральном расстоянии между центрами классов) (СканЭкс, 2011). При проведении неконтролируемой классификации для данных Spot-6 удалось улучшить распознавание классов до 36%.

Примеры результатов классификации по разным спутниковым изображениям на репрезентативном участке даны на рис. 3. Рисунок 3б иллюстрирует достаточно близкий результат с рис. 3а с учетом более высокого разрешения и более дождливого сезона. На рис. 3в расположение классов значительно отличается от предыдущих двух иллюстраций. Особенно можно отметить классы 1 и 5, распознавание которых затруднено из-за характеристик исходных спутниковых данных. Разделение этих классов удалось улучшить при помощи проведения неконтролируемой классификации, результаты которой можно видеть на рис. 3г.

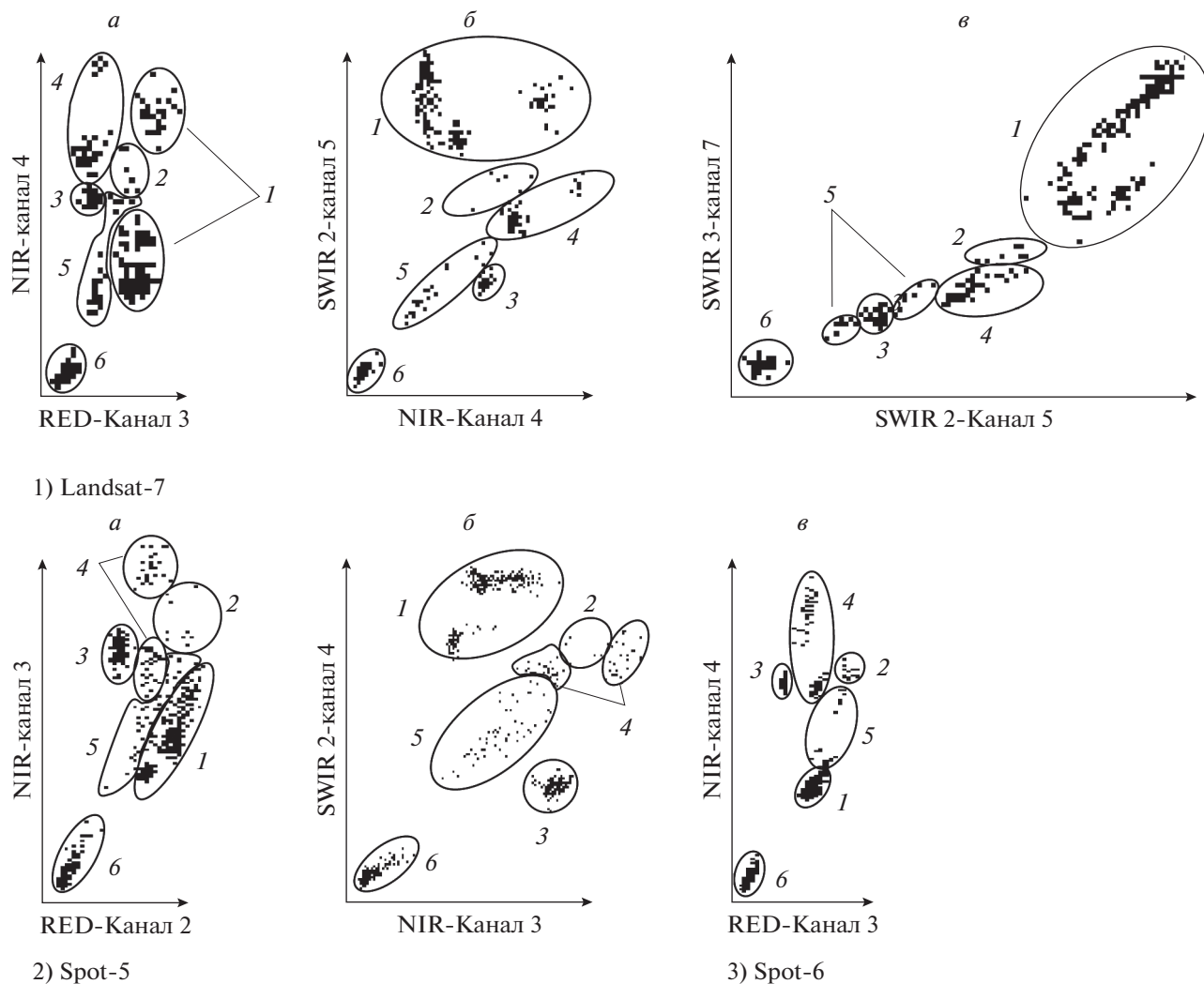


Рис. 2. Области различных классов в двумерном пространстве значений спектральной яркости для различных сочетаний каналов используемых данных. См. пояснения к рис. 1.

Здесь оба проблемных класса большей частью находятся на местах относительно рис. 3б. Однако вместе с матрицами ошибок (табл. 2) результаты классификаций данных Spot-6 показывают их недостаточную точность для решения задач распознавания изучаемого набора классов земного покрова.

Точность выделения рассматриваемых классов земного покрова на основании используемых спутниковых данных можно оценить по матрице ошибок (табл. 2). Матрица Landsat-7 представляет собой эталонную классификацию с точностью 100%. В матрице Spot-5 можно увидеть ошибочно классифицированные как гидрофильные сообщества две точки класса “торф” и три точки “травяные сообщества”. В данном случае эти “ошибки” могут объясняться разными периодами получения исходных данных ДЗЗ: данные Spot-5 относятся в отличие от данных Landsat-7 к периоду после затяжных дождей. Первая из двух мат-

риц Spot-6 иллюстрирует неточности классификации по всем классам. Матрица неконтролируемой классификации Spot-6 позволяет получить представление о степени улучшения предыдущих показателей в результате использования этой процедуры. Результаты улучшаются практически по всем классам.

Не очень высокую точность (62%) первоначальной классификации данных Spot-6 при помощи неконтролируемой классификации удалось значительно улучшить — результат до 81%, однако, несмотря на это, и он остается еще недостаточно высоким. Объективно сказывается, конечно, отсутствие канала SWIR. Однако имеется и возможный субъективный источник ошибки. Сравнение проводилось с результатами классификации по данным Landsat-7, которые были получены в июле–августе 2013 г. В то же время данные Spot-5 и -6 относятся к середине сентября 2013 г. Этому периоду на исследуемой территории

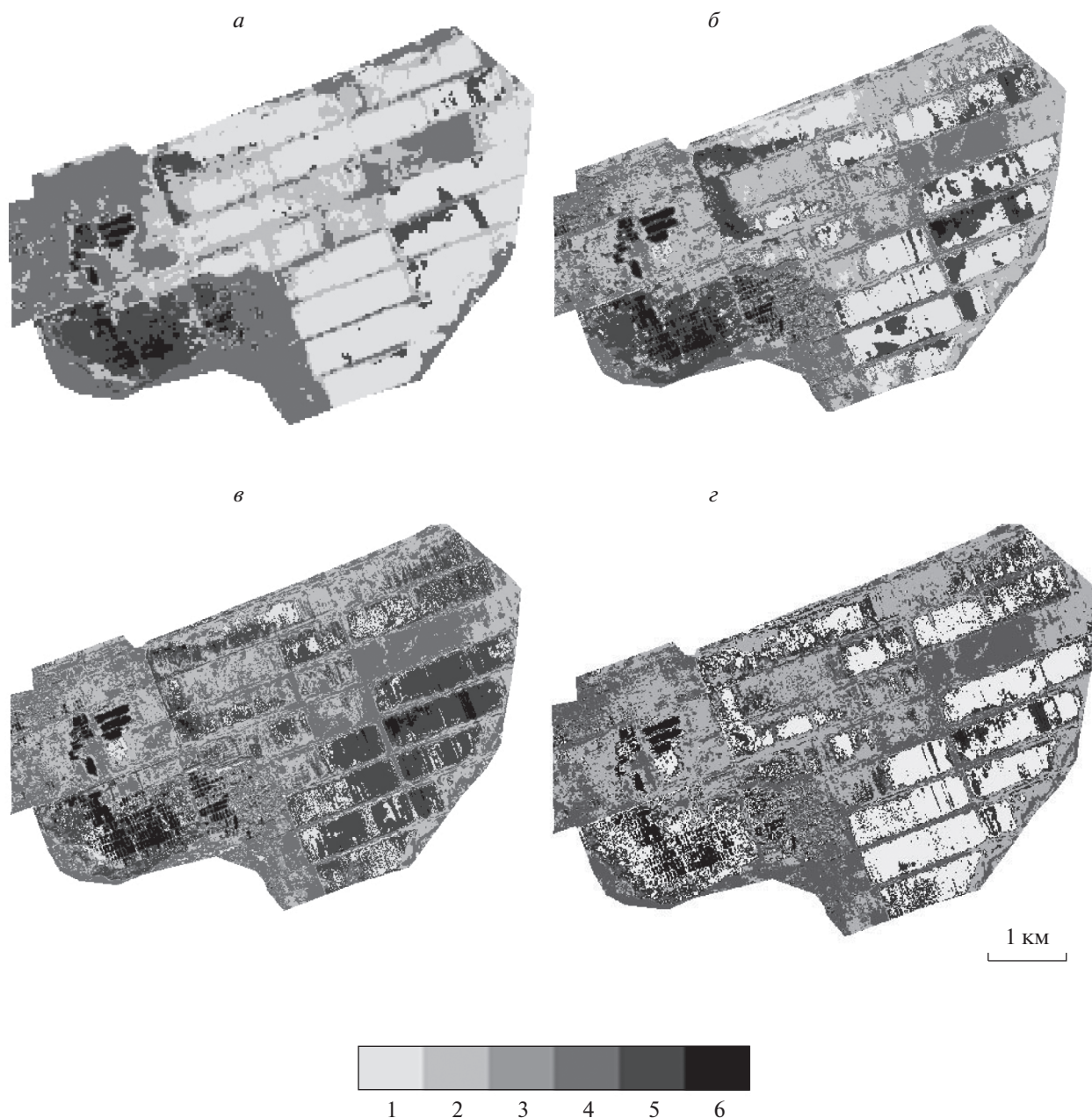


Рис. 3. Примеры классификации разных спутниковых изображений участка торфоразработок Островского болотного массива. Легенда – см. рис. 1. *а* – Landsat-7, *б* – Spot-5, *в* – Spot-6 (классификация с обучением), *г* – Spot-6 (классификация без обучения).

предшествовали сильные дожди. Данным фактом, возможно, объясняется большее количество гидрофильных участков, чем выявлено таковых по данным Landsat. Данные Spot-5 и -6 были получены за один период времени и в обоих случаях дожди оказали одинаковое воздействие. Однако по данным Spot-5 разделение влажного торфа и гидрофильных сообществ проходит более успешно благодаря наличию канала SWIR, по причине отсутствия которого у данных Spot-6 это разделение затруднено.

На рис. 2.1*а* и 2.2*а* можно видеть слишком тесное расположение пикселей обучающей выборки классов в спектральных каналах RED-NIR. На следующих рис. 2.1*б–в* и 2.2*б* области расположения данных пикселей в большей степени распределены в пространстве, что позволяет разделять классы более точно. На рис. 2.3 представлены обучающие участки уже с учетом сложности разделения некоторых из них, что, однако, не решает проблему разделения классов “торф” и “гидрофильная растительность” в награничной зоне. Сказывается отсутствие в данных Spot-6 каналов SWIR.

Таблица 2. Полные матрицы ошибок и точность результатов классификации разных спутниковых данных

Данные Landsat-7									
Классы	Реальные							Σ	Точность, %
Расчетные	1	2	3	4	5	6	Σ		
1	10	0	0	0	0	0	10	100.0	
2	0	12	(")	(")	(")	(")	12	100.0	
3	(")	0	13	(")	(")	(")	13	100.0	
4	(")	(")	0	11	(")	(")	11	100.0	
5	(")	(")	(")	0	15	(")	15	100.0	
6	(")	(")	(")	(")	0	12	12	100.0	
Σ	10	12	13	11	15	12	73		
Точность, %	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		100.00*	
Данные Spot-5									
1	8	0	0	0	0	0	8	100.0	
2	0	9	(")	(")	(")	(")	9	100.0	
3	(")	0	13	(")	(")	(")	13	100.0	
4	(")	(")	0	11	(")	(")	11	100.0	
5	2	3	(")	0	15	(")	20	75.0	
6	0	0	(")	(")	0	12	12	100.0	
Σ	10	12	13	11	15	12	73		
Точность, %	80.0	75.0	100.0	100.0	100.0	100.0		93.15*	
Данные Spot-6. Классификация с обучением									
1	1	2	0	1	2	0	6	16.7	
2	0	4	(")	0	1	(")	5	80.0	
3	(")	0	10	2	0	(")	12	83.3	
4	2	6	3	8	1	(")	20	40.0	
5	7	0	0	0	11	1	19	57.9	
6	0	(")	(")	(")	0	11	11	100.0	
Σ	10	12	13	11	15	12	73		
Точность, %	10.0	33.3	76.9	72.7	73.3	91.7		61.64*	
Данные Spot-6. Классификация без обучения									
1	8	0	0	0	4	0	12	66.7	
2	1	8	(")	(")	0	(")	9	88.9	
3	0	0	10	(")	(")	(")	10	100.0	
4	(")	(")	3	11	1	(")	15	73.3	
5	1	4	0	0	10	(")	15	66.7	
6	0	0	(")	(")	0	12	12	100.0	
Σ	10	12	13	11	15	12	73		
Точность, %	80.0	66.7	76.9	100.0	66.7	100.0		80.82*	

Примечание. * Общая точность классификации.

При проведении неконтролируемой классификации для данных Spot-6 удалось улучшить качество распознавания класса “открытый торф” на 36%, класса “травянистые сообщества” – на 6%, класса “сообщества с преобладанием сосны” – на 12%, класса “сообщества с преобладанием ивы и березы” – на 5%, класса “водные поверхности” – на 3%. В то же время качество распознавание класса “гидрофильные сообщества” ухудшилось

на 11%. Данная процедура позволяет автоматически разделить изображение на заданное количество классов, каждому из которых после экспертного анализа присваивается один из классов земного покрова из используемого набора (в нашем случае шесть классов).

Отдельным аспектом является пространственное разрешение сравниваемых данных ДЗЗ. Особенностью рассматриваемых объектов – торфо-

разработок — является пространственная фрагментация. Так, для участков фрезерной добычи торфа характерно наличие осушительной сети с так называемыми картовыми каналами, разделяющими участки разрабатываемых площадей, с расстоянием между ними порядка 40 м. Они дополняются собирателями, магистральными каналами и другими элементами дренажной сети. Состояние картовых каналов по прошествии времени после прекращения добычи торфа может быть разным. Чаще всего это различная гидрофильная растительность с участками открытой водной поверхности. Исходя из этого, для решения рассматриваемых задач наиболее подходящими по пространственному разрешению являются данные Spot-6. Они представляют наиболее детальные из анализируемого набора снимки — 6 м. Данные Spot-5 с пространственным разрешением 10 м также позволяют обеспечить необходимую точность для выполнения поставленных задач. Данные Landsat-7 являются излишне грубыми (30 м) и, как видно на рис. 3, при их использовании происходит снижение точности представления изучаемых объектов.

ВЫВОДЫ

В основу спутникового мониторинга неиспользуемых торфоразработок могут быть положены возможности распознавания участков открытого торфа и разных типов растительности по их спектральным характеристикам, измеряемым с помощью приборов дистанционного зондирования. Показана возможность классификации типов земного покрова по спутниковым изображениям с привлечением данных выборочного наземного обследования.

Анализируемые спутниковые изображения позволяют осуществить классификацию типов покрова, тематической детальности которой вполне достаточно для решения задачи мониторинга участков неиспользуемых торфоразработок. Высокая пространственная вариабельность земного покрова заброшенных торфяников, выявленная в рамках данной работы, может служить наглядным обоснованием необходимости разработки и использования дистанционных методов их мониторинга.

Результаты анализа возможностей использования многоспектральных спутниковых изображений показали недостаточный потенциал данных Spot-6 для решения задач мониторинга состояния заброшенных торфоразработок с необходимой степенью детализации. Основная проблема этих и подобных в спектральном отношении данных — перемешивание диаметрально противоположных (с точки зрения задач мониторинга) участков открытого торфа с участками гидрофильной растительности и другими типами растительного покрова. Это ставит под сомнение эффективность использования таких данных для ре-

шения поставленных задач с необходимой точностью и достоверностью.

Данные Landsat-7 открывают потенциальную возможность регулярного мониторинга выработанных торфяников, как на уровне отдельных болотных массивов, так и более крупных территорий, с решением задачи определения уровня потенциальной пожароопасности, однако существенные ограничения вносят пропуски фрагментов изображения в связи с неисправностью прибора SLC. Недостатки Landsat-7 восполняются возможностями данных Landsat-8. Однако стоит отметить, что из-за недостаточной частоты фактического проведения съемки и наличия облачности не всегда удаётся получить даже один фрагмент данных для анализируемого объекта за вегетационный сезон.

Линейка данных Spot потенциально обеспечивает частоту съемки для Spot-5 1 раз за двое–трое суток, а для Spot-6 в группировке со Spot-7 — ежедневно. Кроме того, было определено, что отличия разных типов покрова выявляются в наборе данных Spot-5 не хуже, чем в Landsat-7, и достаточно для решения поставленной задачи. К сожалению, с 29 марта 2015 г. спутник был выведен из эксплуатации. Однако сохраняется потенциал использования данных Spot-5 для ретроспективного анализа состояния изучаемых объектов.

Работа проводилась при поддержке Проекта “Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата”, финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через немецкий банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS K Восстановление торфяных болот).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антипин В.К., Бойчук М.А., Грабовик С.И., Стойкина Н.В., Возбранная А.Е.* Растительный покров естественных и освоенных болот национального парка “Мещера”, Владимирской обл. // Антропогенная трансформация таежных экосистем Европы: экологические, ресурсные и хозяйственные аспекты. Петрозаводск, 2004. С. 166–169.
- Возбранная А.Е., Антипин В.К., Сиринов А.А.* Мониторинг растительного покрова и экологических условий нарушенных торфяников ГНП “Мещера” Владимирской области // Мониторинг и оценка состояния растительного мира. Междун. науч. конф. Минск–Нарач, 22–26 сентября 2008. С. 244–246.
- Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Глухова Т.В., Дубинин А.И., Глухов А.И., Маркелова Л.Г.* Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17–25.
- Вомперский С.Э., Сиринов А.А., Сальников А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А.* Оценка площади болотных и

- заболоченных лесов России // Лесоведение. 2011. № 5. С. 3–11.
- Волперский С.Э., Сирин А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Майков Д.А. Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Изв. РАН. Сер. Географическая. 2005. № 5. С. 21–33.
- Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Уч. пос. для студентов вузов. Аспект Пресс, 2004. 184 с.
- Маслов А.А., Митькиных Н.С. Оптимальный выбор формата данных и методов геопривязки: практические рекомендации при заказе снимков высокого разрешения // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2010. № 4. С. 83–84.
- Медведева М.А., Возбранная А.Е., Барталев С.А., Сирин А.А. Оценка состояния заброшенных торфоразработок по многоспектральным спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 5. С. 80–88.
- Минаева Т.Ю., Сирин А.А. Биологическое разнообразие болот и изменение климата // Усп. совр. биологии. 2011. Т. 131. № 4. С. 393–406.
- Минаева Т.Ю., Сирин А.А. Торфяные пожары – причины и пути предотвращения // Наука и промышленность России. 2002. № 9. 2002. С. 3–8.
- Основные направления действий по сохранению и рациональному использованию торфяных болот России. Министерство природных ресурсов Российской Федерации. М.: Российская программа Международного бюро по сохранению водно-болотных угодий, 2003. 24 с.
- Сирин А., Минаева Т., Возбранная А., Барталев С. Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. 2011. № 2. С. 13–21.
- Сирин А.А., Маслов А.А., Валяева Н.А., Цыганова О.П., Глухова Т.В. Картографирование торфяных болот Московской области по данным космической съемки высокого разрешения // Лесоведение. 2014а. № 5. С. 65–71.
- Сирин А.А., Маслов А.А., Медведева М.А., Возбранная А.Е., Валяева Н.А., Глухова Т.В., Цыганова О.П. Использование космической съемки для мониторинга пожарной опасности и эффективности обводнения торфяников // Дистанционное зондирование Земли – сегодня и завтра. 2-я Междунар. конф. (Санкт-Петербург, 7–8 июля 2014). М.: Инж.-технол. центр СканЭкс, 2014б. С. 145–151.
- СканЭкс. Программа обработки данных дистанционного зондирования Земли ScanEx Image Processor v.3.6. Модуль тематической интерпретации данных дистанционного зондирования Тематик Про // Руков-во пользователя. 2011. С. 180–195.
- Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации / Под ред. Сирина А.А., Минаевой Т.Ю. М.: Геос., 2001. 190 с.
- IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands / Eds. Hiraiishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M., Troxler T.G. Published: IPCC, Switzerland, 2014.
- A Quick Scan of Peatlands in Central and Eastern Europe / Eds. Minayeva T., Sirin A., Bragg O. Wageningen, The Netherlands: Wetlands Int., 2009. 132 p.
- Assessment on peatlands, biodiversity and climate change / Eds. Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silvius M., Stringer L. Main rep. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands Int., Wageningen, 2008. 179 p.
- Sirin A., Maslov A., Medvedeva M., Vozbrannaya A., Valyaeva N., Tsyganova O., Glukhova T., Makarov D. Multispectral remote sensing data as a tool for assessing the need and the effectiveness for peatland restoration // The 9th European Conf. Ecol. Restoration. (August 3–8, 2014, Oulu, Finland. Abstracts / Eds. Tolvanen A., A-M. Hekkala. 2014. P. 133.

Capabilities of Multispectral Remote Sensing Data in Assessment of the Status of Abandoned Fire Hazardous and Rewetting Peat Extraction Lands

M. A. Medvedeva^a, A. E. Vozbrannaya^b, A. A. Sirin^a, A. A. Maslov^a

^aInstitute of Forest Science Russian Academy of Sciences, Uspenskoye, Moscow Reg., Russia

^bMeschera State National Park, Ministry of Natural Resources of Russian Federation, Gus-Khrustalny, Vladimir Reg., Russia

Examined are capabilities of several multispectral satellite data types to identify status of peatlands affected by peat extraction and abandoned, in order to assess potential fire danger and rewetting effectiveness. Available detailing levels of land/vegetation cover description for monitoring of abandoned peat extraction sites using Spot-5 HRG, Spot-6 HRG, and Landsat-7 ETM+ satellite images have been demonstrated with an example of peatlands in the “Meschera” National Park (Vladimir Province). The results presented reflect pros and cons of using different data types to analyze status of abandoned peat extraction lands for purposes of peatland inventory, land cover monitoring, prioritization of sites subject to rewetting and mire restoration, as well as for evaluation of effectiveness of these measures.

Keywords: remote sensing, multi-spectral images, peatbogs, peatlands, peat extraction lands, vegetation cover, forest-peat fires, rewetting