

Оценка изменения лесистости в современный период на юге Среднерусской возвышенности с использованием материалов разновременных космических съёмки

Э. А. Терехин, Ю. Г. Чендев

*Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, Белгород, 308015, Россия
E-mails: terekhin@bsu.edu.ru, chendev@bsu.edu.ru*

На основе разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения изучены современные процессы изменения лесистости на юге лесостепи Среднерусской возвышенности. Исследование выполнено на трёх ключевых участках общей площадью 886 км², расположенных на территории Белгородской области. Динамика лесистости изучена в период 1970–2014 гг. Установлен рост лесистости, характерный как для лесостепной зоны, так и для приграничных с лесостепью участков степной зоны. На лесостепном западном участке лесистость выросла с 9,4 до 15,1 %, на лесостепном восточном участке — с 22,3 до 27,5 %, на степном участке — с 2,9 до 5,9 %. На основе разновременных снимков Landsat TM выявлено статистически значимое снижение инфракрасных коэффициентов спектральной яркости территории, обусловленное ростом площади лесных ареалов. Увеличение площади лесопокрываемых земель произошло за счёт зарастания лесами овражно-балочной сети, появления групп деревьев вблизи ранее существовавших лесных массивов, расширения границ лесных ареалов. На каждом из ключевых участков наблюдался рост количества лесных массивов. При этом произошло снижение их средней площади — в основном за счёт появления небольших по размерам ареалов лесов. Таким образом, констатируется увеличение мозаичности лесопокрываемых земель региона. Для условий лесостепи скорость линейных приращений границ лесных массивов оказалась более высокой по сравнению с условиями территории севера степной зоны — 4,6 м/10 лет и 3,4 м/10 лет соответственно. Существенных различий в скорости линейного роста границ лесных массивов на склонах северной и южной экспозиции не выявлено.

Ключевые слова: лес, лесистость, Среднерусская возвышенность, спутниковые снимки, динамика, Landsat

Одобрена к печати: 11.04.2018
DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-114-126

Введение

На юге Среднерусской возвышенности, который является в настоящее время одним из ключевых аграрных регионов России, лесопокрываемые земли начиная с середины XVII в. претерпели существенные изменения (Архипова, 2014; Мусиевский, 2013; Чендев, 2008). В значительной степени это обусловлено интенсивным сельскохозяйственным освоением лесостепных пространств, основную часть которых (более 50 % общей площади) в настоящее время занимают пахотные угодья. В аграрно-освоенном юге лесостепи Среднерусской возвышенности лесные массивы остались наименее изменённым компонентом растительного покрова, а изучение процессов лесовосстановления становится актуальным в связи с тем, что их объективная оценка может способствовать принятию сбалансированных решений для улучшения воспроизводства почвенных и агроклиматических ресурсов.

Изучение процессов динамики лесистости представляет научный интерес в контексте климатических изменений, характеризующихся на протяжении последних десятилетий повышением среднегодовой температуры воздуха и увеличением периода биологической активности растений в пределах изучаемой территории (Лебедева, Крымская, 2008; Новикова и др., 2017). Для решения проблемы достижения оптимальной лесистости на территории

Центрального Черноземья необходимы новые актуальные и объективные данные о процессах роста или снижения доли лесопокрытых земель в силу совместного влияния природных и антропогенных факторов (Кузьменко и др., 2013; Постолов и др., 2005).

Лесистость юга Среднерусской возвышенности считается примерно аналогичной средней лесистости Центрального Черноземья (Бугаев и др., 2006). В то же время исследование лесопокрытых земель на основе разновременных спутниковых данных Landsat (Терехин, 2016), проведённое на территории Белгородской области, показало, что лесистость региона варьирует от 4,3 до 17 %, существенно различаясь не только между отдельными административными районами, но и в пределах многих из них. Одновременно было установлено, что одной из ключевых особенностей лесов является высокая доля очень малых по площади лесных массивов и групп деревьев, достоверная оценка распространения и временной динамики которых требует привлечения космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения (порядка 1–3 м/пиксель).

В связи с повышением качества и доступности материалов космической съёмки в настоящее время становится возможным изучение на их основе различных природных и антропогенно-обусловленных процессов, протекающих в лесах (Курбанов и др., 2015; Lutz et al., 2008). Актуальными являются моделирование пространственно-временных изменений лесистости (Baumann et al., 2012; Zhang et al., 2014), анализ нарушенности природной структуры леса (Жиринов и др., 2011; Gao, Liu, 2012).

Для детальной ретроспективной оценки лесистости особый интерес представляет использование архивной космической съёмки CORONA (https://lta.cr.usgs.gov/declass_1) с пространственным разрешением 1–4 м/пиксель (1960–1970-е гг.). Высокая детальность этих спутниковых данных и параллельное использование современных снимков аналогичного пространственного разрешения, а также разновременной многозональной спутниковой информации открывают возможность объективной оценки пространственно-временных изменений лесопокрытых земель. Одновременно становится возможным изучение реакции лесов на изменения климата, наблюдающиеся в современный период на территории южной лесостепи.

Цель настоящего исследования заключалась в оценке динамики лесистости и анализе скорости естественного лесообразования на территории юго-запада Среднерусской возвышенности в период 1970–2014 гг.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определение направленности процесса изменения лесистости и его количественная оценка;
- анализ динамики спектрального отклика территорий, на которых появились леса либо произошло увеличение доли покрытых лесом земель;
- количественная оценка темпов изменения лесистости, включая анализ различий на склонах разных экспозиций;
- сравнение изменения лесистости в условиях лесостепной и степной зон.

Для решения поставленных задач был применён комплекс методов геоинформационного картографирования и анализа, количественной оценки разновременной спектральной спутниковой информации.

Материалы и методика исследования

Исследование было проведено на территории Белгородской области, основная часть которой располагается в зоне лесостепи, а юго-восточная часть — в степной зоне. Для оценки изменений лесистости и анализа скорости линейных изменений границ лесных массивов в пределах региона были выбраны три участка общей площадью 886,4 км² (рис. 1, см. с. 116, табл. 1), два из которых находились на территории лесостепной зоны и один — на территории северной части степной зоны.

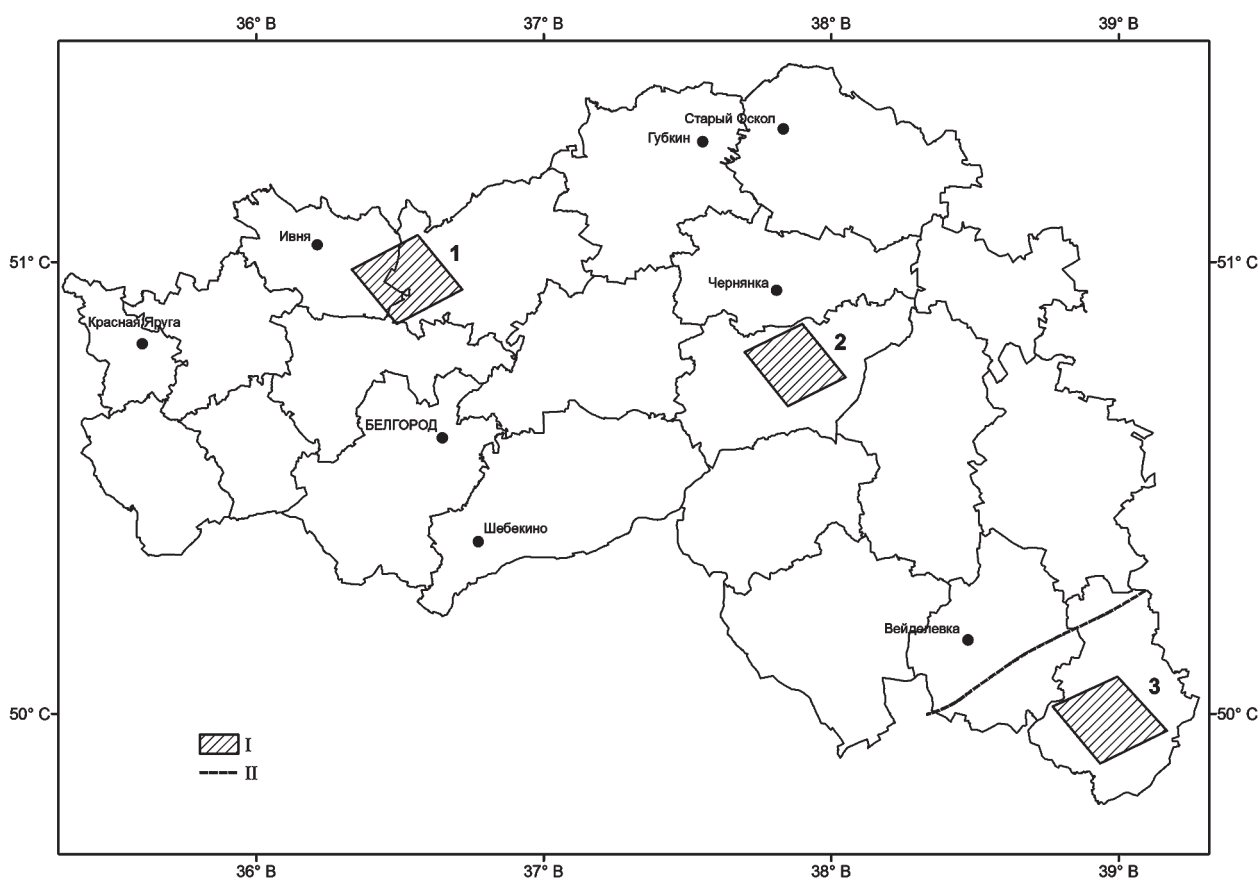


Рис. 1. Местоположение участков исследования (1–3) на территории Белгородской области. I — границы участков; II — граница лесостепной и степной зон

Расстояние между первым и вторым участками составило 112 км, между вторым и третьим — 156 км, между первым и третьим — 278 км.

Таблица 1. Характеристики участков, на которых было изучено изменение лесистости на территории Белгородской области

№ участка	Административные районы	Площадь, км ²	Природная зона
1	Ивнянский и Прохоровский	304,0	Лесостепь
2	Новооскольский	261,2	Лесостепь
3	Ровеньской	321,2	Степь

Участки выбирались таким образом, чтобы представлять наиболее типичное для региона сочетание покрытых лесом и иных земель в структуре землепользования. Ключевым условием их выбора было стремление объективно и репрезентативно учесть наиболее типичные фрагменты современных ландшафтов, характерных для юга Среднерусской возвышенности. Первые два участка полностью находились в условиях лесостепи. Участок 1 располагался в бассейнах рек Псел и Северский Донец. Среднее значение гидротермического коэффициента (ГТК) для него составляло 1,17 (согласно данным (Григорьев, 2005)). Участок 2 располагался в бассейне реки Оскол, ГТК составил 1,0. Участок 3 полностью находился в зоне степи (бассейн р. Айдар) и характеризовался более засушливыми условиями (ГТК 0,85).

На каждом из участков на основе космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения было выполнено картографирование лесистости по состоянию на 1970 и 2014 гг. Применение разновременных космических снимков такого разрешения позволило

учесть даже небольшие по площади (десятые доли гектара) лесные массивы и пространственно-временные особенности изменения их площадей. Необходимость детального картографирования лесов на площади 886 км² обуславливалась тем, что только таким способом можно было получить объективную и репрезентативную информацию о современной лесистости региона и её изменений за последние десятилетия.

Для картографирования лесопокрытых земель по состоянию на 1970 г. были использованы три космических снимка, полностью покрывающие территории участков исследования. Все снимки были сделаны системой CORONA (пространственное разрешение 2 м/пиксель). Снимки на участки 1 и 2 были получены 28.07.1970. Снимок на Участок 3 — 27.07.1970. Для анализа современной лесистости были использованы три снимка аналогичного пространственного разрешения, полученные с ресурса ArcGIS World Imagery в летний период 2014 г. Таким образом, анализируемый временной интервал составил 44 года. Все снимки были географически привязаны, при этом особое внимание уделялось точности привязки, позволившей достоверно оценить смещение контуров лесных массивов за оцениваемый период времени. После этого в геоинформационной среде было выполнено картографирование лесопокрытых земель на каждом участке на каждую анализируемую дату. На следующей стадии был выполнен анализ изменений в спектрально-отражательных признаках территории, обусловленных динамикой лесистости. Было высказано предположение, что рост лесистости может значимо отражаться на коэффициентах спектральной яркости участков, на которых наблюдались процессы увеличения площади покрытых лесом земель. С целью проверки данного предположения на основе многозональных снимков Landsat TM (пространственное разрешение 30 м/пиксель), полученных в период 1986–2011 гг. (табл. 2), на каждом тестовом участке был выполнен анализ динамики коэффициентов отражения в средней инфракрасной зоне (1,55–1,75 мкм, 5-й канал сенсора TM).

Таблица 2. Параметры многозональных снимков Landsat TM, используемых для анализа изменений в спектрально-отражательных признаках лесопокрытых земель

Дата получения снимка	Сектор в системе WRS-2	Охват территории
13.06.1986	177/025	Участки 1, 2
02.06.2011	177/025	
22.06.1986	176/025	Участок 3
21.06.2009	176/025	

Данный спектральный диапазон был выбран в связи с тем, что он, как было показано ранее (Терехин, 2012), из каналов сенсора является наиболее чувствительным к изменениям в возрасте лесных массивов и трансформациям в структуре лесных сообществ. При увеличении доли лесопокрытых земель на конкретной территории происходит снижение коэффициентов отражения в этой области спектра. Кроме того, оно наблюдается при увеличении возраста лесных массивов (Terekhin, 2017). Используемые изображения Landsat подбирались на один и тот же месяц, чтобы свести к минимуму влияние фенологических различий.

Все используемые снимки Landsat TM прошли радиометрическую коррекцию, что было необходимым условием объективного анализа изменений в спектрально-отражательных признаках. Значения исходных яркостей были пересчитаны в безразмерные коэффициенты отражения, что позволило сравнить между собой спектральные характеристики за разные годы. Снимками Landsat TM не удалось полностью покрыть временной диапазон с 1970 по 2014 г. Тем не менее если предположить, что процесс изменения лесистости происходил непрерывно, то за период, охватываемый используемыми снимками Landsat (23–25 лет), в спектральном отклике территории должны были произойти статистически значимые изменения в коэффициентах спектральной яркости, обусловленные изменением площади лесов. Для решения этой задачи нами в границах векторного файла контуров лесопокрытых земель на конечную анализируемую дату (подготовленного на предыдущем этапе на основе детальных

космических снимков) был выполнен расчёт коэффициентов спектральной яркости по снимкам Landsat TM в 1986 и 2011 гг. (2009 г. для участка 3). Контуры лесов 2014 г. были последовательно наложены на снимки 1986 и 2011 гг., и для каждого ареала лесопокрытых земель методом зональной статистики был выполнен расчёт инфракрасных коэффициентов отражения. После этого была проведена оценка их изменения между анализируемыми временными срезами.

На следующем этапе на каждом участке был выполнен анализ расстояний, на которые произошло изменение границ лесных ареалов за период с 1970 по 2014 г.

При выборе территорий для анализа пространственно-временного изменения лесистости учитывался ряд критериев, главным из которых было отсутствие препятствий для естественного пространственно-временного изменения границ лесных массивов. Из анализа исключались участки лесов, граничащие с пашнями, дорогами, населёнными пунктами. Предпочтение отдавалось лесным участкам, которые граничили с участками сенокосов и выгонов на склонах балок и речных долин. На каждом участке была отобрана группа фрагментов, на которых выполнялась оценка изменения линейного положения границ лесопокрытых земель. Учитывая, что на данный процесс определённое влияние могут оказывать условия освещённости и увлажнения, нами также был проведён анализ изменения положения границ лесных участков на склонах балок и речных долин северных и южных экспозиций. Заключительный этап оценки изменений в лесистости состоял в статистическом анализе результатов, установлении закономерностей в пространственно-временных изменениях лесопокрытых земель.

Результаты и их обсуждение

Анализ лесопокрытых земель на основе разновременных спутниковых данных позволил количественно оценить площадь и число лесных массивов, пространственно-временные особенности изменения их размеров и контуров на оцениваемые временные срезы. Для каждого ключевого участка были получены подробные картограммы изменения лесистости (рис. 2). На их основе была оценена площадь появившихся и исчезнувших лесов за период 1970–2014 гг., установлены статистические параметры лесных ареалов (табл. 3).

Таблица 3. Динамика лесистости на трёх ключевых участках Белгородской области

Год	Площадь лесопокрытых земель, га	Число лесных массивов	Средняя площадь лесного массива, га	Появившиеся леса, га	Исчезнувшие леса, га	Лесистость территории, %
1-й, Западный участок (бассейн р. Псёл), площадь 304,0 км ²						
1970	2855,1	228	12,5			9,4
2014	4594,7	519	8,9	1744,6	6,1	15,1
2-й, Центральный участок (бассейн р. Оскол), площадь 261,2 км ²						
1970	5832,2	401	14,5			22,3
2014	7173,1	633	11,3	1435,0	94,1	27,5
3-й, Восточный участок (бассейн р. Айдар), площадь 321,2 км ²						
1970	940,4	329	2,9			2,9
2014	1907,0	650	2,9	1092,1	125,4	5,9

Из данных табл. 3 видно, что на всех трёх исследуемых участках юга Среднерусской возвышенности произошло существенное увеличение лесистости, из чего можно заключить, что её рост за последние десятилетия из тенденции перешёл в региональную закономерность. Данная закономерность была характерна как для лесостепной, так и для примыкающей к ней северной части степной зоны (см. табл. 3).

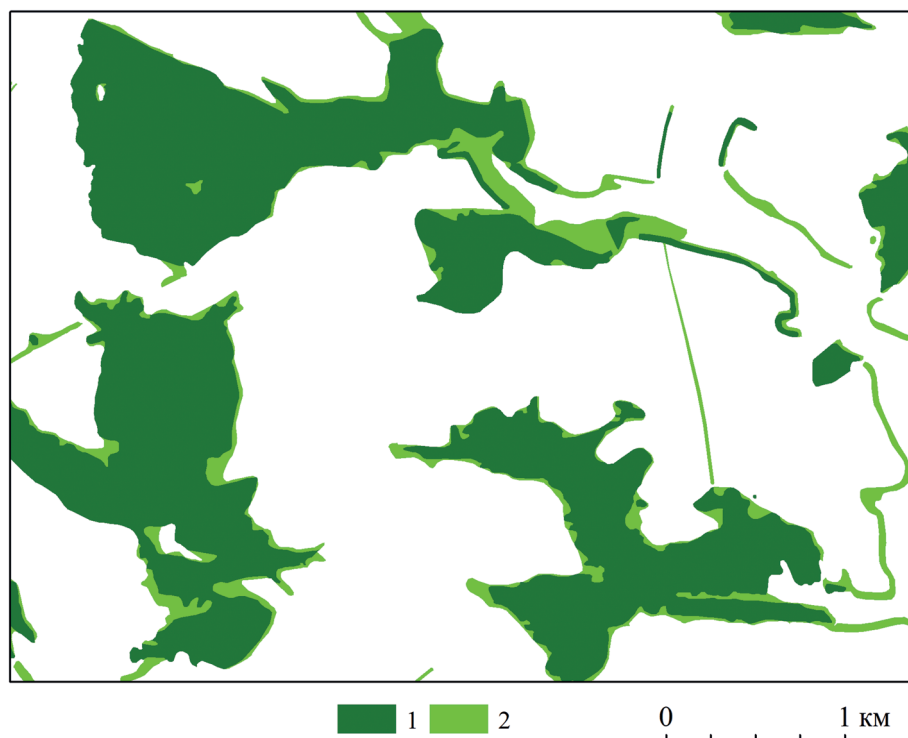


Рис. 2. Фрагмент картограммы, характеризующей изменение лесистости на 1-м ключевом участке (зона лесостепи). 1 — леса в 1970 г.; 2 — леса, появившиеся в период 1970–2014 гг.

С другой стороны, общая тенденция увеличения лесистости на каждом участке имеет свои особенности. На первом участке лесистость выросла в 1,6 раза, на втором — в 1,23 раза, на третьем (степном) — в 2 раза. И ретроспективная, и современная лесистость каждого участка наглядно отражают расположение участков 1 и 2 в лесостепной зоне и участка 3 — в зоне степи. Наименьший рост лесистости на участке 2 обусловлен тем, что его значительную часть покрывал крупный лесной массив, протянувшийся с севера на юг по западному берегу р. Оскол. Этот лесной массив, во многих местах граничащий с пашнями, населёнными пунктами и дорогами, претерпел минимальные изменения своей площади.

Анализ полученных картограмм динамики лесистости позволил сделать вывод, что её рост в существенной степени обусловлен зарастанием овражно-балочной сети лесными насаждениями с последующим увеличением их площади.

Как показали наши наблюдения, наибольший рост лесистости на степном участке при её минимальной абсолютной величине был обусловлен как естественными причинами зарастания лесами овражно-балочной и долинно-речной сети, так и агролесомелиоративными мероприятиями по искусственному формированию лесополос вдоль эрозионно-опасных склонов овражно-балочной сети. При этом как в 1970, так и 2014 г. лесистость степного ключевого участка была и остаётся существенно меньше лесистости лесостепных участков.

На всех анализируемых участках также были выявлены ареалы исчезнувших лесов. На участках 1 и 2 их площадь в сравнении как с общей площадью лесных массивов, так и лесов, появившихся за анализируемый период, оказалась незначительной. На участке 3 она составила около 11 % от площади появившихся лесных массивов.

Процесс расширения площади лесных массивов наблюдался на участках, где этому не препятствовали примыкающие во многих местах к лесам аграрные угодья, дорожная сеть и населённые пункты. Преимущественно такими участками являлись пологие склоны балок (рис. 3, см. с. 120) и в некоторых случаях — склоны речных долин. Подавляющая их часть полностью заросла древесными породами за анализируемый период. Как уже отмечалось выше, этому также способствовали мероприятия по закладке лесных полос в целях предупреждения развития овражно-балочной сети.

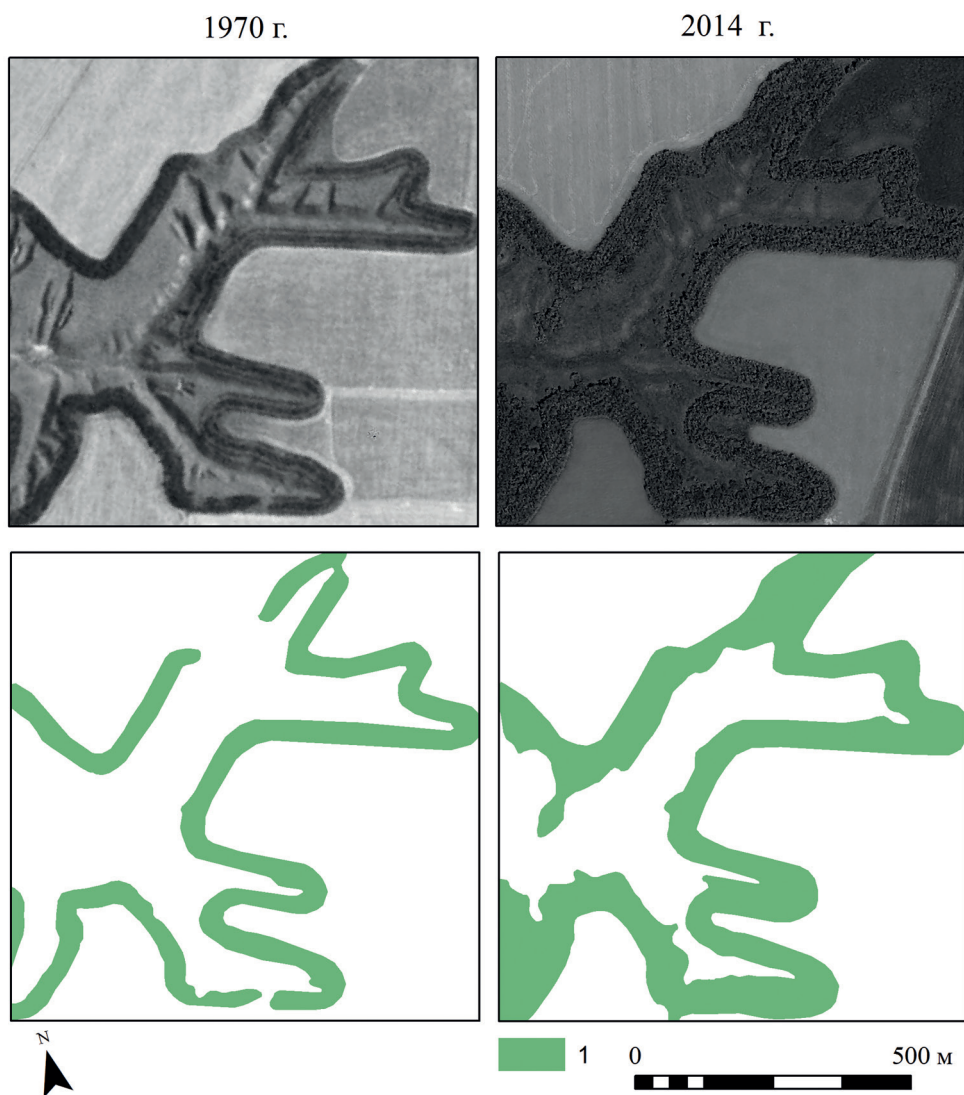


Рис. 3. Пример изменения лесистости в овражно-балочной сети в период 1970–2014 гг. (лесостепная зона, ключевой участок 1). 1 — покрытые лесом земли

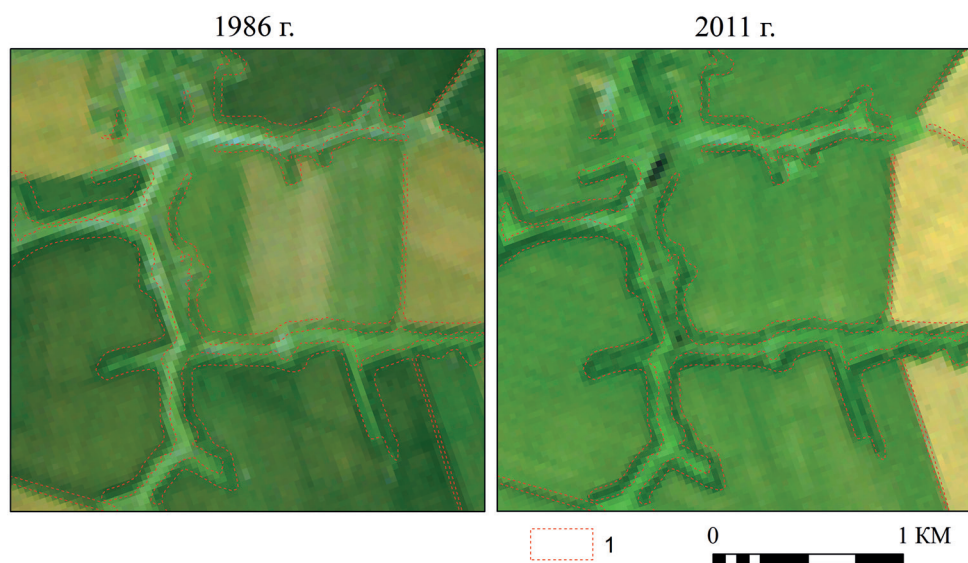


Рис. 4. Динамика лесистости на разновременных снимках Landsat TM. 1 — контуры лесопокрываемых земель в 2014 г.

Одним из следствий роста лесистости явилась «маскировка» во многих местах истинного облика овражно-балочной сети, что следует учитывать при дешифрировании материалов дистанционного зондирования Земли в целях выявления контуров эрозионной сети.

Увеличение лесистости нашло отражение в изменении спектрального отклика территории. Анализ коэффициентов спектральной яркости в период 1986–2011 гг. на основе снимков Landsat TM показал, что за это время на всех участках произошло статистически значимое снижение их величин, что является следствием увеличения доли покрытых лесом земель (рис. 4, см. с. 120, табл. 4).

Таблица 4. Динамика коэффициентов спектральной яркости в среднем инфракрасном диапазоне (1,55–1,75 мкм) для лесопокрытых земель, вычисленная по данным Landsat TM

Год	Среднее	Число измерений	Стандартное отклонение	T-критерий	T-критическое	p-уровень
1-й, Западный участок (бассейн р. Псёл), площадь 304,0 км ²						
1986	0,172	412	0,022	4,41	1,96	0,000
2011	0,165	412	0,024			
2-й, Центральный участок (бассейн р. Оскол), площадь 261,2 км ²						
1986	0,158	477	0,020	2,79	1,96	0,003
2011	0,154	477	0,018			
3-й, Восточный участок (бассейн р. Айдар), площадь 321,2 км ²						
1986	0,161	515	0,017	6,87	1,96	0,000
2011	0,154	515	0,014			

Космические снимки Landsat TM по причине невысокой детальности не могут быть использованы для подробного анализа лесистости. Но их совместное использование с векторной маской лесов, полученной по более детальным изображениям, предоставляет возможность количественного анализа изменений в спектральном отклике территорий, обусловленных трансформациями площадей лесных ареалов.

В табл. 4 показаны статистические параметры выборки коэффициентов спектральной яркости, включающие их значения, вычисленные путём усреднения коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) в границах конкретных лесных массивов.

В связи с ограничениями, обусловленными пространственным разрешением снимков Landsat, для анализа были использованы КСЯ, вычисленные для лесных массивов площадью более 0,4 га. Тем не менее из табл. 4 видно, что на каждом участке аналитическая выборка составила не менее 400 измерений.

На всех участках в период 1986–2011 гг. произошло статистически значимое (уровень значимости 0,05) изменение средней величины инфракрасного коэффициента отражения: это видно из того, что величина T-критерия Стьюдента оказалась выше критической. Таким образом, значимое изменение спектрального отклика, обусловленное ростом лесистости, было установлено как для условий южной лесостепи, так и для примыкающей к ней северной части степной зоны.

Существенное увеличение лесистости региона может быть объяснено рядом причин. Наиболее важной из них являются благоприятные для роста лесистости климатические условия, проявившиеся в увеличении средней многолетней температуры холодного периода года и в росте годового количества осадков в конце XX – начале XXI вв. В частности, рост температуры воздуха мог способствовать увеличению продолжительности периода биологической активности. Росту лесных массивов также могли благоприятствовать геоморфологические условия, а именно развитая долинно-балочная сеть, перераспределяющая сток атмосферных осадков, влияющая на характер грунтового увлажнения, а через них — на интенсивность

лесообразования. Кроме того, увеличению лесистости способствовал антропогенный фактор: в ряде мест он проявлялся в образовании системы лесных полос, создаваемых вдоль сильно развитой в регионе овражно-балочной сети.

При выборе территорий для анализа скоростей разрастания лесов учитывался ряд условий, о которых уже говорилось выше. Детальное изучение процессов разрастания лесных массивов, выполненное на каждом анализируемом участке, позволило получить количественные данные о скорости линейных приращений лесных массивов и выполнить её анализ на склонах разных экспозиций (рис. 5, табл. 5). Замер приращений производился через интервал 15 м на местности. Суммарная выборка составила 477 измерений на склонах северной экспозиции и 288 измерений — на склонах южной.

Таблица 5. Скорость линейных приращений лесных массивов в 1970–2014 гг. на западном, центральном и восточном ключевых участках Белгородской области

Экспозиция	Число измерений	Общая длина приращений, м	Средняя длина приращений, м	Максимальная длина приращений, м	Минимальная длина приращений, м	Скорость, м/10 лет
1-й, Западный участок (бассейн р. Псёл)						
Северная	176	3460	19,6	56,6	5,0	4,4
Южная	115	2710	23,5	46,3	5,0	5,3
2-й, Центральный участок (бассейн р. Оскол)						
Северная	121	3010	24,9	63,1	7,3	5,6
Южная	87	1156	13,3	43,8	5,4	3,0
3-й, Восточный участок (бассейн р. Айдар)						
Северная	150	2265	15,1	27,0	5,0	3,4
Южная	86	1294	15,0	43,1	7,3	3,4

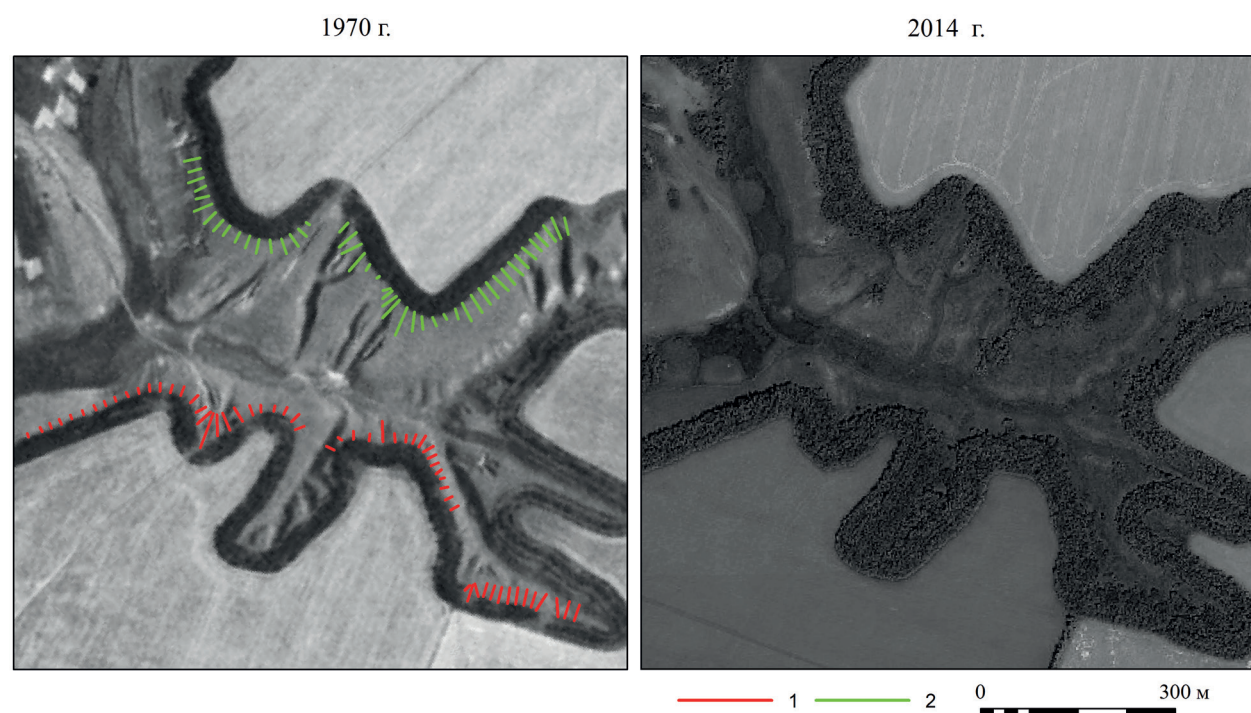


Рис. 5. Пример идентификации линейных приращений лесных массивов за период 1970–2014 гг. (показаны на снимке 1970 г.). 1 — приращения на склонах северной экспозиции; 2 — приращения на склонах южной экспозиции

Данные в *табл. 5* фактически отражают скорость естественного лесообразования. В соответствии с выбранными для анализа ключевыми участками, подбор выборки для склонов северной экспозиции был проще в силу большей репрезентативности именно таких склонов. Из *табл. 5* видно, что заметные различия в средних скоростях приращений наблюдаются между участками, расположенными в зоне лесостепи, и степным участком (№ 3). Скорость линейных приращений лесных массивов оказалась выше на лесостепных участках по сравнению с показателем, характерным для северной части степной зоны: в среднем скорость линейных приращений лесных массивов для лесостепной зоны составила 4,6 м/10 лет, а для луговой степи — 3,4 м/10 лет (см. *табл. 5*).

Важно отметить, что статистически значимых различий в скоростях разрастания лесных массивов на склонах разных экспозиций не было выявлено как для двух лесостепных участков, так и для степного участка. Скорость разрастания лесов на склонах северной и южной экспозиции для степной зоны оказалась одинаковой, а для зоны лесостепи для неё характерны определённые различия, но они статистически незначимы. Этот вывод получен с учётом того, что на западном участке (наиболее влажном в климатическом отношении) на северных склонах скорость была ниже, чем на южных склонах, а на втором лесостепном участке была выявлена обратная тенденция.

Важным с точки зрения проведённых наблюдений является то, что территориальный анализ приращений в границах отдельных лесных участков показал существенные различия линейных скоростей разрастания лесов даже на небольшом удалении точек исследования. Исходя из этого можно предположить, что основополагающим фактором, определяющим продвижение границы лесопокрываемых земель в подобных случаях, является совокупность геоморфологических и почвенных лесорастительных условий. В частности, на участках склонов, получающих дополнительную влагу вследствие поверхностного и грунтового стока, обеспечиваются более благоприятные условия для роста древесной растительности.

Вместе с тем основной причиной увеличения лесистости были благоприятные климатические условия, обусловленные трендовым повышением температур холодного периода года и ростом количества выпадавших годовых атмосферных осадков в конце XX — начале XXI вв.

Важно добавить, что ключевым фактором распространения древесной растительности может также являться тип древесной породы, доминирующий в конкретном лесном насаждении.

Ещё одна особенность распространения границы леса связана с тем, что, согласно нашим наблюдениям, зарастание оврагов и балок, расположенных внутри лесных массивов, с разных сторон чаще происходило быстрее, чем продвижение границы лесов по склонам, где распространение древесной растительности идёт с одной стороны.

Таким образом, рост лесистости мог быть обусловлен рядом факторов, включающих влияние климатических изменений, почвенные и геоморфологические условия, искусственное лесоразведение (благодаря высадке лесополос). Последний фактор был проявлен в меньшей степени по сравнению с естественными факторами увеличения лесистости.

Выводы

С использованием разновременных спутниковых данных исследована динамика лесистости на юге Среднерусской возвышенности за период с 1970 по 2014 г. На основе данных, полученных на трёх ключевых участках, отличающихся гидротермическими условиями, установлен рост лесистости, характерный как для лесостепной зоны, так и для приграничных с лесостепью участков степной зоны. На первом участке (современный ГТК 1,17) лесистость выросла с 9,4 до 15,1 %, на втором (ГТК 1,0) — с 22,3 до 27,5 %, на третьем (ГТК 0,85) — с 2,9 до 5,9 %.

На основе анализа разновременных снимков Landsat TM, полученных в период 1986–2011 гг., установлено, что на всех ключевых участках произошло статистически значимое снижение коэффициентов отражения в средней инфракрасной области (1,55–1,75 мкм), обусловленное

увеличением площади лесных ареалов. Увеличение площади лесопокрытых земель произошло за счёт зарастания лесами овражно-балочной сети, появления групп деревьев вблизи ранее существовавших лесных массивов, расширения границ лесных массивов. За оцениваемый временной интервал на каждом из исследуемых участков произошёл рост количества лесных массивов, однако при этом наблюдалось снижение их средней площади — главным образом за счёт появления небольших по размерам участков леса. Для условий лесостепи скорость линейных приращений лесных ареалов оказалась более высокой по сравнению с территорией севера степной зоны: 4,6 м/10 лет и 3,4 м/10 лет соответственно. Существенных различий в скорости линейного роста лесных массивов на склонах северной и южной экспозиции не выявлено.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-17-00171.

Литература

1. *Архипова М. В.* Изменение площади лесов на Среднерусской возвышенности за последние 250 лет // *Лесоведение*. 2014. № 3. С. 23–30.
2. *Бугаев В. А., Ревин А. И., Мусиевский А. Л.* Динамика лесного фонда Центрального Черноземья // *Лесное хозяйство*. 2006. № 3. С. 41–42.
3. *Жиринов В. М., Князева С. В., Эйдлина С. П.* Использование материалов съёмок при оценке восстановительной динамики лесов на равнинных территориях // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2011. Т. 8. № 2. С. 208–216.
4. *Кузьменко Я. В., Лисецкий Ф. Н., Кириленко Ж. А., Григорьева О. И.* Обеспечение оптимальной водоохранной лесистости при бассейновой организации природопользования // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013. Т. 15. № 3–2. С. 652–657.
5. *Курбанов Э. А., Воробьев О. Н., Лежнин С. А., Губаев А. В., Полевщикова Ю. А.* Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности. Йошкар-Ола: Поволжский гос. технологич. ун-т, 2015. 132 с.
6. *Лебедева М. Г., Крымская О. В.* Проявление современных климатических изменений в Белгородской области // *Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Серия: Естественные науки*. 2008. Т. 3. № 6. С. 188–196.
7. *Мусиевский А. Л.* Динамика лесистости и структуры лесного фонда Воронежской области // *Лесотехнический журнал*. 2013. № 3(11). С. 13–21.
8. *Новикова Е. П., Григорьев Г. Н., Вагурин И. Ю., Чумейкина А. С.* Вариации гидротермического режима в Черноземье за последние 30 лет на фоне глобального изменения климата // *Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Серия: Естественные науки*. 2017. Т. 39. № 11(260). С. 105–113.
9. *Постолов В. Д., Недикова Е. В., Крюкова Н. А.* Лесистость территории и ее оптимальность для условий ЦЧО // *Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации*. 2005. № 2(15). С. 95–96.
10. *Терехин Э. А.* Анализ каналов спутниковых данных Landsat TM для оценки характеристик лесных насаждений Лесостепной провинции Среднерусской возвышенности // *Исследование Земли из космоса*. 2012. № 2. С. 53–61.
11. *Терехин Э. А.* Геоинформационное картографирование изменений в лесах на основе спутниковых снимков (на примере Белгородской области) // *География и природные ресурсы*. 2016. № 4. С. 174–181.
12. *Чендев Ю. Г.* Эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. М.: ГЕОС, 2008. 212 с.
13. *Baumann M., Ozdogan M., Radeloff V. C., Kuemmerle T., Wendland K. J., Esipova E.* Using the Landsat record to detect forest-cover changes during and after the collapse of the Soviet Union in the temperate zone of European Russia // *Remote Sensing of Environment*. 2012. V. 124. P. 174–184.
14. *Gao J., Liu Y.* De(re)forestation and climate warming in subarctic China // *Applied Geography*. 2012. V. 32. P. 281–290.
15. *Lutz D. A., Washington-Allen R. A., Shugart H. H.* Remote sensing of boreal forest biophysical and inventory parameters: a review // *Canadian J. Remote Sensing*. 2008. V. 34. No. 2. P. 286–313.
16. *Terekhin E. A.* Influence of the Forest Ecosystems Disturbance on their Spectral Reflectance Properties Dynamics // *Biogeosystem Technique*. 2017. No. 4 (1). P. 95–108.

17. Zhang J., Pham T.-T.-H., Kalacska M., Turner S. Using Landsat Thematic Mapper records to map land cover change and the impacts of reforestation programmes in the borderlands of southeast Yunnan, China: 1990–2010 // Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. V. 31. P. 25–36.

Estimation of forest cover changes during modern period in the south of the Central Russian Upland using multiyear remote sensing data

E. A. Terekhin, Yu. G. Chendev

Belgorod State National Research University, Belgorod 308015, Russia
E-mails: *terekhin@bsu.edu.ru, chendev@bsu.edu.ru*

Modern reforestations in the south of Central Russian Upland were studied using multiyear satellite images of high spatial resolution. The study was carried out in 3 key areas (total area of 886 km²) located on the territory of the Belgorod region. Dynamic of forest cover change was studied during 1970–2014. The increase in forest cover for the forest-steppe and the northern steppe was established. In the forest-steppe western key area, the forest cover increased from 9.4 to 15.1 %, in the forest-steppe eastern key area — from 22.3 to 27.5 %, in the steppe key area — from 2.9 to 5.9 %. A statistically significant decrease in the infrared reflectance of the territory, due to the increase in the area of forest cover, was identified using multiyear Landsat TM images. The growth of ravines by forest, the appearance of groups of trees near forest tracts and the widening of forest boundaries are the reasons for the increase in forest cover. The increase in the number of forest tracts occurred at each of the key areas. At the same time, their average area decreased, mainly due to the appearance of small forest tracts. Thus, an increase in the mosaic of forest-covered lands of the region is observed. For forest-steppe conditions, the speed of linear increments of forest tracts was higher than in the north of the steppe zone — 4.6 m/10 years and 3.4 m/10 years, respectively. There were no significant differences in the speed of linear growth of forest tracts on the slopes of the northern and southern exposures.

Keywords: forest, forest cover percent, Central Russian Upland, satellite imagery, dynamics, Landsat

Accepted: 11.04.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-114-126

References

1. Arkhipova M. V., *Izmenenie ploshchadi lesov na Srednerusskoi vozvyshechnosti za poslednie 250 let (Change in the forest area of Central Russian Upland during the last 250 years)*, *Lesovedenie*, 2014, No. 3, pp. 23–30.
2. Bugaev V. A., Revin A. I., Musievskii A. L., *Dinamika lesnogo fonda Tsentral'nogo Chernozem'ya (Dynamics of the forest fund of the Central Chernozem Region)*, *Lesnoe khozyaistvo*, 2006, No. 3, pp. 41–42.
3. Zhirin V. M., Knyazeva S. V., Eidlina S. P., *Ispol'zovanie materialov s'emok pri otsenke vosstanovitel'noi dinamiki lesov na ravninnykh territoriyakh (Application of space images for reforestation dynamics evaluating on the plane territories)*, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 2, pp. 208–216.
4. Kuz'menko Ya. V., Lisetskii F. N., Kirilenko Zh. A., Grigor'eva O. I., *Obespechenie optimal'noi vodokhrannoi lesistosti pri basseinovoii organizatsii prirodopol'zovaniya (Providing the optimum water protection forests amount at basin organization of nature management)*, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2013, Vol. 15, No. 3-2, pp. 652–657.
5. Kurbanov E. A., Vorob'ev O. N., Lezhnin S. A., Gubaev A. V., Polevshchikova Yu. A., *Tematicheskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validatsiya i otsenka tochnosti (Thematic mapping of vegetation cover from satellite imagery: validation and estimation of accuracy)*, *Yoshkar-Ola: Povolzhskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet*, 2015, 132 p.

6. Lebedeva M. G., Krymskaya O. V., Proyavlenie sovremennykh klimaticheskikh izmenenii v Belgorodskoi oblasti (The manifestation of modern climate change in the Belgorod region), *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* (Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences), 2008, Vol. 3, No. 6, pp. 188–196.
7. Musievskii A. L., Dinamika lesistosti i struktury lesnogo fonda Voronezhskoi oblasti (Dynamics of forest cover and forest fund structure of the Voronezh region), *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2013, No. 3(11), pp. 13–21.
8. Novikova E. P., Grigor'ev G. N., Vagurin I. Yu., Chumeikina A. S., Variatsii gidrotermicheskogo rezhima v Chernozem'e za poslednie 30 let na fone global'nogo izmeneniya klimata (Variations of the hydrothermal regime in the Black Earth region over the last 30 years against the backdrop of global climate change), *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* (Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences), 2017, Vol. 39, No. 11(260), pp. 105–113.
9. Postolov V. D., Nedikova E. V., Kryukova N. A., Lesistost' territorii i ee optimal'nost' dlya uslovii TsChO (Woodiness of the territory and its optimality for the conditions of the Central Chernozem Region), *Ekologiya Tsentral'no-Chernozemnoi oblasti Rossiiskoi Federatsii*, 2005, No. 2(15), pp. 95–96.
10. Terekhin E. A., Analiz kanalov sputnikovyykh dannykh landsat TM dlya otsenki kharakteristik lesnykh nazhdenii Lesostepnoi provintsii Srednerusskoi vozvyshennosti (Analysis of satellite data channels landsat TM for the estimation of forest stand parameters of the Forest-steppe province of the Central Russian Upland), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2012, No. 2, pp. 53–61.
11. Terekhin E. A., Geoinformatsionnoe kartografirovanie izmenenii v lesakh na osnove sputnikovyykh snimkov (na primere Belgorodskoi oblasti) (Geoinformation mapping of changes in forests using satellite images (exemplified by Belgorod oblast)), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2016, No. 4, pp. 174–181.
12. Chendev Yu. G., *Evolyutsiya lesostepnykh pochv Srednerusskoi vozvyshennosti v golotsene* (Evolution of forest-steppe soils of the Central Russian Upland in the Holocene), Moscow: GEOS, 2008, 212 p.
13. Baumann M., Ozdogan M., Radeloff V. C., Kuemmerle T., Wendland K. J., Esipova E., Using the Landsat record to detect forest-cover changes during and after the collapse of the Soviet Union in the temperate zone of European Russia, *Remote Sensing of Environment*, 2012, Vol. 124, pp. 174–184.
14. Gao J., Liu Y., De(re)forestation and climate warming in subarctic China, *Applied Geography*, 2012, Vol. 32, pp. 281–290.
15. Lutz D. A., Washington-Allen R. A., Shugart H. H., Remote sensing of boreal forest biophysical and inventory parameters: a review, *Canadian J. Remote Sensing*, 2008, Vol. 34, No. 2, pp. 286–313.
16. Terekhin E. A., Influence of the Forest Ecosystems Disturbance on their Spectral Reflectance Properties Dynamics, *Biogeosystem Technique*, 2017, Vol. 4(1), pp. 95–108.
17. Zhang J., Pham T.-T.-H., Kalacska M., Turner S., Using Landsat Thematic Mapper records to map land cover change and the impacts of reforestation programmes in the borderlands of southeast Yunnan, China: 1990–2010, *Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, Vol. 31, pp. 25–36.