

Оценка нарушенности лесных экосистем юго-запада Среднерусской возвышенности с применением материалов космических съемок

Э.А. Терехин

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

Оценка степени нарушенности лесных экосистем имеет существенное значение для устойчивого управления лесами и использования лесных ресурсов. В статье изложены результаты исследования нарушенности лесных экосистем юго-запада Среднерусской возвышенности с применением спутниковых данных. На основе полевой информации и разновременных космических снимков Landsat установлены основные факторы нарушенности древостоя лесных массивов. Подготовлена шкала, характеризующая лесные экосистемы по степени нарушенности верхних ярусов. Полевые исследования, проведенные в различных частях региона, показали, что в лесах наблюдается воздействие нарушающих факторов, не отражающееся в верхней части лесного полога. Их оценка на основе материалов космической съемки в оптическом диапазоне проблематична. Полностью ненарушенные лесные экосистемы в регионе практически отсутствуют. В то же время установлено, что более 75% лесов региона характеризуются невысокой степенью нарушенности древостоя, обусловленной влиянием сплошнолесосечных рубок, пожаров и других факторов, воздействующих за последние десятилетия. Около 5,3% лесопокрытых земель составляют сильнонарушенные лесные экосистемы. С использованием установленных категорий лесных сообществ и геоинформационных систем подготовлена картограмма нарушенности верхних ярусов лесных массивов юго-запада Среднерусской возвышенности.

Ключевые слова: лес, нарушенные экосистемы, спутниковые снимки, Landsat, юго-запад Среднерусской возвышенности, Белгородская область

*Одобрена к печати: 25.05.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-112-124*

Введение

Оценка степени нарушенности лесных экосистем является важной составляющей мониторинга окружающей среды, особенно в тех регионах, где леса играют важную роль для сохранения биоразнообразия, как например, на юго-западе Среднерусской возвышенности. Этот регион территориально охватывает Белгородскую область, располагающуюся основной частью в лесостепной зоне и характеризующуюся значительной степенью хозяйственного освоения. Основная часть ландшафтов претерпела существенные изменения в связи с антропогенным воздействием, которое отразилось и на лесных экосистемах. При этом леса региона играют важнейшее водоохранное и защитное значение. Анализ их современной степени нарушенности, таким образом, является актуальной задачей, решение которой необходимо для рационального использования лесных ресурсов и их сохранения. Основу лесов региона составляют лесные массивы лиственного породного состава (дуб, ясень). В значительно меньшей степени распространены сосновые насаждения.

Изучение нарушенности лесных экосистем требовало выработки перечня критериев, по которым она могла быть проанализирована, и в соответствии с которыми должны быть определены категории нарушенности лесов. В ряде работ (Абалаков, Малышев, Полюшкин, 1999; Бабинцева, Горбачев, Лебедева, 2008) нарушенность лесов оценивают по следующим категориям: ненарушенные, слабонарушенные, средненарушенные, сильнона-

рушенные, разрушенные. Также различают лесные экосистемы по уровню их трансформации (Яборов, 2011): слабая, интенсивная, труднообратимая. При этом разработаны шкалы, позволяющие относить участки лесных насаждений к тем или иным категориям. Среди критериев, по которым во многих случаях проводится оценка нарушенности лесных экосистем, можно выделить: время последней сплошной лесосечной рубки; время последней выборочной рубки; наличие следов лесных пожаров, наличие сухостоя; наличие следов иной хозяйственной или рекреационной деятельности.

При оценке нарушенности наибольшую сложность представляет формулировка критериев для выявления малонарушенных лесных территорий. По оценкам Гринпис в России к ненарушенным и малонарушенным лесным территориям относятся не более 25% всех лесов (Гринпис России..., 2014). При этом для лесов таежной зоны одним из критериев малонарушенных и ненарушенных лесов предложено использовать минимальную площадь сплошного лесного массива, составляющую 50 тыс. га. Однако такой критерий не может быть применен для лесов лесостепной зоны России, где леса в значительной степени изначально были представлены многочисленными, но относительно небольшими по площади лесными массивами.

В Белгородской области наиболее крупный сплошной лесной массив (расположенный в междуречье рек Корень и Короча) имеет площадь менее 16 тыс. га. При этом в регионе имеется лесной массив «Лес на Ворскле» (заповедник «Белогорье») площадью около 1000 га, в котором имеются 300-летние дубравы. Соответственно, в нем представлены участки практически ненарушенных лесных экосистем. В то же время необходимо отметить, что наибольшие по площади лесные массивы Белгородской области длительное время были объектами интенсивных лесозаготовок и в настоящее время их значительные участки составляют вырубki различных лет. Однако с начала 1990-х гг. промышленных лесозаготовок в лесах не ведется.

Современный этап развития спутниковых технологий обусловил их все большее внедрение в исследование растительных сообществ, в том числе лесных экосистем и степени их нарушенности. Показано, что спутниковые данные могут быть использованы для оценки нарушенности лесных экосистем в масштабах как отдельных субъектов Российской Федерации (Воробьев и др., 2012; Гусев, Соколов, 2008; Рожков, Кондакова, 2014), так и целых регионов (Исаев, Коровин, 2003; Калашников, 1998; Ярошенко, Потапов, Турбанова, 2001). К настоящему времени в рамках специализированного проекта на основе спутниковых данных создана карта, характеризующая нарушенность лесов мира (Hansen et al., 2013). С другой стороны, региональные особенности лесов тех или иных территорий обуславливают необходимость изучения причин их нарушений, связанных с влиянием природных или антропогенных факторов.

Наиболее сильными факторами, оказывающими на леса негативное воздействие, выступают, как правило, сплошнолесосечные рубки, лесные пожары, по исследованию дистанционными способами которых достигнуты значительные успехи (Барталев и др., 2015; Егоров и др., 2008; Boyd, Danson, 2005; Leon, van Leeuwen, Casady, 2012). Для достоверного

анализа сплошнолесосечных рубок, проводившихся десятилетия назад, ветровалов и иных нарушений лесного покрова архивные спутниковые данные выступают практически единственным достоверным источником информации (Петухов, Немчинова, 2014). Эффективность использования снимков доказана для анализа крупных нарушений древостоя (Брейдо, Шаталов, 1991), динамики зарастания гарей (Жири́н и др., 2004) и оценки лесообразовательного процесса (Жири́н, Князева, Эйдлина, 2013).

Цель настоящего исследования заключалась в изучении факторов нарушенности лесных экосистем юго-запада Среднерусской возвышенности (в пределах территории Белгородской области), выделении основных категорий нарушенности лесов и их геоинформационном картографировании с применением архивных и современных спутниковых снимков.

Материалы и методика исследования

Первый этап исследования состоял в анализе факторов нарушенности лесов региона на основе материалов полевых исследований, проведенных в различных частях Белгородской области в период 2009–2016 гг., и изучении снимков различных дат на участки полевых обследований. В процессе полевых работ фиксировалась нарушенность всего лесного полога насаждений. Учитывались нарушения в различных ярусах и лесной подстилке. Исследования были проведены на территории Борисовского, Шебекинского, Губкинского, Чернянского, Старооскольского и Новооскольского районов Белгородской области (*рис. 1*), полностью расположенных в зоне лесостепи. Пробные площади для полевых обследований закладывались в лесных насаждениях разной степени нарушенности. Участки для полевых обследований подбирались на основе предварительного анализа спутниковых снимков. В лесных массивах общей площадью около 3500 га было обследовано 179 тестовых полигонов. На каждом из них был изучен набор параметров лесных насаждений: породный состав, сомкнутость, возраст, высота, диаметр стволов, состояние нижних ярусов, наличие следов сплошных рубок, пожаров, иных нарушающих факторов. Полученные данные впоследствии с использованием геоинформационной системы были интегрированы с современными спутниковыми снимками, включая изображения сверхвысокого пространственного разрешения. Используемый подход позволил получить объективное представление о различных категориях нарушенности лесных экосистем и их спектрально-отражательных свойствах.

Лес, как геосистема, испытывает влияние различных антропогенных факторов, воздействие которых может приводить к разной степени нарушенности в структуре лесных сообществ. Установлено, что из факторов нарушенности лесных экосистем на территории Белгородской области значительное распространение получили сплошнолесосечные рубки, длительное время до начала 1990-х гг. оказывающие существенное влияние на структуру лесопокрытых земель. Тем не менее и в настоящее время сплошнолесосечные рубки выступают одним из ключевых факторов, влияющих на структуру лесных массивов.

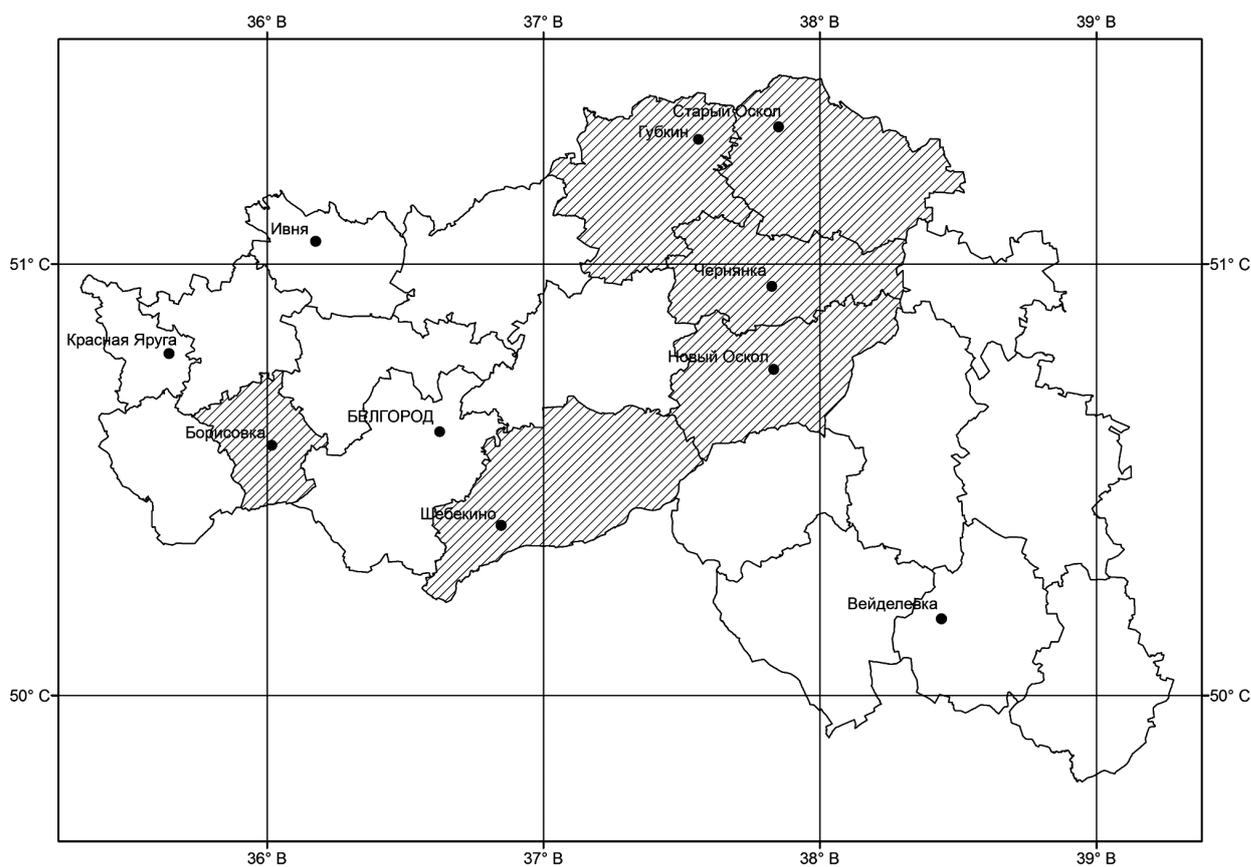


Рис. 1. Административные районы Белгородской области, в которых были проведены полевые обследования нарушенности лесных экосистем

В отдельные годы воздействие на лесной фонд оказывают лесные пожары, влияние которых в целом очень незначительно и распространяется преимущественно на хвойные леса. Оно проявляется в засушливые периоды, как, например, 2010 г. Кроме вырубок и пожаров к факторам нарушенности лесных экосистем относятся использование лесов в иных хозяйственных или рекреационных целях. В отдельных частях области к факторам, которые могут негативно влиять на состояние лесных сообществ, могут быть отнесены воздействие загрязняющих веществ от промышленных предприятий и подтопление лесных земель в приплотинных зонах водохранилищ.

Второй этап исследования состоял в подготовке шкалы категорий нарушенности лесных экосистем региона, учитывающей природные условия территории исследования. Нами был использован опыт подобных разработок, накопленный при экологическом картографировании лесов различных регионов России (Абалаков и др., 1999; Бабинцева, Горбачев, Лебедева, 2008; Гусев, Соколов, 2008), в первую очередь лесов, расположенных в лесостепной зоне, как наиболее близких к лесам юго-запада Среднерусской возвышенности по строению, составу и современным условиям произрастания.

На основе спутниковых данных может быть изучен ряд критериев нарушенности лесных экосистем: наличие следов сплошных лесосечных рубок, следов верховых пожаров, наличие сухостоев и иных факторов, отражающихся в верхних ярусах. В то же время нарушения в нижних ярусах, лесной подстилке, почвенном покрове не отражаются

на материалах спутниковой съемки в оптическом диапазоне. Распространение этих факторов было изучено нами в процессе полевых исследований на тестовых участках, но их полноценный учет при картографировании нарушенности лесов региона крайне затруднителен. В настоящей работе на основе разновременных снимков, полученных в течение последних 30 лет, с учетом полевых данных проведен анализ лесных массивов юго-запада Среднерусской возвышенности (Белгородской области) по следующим критериям:

- время последней сплошной лесосечной рубки;
- наличие следов лесных пожаров;
- наличие сухостоя и признаков усыхания;
- наличие следов иной хозяйственной и рекреационной деятельности, проявляющихся на материалах спутниковой съемки.

Соответственно, на их основе была подготовлена шкала категорий нарушенности лесных экосистем, используемая для картографирования нарушенности лесов.

Третий этап исследования заключался в геоинформационном картографировании ареалов нарушенности лесных экосистем с применением спутниковых и наземных данных. Основными используемыми материалами выступали космические снимки Landsat TM, OLI (<http://glovis.usgs.gov>), полученные в период с 1980-х гг. по первую половину 2010-х гг. (табл. 1), и данные наземных полевых обследований.

Таблица 1. Основные спутниковые данные Landsat, используемые в исследовании

<i>Местоположение в системе WRS-2</i>		<i>Снимки 1980-х гг.</i>		<i>Снимки 2000-х гг.</i>	
Path	Row	Сенсор	Дата	Сенсор	Дата
177	025	Landsat 5 TM	13.08.1985 13.06.1986	Landsat 5 TM Landsat 8 OLI	02.06.2011 13.06.2015
176	025	Landsat 5 TM	20.09.1984 22.06.1986	Landsat 5 TM Landsat 8 OLI	30.08.2011 08.07.2015
177	024	Landsat 5 TM	29.08.1985 13.06.1986	Landsat 5 TM Landsat 8 OLI	02.06.2011 13.06.2015
178	025	Landsat 5 TM	16.07.1984 07.08.1986	Landsat 5 TM Landsat 8 OLI	28.08.2011 04.06.2015

Поскольку сплошнолесосечные рубки на протяжении многих лет выступают одним из ключевых факторов нарушенности древостоя, особое внимание было уделено их анализу с использованием спутниковых данных. Одиночные спутниковые снимки высокого пространственного разрешения дают возможность оценить возраст рубки, но после достижения насаждением 20–25 лет определение его возраста даже по снимку сверхвысокого пространственного разрешения становится затруднительным (Кардаков, Кивисте, Петерсон, 2013). Вариантом решения этой проблемы является применение серий разновременных снимков (Барталев, Курятникова, Стибиг, 2005). При этом достаточно многозональных снимков с разрешением 30 м, например, Landsat TM. Исходя из того, что на снимках Landsat TM, ETM+ дешифрируются сплошные лесосечные вырубki возрастом до 25 лет (Сухих, 2005), анализ снимков за два временных среза с этим интервалом позволяет выяв-

лять участки леса, где сплошнолесосечные рубки отсутствовали в период до 50 лет. Например, если на снимке 2011 г. отсутствовали следы сплошных рубок, и они отсутствовали на снимках 1986 г., то это является основанием предполагать, что на данном лесном участке сплошнолесосечные рубки не проводились минимум последние полстолетия. Выявление ареалов нарушенности по спутниковым данным было проведено с использованием оценки изменений в спектрально-отражательной способности лесов (Терехин, 2013).

Для анализа следов верховых лесных пожаров или признаков усыхания верхних ярусов (на площадях более 2 га) были применены разновременные снимки Landsat. Нами был использован вариант синтеза средних инфракрасных и красного каналов (2,09–2,35; 1,55–1,75; 0,63–0,69 мкм): 7-5-3-й каналы для Landsat 5 TM и 7-6-4-й для Landsat 8 OLI. Кроме того, как дополнительный вариант был использован синтез ближнего инфракрасного, красного и зеленого каналов (0,75–0,90; 0,63–0,69; 0,52–0,60 мкм): 4-3-2-й каналы для Landsat 5 TM и 5-4-3-й для Landsat 8 OLI. Спектральные диапазоны сенсоров TM и OLI немного различаются между собой, но эти различия незначительны. Обозначенные комбинации спектральных диапазонов могут быть достаточно эффективно использованы для выявления факторов нарушенности верхних ярусов. На тестовых участках полученные результаты верифицировались по полевым данным.

После анализа лесных массивов на предмет нарушенности вследствие влияния изучаемых факторов они относились к той или иной категории по специально подготовленной шкале (табл. 2).

Таблица 2. Шкала экологической нарушенности лесных экосистем (по нарушениям в верхнем ярусе), типичных для юго-запада Среднерусской возвышенности

№	Категории экологической нарушенности	Описание. Возможность определения по материалам дистанционного зондирования Земли
I	Ненарушенные или мало-нарушенные лесные экосистемы	Коренные спелые лиственные леса семенного происхождения (практически отсутствуют в регионе). Некоторые территории заповедного участка «Лес на Ворскле»
II	Слабонарушенные лесные экосистемы	Производные спелые леса со вторым ярусом, либо возобновлением коренных пород. Лесные массивы, в которых признаки сплошнолесосечных рубок, верховых пожаров и усыханий древостоя не наблюдались как минимум последние 50 лет
III	Средненарушенные лесные экосистемы	Преимущественно средневозрастные насаждения лиственных и хвойных пород семенного и вегетативного происхождения, сомкнувшиеся лесные культуры. Лесные массивы, в которых признаки нарушений древостоя не наблюдались как минимум последние 25–30 лет, т.е. отсутствовали следы сплошнолесосечных рубок, усыхания древостоев и следы пожаров.
IV	Сильнонарушенные лесные экосистемы	Лиственные и хвойные леса, в которых сплошнолесосечные рубки проводились последние 25–30 лет, либо за это время наблюдались следы воздействия пожаров или усыхания древостоев. Уверенно дешифрируются по разновременным снимкам
V	Разрушенные лесные экосистемы	Полностью уничтоженные лесные массивы в результате сплошных рубок, лесных пожаров, не возобновившиеся вырубки и гари. Хвойные (преимущественно) и лиственные леса, полностью исчезнувшие с середины 1980-х гг. Уверенно дешифрируются по разновременным снимкам
VI	Культурные	Лесопосадки и лесопитомники возрастом до 30 лет. В значительной степени сосновые насаждения. Дешифрируются по сериям разновременных снимков

Для верификации результатов анализа спутниковой съемки были использованы материалы полевых обследований, позволившие проанализировать на тестовых площадях состояние ярусов лесных насаждений и провести сопоставление с результатами анализа спутниковых снимков. Особенности нарушенности древостоя на тестовых участках были также проанализированы на снимках сверхвысокого пространственного разрешения (1 м/пиксель). После этого на основе установленных категорий лесных экосистем и с использованием специально созданной векторной основы лесопокрытых земель региона было проведено геоинформационное картографирование ареалов лесных массивов разной степени нарушенности.

Результаты и их обсуждение

Подготовленная шкала нарушенности лесных экосистем (*табл. 2*) опиралась преимущественно на критерии, учитывающие нарушения в верхних ярусах, которые могут быть оценены на основе данных разновременной многозональной спутниковой съемки высокого пространственного разрешения. То есть это критерии, характеризующие нарушенность лесов по наличию сплошнолесосечных рубок и их возрасту, следов верховых лесных пожаров и признаков сухостоя. Малонарушенные лесные экосистемы (коренные лиственные леса) в регионе представлены практически единично, их площадь составляет около 160 га. Они сосредоточены в нескольких кварталах участка «Лес на Ворскле», относящегося к заповеднику «Белогорье». Подавляющая часть лесных экосистем региона представлена производными лесами различного возрастного состава. При этом отсутствие масштабных сплошнолесосечных рубок за последние десятилетия привело к повышению возраста лесов и обусловило существенное снижение нарушенности древостоя вследствие влияния этого фактора.

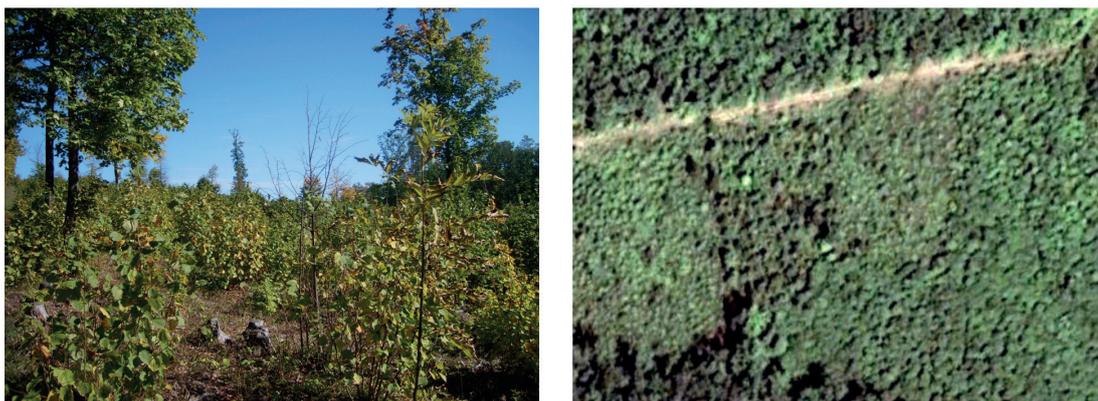
Наличие в регионе искусственных хвойных лесных насаждений, созданных на склонах овражно-балочной сети и других участках (в том числе на местах, где ранее лес отсутствовал) на протяжении последних 25–30 лет, обусловило выделение категории «культурных» лесных экосистем.

Каждая категория нарушенности была изучена в полевых условиях и на основе космических снимков различного пространственного разрешения. Примеры состояния лесных насаждений различных степеней нарушения и их отображение на снимках сверхвысокого пространственного разрешения (1 м/пиксель) приведены на *рис. 2*.

Полевые исследования показали, что в лесах региона получили определенное распространение выборочные рубки, в том числе не затрагивающие верхний ярус. Они не могут быть выявлены на основе космических снимков, полученных в оптическом диапазоне спектра. При таких рубках происходит нарушение лесной подстилки и почвенного покрова. Эти факторы были изучены, но при картографировании нарушенности лесных экосистем они не были нами учтены, так как их анализ требовал масштабных полевых

обследований всех лесов региона, что может быть реализовано только в рамках специальных проектов. На основе *табл. 2* с применением методов геоинформационного анализа в программе ArcGIS 10.1 была подготовлена картограмма, характеризующая леса региона по степени нарушений верхних ярусов (*рис. 3, 4*). Она отражает воздействие ряда ключевых факторов нарушенности на древостой основных лесных массивов региона. В то же время она не характеризует степень нарушения лесной подстилки, почвенного покрова и влияние выборочных рубок, не отражающихся в верхних ярусах.

Сильнонарушенные лесные экосистемы



Средненарушенные лесные экосистемы



Слабонарушенные лесные экосистемы



0 100 м

Рис. 2. Состояние верхнего яруса лесных экосистем различных категорий нарушенности и его отображение на детальном космическом снимке



Рис. 3. Фрагмент картограммы, характеризующей нарушенность верхних ярусов лесных экосистем юго-запада Среднерусской возвышенности

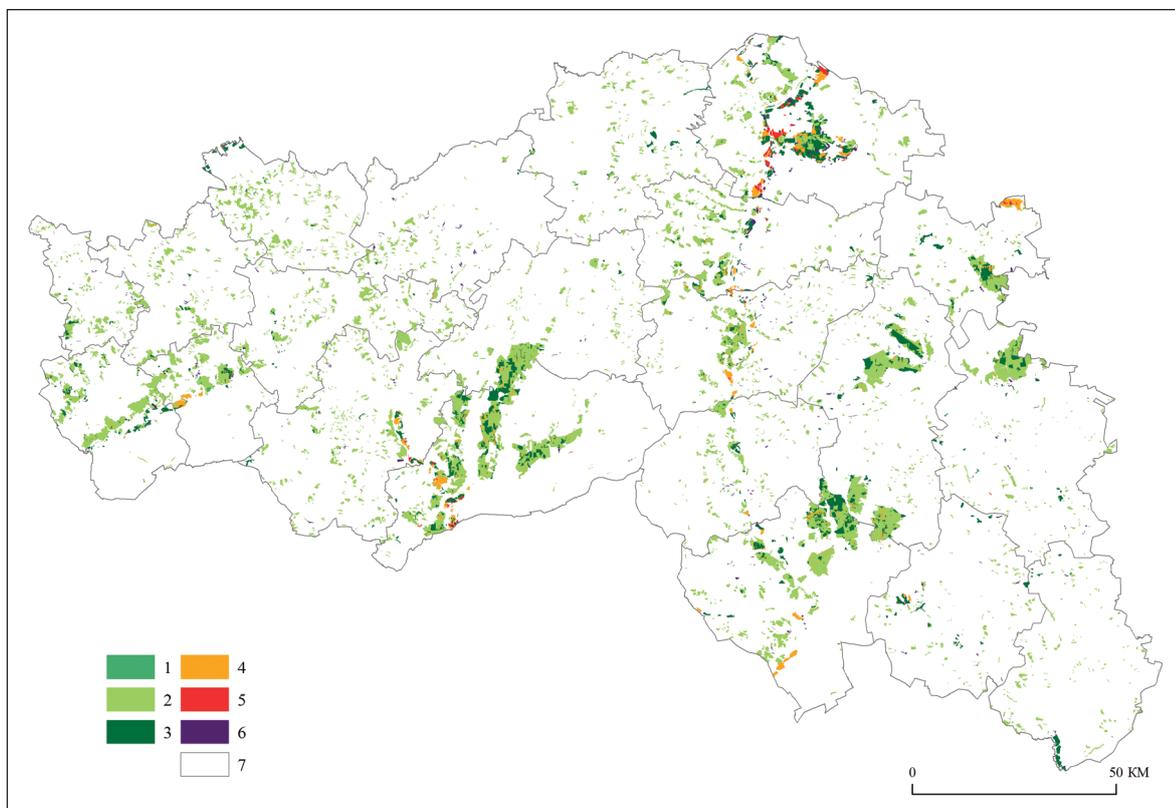


Рис. 4. Картограмма нарушенности верхних ярусов лесных экосистем Белгородской области: 1 — практически ненарушенные; 2 — слабонарушенные; 3 — средненарушенные; 4 — сильнонарушенные; 5 — разрушенные; 6 — культурные; 7 — границы административных районов

По картограмме удалось установить, что большинство небольших по площади, доминирующих в области лиственных лесных массивов, характеризуются слабой степенью нарушенности верхних ярусов. В крупных лесных массивах, длительное время являвшихся объектами лесозаготовок, распространены различные категории нарушенности, включая средне- и сильнонарушенные экосистемы. В процессе полевых исследований на совокупности участков, расположенных в разных частях Белгородской области, была изучена степень нарушенности и нижних ярусов. Тем не менее такие изменения, как нарушение подлеска и лесной подстилки, не отражены на подготовленной картограмме.

В то же время она позволила оценить площади лесов юго-запада Среднерусской возвышенности с разной степенью нарушений (*табл. 3*).

Таблица 3. Характеристика лесопокрытых площадей Белгородской области с различной степенью нарушенности верхних ярусов

<i>Категория нарушенности древостоя</i>	<i>Площадь, га</i>	<i>Доля от общей площади лесов, %</i>	<i>Средняя площадь лесного массива, га</i>
Слабонарушенные	181912,7	75,8	61,0
Средненарушенные	38412,5	16,0	27,6
Сильнонарушенные	12685,9	5,3	16,4
Разрушенные	2940,3	1,2	23,3
Культурные	4077,4	1,7	10,2

Из *табл. 3* видно, что лесные экосистемы со слабой нарушенностью верхних ярусов (влияние нарушающих факторов не проявлялось последние 50 лет) наиболее распространены в регионе. Относительное распространение получили лесные массивы со средней нарушенностью древостоя.

Стоит указать, что категория слабонарушенных лесных экосистем (по степени нарушения древостоя) в основном охватывает лиственные леса и редко встречается в хвойных лесах, что обусловлено тем, что на территории юго-запада Среднерусской возвышенности сосновые лесные насаждения в большей степени подвержены усыханиям, пожарам и воздействию других нарушающих факторов. Также необходимо отметить, что результаты, полученные в работе, не учитывают пространственно-временные изменения в лесных полосах (не включенных в лесной фонд), распространенных в регионе, изучение которых по используемым снимкам затруднено в силу пространственного разрешения (15–30 м). Их анализ требует проведения отдельного исследования.

Выводы

На основе материалов разновременной многозональной космической съемки Landsat и данных полевых исследований проанализированы факторы нарушенности древостоя

лесных экосистем, типичных для территории юго-запада Среднерусской возвышенности и Белгородской области. В первую очередь к ним относится воздействие сплошнолесосечных рубок. Подготовлена шкала, характеризующая категории лесных экосистем по степени нарушений в верхних ярусах. Она включает ненарушенные (малонарушенные), слабонарушенные, средненарушенные, сильнонарушенные, разрушенные леса. Появление искусственных хвойных лесных насаждений с середины 1980-х гг. обусловило выделение категории культурных лесных экосистем. На основе подготовленной шкалы с использованием возможностей геоинформационных систем проведено картографирование ареалов разной степени нарушенности верхних ярусов лесных экосистем и оценена площадь каждой категории лесных массивов. Полностью ненарушенные лесные экосистемы в регионе практически отсутствуют. При этом по степени нарушенности древостоя вследствие сплошнолесосечных рубок, пожаров и других факторов более 75% лесов можно отнести к слабонарушенным. Сильнонарушенные лесные экосистемы составляют 5,3% лесопокрытых земель.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-4611.2016.5.

Литература

1. *Абалаков А.Д., Малышев Ю.Н., Полюшкин Ю.В.* Анализ остроты экологических проблем в зоне техногенного воздействия // Сибирский экологический журнал. 1999. № 6. С. 673–680.
2. *Бабинцева Р.М., Горбачев В.Н., Лебедева А.А.* Применение методов картографии при планировании и ведении лесопаркового хозяйства // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2008. Т. 3. № 19-1. С. 45–48.
3. *Барталев С.А., Курятникова Т.С., Стибиг Х.Ю.* Методы использования временных серий спутниковых изображений высокого пространственного разрешения для оценки масштабов и динамики вырубок таежных лесов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Т. 2. № 2. С. 217–227.
4. *Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лулян Е.А.* Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83–94.
5. *Брейдо М.Д., Шаталов А.В.* Автоматизированный метод выявления и регистрации нарушений правил рубок по космическим снимкам // Лесное хозяйство. 1991. № 4. С. 41–44.
6. *Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Губаев А.В., Лежнин С.А., Полевщикова Ю.А.* Дистанционный мониторинг гарей в Марийском Заволжье // Вестн. Поволжского гос. технологич. ун-та. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2012. № 1 (15). С. 12–22.
7. Гринпис России <http://www.greenpeace.org/russia/ru/campaigns/forests/valuable-natural-objects/intact-forest-landscapes/>.
8. *Гусев А.П., Соколов А.С.* Информационно-аналитическая система для оценки антропогенной нарушенности лесных ландшафтов // Вестн. Томского гос. ун-та. 2008. № 309. С. 176–180.
9. *Егоров В.А., Барталев С.А., Лулян Е.А., Стыценко Ф.В.* Сравнительный анализ результатов детектирования пройденных огнем площадей на территории Северной Евразии по данным SPOT-Vegetation и Terra-MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 2. С. 292–296.
10. *Кардаков А.А., Кивисте А.К., Петерсон У.К.* Формирование яркостных значений восстанавливающихся сплошных рубок на зимних изображениях среднего пространственного разрешения // Исследование Земли из космоса. 2013. № 1. С. 48–59.
11. *Жирин В.М., Сухих В.И., Шаталов А.В., Бутусов О.Б., Эйдлинка С.П.* Использование космических снимков для изучения динамики зарастания гарей // Исследование Земли из космоса. 2004. № 5. С. 69–76.
12. *Жирин В.М., Князева С.В., Эйдлинка С.П.* Эколого-динамическое исследование лесообразовательного процесса по космическим снимкам // Лесоведение. 2013. № 5. С. 76–85.
13. *Исаев А.С., Коровин Г.Н.* Крупномасштабные изменения в бореальных лесах Евразии и методы их оценки с использованием космической информации // Лесоведение. 2003. № 2. С. 3–9.
14. *Калашников Е.Н.* Мониторинг нарушенности лесов Сибири // Сибирский экологич. журн. 1998. Т. 5. № 1. С. 49–57.

15. Петухов И.Н., Немчинова А.В. Ветровальные нарушения лесного покрова в Костромской области и на сопредельных территориях в 1984–2011 гг. // Лесоведение. 2014. № 6. С. 16–24.
16. Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю. Оценка нарушенности лесных экосистем после пожаров с использованием дешифрирования космических снимков // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-9. С. 2018–2022.
17. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 382 с.
18. 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. С. 62–69.
19. Яборов В.Т. Особенности трансформации лесных экосистем // Дальневосточный аграрный вестн. 2011. № 2 (18). С. 53–57.
20. Ярошенко А.Ю., Потанов П.В., Турубанова С.А. Малонарушенные лесные территории Европейского севера России. М.: Гринпис России, 2001. 75 с.
21. Boyd D.S., Danson F.M. Satellite remote sensing of forest resources: three decades of research development // Progress in Physical Geography. 2005. Vol. 29. No. 1. P. 1–26.
22. Hansen M.C., Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G., Moore R., Hancher M., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. Vol. 342. No. 6160. P. 850–853.
23. Leon R.R., van Leeuwen W.J., Casady G.M. Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments // Remote sensing. 2012. Vol. 4. P. 598–621.

Estimation of forest ecosystems disturbance in the southwest of Central Russian Upland using remote sensing data

E.A. Terekhin

*Belgorod State National Research University,
Federal and Regional Centre for Aerospace monitoring of Natural Resources
Belgorod 308015, Russia
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru*

Estimation of forest ecosystem disturbance has considerable significance for sustainable management and utility of forest resources. This paper presents the results of investigation of forest ecosystem disturbance for Southwest of Central Russian upland by using remote sensing data. The key factors of forest ecosystem disturbance were established on the basis of field research materials and multi-temporal Landsat satellite images. The table of forest disturbance in upper tiers was prepared. Field studies conducted in various parts of the region showed that there are disturbance factors that impact forests, but not their upper tiers. It is problematic to assess these impacts using optical satellite data. There are practically no undisturbed forest ecosystems in the region. More than 75% of forests in the region are characterized by low degree of forest stand disturbance due to the impact of clear-felling, fires and other factors that have been affecting over the past decades. Strongly disturbed forest ecosystems cover about 5.3% forest lands. The map of stand disturbance of forest ecosystems of Southwest of Central Russian upland was prepared using the disturbance categories.

Keywords: forest, disturbed ecosystems, satellite imagery, Landsat, Southwest of Central Russian upland, Belgorod Region

*Accepted: 25.05.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-112-124*

References

1. Abalakov A.D., Malyshev Yu.N., Polyushkin Yu.V., Analiz ostroty ekologicheskikh problem v zone tekhnogen-nogo vozdeistviya (Analysis of Acuity of Ecological Problem in the Zone of Technogenous Influence), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 1999, No. 6, pp. 673–680.
2. Babintseva R.M., Gorbachev V.N., Lebedeva A.A., Primenenie metodov kartografii pri planirovanii i vedenii lesoparkovogo khozyaistva (The use of soil-mapping methods in wood-park husbandry planning and management), *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2008, Vol. 3, No. 19-1, pp. 45–48.
3. Bartalev S.A., Kuryatnikova T.S., Stibig Kh.Yu. Metody ispol'zovaniya vremennykh serii sputnikovyykh izobrazhenii vysokogo prostranstvennogo razresheniya dlya otsenki masshtabov i dinamiki vyrubok taezhnykh lesov

- (Methods for the analysis of time-series of high-resolution satellite images for the assessment of logging in the taiga), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Vol. 2, No. 2, pp. 217–227.
4. Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Lupyan E.A., Sputnikovaya otsenka gibeli lesov Rossii ot pozharov (Satellite-Based Assessment of Russian Forest Fire Mortality), *Lesovedenie*, 2015, No. 2, pp. 83–94.
 5. Breido M.D., Shatalov A.V., Avtomatizirovannyi metod vyyavleniya i registratsii narushenii pravil rubok po kosmicheskim snimkam (An automated method for identifying and registering violations logging on satellite images), *Lesnoe khozyaistvo*, 1991, No. 4, pp. 41–44.
 6. Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A. Distantsionnyi monitoring garei v Mariiskom Zavolzh'e (Remote monitoring of forest burnt areas in Mari Zavolzhje), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2012, No. 1 (15), pp. 12–22.
 7. <http://www.greenpeace.org/russia/ru/campaigns/forests/valuable-natural-objects/intact-forest-landscapes/>.
 8. Gusev A.P., Sokolov A.S., Informatsionno-analiticheskaya sistema dlya otsenki antropogennoi narushennosti lesnykh landshaftov (Informational-analytic system for estimation of anthropogenic disturbances of forest landscapes), *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2008, No. 309, pp. 176–180.
 9. Egorov V.A., Bartalev S.A., Lupyan E.A., Stytsenko F.B., Sravnitel'nyi analiz rezul'tatov detektirovaniya proidennykh ognem ploshchadei na territorii Severnoi Evrazii po dannym SPOT-Vegetation i Terra-MODIS (Comparative analysis of the results of the detection area traversed by fire in North Eurasia according to the SPOT-Vegetation and Terra-MODIS data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, Vol. 5, No. 2, pp. 292–296.
 10. Kardakov A.A., Kiviste A.K., Peterson U.K., Formirovanie yarkostnykh znachenii vosstanavlivayushchikhsya sploshnykh rubok na zimnikh izobrazheniyakh srednego prostranstvennogo razresheniya (Radiance change of regeneration clear-felled areas using moderate spatial resolution winter images), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 1, pp. 48–59.
 11. Zhirin V.M., Sukhikh V.I., Shatalov A.V., Butusov O.B., Eidlina S.P., Ispol'zovanie kosmicheskikh snimkov dlya izucheniya dinamiki zarastaniya garei (Application of Space Images for Analysis of Burnt Forest Areas Regeneration Dynamics), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2004, No. 5, pp. 69–76.
 12. Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P., Ekologo-dinamicheskoe issledovanie lesoobrazovatel'nogo protsessa po kosmicheskim snimkam (The Eco-dynamical Study of Forest-forming Process with Space Imagery), *Lesovedenie*, 2013, No. 5, pp. 76–85.
 13. Isaev A.S., Korovin G.N., Krupnomasshtabnye izmeneniya v boreal'nykh lesakh Evrazii i metody ikh otsenki s ispol'zovaniem kosmicheskoi informatsii (Large-Scale Changes in Eurasian Boreal Forests and Methods of Their Assessment Using Space Information), *Lesovedenie*, 2003, No. 2, pp. 3–9.
 14. Kalashnikov E.N., Monitoring narushennosti lesov Sibiri (Monitoring of disturbance of forest in Siberia), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 1998, Vol. 5, No. 1, pp. 49–57.
 15. Petukhov I.N., Nemchinova A.V., Vetroval'nye narusheniya lesnogo pokrova v Kostromskoi oblasti i na sopredel'nykh territoriyakh v 1984–2011 gg. (Windthrows in Forests of Kostroma Oblast and the Neighboring Lands in 1984–2011), *Lesovedenie*, 2014, No. 6, pp. 16–24.
 16. Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu., Otsenka narushennosti lesnykh ekosistem posle pozharov s ispol'zovaniem deshifirovaniya kosmicheskikh snimkov (Assessment of forest ecosystems violations after forest fires using interpretation of space images), *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, No. 9-9, pp. 2018–2022.
 17. Sukhikh V.I., *Aerokosmicheskie metody v lesnom khozyaistve i landshaftnom stroitel'stve* (Aerospace methods in forestry and landscape construction), Ioshkar-Ola: MarGTU, 2005, 382 p.
 18. Terekhin E.A., Sposob kartografirovaniya mnogoletnikh izmenenii v lesakh na osnove analiza ikh spektral'nykh kharakteristik po ryadam raznovremennykh sputnikovyykh dannykh (Method mapping long-term changes in the forests on the basis of their spectral responses using rows of perennial remote sensing data), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 5, pp. 62–69.
 19. Yaborov V.T., Osobennosti transformatsii lesnykh ekosistem (Features of transformation of forest ecosystems), *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2011, No. 2 (18), pp. 53–57.
 20. Yaroshenko A.Yu., Potapov P.V., Turubanova S.A., *Malonarushennyye lesnye territorii Evropeiskogo severa Rossii* (Intact Forest Landscapes of Northern European Russia), M.: Grinpis Rossii, 2001, 75 p.
 21. Boyd D.S., Danson F.M., Satellite remote sensing of forest resources: three decades of research development, *Progress in Physical Geography*, 2005, Vol. 29, No. 1, pp. 1–26.
 22. Hansen M.C., Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G., Moore R., Hancher M., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., *High-resolution global maps of 21st-century forest cover change*, Science, 2013, Vol. 342, No. 6160, pp. 850–853.
 23. Leon R.R., van Leeuwen W.J., Casady G.M., Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments, *Remote sensing*, 2012, Vol. 4, pp. 598–621.