

УДК 528.88

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА
В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА
СТАРООСКОЛЬСКО-ГУБКИНСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОМПЛЕКСА**

Э. А. Терехин, О. М. Самофалова

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Федерально-региональный центр аэрокосмического
и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов,
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru
ул. Победы, 85, 308015, г. Белгород, Россия*

Изложены результаты исследования современного состояния лесных массивов на территориях, прилегающих к предприятиям Старооскольско-Губкинского железорудного комплекса. Исследованы масштабы изменений в площади и состоянии сосновых лесов с 1986 по 2012 г. Выявлены типы и ареалы изменений в лесах. На основе спутниковых снимков и полевых данных изучена интенсивность самозарастания карьерно-отвальных комплексов за период с 1988 по 2012 г.

Карьерно-отвальные комплексы, растительный покров, сосновые леса, самозарастание, Landsat, NDVI, Белгородская область, КМА

ВВЕДЕНИЕ

Изменения природной среды, связанные с открытыми горнорудными разработками, касаются всех ее компонентов и в значительной степени растительного покрова, мониторингу которого на таких территориях следует уделять особое внимание. Старооскольско-Губкинский горнопромышленный комплекс, расположенный на территории Белгородской области, занимает значительные, постоянно расширяющиеся территории, что привело к существенным преобразованиям растительного покрова за последние десятилетия.

Среди изменений, наиболее масштабно проявляющихся в растительном покрове Старооскольско-Губкинского промышленного района, можно выделить два процесса, имеющих как негативные, так и позитивные тенденции. Негативные процессы связаны с существенным ухудшением состояния и исчезновением хвойных лесов, позитивные — с самозарастанием карьерно-отвальных комплексов, являющихся источниками пыли и других вредных веществ [1].

Поскольку хвоя в отличие от листьев опадает один раз в несколько лет, сосновые насаждения подвержены накоплению загрязняющих веществ, а сосновые леса, находящиеся в зонах открытых горнорудных разработок, испытывают сильное негативное воздействие. В связи с этим анализу хвойных насаждений в районах добычи железных руд и рекультивации должно уделяться

особое внимание [2]. Кроме того, растительность в районе исследования подвержена негативно-му влиянию загрязняющих веществ, попадающих в снежный покров [3] и почву [4]. Так как зона влияния выбросов пыли от предприятий Курской магнитной аномалии (КМА) составляет более 15–20 км [5], то практически все леса северной части Белгородской области находятся в зоне воздействия предприятий железорудного комплекса, расположенных на ее территории.

Процесс самозарастания отвалов, образуемых при открытой добыче полезных ископаемых, имеет важное средостабилизирующее значение. Пыление отвалов и сухих пляжей хвостохранилищ является одним из наиболее серьезных видов воздействия этих объектов на окружающие ландшафты. По обобщенным данным, в сутки с одного гектара незакрепленной поверхности отвала в результате дефляции может быть снесено до 5 т пыли, вместе с которой в атмосферу поступает около 74 различных загрязнителей [6–8]. После рекультивации основных площадей гидроотвалов Лебединского ГОКа (ЛГОК), оконченной к 2000 г., произошло существенное (на 44 %) сокращение пылеуноса. В то же время действующее хвостовое хозяйство ЛГОКа имеет весьма обширные площади (около 15 км²), на 25 % представленные высохшими пылящими пляжами хвостохранилищ. Существующие методы закрепления пылящих поверхностей на этих площадях не дают значительного эффекта. Так, хвостохранилища ЛГОКа поставляют в атмосферу г. Губкина 68.9 % всей неорганической пыли. Процесс самозарастания отвалов идет по зональному сукцессионному ряду, что приводит в конечном счете к формированию устойчивых сообществ. Однако однозначно утверждать, что эти терминальные сообщества будут по видовому составу соответствовать фоновым, не приходится, так как они формируются в иных геоморфологических, субстратных и климатических условиях.

В настоящее время проблема мониторинга и анализа растительного покрова в зоне горных разработок изучается с активным внедрением технологий дистанционного зондирования Земли и геоинформационной обработки данных [9], которые являются важнейшим компонентом эффективности при анализе информации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения современного состояния лесов использованы данные спутниковой съемки на территории Старооскольского и Губкинского административных районов Белгородской области. Для оценки изменений в лесах применена электронная карта лесов региона [10] и использованы подходы по анализу зависимостей между динамикой спектральных характеристик и типами изменений, происходящих в лесах [11, 12].

Исследование лесов выполнено на основе снимков Landsat TM (1986, 2011 гг.) и снимков Landsat ETM+ (2002, 2011, 2012 гг.), позволяющих картографировать леса в масштабах до 1:50000. Подборка снимков включала спутниковые сцены разных лет, находящиеся в ячейках системы координат WRS-2 со следующими координатами: Path (Колонка) 174, Row (Ряд) 24. Обработка снимков проведена в программе ERDAS IMAGINE 2013. Геоинформационный анализ динамики лесов и их характеристик выполнен с применением пакета ArcGIS 9.3.1.

Оценка темпов самозарастания карьерно-отвальных комплексов осуществлена на основе анализа разновременной спутниковой информации. Объектами исследования выступали: карьеры по добыче железных руд Лебединского и Стойленского горно-обогатительных комбинатов, отвалы рыхлых вскрышных пород, большие площади которых расположены по периметру Стойленского карьера и к востоку от Лебединского карьера, а также отвал окисленных железистых кварцитов, формируемый в качестве техногенного месторождения к западу от действующего хвостохранилища. Специфика объектов исследования состоит в том, что отвалы периодически

подвергаются переэкскавации с целью подготовки площади для отсыпки и расширения отвалов, а также для обеспечения устойчивости откосов и нормального состояния подъездных путей. По этой причине время самозарастания поверхностей не соответствует общему возрасту отсыпанных отвалов, а из расчета постоянно приходится исключать часть площади отвалов, подвергшихся повторной отсыпке ко времени получения очередного космического снимка.

В качестве исходных данных для изучения самозарастания использованы сканерные космические снимки, полученные с сенсоров TM и ETM+ спутников серии Landsat. Снимки охватывали промежутки времени с 1988 по 2012 г. На основе спутниковых данных вычислены значения вегетационного индекса NDVI (Normalized Differences Vegetation Index), позволившие оценить активность развития растительности на карьерах и отвалах за разные годы. Индекс NDVI представляет показатель, отражающий активность вегетации растительности. По созданным векторным маскам для каждого объекта горнорудного производства отфильтрованы пороговые значения вегетационного индекса. Это преимущественно отрицательные значения, характерные для поверхностей с отсутствием вегетационной активности. Фильтрация значений индекса позволила выделить ареалы развития растительности на отвалах. После проведения ряда оверлейных процедур (отсевание, генерализация, сглаживающая фильтрация, экспорт растрового слоя в векторный) за каждый исследуемый год получены слои с контурами ареалов самозарастания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что наибольшим изменениям за последнюю четверть века подверглись леса Старооскольского района. Его современная лесистость (включая лиственные и сосновые леса) составляет 13.3 %, что выше средней лесистости по области (8.3 %). При этом лесистость Губкинского района значительно ниже и составляет 4 %. На территории Старооскольского района в настоящее время леса занимают площадь 21 424.5 га, Губкинского — 6 066 га.

Из 9 557 га сосновых лесов, произрастающих на территории Старооскольского и Губкинского районов, подавляющая часть сосредоточена в пределах Старооскольского района — 9 415 га. Этот район выделяется не только масштабными преобразованиями среды в результате добычи железных руд, но и общей площадью сосновых лесов, а также динамикой изменений, происходящих в них. На территории района сосредоточено около 40 % всех сосновых лесов области. Анализ изменений, произошедших в них, показал, что для Старооскольского и Губкинского районов характерны максимальные темпы сведения лесов во всей Белгородской области. В период с 1986 по 2012 г. сосновые леса на территории этих районов были полностью сведены на площади 2 130 га, что в несколько раз превысило площадь уничтоженных сосновых лесов во всех остальных районах области вместе взятых. Значительное уничтожение сосновых лесов отмечено на территориях, расположенных в районе Оскольского электрометаллургического комбината (рис. 1).

С другой стороны, за этот же период в Старооскольском и Губкинском районах новые сосновые леса в результате лесопосадок появились на площади 652 га, что показывает значительно различающиеся темпы сведения лесов и появления новых (рис. 2).

Исчезновение сосновых лесов произошло не только из-за выделения территорий под промышленное освоение, но и по естественным причинам. Сосновые леса Старооскольского района в наибольшей степени пострадали от пожаров 2010 г., вызванных длительной засухой, что было выявлено на основе анализа космических снимков. Установлено, что на ряде территорий, где леса не были полностью сведены, наблюдается снижение сомкнутости древостоя, появление небольших безлесных участков вследствие очаговой гибели сосновых деревьев.

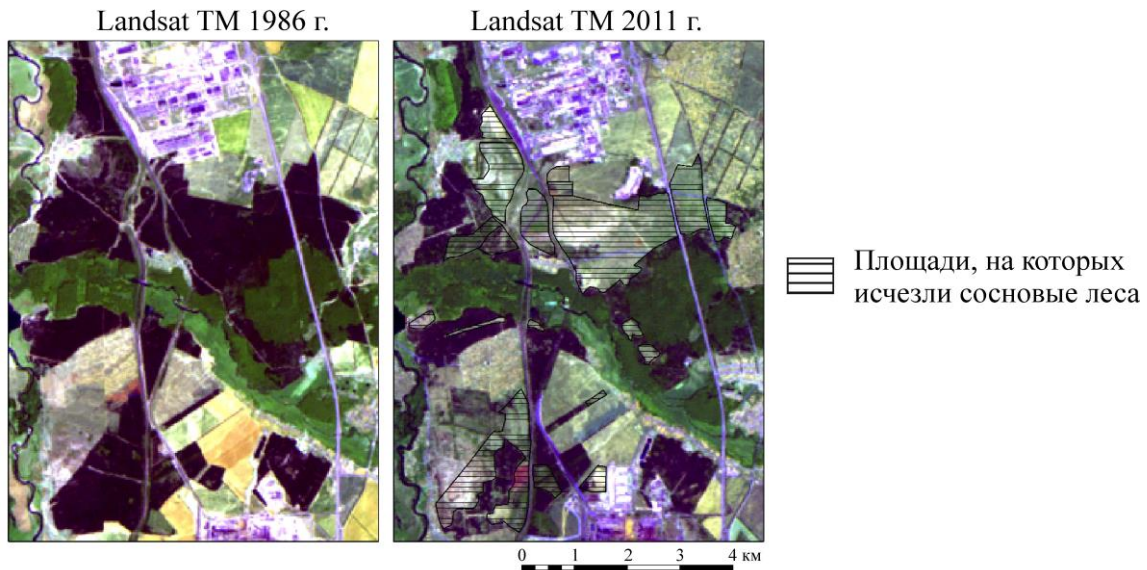


Рис. 1. Исчезновение хвойных лесов. Старооскольский район

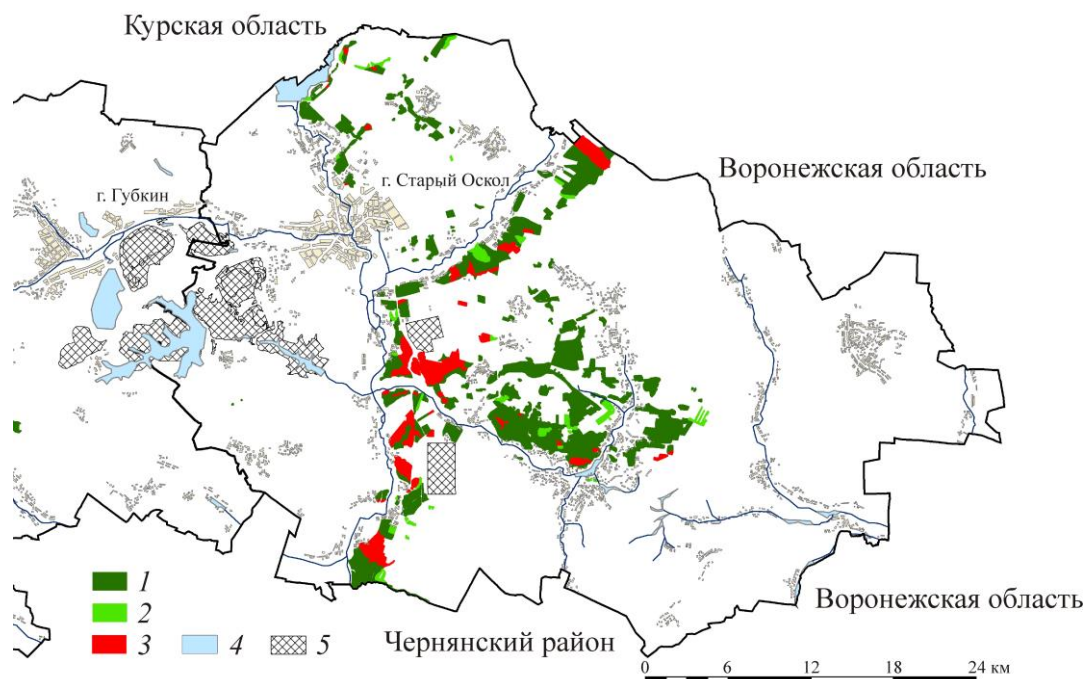


Рис. 2. Изменения площади хвойных лесов в Старооскольском районе с 1986 по 2012 г.: 1 — леса 1986–2012 г.; 2 — появившиеся хвойные леса с 1986 г.; 3 — полностью исчезнувшие леса с 1986 по 2012 г.; 4 — водные объекты; 5 — карьеры, отвалы, хвостохранилища, предприятия КМА

Анализ длительности зарастания карьерно-отвальных комплексов показал, что более чем на половине территории фитоценозы развиваются в течение 4 лет и менее. Наибольшие площади молодых растительных группировок расположены в окрестностях карьера Стойленского ГОКа, что связано с недавним окончанием работ по вскрытию основных запасов железных руд. Наименьшие площади самозарастания — на отвале окисленных железистых кварцитов. Эти скальные породы служат неблагоприятным субстратом для заселения растительностью, кроме того, отсыпка отвалов продолжается и в настоящее время. По состоянию на 2011–2012 г. отвал

окисленных железистых кварцитов покрыт растительностью только на 45 %, а в период с 2000 по 2007 г., когда происходило расширение площади отвала, растительность покрывала всего 4 % его территории в северо-восточной части.

На северо-восточном отвале рыхлых вскрышных пород карьера Стойленского ГОКа по результатам дешифрирования обнаружена выраженная растительность (таблица). Переэкскавация этого отвала проводилась в 2007 г. только на половине площади. Наличие источников заселения растительности и благоприятный литологический состав пород способствовали ускоренному зарастанию отвала, в результате чего за пять лет с 2007 по 2011 г. заросло 88 % площади. Для этого же участка характерны максимальные показатели NDVI из всех наблюдаемых на самозарастающих поверхностях. Данные полевых обследований подтверждают наличие древесной и кустарниковой растительности на отвале. Следует отметить, что откосы по периметру отвала рекультивированы, на них по всему периметру высажены деревья. Закрепление откосов привело к созданию благоприятных условий для развития растительности на всей поверхности отвала. К 2011 г. доля площади карьера с NDVI более 0.3 возросла до 39 %.

Площадь карьерно-отвальных комплексов, покрытая растительностью в результате самозарастания по годам, %

| Комплекс | 1988 | 1992 | 1995 | 2000 | 2002 | 2007 | 2011 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Отвал вскрышных пород Стойленского карьера: | | | | | | | |
| северо-восточный | 94 | 98 | 96 | 89 | 82 | 52 | 88 |
| северо-западный | 33 | 74 | 97 | 72 | 65 | 87 | 99 |
| юго-западный | 18 | 54 | 51 | 14 | 8 | 7 | 60 |
| Отвал вскрышных пород Лебединского карьера | 66 | 87 | 86 | 39 | 26 | 21 | 77 |
| Отвал скальных пород Лебединского карьера | 9 | 43 | 53 | 4 | 4 | 3 | 45 |
| Отвал скальных пород Стойленского карьера | 25 | 32 | 34 | 5 | 2 | 4 | 74 |
| Борт Лебединского карьера | 25 | 64 | 83 | 31 | 20 | 21 | 87 |
| Борт Стойленского карьера | 76 | 99 | 96 | 77 | 18 | 9 | 99 |

Для территорий с более длительным периодом зарастания (14–23 года) характерны высокие значения индекса NDVI (0.4–0.7). На территориях, где зарастание длится от 1 до 7 лет, индекс NDVI принимает минимальные значения (0.003–0.2). Исключение составляют отвалы скальной вскрыши, обладающие менее благоприятными субстратными условиями для заселения растительностью. Здесь значения вегетационного индекса практически не зависят от времени отсыпки отвала. Решающую роль играют уклон поверхности отвала, наличие мелкозема или нанесенного слоя суглинка на поверхности, фрагментарное проведение облесения. В наибольшей степени покрыта растительностью северо-восточная часть отвала окисленных железистых кварцитов Лебединского ГОКа.

Северо-западный отвал рыхлой вскрыши сформирован уже на дату первого снимка в изучаемой временной серии (1988 г.). В дальнейшем отсыпка и переэкскавация проводились не более чем на трети площади, в то время как остальные части были рекультивированы или находились под самозарастанием. Наличие в отвалах рыхлой вскрыши пород с первичным плодородием обусловило меньшую трудоемкость технического этапа рекультивации и позволило больше усилий направить на биологический этап. После 2002 г. отсыпка отвала прекратилась окончательно, в результате чего к 2011 г. на нем осталось менее 1 % территории, не покрытой растительностью. Наиболее выраженный растительный покров наблюдается на плоских плато отвалов. Здесь хорошо развиваются древесные насаждения, которые по состоянию на 2011 г. имели сомкнутость крон 70–80 %.

В местах, где на поверхность выходят мело-мергельные породы, проективное покрытие растительностью не достигает 40 %. Очевидно, что в процессе рекультивации не было уделено должного внимания обеспечению устойчивости откосов (как на северо-восточном отвале), в результате чего они практически не покрыты растительностью. На откосах хорошо развита ручейковая сеть, что говорит об интенсивном протекании водной эрозии. Местом сбора дренажных вод с отвалов являются прилегающие территории, на них произрастают леса со средней высотой деревьев 12–15 м. В контактной зоне отвалов и лесных массивов наблюдается угнетение древостоя: фототон растительности более бледный. Среди возможных механизмов такого воздействия следует указать насыщение грунтовых вод карбонатами, а также аэротехногенное воздействие.

Наличие естественной растительности в буферной зоне карьерно-отвальных комплексов приводит к ускорению процессов самозарастания. Среди одновозрастных поверхностей, находящихся под самозарастанием, более высокие значения NDVI имеют те, которые расположены в непосредственной близости от природных ландшафтов. В наибольшей мере ассимиляции посттехногенных бедлендов способствуют лесные сообщества, так как в них создаются благоприятные условия для сохранения влаги и защиты от аэротехногенного воздействия. Такая ситуация наблюдается на восточном отвале рыхлой вскрыши Лебединского карьера (северные откосы отвала), который находится рядом с геотопами поймы р. Осколец. Отчасти такая же ситуация характерна для отвала скальной вскрыши Стойленского карьера, который соседствует с лесным массивом. Даже, несмотря на неблагоприятные гранулометрические и водно-физические свойства субстрата и постоянное проведение новых циклов отсыпки, значения индекса NDVI являются довольно высокими для такого типа отвалов.

Отвалы скальной вскрыши подвержены самозарастанию в наименьшей степени (см. таблицу). С 1988 по 2007 г. включительно растительность покрывала не более 53 % площади таких отвалов. На отвалах скальной вскрыши доля территорий с NDVI более 0.4 не превышает 2 % по всем периодам наблюдения, за исключением 2011 г. После снятия толщ осадочных пород и вскрытия основных запасов железных руд темпы роста отвалов скальной вскрыши возросли. Отвалы рыхлой вскрыши были сформированы методом гидронамыва — на начальных этапах освоения месторождений и с применением автомобильного и частично железнодорожного транспорта — в настоящее время.

Борта карьеров характеризуются долей площади, покрытой растительностью, превышающей таковую для отвалов скальной вскрыши на 20–60 % (см. таблицу). Верхние уровни карьеров сложены суглинками, мело-мергельными и песчаными породами. Покровные суглинки, входящие в состав осадочных пород КМА, обладают первичным плодородием, поэтому на бортах происходит расселение растительности с участков, покрытых суглинками, на менее пригодные территории.

ВЫВОДЫ

Выявлены особенности динамики растительного покрова в районе Старооскольско-Губкинского железорудного комплекса с середины 1980-х гг. по настоящее время, связанные с изменениями в лесистости и самозарастанием карьерно-отвальных комплексов. Установлено, что наибольшие изменения претерпели сосновые леса, которые потеряли более 14 % площади. Основная причина сведения лесов — вырубki под промышленные объекты и площадки. Другая причина уменьшения площади лесов — лесные пожары 2010 г., от которых леса Старооскольского района пострадали больше всех в области. Появление новых сосновых лесов в результате лесопосадок и самосева сосны только на 25 % компенсировало полное сведение лесов на территории исследования. При этом на ряде территорий, где леса не были сведены, отмечается снижение сомкнутости и изреживание древостоя.

Определены общие тенденции изменения площади карьерно-отвальных комплексов Старооскольско-Губкинского промышленного района, покрытой растительностью. В период с 1992 по 1995 г. наблюдалась наибольшая площадь самозарастания карьерно-отвальных комплексов, что связано с падением объема производства железорудных концентратов в период экономического кризиса. К 2000 г. объемы производства стали нарастать, что привело к новой волне отсыпки отвалов и сокращению доли отвалов под самозарастанием. По состоянию на 2012 г. расширение отвалов продолжалось вплоть до границ земельного отвода. Наибольший рост площади характерен для склада окисленных железистых кварцитов. В ближайшее время ожидается приостановка роста площади этого сооружения и интенсификация темпов увеличения его высоты путем одновременной отсыпки шести уровней отвала. В целом для карьерно-отвальных комплексов КМА выявлена тенденция роста занимаемых ими площадей, что обусловлено не только вскрытием основных запасов руд, но и сложившейся благоприятной ситуацией на мировом рынке железорудного концентрата и продукции черной металлургии. Следует ожидать сохранения наметившейся в 2011 г. тенденции к увеличению площади отвалов, подвергающихся самозарастанию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чепелев О. А., Ломиворотова О. М.** Изучение пыления хвостохранилищ Лебединского горно-обогатительного комбината при помощи оптического анализатора аэрозолей // Проблемы региональной экологии. — 2011. — № 2.
2. **Ермак Н. Б., Русин Е. В.** Оценка жизненного состояния лесных насаждений рекультивированных участков отвалов предприятий угледобычи // Вестн. КемГУ. — 2010. — № 1.
3. **Чепелев О. А., Ломиворотова О. М., Украинский П. А., Терехин Э. А.** Изучение связи запыленности снега с его спектральной отражательной способностью // Изв. Самар. науч. центра РАН. — 2010. — Т. 12. — № 1–4.
4. **Лисецкий Ф. Н., Свиридова А. В., Кухарук Н. С., Голушов П. В., Чепелев О. А.** Аккумуляция тяжелых металлов в растениеводческой продукции зоны техногенеза // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. — 2008. — № 10(92).
5. **Лисецкий Ф. Н., Боровлев А. Э., Чепелев О. А., Терехин Э. А., Ломиворотова О. М.** Мониторинг техногенного воздействия в действующих и вновь создаваемых районах (на примере Белгородской области) // Экол. системы и приборы. — 2011. — № 7.
6. **Калашников А. Т.** Технология добычи и переработки железных руд на карьерах. — М.: Недра, 1993.
7. **Бабец А. М., Терентьев М. В., Черкащенко Н. А.** Горные работы и экологические проблемы в регионе КМА // ГИАБ. — 2000. — № 11.
8. **Лычагин Е. В., Сергеев С. В., Сеница И. В.** Исследование параметров пыления отходов обогащения железных руд и разработка метода их стабилизации // Вестн. Удмурт. ун-та. — 2009. — № 6–1.
9. **Калабин Г. В., Горный В. И., Крицук С. Г.** Спутниковый мониторинг реакции растительного покрова на воздействие предприятия по освоению Сорского медно-молибденового месторождения // ФТПРПИ. — 2014. — № 1.
10. **Терехин Э. А.** Применение данных спутниковой съемки для анализа многолетних изменений в лесах Белгородской области // Соврем. проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2013. — Т. 10. — № 2.
11. **Терехин Э. А.** Способ картографирования многолетних изменений в лесах на основе анализа их спектральных характеристик по рядам разновременных спутниковых данных // Исследование Земли из космоса. — 2013. — № 5.
12. **Virk R., King D.** Comparison of techniques for forest change mapping using Landsat data in Karnataka, India, Geocarto International, 2006, Vol. 21, No. 4.

Поступила в редакцию 14/VII 2014