Возможности различных мультиспектральных космических данных для мониторинга неиспользуемых пожароопасных торфяников и эффективности их обводнения

М.А. Медведева¹, А.Е. Возбранная², А.А. Сирин¹, А.А. Маслов¹

¹ Институт лесоведения РАН, Московская обл., с. Успенское, 143030, Россия ² Национальный парк «Мещёра», Гусь-Хрустальный, 601501, Россия E-mail: sirin@ilan.ras.ru

Использование мультиспектральных спутниковых данных является основой мониторинга труднодоступных, быстро меняющихся и сложных для наземного обследования пожароопасных неиспользуемых антропогенно-изменённых торфяников, а также оценки эффективности их обводнения. Ранее была разработана и апробирована методика выделения шести классов земного покрова, отвечающих указанной задаче, на основе данных Landsat. Однако данных одного прибора недостаточно для анализа больших территорий и длинных временных рядов. На примере тестовых участков Национального парка «Мещёра» (Владимирская область) проведено сравнение результатов классификации с использованием информации со спутников Spot-5, -6, Landsat-7, -8 и Sentinel-2. Данные Spot-6 были признаны неприемлемыми (несмотря на более высокое пространственное разрешение) из-за отсутствия коротковолнового инфракрасного (SWIR) лиапазона. Высокая точность результатов классификации данных других приборов обеспечивает возможность их совместного использования с близкой точностью конечных результатов классификации. Была установлена сходная высокая точность результатов классификации данных методами минимального расстояния Erdas Imagine и объектно-ориентированного ScanEx Image Processor, что даёт возможность переходить от одного метода к другому без потери качества. Предлагаемый апробированный подход может быть использован для анализа состояния заброшенных торфяных болот в других местах — как для инвентаризации и определения приоритетных участков для дальнейшего затопления и восстановления торфяников, так и для мониторинга изменений. Сравнимость точности полученных результатов классификации данных разных приборов позволяет комбинировать классифицированные изображения и создаёт дополнительные возможности для анализа временных рядов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, многоспектральные изображения, торфяные болота, торфяники, торфоразработки, растительный покров, лесоторфяные пожары, Spot-5, Spot-6, Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-2

Одобрена к печати: 10.04.2019 DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-150-159

Введение

Осушенные неиспользуемые торфяники — основные объекты торфяных пожаров. Наиболее эффективный путь снижения пожарной опасности и улучшения экологического состояния таких земель при отсутствии оснований их хозяйственного использования — обводнение и искусственное заболачивание (Сирин и др., 2011). Это требует определения первоочередных объектов обводнения и их последующего мониторинга для оценки эффективности проводимых мероприятий. При этом такие объекты могут иметь значительные размеры, быть труднопроходимыми и сложными для наземного картографирования, в том числе по причине быстрых изменений растительного покрова. Поэтому для их мониторинга необходимы данные ДЗЗ, среди которых ключевую роль играют мультиспектральные спутниковые данные (Медведева и др., 2011, 2017; Яновский, 2017; Sirin et al., 2018).

Основы мониторинга на базе съёмки Landsat-7 были апробированы ранее на примере торфяников Национального парка «Мещёра» (НП), Владимирская область (Медведева и др., 2011). Обширные пожары 2010 г. в центре европейской территории России показали необходимость дальнейшего развития методических подходов использования данных ДЗЗ для решения задач по оценке состояния пожароопасных торфяников и эффективности обводнения

(Сирин и др., 2011). Для этого требуется как минимум однократное покрытие территории космической съёмкой за сезон вегетации. Однако даже для Московской области, съёмки которой проводятся часто, данные различных ресурсных спутников высокого разрешения имеют весьма фрагментарный характер во времени и пространстве, и даже заказ коммерческой съёмки с заданным интервалом и с высоким приоритетом районов не гарантирует её получения с использованием одной спутниковой системы (Сирин и др., 2014). Возникает необходимость вовлечения не менее двух-трёх космических систем, которые могут дополнять друг друга. Кроме этого, анализ восстановительной динамики растительности на объектах обводнения требует многолетнего мониторинга, что трудно или невозможно обеспечить по данным только одного спутника, каждый из которых имеет определённый временной ресурс.

Целью работы являлся анализ данных свободно доступных изображений Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-2 и коммерческих данных Spot-5 и Spot-6, требований к данным ДЗЗ и возможности их комбинирования в тех случаях, когда одного источника недостаточно.

Объекты и методы

Объекты исследования

Исследования проводились на примере объектов НП, в границах которого расположены значительные по площади антропогенно-нарушенные торфяные болота (Медведева и др., 2011) и который стал пионером масштабных работ в России по обводнению торфяников для восстановления болотных экосистем (Сирин и др., 2011). Растительность болот и торфяников НП достаточно изучена (Антипин и др., 2004), выявлены основные тенденции и факторы её изменения (Возбранная и др., 2008), имеются цифровые карты объектов. Всего было рассмотрено девять торфяников общей площадью около 8 тыс. га.

Исходные спутниковые данные

Анализировались пять наборов мультиспектральных спутниковых данных высокого пространственного разрешения: Spot-5, Spot-6 (источник данных — ИТЦ СканЭкс), Landsat-7, Landsat-8 и Sentinel-2 (USGS). В *табл. 1* представлены характеристики используемой спутниковой информации. Были подобраны безоблачные и без дымки снимки разных приборов за максимально перекрывающиеся периоды времени. Удалось получить данные Spot-5 и Spot-6 за один и тот же день (13.09.2013). От Landsat-7 были использованы две сцены за 01.07.2013 и 11.08. 2013. Из-за невысокой частоты повторения и наличия облачности не всегда есть возможность получить даже фрагмент данных Landsat-7 или Landsat-8 для исследуемой области в течение вегетационного сезона (Медведева и др., 2017). За 2016 г. данные Д33 были доступны от Landsat-8 (09.08.2016) и Sentinel-2 (07.08.2016). Открытый в конце 2015 г. полный доступ к данным Sentinel-2 с более высоким пространственным разрешением и большей частотой съёмки по сравнению с Landsat-7 и Landsat-8 повышает возможности решения поставленных задач. Для обработки данных Д33 использовались программные пакеты ScanEx Image Processor (ИТЦ СканЭкс, Россия) и Erdas Imagine (Erdas Inc., США).

Набор данных	Landsat-7	Landsat-8	Spot-5	Spot-6	Sentinel-2
Разрешение, м	30	30	10	6	10-20
Дата съёмки	11.08.2013*	09.08.2016	13.09.2013	13.09.2013	07.08.2016
Повторяемость	16	16	26	3	5
в надир, сут					
Производитель	США	США	Франция	Франция	Европа
Полоса покрытия, км	185	185	60	60	290

Таблица 1. Характеристики используемых в работе спутниковых данных

Окончание табл. 1

Набор данных	Landsat-7	Landsat-8	Spot-5	Spot-6	Sentinel-2	
C	Центральное спек- тральное разреше- ние, мкм	Ширина полосы, мкм				
Синий (Blue)	ETM+1 0,45-0,52	OLI2 0,45–0,52		0,45-0,52	MSI2 0,490 (10 м)	0,065
Зелёный (Green)	ETM+2 0,53-0,61	OLI3 0,53–0,60	0,50-0,59	0,53-0,59	MSI3 0,560 (10 м)	0,035
Красный (Red)	ETM+3 0,63-0,69	OLI4 0,63–0,68	0,61-0,68	0,63-0,70	MSI4 0,665 (10 м)	0,030
БИК 1 (NIR)	ETM+4 0,75–0,90	OLI5 0,85–0,89	0,78–0,89	0,76–0,89	MSI7 0,783 (20 м) MSI8 0,842 (10 м) MSI8a 0,865 (20 м)	0,020 0,115 0,020
БИК 2 (SWIR 2)	ETM+5 1,55–1,75	OLI6 1,56–1,66	1,58-1,75		MSI11 1,610 (20 м)	0,090
БИК 3 (SWIR 3)	ETM+7 2,09–2,35	OLI7 2,1–2,3			MSI12 2,190 (20 м)	0,180

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

Методика

Были рассмотрены данные всех шести оптических мультиспектральных каналов Landsat-7 и всех таких каналов Spot-5 и Spot-6. С целью сопоставимости исследуемых данных Д33 также использовались шесть оптических спектральных каналов Landsat-8 и Sentinel-2, совпадающих с Landsat-7. Для улучшения точности привязки данных Spot-5 (до 100 м) в качестве опорных использовались данные Spot-6. Данные Landsat-7 и Landsat-8 могут обеспечить связь между всеми остальными используемыми данными Д33, поскольку они включают видимые, NIR и SWIR каналы. На основе данных Landsat можно сопоставить данные Д33, которые не имели пересечения во времени. Допустимым периодом анализа на основе спутниковой информации для европейской части России был принят сезон вегетации с середины мая до середины сентября.

В работе использовалась классификация растительности, разработанная ранее на базе данных Landsat-5 и Landsat-7 (Медведева и др., 2011), признанная достаточной для решения рассматриваемых задач и апробированная как в НП (Медведева и др., 2011), так и в Московской области (О состоянии..., 2016). Она включала шесть классов растительного покрова:

- 1) участки открытого и горевшего торфа с разреженным растительным покровом («открытый торф»);
- 2) кипрейные, вейниковые и берёзово-вейниковые сообщества (с низкорослым подростом берёзы), формирующиеся при зарастании открытого торфа («трава»);
- 3) сообщества с преобладанием сосны различной степени угнетённости («хвойный лес»);
- 4) сообщества с преобладанием ивы и берёзы на зарастающих фрезерных полях («лиственный лес»);
- 5) гидрофильные сообщества с рогозом и камышом на обводнённых участках («гидрофильные сообщества»);
- 6) водоёмы, образовавшиеся в результате естественного или искусственного затопления или подтопления участков торфяников («водоёмы»).

Классы 1 и 2 характеризуются наиболее низкими уровнями болотных вод (УБВ), периодически сильно высыхающей поверхностью почвы и наиболее высокой пожарной опасностью. Классы 3 и 4 занимают промежуточное положение. Класс 5 характеризуется значениями УБВ, близкими к поверхности почвы. Относящиеся к классам 5 и 6 площади в дальнейшем будут развиваться как водно-болотные угодья.

На основе результатов предшествующих работ (Медведева и др., 2011) метод классификации с обучением минимального расстояния и данные Landsat-5, -7 были определены как базовые для рассматриваемой задачи. По наземным данным в качестве образцов классов растительного покрова было отобрано четыре объекта для класса «открытый торф» (площади 0,70; 1,08; 3,29 и 1,62 га), по одному объекту для классов «трава» (0,72 га) и «хвойный лес» (2,46 га), два объекта для класса «лиственный лес» (1,08 и 0,7 га), три объекта для класса «гидрофильные сообщества» (0,82; 0,90 и 0,54 га) и один — для класса «водоёмы» (0,68 га). Основными критериями выбора объектов были их достижимость на местности и достаточная однородность. С целью повышения точности классификации при работе со Spot-6 в набор, включающий по одному участку для каждого класса, были добавлены дополнительные образцы из наиболее затруднительных для разделения классов, таких как «открытый торф», «лиственный лес» и «гидрофильные сообщества». Площади образцов наземных данных были относительно однородными. Это позволило сформировать набор из обучающих данных для проведения контролируемой классификации.

Работа включала три этапа. На первом использовался ранее проверенный метод минимального расстояния контролируемой классификации (Медведева и др., 2011) применительно к набору данных Spot-5, Spot-6 и Landsat-7 за 2013 г. Дополнительно был выполнен анализ с использованием неконтролируемой классификации ISODATA с 30 классами для набора данных Spot-6. При анализе каждому из 30 классов с использованием обучающих участков был присвоен один из шести установленных классов земного покрова. На втором этапе, после ранее определённой пригодности данных Landsat-7 (Медведева и др., 2011), проводилась классификация этих данных за 2013 г. различными методами: объектно-ориентированным, на основе деревьев и на основе нейронных сетей. Для покрытия области исследования данными Landsat-7 использовались две сцены за 01.07.2013 и 11.08.2013. Инструмент ETM+ с 2003 г. имеет полосы с отсутствующими данными. Для таких данных проводилась классификация исходных изображений и далее, при их объединении, синтезировалось итоговое общее классифицированное покрытие. На третьем этапе был проведён анализ методов объектно-ориентированного и минимального расстояния для наборов данных Landsat-8 и Sentinel-2 за 2016 г.

Для проверки результатов классификации были использованы данные ежегодной характеристики растительного покрова, проводимой в НП. Степень детализации описаний для разных объектов может различаться, но её пространственная точность достаточна для проверки достоверности выделенных шести классов. Для оценки результатов классификации с помощью систематического метода отбора с шагом 100 м в рамках указанных объектов был сформирован набор проверочных участков (20×20 м): 480 — для 2013 г. и 419 — для 2016 г., которые равномерно охватывали все рассматриваемые классы растительного покрова. Результаты классификации оценивались с использованием полных матриц ошибок (Лабутина, 2004; Olofsson et al., 2014).

Результаты

Были исследованы средние значения спектральной яркости распознаваемых классов земной поверхности, полученные на основе многоспектральных спутниковых изображений и данных обучающих участков, а также возможности разделения классов с использованием разных спектральных каналов на примере данных Landsat-7 (*puc. 1*, см. с. 154). На *puc. 1а* видно слишком близкое расположение пикселей областей классов данных обучения в спектральных диапазонах «красный» – БИК. На *puc. 16* и *в* эти пиксели расположены более свободно, что определяет более точное разделение классов.

Из отмеченного выше вытекает, что наилучшим образом позволяют разделить исследуемые шесть классов каналы БИК 1, БИК 2 и БИК 3, которыми обладают спутниковые данные



Рис. 1. Области разных классов в двумерном пространстве значений спектральной яркости для различных сочетаний каналов Landsat-7

Landsat-7 (Медведева и др., 2011, 2017). Данные Spot-5, имеющие каналы БИК 1 и БИК 2, также приемлемы для разделения классов (Медведева и др., 2017).

В *табл. 1* представлены характеристики используемых спутниковых данных. Как Landsat-7 (Landsat-8), так и Spot-5 имеют канал БИК 2. В наборе данных Spot-6 этот канал отсутствует.

Классификация с обучением данных Spot-6 показала неудовлетворительную точность — 73 % (*табл. 2*), для возможного улучшения которой была выполнена классификация без обучения ISODATA, повысившая качество идентификации для следующих классов: «открытый торф» (на 36 %), «трава» (на 13 %), «хвойный лес» (на 8 %) и «лиственный лес» (на 1 %). В то же время качество идентификации класса «гидрофильные сообщества» уменьшилось на 20 %, а класса «водоёмы» — на 2 %.

Классы земного покрова									
Расчётные	Реальные								
Spot-5									
	1	2	3	4	5	6	Всего	Точность поль- зователя, %	
1	108	1	0	0	0	0	109	99,1	
2	2	70	1	4	1	0	78	89,7	
3	0	0	33	0	1	0	34	97,1	
4	2	4	0	76	1	0	83	91,6	
5	2	0	1	0	87	3	93	93,5	
6	0	0	0	0	1	82	83	98,8	
Всего	114	75	35	80	91	85	480		
Точность про- изводителя, %	94,7	93,3	94,3	95,0	95,6	96,5		95,00*	
Landsat-7									
1	110	2	0	0	0	0	112	98,2	
2	3	72	0	4	1	0	80	90,0	

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

Окончание табл. 2

Классы земного покрова									
Расчётные	Реальные								
3	0	0	32	1	1	0	34	94,1	
4	1	1	2	75	0	0	79	94,9	
5	0	0	1	0	87	5	93	93,5	
6	0	0	0	0	2	80	82	97,6	
Всего	114	75	35	80	91	85	480		
Точность про- изводителя, %	96,5	96,0	91,4	93,8	95,6	94,1		95,00*	
Spot-6 (классификация с обучением)									
1	53	0	0	0	15	0	68	77,9	
2	0	51	5	2	1	0	59	86,4	
3	0	1	24	2	1	0	28	85,7	
4	10	21	6	74	6	0	117	63,2	
5	51	2	0	2	67	4	126	53,2	
6	0	0	0	0	1	81	82	98,8	
Всего	114	75	35	80	91	85	480		
Точность про- изводителя, %	46,5	68,0	68,6	92,5	73,6	95,3		72,92*	
Spot-6 (классификация без обучения)									
1	94	2	0	0	38	0	134	70,1	
2	1	61	3	2	2	0	69	88,4	
3	0	0	27	2	0	0	29	93,1	
4	2	9	5	75	1	0	92	81,5	
5	17	3	0	1	49	6	76	64,5	
6	0	0	0	0	1	79	80	98,8	
Всего	114	75	35	80	91	85	480		
Точность про- изводителя, %	82,5	81,3	77,1	93,8	53,8	92,9		80,21*	

* — Общая точность классификации.

Сравнение результатов классификации для различных спутниковых изображений на примере конкретного участка (*puc. 2*, см. с. 156) показывает близкие результаты для данных Landsat-7 (см. *puc. 2a*) и Spot-5 (см. *puc. 2b*) даже с учётом более высокого пространственного разрешения Spot-5 и различного времени съёмки. Изображение Spot-5 (13.09.2013) было сделано в дождливый период в отличие от снимка Landsat-7, снятого месяцем ранее в более сухой период.

Распределение классов на *рис. 2в* (Spot-6, классификация с обучением) значительно отличается от предыдущих двух изображений. Следует отметить классы 1 («открытый торф») и 5 («гидрофильные сообщества»), которые вряд ли могут быть точно идентифицированы из-за характеристик исходных спутниковых данных. Разделение этих двух классов было улучшено с использованием классификации без обучения (*рис. 2г*). Однако полученная точность классификации без обучения подтвердила, что данные Spot-6 (с учётом отсутствия канала БИК 2) неприемлемы для идентификации изучаемых классов земного покрова (80 %).

Для оценки осуществимости перевода работ на другое ПО — ScanEx Image Processor (СканЭкс..., 2017) — были рассмотрены возможности классификаторов с обучением с использованием деревьев и нейронных сетей, а также объектно-ориентированного подхода на базе данных 2013 Landsat-7.



Рис. 2. Примеры классификации разных спутниковых изображений Островского болотного массива: *a* — Landsat-7; *б* — Spot-5; *в* — Spot-6 (классификация с обучением); *г* — Spot-6 (классификация без обучения)

Был получен близкий и хороший результат общей точности классификаций у методов минимального расстояния (95%) и объектно-ориентированного (95%). Результаты анализа методов классификации при использовании нейронов и деревьев с соответствующими точностями классификаций 89 и 81% показали их недостаточный потенциал для решения задач мониторинга состояния заброшенных торфоразработок. Объектно-ориентированный метод с интерактивной классификацией пакета ScanEx Image Processor (SIP) представляет хорошую альтернативу методу минимального расстояния пакета Erdas Imagine для анализа данных в рамках поставленной задачи.

Точность выделения рассматриваемых классов земного покрова анализировалась за 2016 г. для наборов данных Landsat-8 и Sentinel-2 с использованием двух методов классификации: объектно-ориентированного SIP и минимального расстояния Erdas. Была получена достаточно высокая и близкая общая точность всех четырёх результатов классификации. Наиболее высокая точность — у данных Sentinel-2 с методом минимального расстояния (97%), на втором месте по общей точности — Sentinel-2 с объектно-ориентированным методом (95,5%), на третьем месте — Landsat-8 с методом минимального расстояния (95,2%), и завершает группу результат данных Landsat-8 с объектно-ориентированным методом (94%). Результаты подтверждают более высокую точность классификации данных Sentinel-2 с более высоким пространственным разрешением (10–20 м) по сравнению с Landsat-7 (30 м). Подтверждается возможность перехода с метода минимального расстояния пакета SIP.

Было определено, что данные Spot-6 не имеют достаточного потенциала для мониторинга состояния заброшенных участков торфоразработок с требуемой точностью из-за отсутствия канала SWIR (Медведева и др., 2017). Они склонны смешивать участки открытого торфа и гидрофильной растительности, которые имеют диаметрально противоположное содержание в контексте целей мониторинга (Медведева и др., 2017).

Результаты использования снимков Spot-5, Landsat-7, Landsat-8 и Sentinel-2 показывают высокий уровень точности, и данные этих приборов могут быть объединены для анализа больших территорий.

Необходимо учитывать ширину полосы покрытия, которая является наибольшей у Sentinel-2 (290 км), ощутимо меньше у Landsat-5, -7, -8 (185 км) и значительно меньше у Spot-4, -5, -6, -7 (60 км).

Немаловажное значение имеет пространственное разрешение спутниковых данных. Заброшенные площади фрезерной добычи торфа сохранили сеть картовых (осушительных) каналов с характерной частотой 40 м, дополняемых также магистральными и нагорными каналами. Такую дренажную сеть наследуют и частично выработанные торфяники, рекультивированные для сельского хозяйства. Элементы дренажной сети могут находиться в разном состоянии: имеются участки, заросшие гидрофильной растительностью, пятна открытой водной поверхности. Вдоль многих каналов сформировались полосы древесной растительности. Поэтому необходимо иметь спутниковые данные с разрешением лучше 30 м (Медведева и др., 2017). Используемые в работе изображения имеют разрешение: 6 м (Spot-6), 10 м (Spot-5), 10–20 м (Sentinel-2) и 30 м (Landsat-7 и Landsat-8). Данные Landsat-7 — слишком грубые, и их использование снижает точность распознавания. Однако результаты проверки качества классификаций по наземной информации свидетельствуют о приоритете спектрального разрешения над пространственным для решения поставленной задачи (Медведева и др., 2017).

Выводы

Сопоставление результатов классификаций данных Spot-5, Spot-6, Landsat-7, Landsat-8 и Sentinel-2 показало неприменимость снимков Spot-6 из-за отсутствия коротковолнового инфракрасного (SWIR) диапазона, несмотря на лучшее пространственное разрешение. Высокая точность классификации по другим данным показывает возможность их совместного использования с обеспечением общей высокой точности конечного результата. Сравнение методов классификации минимального расстояния Erdas Imagine и объектно-ориентированного ScanEx Image Processor дало близкие результаты, что делает возможным переход от одной программы к другой без потери качества. Сравнимость данных разных приборов позволяет комбинировать классифицированные изображения и создаёт дополнительные возможности для анализа временных рядов.

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), а также при поддержке проекта РНФ 19-74-20185.

Литература

 Антипин В. К., Бойчук М.А., Грабовик С. И., Стойкина Н. В., Возбранная А. Е. Растительный покров естественных и освоенных болот национального парка «Мещера», Владимирская область // Антропогенная трансформация таёжных экосистем Европы: экологические, ресурсные и хозяйственные аспекты: материалы международной научно-практической конф. Петрозаводск, 23–25 ноября 2004 г. Петрозаводск: Ин-т леса КарНЦ РАН, 2004. С. 166–169.

- 2. Возбранная А. Е., Антипин В. К., Сирин А.А. Мониторинг растительного покрова и экологических условий нарушенных торфяников ГНП «Мещера» Владимирской области // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: материалы международной конф. Минск Нарач, Беларусь, 22–26 сентября 2008 г. Минск, 2008. Т. 26. С. 244–246.
- 3. *Лабутина И.А.* Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. пособие для студентов вузов. Аспект Пресс, 2004. 184 с.
- 4. *Медведева М.А., Возбранная А.Е., Барталев С.А., Сирин А.А.* Оценка состояния заброшенных торфоразработок по многоспектральным спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2011. № 5. С. 80–88.
- 5. *Медведева М.А., Возбранная А.Е., Сирин А.А., Маслов А.А.* Возможности различных многоспектральных спутниковых данных для оценки состояния неиспользуемых пожароопасных и обводняемых торфоразработок // Исследование Земли из космоса. 2017. № 3. С. 76–84.
- 6. О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2015 году: Информационный выпуск / ред. Коган А. Б. М.: ИП Алексашин А. А., 2016. 206 с.
- 7. *Сирин А.А., Минаева Т.Ю., Возбранная А.Е., Барталев С.А.* Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. 2011. № 2. С. 13–21.
- 8. *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. 2014. № 5. С 65–71.
- СканЭкс. Программа обработки данных дистанционного зондирования Земли ScanEx Image Processor v.5.0: Руководство пользователя. М., 2017. 375 с. URL: http://new.scanex.ru/upload/iblock/7b7 /7b760146c691873ff8580321cc1c5420.pdf.
- 10. *Яновский А.А.* Дистанционная оценка спектрального коэффициента отражения поверхности осушенных торфяных почв полесья по спутниковым снимкам среднего пространственного разрешения // Исследование Земли из космоса. 2017. № 5. С. 35–48.
- 11. Olofsson P., Foody G. M., Herold M., Stehman S. V., Woodcock C. E., Wulder M.A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change // Remote Sensing of Environment. 2014. V. 148. pp. 42–57.
- Sirin A., Medvedeva M., Maslov A., Vozbrannaya A. Assessing the Land and Vegetation Cover of Abandoned Fire Hazardous and Rewetted Peatlands: Comparing Different Multispectral Satellite Data // Land. 2018. V. 7. No. 71. 22 p. DOI: 10.3390/land7020071.

Potential of different multispectral satellite data for monitoring abandoned fire hazardous peatlands and rewetting effectiveness

M.A. Medvedeva¹, A.E. Vozbrannaya², A.A. Sirin¹, A.A. Maslov¹

¹ Institute of Forest Science RAS, Uspenskoye, Moscow Region 143030, Russia ² Meschera National Park, Gus-Khrustalny 601500, Russia E-mail: sirin@ilan.ras.ru

Use of multispectral satellite data is instrumental for monitoring abandoned fire hazardous man-disturbed peatlands that are hardly accessible, difficult for ground survey, or have a rapid plant succession, as well as for assessment of rewetting effectiveness on such peatlands. To solve the problem, we developed and tested a technique that used Landsat data to identify six land cover classes. However, data from one scanner are often insufficient to successfully implement this technique in large areas and for long periods of time. In this study, we used the Meschera National Park (Vladimir Region) as test area to compare land cover classifications based on data from Spot-5, -6, Landsat-7, -8, and Sentinel-2 satellites. The Spot-6 data were insufficient, despite higher spatial resolution, due to the lack of shortwave infrared (SWIR) band. A high classification accuracy attained using data from other sensors enabled their combined use to provide an acceptable accuracy of the final product. The classification accuracy was similar between satellite images when using minimum distance Erdas Imagine and the object-oriented ScanEx Image Processor, which facilitates transitions from one method to the other without quality loss. The proposed and tested approach can be used to analyze the status of abandoned peatlands in other locations for inventory purposes and prioritization of sites for rewetting and restoration, as well as for monitoring status changes. The comparability of data from different sensors allows for combinations of classified images and creates new possibilities for time series analysis.

Keywords: remote sensing; multispectral images; peat extraction lands; vegetation cover; peat fires; rewetting, Spot-5, Spot-6, Landsat-7, Landsat-8, Sentine-2

Accepted: 10.04.2019 DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-150-159

References

- Antipin V.K., Boichuk M.A., Grabovik S.I., Stoikina N.V., Vozbrannaya A.E., Rastitel'nyi pokrov yestestvennykh i osvoyennykh bolot natsional'nogo parka "Meshchera", Vladimirskaya obl. (Vegetation cover of natural and managed peatlands of the National Park "Meschera", Vladimir Oblast), *Antropogennaya transformatsiya taezhnykh ekosistem Evropy: ekologicheskie, resursnye i khozyaistvennye aspekty* (Anthropogenic Transformation of Boreal Ecosystems of Europe: Ecological, Resource and Economic Aspects), Proc. Intern. Scientific-Practical Conf., Petrozavodsk, 23–25 November 2004, Petrozavodsk: Institut lesa KarNTs RAN, 2004, pp. 166–169.
- Vozbrannaya A. E., Antipin V. K., Sirin A.A., Monitoring rastitel'nogo pokrova i ekologicheskikh uslovii narushennykh torfyanikov GNP "Meshchera" Vladimirskoi oblasti (Monitoring of vegetation cover and ecological conditions of disturbed peatlands in State National Park "Meschera" in Vladimir Oblast), *Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira* (Monitoring and assessment of vegetation), Proc. Intern. Scientific Conf., Minsk Narach, Belarus', 22–26 September 2008, Minsk, 2008, Vol. 26, pp. 244–246.
- 3. Labutina I.A., *Deshifrirovanie aerokosmicheskikh snimkov* (Interpretation of Satellite Images), Moscow: Aspekt Press, 2004, 184 p.
- 4. Medvedeva M.A., Vozbrannaya A.E., Bartalev S.A., Sirin A.A., Otsenka sostoyaniya zabroshennykh torforazrabotok po mnogospektral'nym sputnikovym dannym (Multispectral remote sensing for assessing changes on abandoned peat extraction lands), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2011, No. 5, pp. 80–88.
- Medvedeva M.A., Vozbrannaya A.E., Sirin A.A., Maslov A.A., Vozmozhnosti razlichnykh mnogospektral'nykh sputnikovykh dannykh dlya otsenki sostoyaniya neispol'zuemykh pozharoopasnykh i obvodnyaemykh torforazrabotok (Multispectral Remote-Sensing Data in Status Assessment of Abandoned Fire Hazardous and Rewetted Peat Extraction Lands), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2017, No. 3, pp. 76–84.
- 6. *O sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Moskovskoi oblasti v 2015 godu* (On the status of natural resources and environment of Moscow Oblast in 2015), Kogan A. B. (ed.), Moscow: IP Aleksashin A. A., 2016, 206 p.
- 7. Sirin A.A., Minaeva T.Yu., Vozbrannaya A.E., Bartalev S.A., Kak izbezhat' torfyanykh pozharov? (How to avoid peat fires?), *Nauka v Rossii*, 2011, No. 2, pp. 13–21.
- Sirin A.A., Maslov A.A., Valyaeva N.A., Tsyganova O.P., Glukhova T.V., Kartografirovanie torfyanykh bolot Moskovskoi oblasti po dannym kosmicheskoi s"emki vysokogo razresheniya (Mapping of peatlands in Moscow Oblast using high-resolution remote sensing data), *Lesovedenie*, 2014, No. 5, pp. 65–71.
- 9. http://new.scanex.ru/upload/iblock/7b7/7b760146c691873ff8580321cc1c5420.pdf.
- Yanovskii A.A., Distantsionnaya otsenka spektral'nogo koeffitsienta otrazheniya poverkhnosti osushennykh torfyanykh pochv polesya po sputnikovym snimkam srednego prostranstvennogo razresheniya (A Remote Assessment of Spectral Reflectance of a Drained Peat Soil Surface in Polesye using Medium Spatial Resolution Satellite Images), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2017, No. 5, pp. 35–48.
- 11. Olofsson P., Foody G. M., Herold M., Stehman S. V., Woodcock C. E., Wulder M. A., Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change, *Remote Sensing of Environment*, 2014, Vol. 148, pp. 42–57.
- 12. Sirin A., Medvedeva M., Maslov A., Vozbrannaya A., Assessing the Land and Vegetation Cover of Abandoned Fire Hazardous and Rewetted Peatlands: Comparing Different Multispectral Satellite Data, *Land*, 2018, Vol. 7, No. 71, 22 p., DOI: 10.3390/land7020071.