

О. Н. Воробьев (Поволжский государственный технологический университет)

В 1989 г. окончил Марийский политехнический институт. В настоящее время — доцент кафедры лесоводства Поволжского государственного технологического университета (ПГТУ), специалист Международного центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов.

Э. А. Курбанов (Поволжский государственный технологический университет)

В 1989 г. окончил Марийский политехнический институт. В настоящее время — профессор кафедры лесоводства ПГТУ, руководитель Международного центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов.

Опыт применения снимков RapidEye для оценки недропользования в Республике Марий Эл

Работа выполнена в рамках государственного контракта «Ведение мониторинга участков недр с использованием данных дистанционного зондирования» с Департаментом экологической безопасности, природопользования и защиты населения Республики Марий Эл в 2013 г.

В работе рассмотрена методика и результаты классификации мультиспектральных спутниковых снимков при проведении мониторинга и оценки недропользования на территории Республики Марий Эл. Для исследований использованы архивные снимки высокого разрешения RapidEye, данные полевых исследований и материалы официальных источников. Точность полученных данных подтверждается современными критериями геоинформационной статистики и результатами полевых исследований.

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг состояния и оценка масштаба работ по добыче полезных ископаемых могут быть эффективно выполнены с помощью современных технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных

систем. Критериями использования той или иной методики мониторинга недропользования является постановка целей и задач, запланированный уровень точности классификации спутниковых данных и качество используемого картографического материала. Обычно для мониторинга карьеров используются разновременные спутниковые снимки Landsat [1, 2, 3]. Улучшение детальности дешифрирования карьерноотвальных комплексов возможно с применением изображений более высокого разрешения на основе радарной съемки. Использование стереопар и цифровых моделей рельефа (ЦМР) также повышает уровень оценки геоморфологической и пространственной структуры карьеров [4]. Важными данными при проведении работ по оценке и мониторингу недропользования являются спутниковые снимками высокого разрешения RapidEye (поставщик — компания «Совзонд»).

По заказу департамента экологической безопасности, природопользования и защиты населения Республики Марий Эл были выполнены следующие виды работ:

1. Разработана и апробирована методика идентификации объектов недропользования (в первую очередь открытых разработок полез-

- ных ископаемых) на территории Республики Марий Эл по мультиспектральным снимкам высокого разрешения RapidEye 2011 г.
2. Проведены полевые исследования по созданию тестовых участков для контроля объектов недропользования на спутниковых снимках.
 3. Создана первичная база ГИС выявленных объектов нерудных полезных ископаемых для территории Республики Марий Эл.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ РАБОТ

Республика Марий Эл — субъект Российской Федерации в составе Приволжского федерального округа, расположена на востоке Восточно-Европейской (Русской) равнины, преимущественно на левобережье Волги.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Алгоритм работ состоял из следующих базовых шагов:

1. предварительная подготовка изображений на территорию республики;

2. выбор оптимального метода трансформации изображений;
3. классификация трансформированных изображений;
4. оценка точности полученных тематических изображений;
5. выделение классов наземного покрова категории «объект недропользования» для последующего анализа;
6. полевая проверка полученных данных;
7. вторичная оценка точности полученного тематического класса с учетом данных полевых исследований и других методов контроля;
8. подготовка итогового отчета в виде ГИС-проекта.

Техника эксперимента и методика исследований. Работа со снимками велась в программных комплексах (ПК) ENVI 5.0, ENVI 5.0 Classic и ArcGis 10 (рис. 1).

Характеристика экспериментальных данных. Для работы использовались мультиспектральные спутниковые снимки высокого

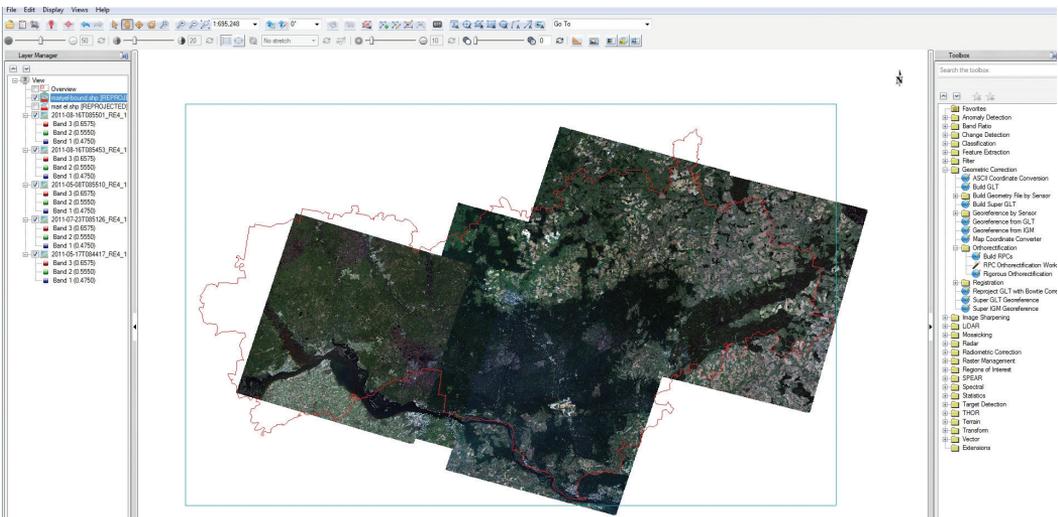


Рис. 1. Покрытие снимками RapidEye территории исследования в ПК ENVI 5.0

пространственного разрешения RapidEye 2011 г. (табл. 1).

Предварительная подготовка изображений. Все снимки прошли процедуру ортотрансформирования с использованием RPC-коэффициентов и опорных точек. В ПК ENVI 5.0 была проведена геометрическая и атмосферная коррекция снимков. Полученные изображения были приведены к единой системе координат.

Выбор оптимального метода трансформации изображений. При анализе спутниковых данных RapidEye было установлено, что объекты исследуемого тематического класса «объекты недропользования» (в первую очередь песчаные карьеры) имеют схожие спектральные характеристики с другими объектами наземного покрова (рис. 2). Особенно это касалось выходов песчаного грунта, дорог и отдельных участков ЛЭП.

Обработка изображений с использованием алгоритма спектральной трансформации (минимизации) шумовых помех MNF. Применение стандартных методов управляемой и неуправляемой классификации для выделения тематического класса «объекты недропользования» на основе мультиспектрального (четырёхканального) изображения RapidEye не позволили выполнить эту задачу на качественном уровне. После классификации наблю-

далось значительное перемешивание близких по своим спектральным характеристикам классов. В связи с этим в работе был использован дополнительный модуль ПК ENVI 5.0 «MNF rotation» (MNF — Minimum noise fraction), представляющий собой алгоритм спектральной трансформации (минимизации) шумовых помех [5]. Процедура MNF трансформации предшествует классификации изображений и представляет собой линейное регрессионное выравнивание (нормализацию) спектральных каналов спутникового снимка. На основании MNF трансформированного изображения были проведены два вида классификации: неуправляемая классификация методом «Isodata» и использован метод попиксельной классификации изображений «объектно-ориентированная классификация» с извлечением тематических параметров объектов исследования при помощи специализированного модуля ENVI EX (Extract features), который позволяет получать не только спектральные характеристики разных типов наземного покрова, но и их текстурные параметры — форму, размер и местоположение.

Сравнительный анализ фрагментов сцены RapidEye. В работе проведено выборочное сравнение нескольких фрагментов тематических карт с объектами недропользования, полученных методом «Isodata» и «объектно-ориентированной классификации». Анализ

Территория покрытия	Номер снимка	Время съемки
Rus	2011-05-08T085510_RE4_1B-NAC_8203307_127405	08.05.2011
Rus	2011-05-17T084417_RE4_1B-NAC_8203312_127407	17.05.2011
Rus	2011-07-23T085126_RE4_1B-NAC_8203308_127406	23.07.2011
Rus	2011-08-16T085453_RE4_1B-NAC_8203313_127407	16.08.2011
Rus	2011-08-16T085501_RE4_1B-NAC_8203317_127406	16.08.2011

Табл. 1. Характеристика используемых снимков RapidEye

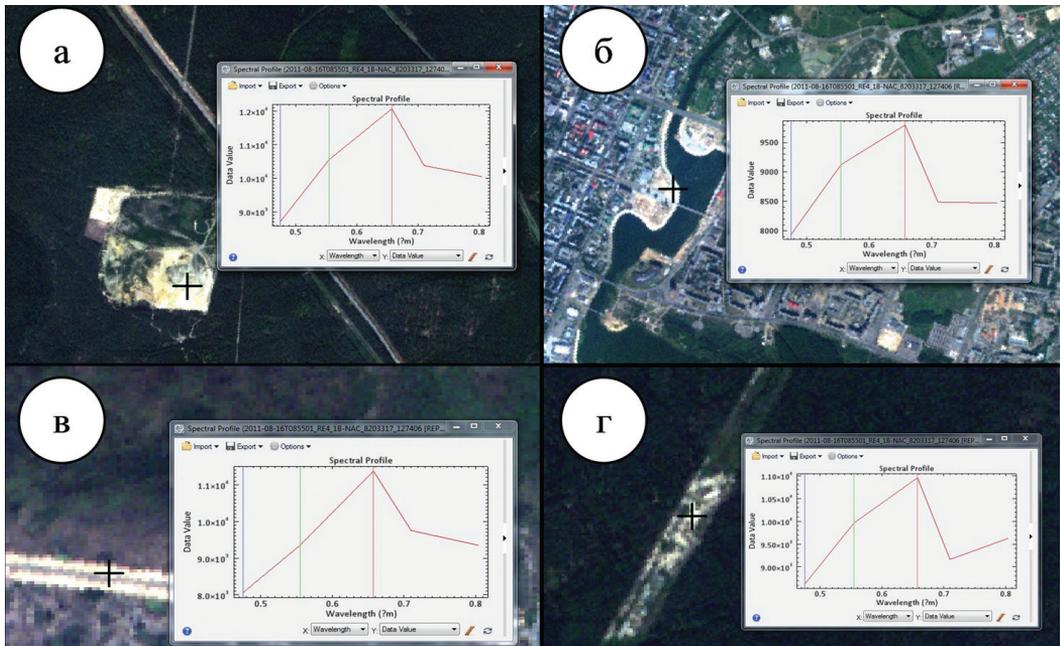


Рис. 2. Сравнительный анализ сходных по спектральным характеристикам объектов наземного покрова по снимкам RapidEye в ПК ENVI 5.0: а) песчаный карьер, б) выход песчаного грунта в пределах населенного пункта, в) дорожное покрытие, г) выход песчаного грунта вдоль ЛЭП

проводился на основе статистической оценки разделимости классов наземного покрова изучаемой территории и в n-D визуализаторе (n-D Visualization) ПК ENVI 5.0 (рис. 3).

По результатам полевой проверки и экспертного анализа было установлено, что наиболее точной является тематическая карта, полученная методом Isodata.

Оценка точности полученных тематических изображений. Классическая оценка точности была проведена для тематической карты, полученной методом Isodata, на основе матрицы различий (Confusion Matrix) и коэффициента Каппа (Карра Index). На основании оценки спектральной разделимости классов и проведенных ранее полевых исследований, а так же использования методов экспертного дешифрирования были выделены шесть основных доми-

нирующих классов наземного покрова, в которые вошли все 20 исходных тематических классов полученных методом Isodata:

1. лесные земли,
2. кустарниковая растительность,
3. травяной покров,
4. не лесные и не покрытые растительностью земли,
5. водные объекты,
6. населенные пункты.

Объединение исходных тематических классов было проведено в ПК ENVI 5.0 алгоритмом «Merge class».

Выделение тематических слоев для последующей векторизации. Для дальнейшего анализа, после экспертной оценки были выбраны два класса наземного покрова: «Не лесные и не

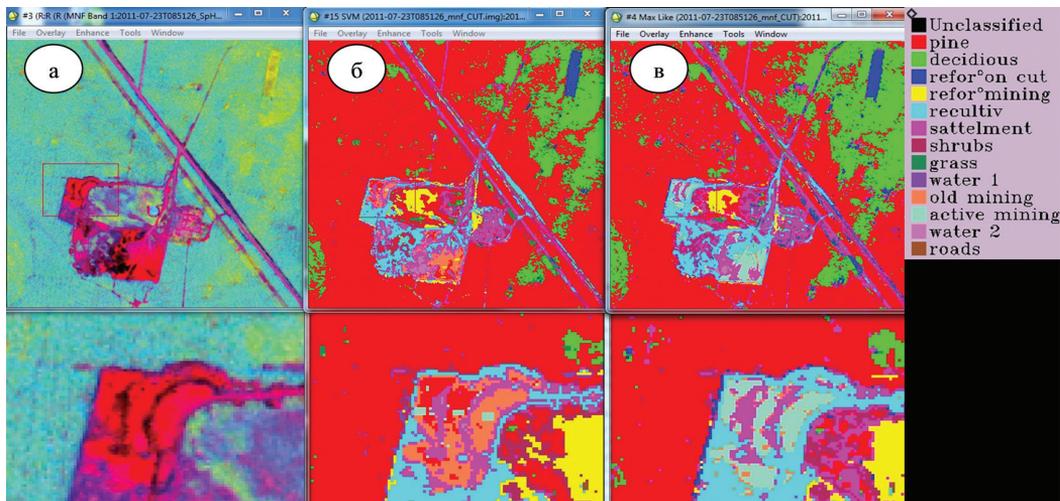


Рис. 3. Сравнение результатов классификации участка разработки песчаного карьера: а) фрагмент MNF трансформированного изображения RapidEye; б) тематическая карта, полученная методом ISODATA; в) тематическая карта, полученная методом «объектно-ориентированной классификации»

покрытые растительностью земли» и класс «Населенные пункты». В ПК ENVI 5.0. была проведена векторизация полученных тематических слоев. Этот алгоритм был использован для классификации всех пяти снимков RapidEye на территорию РМЭ. В результате был получен предварительный бесшовный тематический слой «объекты недропользования» на всю территорию исследования, который впоследствии уточнялся при проведении полевых исследований.

Полевая оценка данных. Полевые исследования были направлены на верификацию данных тематического слоя «объекты недропользования» — уточнение местоположения основных объектов (лицензионное недропользование) на местности, привязка их при помощи GPS координат, оценка основных геоморфологических и биотических параметров, а также анализ формы и текстуры объектов исследования. Эти исследования позволили выделить в тематическом слое только те объекты, которые с высокой степенью достоверности можно отнести к классу «объекты недропользования»

(песчаным или глиняным карьерам) (рис. 4).

В точках наблюдения и непосредственной близости от карьеров проводились: осмотр, замеры, запись данных в полевой журнал, фотосъемка, нанесение результатов обследования на карту (полевой абрис местности), плановая привязка GPS-приемником. Особое внимание уделялось участкам незаконного недропользования на территории исследований (рис. 5).

Вторичная оценка точности полученного тематического класса с учетом данных полевых исследований и других методов контроля. По результатам полевых исследований за летне-осенний период 2013 г. были подобраны и уточнены характеристики класса «объекты недропользования». Из созданного тематического слоя была удалена часть объектов, характеристики которых не подтвердились в процессе полевых работ. В результате были выделены ключевые дешифровочные показатели карьеров, позволяющие в дальнейшем избежать возможных ошибок при их идентификации и классификации.

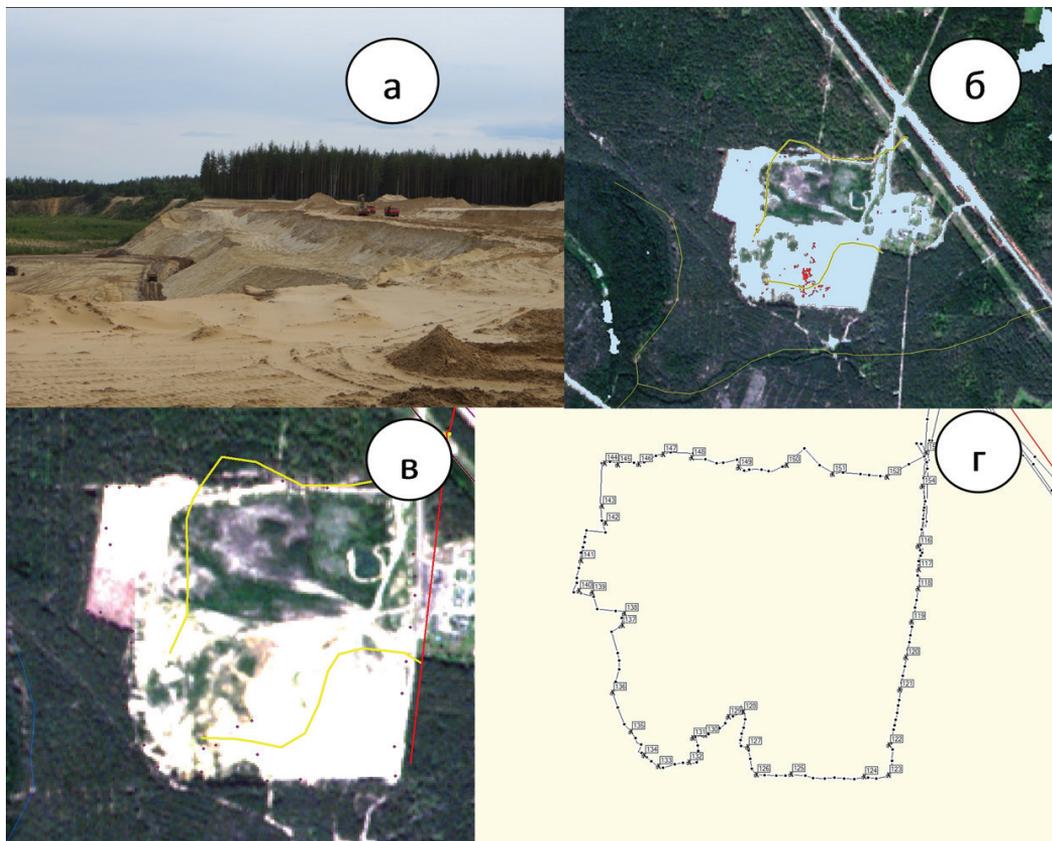


Рис. 4. Изображения песчаного карьера: а) фото на местности, б) векторный полигон на снимке RapidEye; в) контуры на снимке RapidEye; г) GPS трек контура



Рис. 5. Участок незаконного землепользования в Волжском районе РМЭ: а) RGB снимок RapidEye в виде полигона и GPS трека, б) Натурное обследование объекта

Подготовка итогового отчета в виде ГИС-проекта. Разработанный бесшовный векторный слой с объектами недропользования использовался для получения итогового картографического материала в среде ArcGis 10. Все полученные полигоны векторного слоя «объекты недропользования» на Республику Марий Эл представлены в виде базы данных и обладают атрибутивной информацией, имеющей различную степень достоверности:

- ✦ 100% — выезд на место (фотоматериал и данные GPS привязки),
- ✦ 70% — без полевых выездов (высокая вероятность, определенная по снимкам высокого разрешения),
- ✦ 50% — определена по снимкам высокого разрешения;
- ✦ 10% — определена по снимкам среднего разрешения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе выполнения работ по мониторингу объектов недропользования на территории Республики Марий Эл по спутниковым данным были систематизированы существующие данные недропользования. Разработана методика по выявлению и оценке объектов недропользования с использованием снимков RapidEye в пакете ENVI 5.0 Classic. На основе обработки полевых и камеральных данных, а также спутниковых снимков высокого разрешения был составлен ГИС-проект с выделением на нем полигонального слоя карьеров на всю территорию РМЭ и максимальным наполнением атрибутивной информацией.

ВЫВОДЫ

1. Использование MNF трансформированных изображений для последующей автоматической классификации позволяет значительно улучшить степень разделимости полученных тематических классов, что в

свою очередь повышает уровень точности тематических карт.

2. Комплексное использование снимков разного пространственного разрешения, а также прямых и косвенных (вспомогательных) признаков дешифрирования позволяет повысить точность дешифрирования объектов недропользования.
3. Дальнейшая работа по оценке динамики структурных и морфологических изменений сети объектов недропользования будет проводиться с использованием спутниковых снимков разного пространственного разрешения (Landsat, RapidEye и Canopus).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schmidt, H. *Multitemporal analysis of satellite data and their use in the monitoring of the environmental impacts of open cast lignite mining areas in Eastern Germany*/ H. Schmidt, C. Glaesser // *International Journal of Remote Sensing*. – 1998. – № 12 (9). – P. 2245-2260.
2. Matejček, L. *Changes in Croplands as a Result of Large Scale Mining and the Associated Impact on Food Security Studied Using Time-Series Landsat Images* / L. Matejček, V. Kopačková // *Remote Sensing*. – 2010. – № 2. – P. 1463-1480
3. Petropoulos, G.P. *Change detection of surface mining activity and reclamation based on a machine learning approach of multi-temporal Landsat TM imagery*/ G.P.Petropoulos, P. Partinevelos, Z. Mitraka // *Geocarto International*. – 2012. – P. 1-20.
4. Pandey, A.C. *Analysing topographical changes in open cast coal-mining region of Patratu Jharkhand using CARTOSAT-1 Stereopair satellite images*/ A.C. Pandey, A. Kumar// *Geocarto International*. – 2013. – P. 1-14.
5. Курбанов, Э.А. *Сравнительный анализ спутниковых снимков высокого разрешения при дешифрировании древостоев, загрязненных отходами силикатного производства*/ Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, Ю.А. Полевщикова, С.А. Незамаев, Е.Н. Демешева // *Вестник ПГТУ. — Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет*. – № 2. – 2013. – С. 74-90.