

### О. Н. Воробьев

(Поволжский государственный технологический университет)

В 1990 г. окончил Марийский политехнический институт. В настоящее время – доцент кафедры лесоводства и лесоустройства ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», специалист 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 и лесоустройства ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», руководитель Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов.

# Спутниковый мониторинг 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 2014 г.*

В работе рассмотрена методика мониторинга недропользования на территории Республики Марий Эл на основе результатов классификации разновременных спутниковых снимков в программных пакетах ENVI 5.2 и ArcGIS10.3. Для исследований использованы снимки высокого пространственного разрешения «Канопус-В», «Ресурс-П» и RapidEye, данные полевых исследований и материалы официальных источников. Использование отечественных снимков позволяет значительно повысить качество тематической классификации и степень детализации оцениваемых объектов местности, что является особенно важным в современных условиях импортозамещения и разработки отечественных технологий по обработке данных ДЗЗ.

## ВВЕДЕНИЕ

Приоритетными направлениями концепции государственного мониторинга состояния недр или геологической среды Министерства природных ресурсов Российской

Федерации являются задачи по мониторингу и оценке состояния различных объектов недропользования [1]. Этому процессу способствует комплексное использование современных технологий ГИС и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Данный вид мониторинга недропользования позволяет оперативно интегрировать в исследование большие объемы разнообразной атрибутивно-пространственной информации об изучаемой местности [2, 3]. Актуальность проведения исследований в этой области подтверждается работами отечественных и зарубежных специалистов, позволяющими оптимизировать методы оценки состояния и изменения пространственной структуры объектов недропользования по данным ДЗЗ [4, 5, 6]. В последние годы наряду с традиционными методами оценки изменений объектов недропользования по разновременным мультиспектральным и панхроматическим снимкам [7, 8] также находит широкое применение радиолокационная и лазерная съемка. Ключевыми факторами точности мониторинга по спутниковым данным

являются: запланированный уровень детализации (степень сегментации объектов с возможностью мультиспектрального и текстурного анализа), площадь покрытия территории исследования, заданная точность при тематическом картировании, возможность получения разновременных изображений и стоимость данных ДЗЗ. В связи с этим использование разновременных снимков высокого и сверхвысокого разрешения позволяет повысить детальность при классификации и дешифрировании карьероотвальных комплексов на больших территориях [9, 10]. В условиях импортозамещения особый интерес в подобных исследованиях представляют изображения с отечественных спутников «Ресурс-П» и «Канопус-В».

В рамках второго года заказа Департамента экологической безопасности, природопользования и защиты населения Республики Марий Эл (РМЭ) центром устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов (ЦУДМЛ) ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет» в 2014 г. были выполнены следующие виды работ:

1. Усовершенствована методика идентификации и оценки изменений объектов недропользования (открытые разработки полезных ископаемых) на территории Республики Марий Эл по панхроматическим снимкам высокого разрешения «Ресурс-П» и «Канопус-В» 2013–2014 гг. на основе опыта ранее использованных мультиспектральных снимков RapidEye 2011 г.

2. Проведены полевые исследования по валидации и верификации объектов недропользования РМЭ на спутниковых снимках.

3. Актуализирована ранее полученная база данных ГИС объектов нерудных полезных ископаемых для территории РМЭ.

#### **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.

### **ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

В основу работ по оценке недропользования был положен следующий алгоритм действий:

1. Подготовка изображений «Ресурс-П» и «Канопус-В» на территорию РМЭ.
2. Пошаговая классификация изображений.
3. Полевые выезды для проверки результатов тематического картирования.
4. Оценка точности тематического класса по данным полевых исследований.
5. Сравнительный анализ динамики изменений площадей недропользования по снимкам 2011–2014 гг.
6. Актуализация ГИС-проекта по спутниковым данным 2014 г.

Работа со снимками велась в программных пакетах ENVI 5.2 и ArcGis 10.3 (рис. 1).

#### **Характеристика экспериментальных данных**

Для работы использовались панхроматические изображения высокого пространственного разрешения: «Канопус-В» (2013–2014) и «Ресурс-П» (2014), а также мультиспектральные спутниковые снимки RapidEye (2011 г.) (табл. 1). Снимки были сделаны в один, близкий по времени период вегетации растительного покрова.

#### **Предварительная подготовка изображений**

В программном пакете ENVI 5.2 для спутниковых снимков были проведены процедуры ортотрансформирования, геометрической и атмосферной коррекции. Все изображения были приведены к единой системе координат (проекция карты Пулково-42, зона 9, метры).

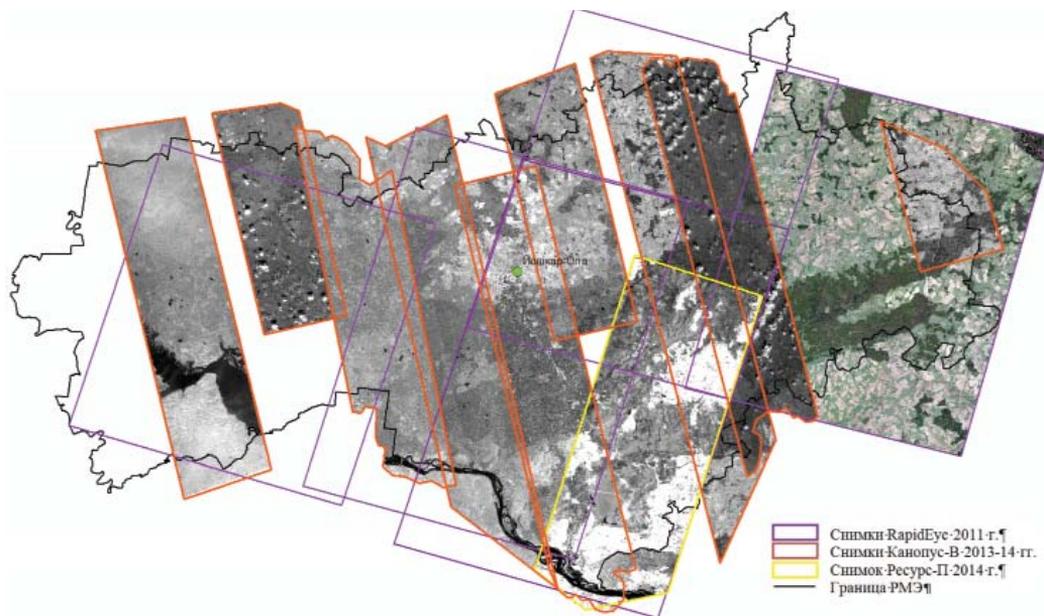


Рис. 1. Покрытие снимками «Нанопус-В» (2013-2014), «Ресурс-П» (2014) и RapidEye (2011) территории исследования

Спутник	Пространственное разрешение, м	Спектральный диапазон, мкм	Режим съемки	Количество снимков	Время съемки (весенне-летний период)
Канопус-Б	2,1	0,54–0,86	Панхроматический	9	2013–2014 гг.
Ресурс-П	1	0,58–0,80	Панхроматический	1	2014 г.
RapidEye	6,5	0,44–0,51 (синий) 0,52–0,59 (зеленый) 0,63–0,685 (красный) 0,76–0,88 (ближний ИК)	Мультиспектральный	5	2011 г.

Табл. 1. Характеристика спутниковых данных

### Использование алгоритма пошаговой классификации изображений

Для выделения тематического класса «объекты недропользования» на основе панхроматических изображений на первом этапе была использована неуправляемая классификация Isodata (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). Как и в случае с классификацией мультиспектраль-

ных снимков RapidEye, после большого количества итераций наблюдалось значительное перемешивание близких по своим спектральным характеристикам классов [6]. Тем не менее использование снимков более высокого разрешения позволило выделить при классификации отдельный тематический класс «объекты недропользования» (базовый). На втором этапе была проведена

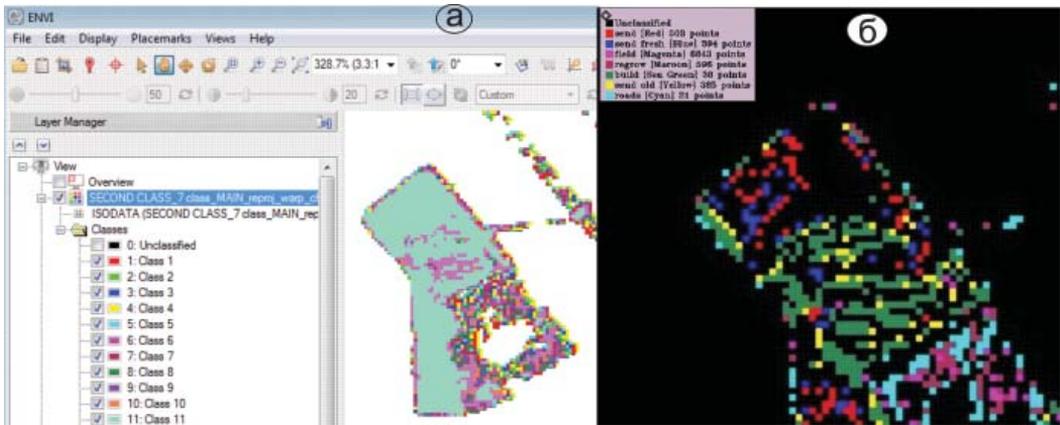


Рис. 2. Фрагменты карт после пошаговой классификации изображения «Канопус-В» 2013 г. на примере участка разработки песчаного карьера Хундышского месторождения РМЗ: а) первичная классификация изображения; б) контур карьера, полученный методом SVM классификации

классификация по маске выделенного тематического класса, использованием метода классификации SVM (support vector machine) в программе ENVI 5.2 (рис. 2).

Для анализа были отобраны два тематических класса наземного покрова «Не лесные и не покрытые растительностью земли» и класс «Населенные пункты», на которых расположены интересные нас объекты недропользования. На последнем этапе был проведен окончательный отбор растровых полигональных объектов, сгруппированных в класс «объекты недропользования» методом экспертного анализа и объектно-ориентированного дешифрирования. На этом же этапе детальная классификация по снимкам высокого разрешения позволила дополнительно получить тематическую карту состояния объектов недропользования с выделением площадей фактической разработки объектов недропользования (рис. 3.). Данная методика была использована в дальнейшем для классификации всех изображений российских спутников «Канопус-В» и «Ресурс-П».

**Оценка точности полученных тематических изображений**

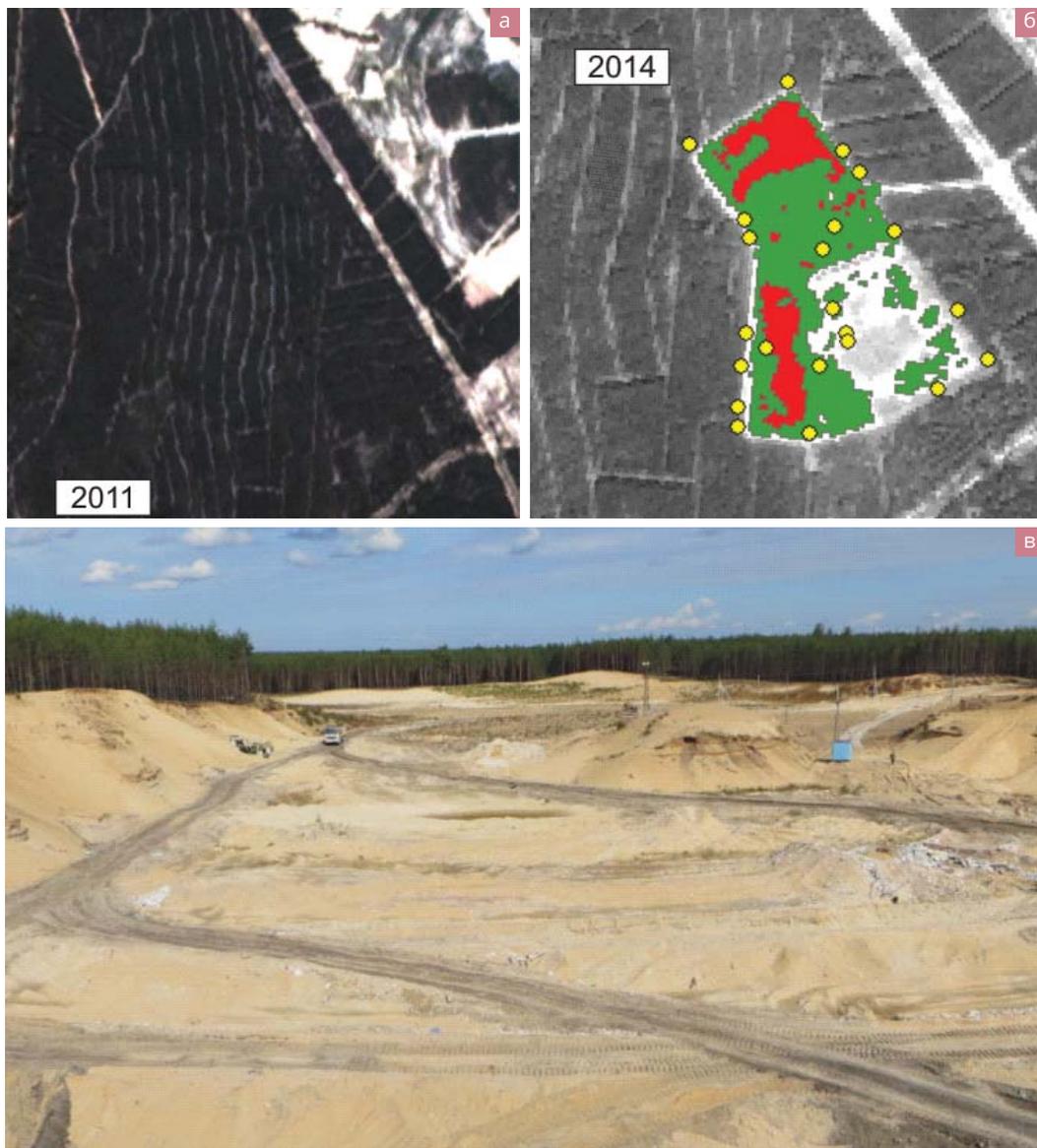
Проверка точности тематического картирования проводилась стандартными методами с использованием матрицы различий (Confusion Matrix) на основе значений коэффициентов Каппа (Kappa Index) и общей точности классификации.

#### **Векторизация тематических слоев**

В пакете ENVI-5.2. была проведена векторизация выделенных тематических слоев всех оцениваемых изображений 2013–2014 гг. Интеграция этих полигональных слоев в один целый проведен в среде ArcGis 10.3. В результате получен предварительный тематический слой «объекты недропользования» на всю территорию исследования, который прошел актуализацию во время проведения полевых исследований в летне-осенний полевой сезон 2014 г. и использования дополнительных источников информации об объекте недропользования.

#### **Полевые исследования**

Верификация данных полученного тематического слоя «объекты недропользования» проводилась по стандартной схеме полевой проверки результатов классификации в летне-осенний период 2014 г. по всей территории республики. В эти работы входили



- Участки карьера в разработке, 2014 г.
- Общий контур карьера
- GPS-трек (полевые данные)

Рис. 3. Мониторинг динамики площади Кундышского месторождения РМЭ по спутниковым данным: а) отсутствие разработки на оцениваемом участке, снимок RapidEye 2011 г.; б) полевые исследования 2014 г. на местности (активная разработка карьера); в) векторный слой «песчаный карьер» 2014 г. на снимке «Наноус-В»

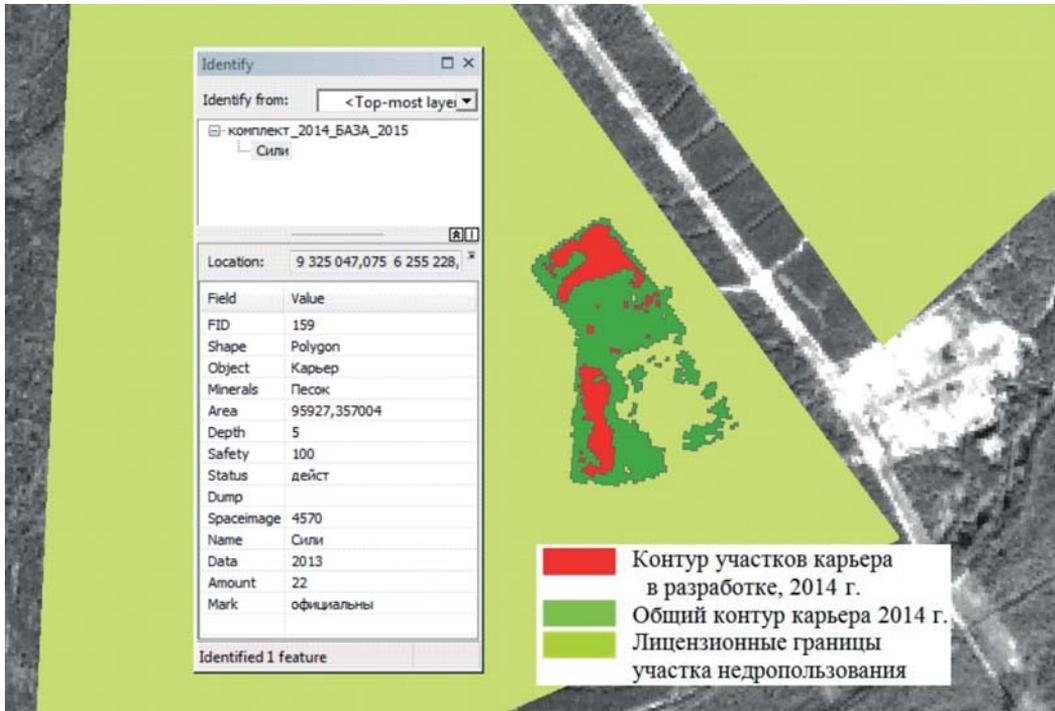


Рис. 4. Участок Кундышского месторождения РМЭ в пределах официальных границ месторождения нерудных ископаемых и с выводом атрибутивной информации об объекте недропользования в среде ArcGis 10.3

следующие мероприятия: определение местоположения основных объектов (лицензионное недропользование) на местности, их привязка и оконтуривание с использованием GPS навигатора, оценка основных геоморфологических и биотических параметров, анализ формы и текстуры объектов исследования (рис. 3).

Вторичная оценка точности полученного тематического класса проводилась с учетом данных полевых исследований. Результаты полевых данных за летне-осенний период 2014 г. и экспертно-аналитические методы оценки спутниковых снимков высокого разрешения позволили уточнить дешифровочные характеристики класса «объекты недропользования». В результате отбраковки из базы

данных были удалены некоторые объекты (например, свалки твердых бытовых отходов), ранее классифицированные как карьеры.

#### Актуализация ГИС-проекта

Вновь полученный бесшовный векторный слой «объекты недропользования в РМЭ» 2014 г. был интегрирован в ранее созданный проект в геоинформационной среде ArcGis 10.3. Вновь идентифицированным и прошедшим верификацию ранее полученным (2013 г.) полигонам векторного слоя «объекты недропользования» РМЭ была дана оценка по степени достоверности:

- 100% — выезд на место (фотоматериал и данные GPS-привязки);
- 70% — без полевых выездов (по снимкам высокого разрешения);

- 50% — по снимкам высокого разрешения;
- 10% — по снимкам среднего разрешения (в случае отсутствия покрытия территории снимками высокого разрешения).

### Результаты

Мониторинг объектов недропользования на территории РМЭ по спутниковым данным высокого пространственного разрешения позволил провести актуализацию и сравнение ранее полученных данных на основе спутниковых снимков 2013 г., а также выявить новые площади объектов недропользования нелегального происхождения. Полученные сведения представляют собой надежную базу данных для контроля границ легальных разработок объектов недропользования в РМЭ (рис. 4).

Большая часть полигонов проекта, проведенного ЦУДМЛ в 2013 г. по заказу Департамента экологической безопасности, природопользования и защиты населения Республики Марий Эл, была вторично идентифицирована

(70,4%) как объекты недропользования. В целом по результатам классификации процент несовпадений прежней геоинформационной базы данных с вновь полученными сведениями составил 20,3, почти на 10% выросло количество вновь выявленных объектов недропользования на территории РМЭ.

В работе усовершенствована методика по выявлению и оценке объектов недропользования с использованием снимков российских спутников «Канопус-В» и «Ресурс-П» в пакете ENVI 5.2. На основе обработки полевых и камеральных данных была проведена актуализация геоинформационной базы данных (ГИС-проекта) со сквозной оценкой процесса недропользования за период с 2011 по 2014 гг. В результате проведения проектных и полевых работ в 2014 г. также получен новый полигональный слой исследуемых объектов недропользования на всю территорию РМЭ и сформирована база данных атрибутивной информации по всем интересующим специалистов площадям (рис. 5)

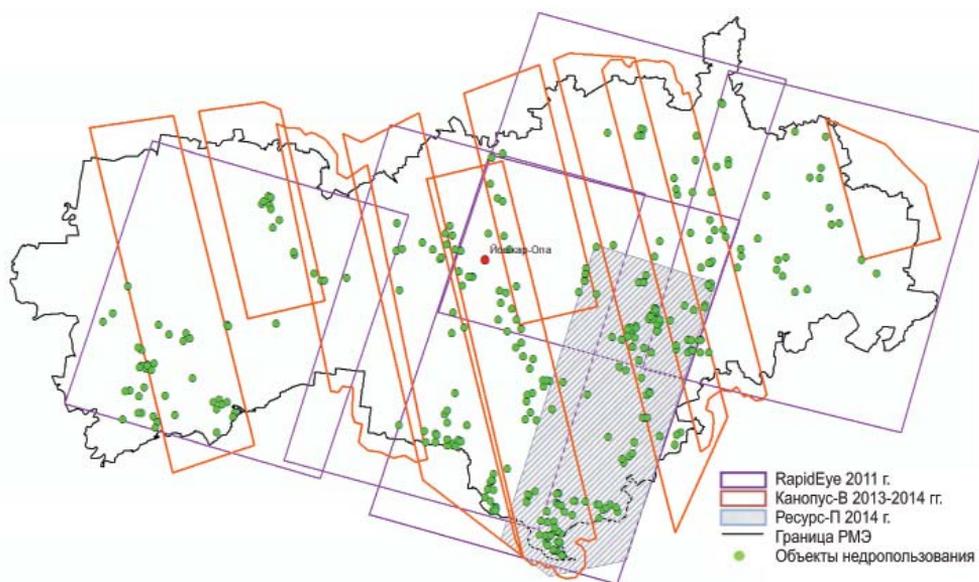


Рис. 5. Полигональный слой «Объекты недропользования» в ГИС-проекте «Мониторинг недропользования в РМЭ 2014 г.»

## ВЫВОДЫ

1. Использование снимков высокого разрешения российских спутников «Ресурс-П» и «Канопус-В» позволяет значительно повысить качество тематической классификации и степень детализации оцениваемых объектов местности. Это обстоятельство является особенно значимым в современных условиях импортозамещения и разработки отечественных технологий по обработке данных ДЗЗ.

2. Предложенная методика по оценке и мониторингу за недропользованием может быть усовершенствована по мере поступления новых спутниковых данных разного пространственного разрешения и формата.

3. Ключевым требованием использования созданного ГИС проекта является необходимость непрерывности и последовательности проведения мониторинга с течением времени, что значительно увеличит степень его точности при оценке состояния недропользования субъекта РФ и принятии решений по развитию системы его контроля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 21 мая 2001 г. № 433 [Электронный ресурс] «Об утверждении Положения о порядке осуществления государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации» // Федеральное агентство по недропользованию, РОСНЕДРА URL: <http://www.rosnedra.gov.ru/article/7765.html> (дата обращения: 14.02.2015).

2. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А., Полевщикова Ю.А., Демишева Е.Н. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat // Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова,

Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1(21). С. 18-32.

3. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Незамаев С.А., Губаев А.В., Лежнин С.А., Полевщикова Ю.А. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 3. С. 72-82.

4. Bishop, C. Hyperspectral remote sensing for mineral exploration in Pulang, Yunnan Province, China/ et al. // International Journal of Remote Sensing. – №32:9. – P. 2409-2426

5. Demirel, N. Land use change detection in a surface coal mine area using multi-temporal high-resolution satellite images/ N. Demirel, et al. // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. – 2011. – №25:4. – P. 342-349.

6. Воробьев, О.Н. Опыт применения снимков RapidEye для оценки недропользования в Республике Марий Эл/ Воробьев, О. Н., Э. А. Курбанов// Журнал «Геоматика». – 2014. – №1(22). – С. 80-86.

7. Kalabin, G. Satellite monitoring of natural environment at Olimpiada gold open-cut mine / Kalabin G. V., et al. // Journal of Mining Science. – 2013, – №49, – P.160-166.

8. Richter, N. Spectral unmixing of airborne hyperspectral data for baseline mapping of mine tailings areas/ Richter N. et al.// International Journal of Remote Sensing. – 2008. - №29:13, – P. 3937-3956.

9. Stein, A. Handling uncertainties in image mining for remote sensing studies/ Stein, A. et al. // International Journal of Remote Sensing. . – 2009. – №30:20. – P. 5365-5382.

10. Полякова, Е.В. Космический мониторинг ландшафтов на территории разработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова в Архангельской области/ Полякова Е.В., Гофаров М.Ю. //Журнал «Земля из космоса» – 2013. – №16. – С.27-32.