

УДК 528.88:630\*181.351

## АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕСИСТОСТИ НА ЮГЕ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ<sup>1</sup>

© 2019 г. Э. А. Терехин<sup>а</sup>, \*, Ю. Г. Чендев<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015 Белгород, ул. Победы, 85

\*E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Поступила в редакцию 15.03.2018 г.

После доработки 14.06.2018 г.

Принята к публикации 04.02.2019 г.

Представлены результаты оценки динамики лесистости на юге лесостепи Среднерусской возвышенности (территория Белгородской области), полученные методом анализа детальных архивных и современных спутниковых снимков. Экспериментальные результаты основаны на анализе данных с 5 участков общей площадью 1722 км<sup>2</sup>, репрезентативно отражающих разнообразные физико-географические условия региона. На исследуемой территории в период 1970–2014 гг. установлен рост лесистости на 31% от уровня 1970 г. Отмечен рост мозаичности лесопокрываемых земель: возросло количество лесных массивов на 87% и уменьшился средний размер единичного лесного ареала с 13.0 до 9.2 га. На территории Белгородской области в направлении с северо-запада на юго-восток наблюдается тренд снижения средней величины линейного прироста границы лесов. Наибольшие величины продвижения границ лесных ареалов в период 1970–2014 гг. зафиксированы в наиболее влажной западной части региона – 34.3 м, а наименьшие – в наиболее засушливой юго-восточной части – 15.0 м. По совокупности данных со всех ключевых участков (1285 измерений), среднее расстояние, на которое произошло продвижение границ лесов от первоначального (в 1970 г.) положения, составило 24 м. Расстояния, на которые произошло расширение границы лесов, для лесостепной и степной зон Белгородской области статистически значимо различны. Достоверных различий в линейных приращениях лесных массивов на склонах балок и речных долин северной и южной экспозиций не обнаружено.

*Ключевые слова:* лесистость, динамика лесов, Среднерусская возвышенность, лесостепь, спутниковые снимки.

DOI: 10.1134/S0024114819030094

Оценка процессов лесовозобновления и изменения лесистости необходима для получения объективных представлений о тенденциях развития растительного покрова. Особую актуальность решение этой задачи приобретает для территорий, ландшафты которых были существенно преобразованы в результате хозяйственной деятельности. Примером такого региона выступает юг Среднерусской возвышенности, где основную часть занимают аграрные угодья, а лесопокрываемые земли, ранее охватывавшие значительные площади (Чендев, 2008; Архипова, 2014), претерпели существенные изменения, преимущественно в результате вырубок. Одним из следствий этого явилась высокая фрагментированность лесных массивов (Михно, 2012; Украинский и др., 2017). Лесовосста-

новление здесь необходимо для улучшения воспроизводства почвенных и агроклиматических ресурсов, а также в целом для оптимизации экологического состояния региона (Постолов и др., 2005; Кузьменко и др., 2013).

На основе анализа многолетних климатических данных установлено, что на территории Центрального Черноземья с начала 1980-х по 2010 гг. произошло повышение среднегодовой температуры на 1.0–1.3°C, выросла среднегодовая сумма осадков, на 10–12 дней сократился зимний период. Обозначенные факторы способствовали увеличению длительности периода биологической активности (Лебедева, 2008; Новиков и др., 2017). Динамика климатических факторов должна была закономерно отразиться на растительном покрове и его развитии, включая тенденции в динамике и темпах изменения лесистости, что

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Проект № 14-17-00171).

определяет актуальность проведенного исследования.

Разновременные космические снимки являются одним из наиболее эффективных источников информации для решения ряда задач мониторинга лесов (Borrelli, 2014; Schmidt et al., 2015; Жирин и др., 2016), к которым относится и оценка пространственно-временных изменений лесопокрытых земель (Потапов и др., 2008; Щепашенко и др., 2015; Potarov et al., 2015). Совместное использование архивных и современных снимков высокого пространственного разрешения дает возможность численно оценить динамику ареалов лесной растительности на протяжении многих десятилетий.

Цель настоящего исследования заключалась в оценке пространственно-временных изменений лесистости на территории юга Среднерусской возвышенности (анализе контуров и площадей лесных ареалов, а также изменения положения их границ) на основе использования материалов высокодетальной архивной и современной спутниковой съемки за период 1970–2014 гг. В рамках указанной цели решались следующие основные задачи: определение тенденций в изменении лесистости в регионе и ее количественная оценка; анализ расстояний, на которые произошло продвижение границ лесных массивов, в том числе, на склонах разных экспозиций, а также в условиях лесостепной и степной зон.

Положенный в основу исследования, анализ разновременных спутниковых снимков высокого пространственного разрешения позволил добиться значительной репрезентативности исходных данных, а также их широкого пространственного охвата. Разновременные материалы дистанционного зондирования выступали единственным достоверным источником такого высокого качества, позволившим провести запланированное исследование.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Экспериментальное исследование было выполнено на территории Белгородской области. Большая часть региона соответствует лесостепной зоне, а крайний юго-восток — зоне степи. Гидротермический коэффициент изменяется от 1.25 на северо-западе до 0.97 на юго-востоке.

Леса области представлены преимущественно нагорными, водораздельными и байрачными дубравами, основу которых составляют дуб черешчатый и ясень. Особенностью покрытых лесом земель является широкое распространение небольших по площади лесных массивов (Терехин, 2016).

Оценка направленности и скорости лесообразования требовала высокой детальности космических

снимков, чтобы объективно оценить пространственно-временные изменения границ лесных массивов и численно изучить этот процесс. Для этого на территории региона нами было выбрано 5 ключевых участков, общей площадью 1722 км<sup>2</sup> (рис. 1), на каждый из которых были подобраны пары разновременных спутниковых снимков с пространственным разрешением 2 м/пиксель. Ключевые участки исследования были выбраны таким образом, чтобы репрезентативно отразить совокупность физико-географических и лесорастительных условий юга Среднерусской возвышенности (в частности, учитывались гидротермические и геоморфологические особенности изучаемого региона). Размещение участков производили с учетом анализа картосхем распределения температуры и осадков, при соблюдении идентичности геоморфологических условий по густоте выявляемых эрозионных форм долинно-балочной сети с использованием Атласа (Природные ..., 2005). Площадь участка 1 составляла 420.7 км<sup>2</sup>, участка 2 — 415.1 км<sup>2</sup>, участка 3 — 304.0 км<sup>2</sup>, участка 4 — 261.2 км<sup>2</sup>, участка 5 — 321.2 км<sup>2</sup>.

Космические снимки на начальную анализируемую дату были созданы системой CORONA ([https://lta.cr.usgs.gov/declass\\_1](https://lta.cr.usgs.gov/declass_1)) в летний период 1970 г.; данные были получены из ресурса Earth Explorer Национальной геологической службы USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Спутниковые данные указанной серии аппаратов являются наиболее детальными космическими изображениями для периода 1960–1970-х гг. и предоставляют уникальную возможность для ретроспективной оценки изменения компонентов окружающей среды, включая леса.

Спутниковые снимки современного периода получены с ресурса ArcGIS World Imagery ([https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World\\_Imagery/MapServer](https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer)) и включали мозаики изображений с разрешением 2 м/пиксель, полученных в летний период 2014 г. Таким образом, временной интервал исследования между двумя датами съемок составил 45 лет.

Для объективного анализа территориальных изменений, произошедших в границах лесных массивов за оцениваемый период, для всех используемых спутниковых данных были проведены географическая привязка и геометрическая коррекция. Данные виды работ выполнялись в программах ERDAS IMAGINE и ArcGIS. Соответствующие процедуры позволили точно совместить разновременные изображения между собой, что являлось ключевым условием анализа произошедших изменений границ лесных ареалов.

После этого в пределах каждого ключевого участка в геоинформационной среде ArcGIS было проведено детальное сплошное картографирование лесопокрытых земель на анализируемые даты. Оно было выполнено путем ручной оцифров-

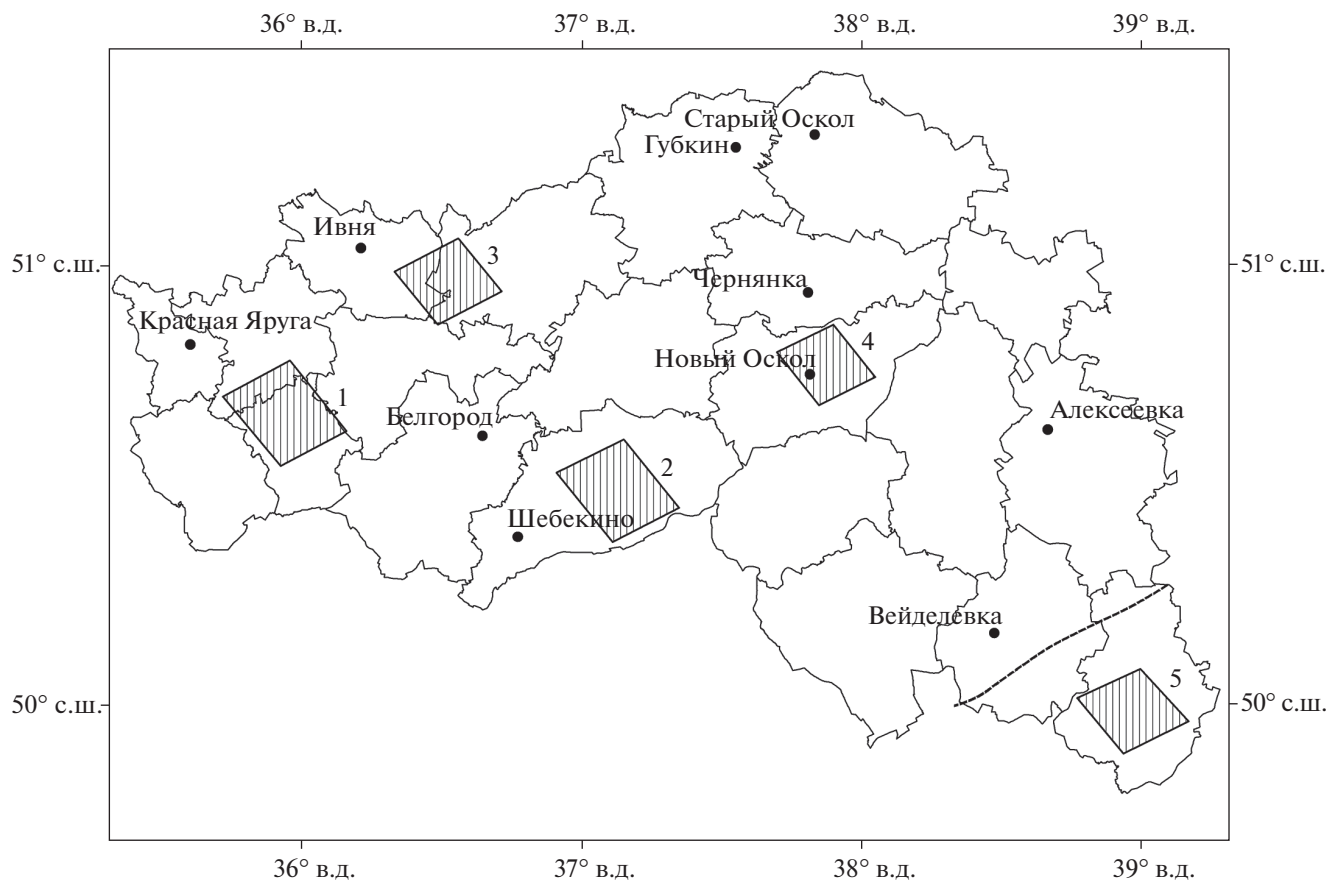


Рис. 1. Местоположение участков исследования (1–5) на территории Белгородской области. Пунктиром показана граница между лесостепной и степной зонами.

ки контуров ареалов древесной растительности по географически привязанным космическим снимкам. Подобным образом дешифрирование лесных массивов было проведено на каждом анализируемом участке и позволило учесть в исследовании несколько тысяч лесных ареалов. При анализе используемых спутниковых данных оказалось возможным учесть даже небольшие изменения, включающие появление или исчезновение небольших групп деревьев площадью в несколько сотен квадратных метров и, что очень важно, точно идентифицировать изменения в границах лесных ареалов. В результате были подготовлены векторные слои, характеризующие территориальные особенности покрытых лесом земель в 1970 и 2014 гг. Подробный учет даже небольших лесных массивов (площадью 100–1000 м<sup>2</sup>) был важен для достоверной оценки изменения лесистости в регионе вследствие высокой мозаичности и фрагментированности лесных насаждений (Терехин, 2016). Небольшие по площади леса вносят заметный вклад в суммарную площадь лесопокрываемых земель; при этом их учет был бы проблематичен при изучении лесистости по менее детальным спутниковым материалам.

На основе полученных данных была сформирована аналитическая выборка, позволившая численно проанализировать изменения в площади и параметрах лесопокрываемых земель, произошедшие за рассматриваемый период. Статистический анализ полученных данных был выполнен в программе STATISTICA. Он включал оценку изменения общей площади лесов, средней площади лесных массивов и их числа.

Основной экспериментальный этап заключался в оценке направленности процесса лесообразования и численном анализе темпов изменений положения границ лесных массивов. Результаты ГИС-картографирования покрытых лесом земель позволили на каждом ключевом участке выполнить пространственно-временную оценку изменения лесопокрываемых земель и подобрать полигоны для анализа трансформаций границ лесных участков. В настоящем исследовании выполнена оценка линейных скоростей изменения границ лесов на склонах речных долин и балочных систем северной и южной экспозиции. Оценка скоростей (м/10 лет) проводилась на основе анализа выборки из замеров расстояний, на которые про-

изошло продвижение границы лесов за анализируемый период.

Сравнение линейных скоростей продвижения границ лесных массивов на склонах северной и южной экспозиций было проведено, исходя из предположения, согласно которому лесорастительные условия на склонах контрастных (полярных) экспозиций, отличающихся параметрами освещения и увлажнения, могли оказать влияние на интенсивность появления лесов и, в частности, на скорость линейного распространения их границ. Замеры проводились на совокупности тестовых лесных участков, выбранных с учетом нижеследующих критериев.

1. Лесные участки подобраны таким образом, чтобы территория склона, на которой они расположены, не должна быть ограничена автомобильными или железными дорогами, населенными пунктами, сельскохозяйственными угодьями, особенно пахотными землями. Выполнение этого условия было осложнено тем, что в Белгородской области лесные массивы часто расположены среди сельскохозяйственных угодий или рекреационных зон. Тем не менее, удалось подобрать репрезентативную выборку лесных участков, на которых были выполнены соответствующие измерения. При оценке репрезентативности выборки исходили из того, что проводимые измерения должны охватывать группу склонов, обращенных на север и на юг, а также из того, что общее число измерений должно быть не менее нескольких сотен.

2. Экспозиция склона должна определяться на основе совместного анализа географически привязанного снимка и цифровой модели местности, в качестве которой нами были использованы свободно распространяемые данные SRTM (пространственное разрешение 30 м). Используемые снимки, благодаря высокой детальности и геопривязке позволили достоверно определить экспозиции склонов, а данные SRTM привлекались для анализа, так как позволяли территориально оценить распространение склонов северных и южных экспозиций.

Экспериментально выборка была сформирована в результате измерения в геоинформационной системе расстояний между границами лесных массивов в 1970 и в 2014 гг. Оценка расстояний, на которые произошло продвижение границ лесных массивов в период 1970–2014 гг., включала анализ их линейных приращений на склонах полярных экспозиций и сравнение средней величины приращений границ лесных ареалов на исследованных участках. Полученные данные, в свою очередь, позволили оценить среднюю скорость изменения положения границ лесов на 5 изученных участках.

Следующий этап исследования состоял в статистическом анализе полученных данных. Он

включал определение среднего расстояния, на которое произошло смещение границы лесных массивов, и оценку стандартного отклонения. После этого была рассчитана скорость линейного изменения для положения границ лесов, проведено ее сравнение на склонах контрастных экспозиций, осуществлен анализ произошедших изменений для территории лесостепной и степной зон.

На заключительном этапе полученные результаты анализировались сопряженно с тенденциями в динамике климатических параметров, наблюдавшихся в южной части лесостепи Среднерусской возвышенности за изучаемый период. Согласно результатам наблюдений на метеостанциях, расположенных в пределах юга Среднерусской возвышенности (Белгород, Богородицкое-Фенино, Валуйки) выполнялось сравнение полученных результатов с изменением температуры воздуха и количества осадков. Полученные результаты также сравнивались с изменением продолжительности зимнего периода.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка пространственно-временных изменений лесопокрываемых земель показала, что на каждом ключевом участке исследований наблюдается четко выраженная тенденция увеличения во времени площади лесов. Территориально она проявляется в расширении границ лесных массивов, зарастании лесом овражно-балочной сети, появлении новых лесных участков, главным образом, за счет небольших групп деревьев (рис. 2). Процесс расширения площади лесных массивов наблюдался на тех территориях, где этому не препятствовали примыкающие во многих местах к лесам аграрные угодья, дорожная сеть и населенные пункты. Такими участками являлись пологие и покатые склоны балок и в некоторых случаях – склоны речных долин, покрытые лугово-степной растительностью (сенокосные угодья и выгоны).

Детальное картографирование лесопокрываемых земель на разные временные срезы позволило получить численные данные о динамике лесистости региона на основе выборки, насчитывающей несколько тысяч лесных массивов.

На основе данных, полученных на 5 ключевых участках, установлено, что в целом по исследуемой территории за период 1970–2014 гг. лесистость выросла на 31% от уровня 1970 г. (табл. 1), что является существенной величиной. Наибольшая современная лесистость (29%) отмечена на крайнем западном участке, наименьшая (6%) характерна для юго-восточного (степного) участка. Из данных табл. 1 видно, что значение лесистости на начальную и конечную анализируемые даты, на юго-востоке региона (север степной зоны) существенно отличается от лесистости на осталь-

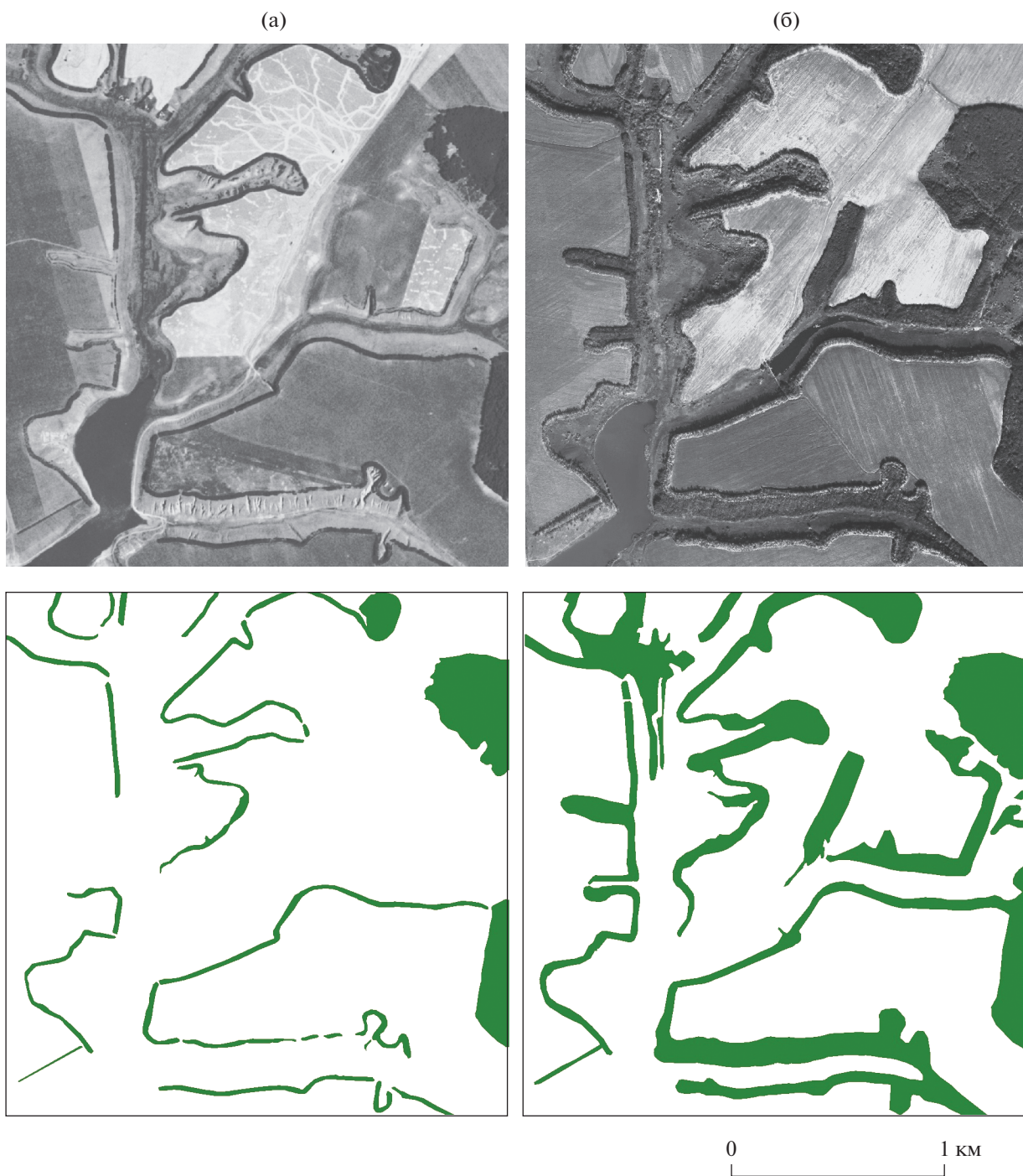


Рис. 2. Пример изменения лесистости на юге Среднерусской возвышенности в период с 1970 г. (а) по 2014 г. (б).

ных тестовых участках (лесостепная зона). При этом тенденция роста лесистости четко прослеживается на каждом из них. Исходя из того, что рост лесистости был отмечен на всех анализируемых участках, расположенных в разных частях изучаемой территории, положительную динамику лесистости следует считать не случайным совпадением тенденций, а реально протекающим

процессом. Другими словами, обнаруженное увеличение лесистости за последние десятилетия можно считать региональной закономерностью в динамике растительного покрова на юге лесостепи Среднерусской возвышенности.

Увеличение лесистости сопровождалось повышением степени мозаичности лесопокрываемых земель. За анализируемый период средняя пло-

**Таблица 1.** Характеристики изменения лесопокрытых земель в период 1970–2014 гг., оцененные на ключевых участках Белгородской области

Участок	Площадь лесов, га		Средняя площадь лесного массива, га		Лесистость, % от общей площади	
	1970 г.	2014 г.	1970 г.	2014 г.	1970 г.	2014 г.
1	9103.1	12099.9	13.5	8.4	21	29
2	8943.2	10824.3	18.2	14.7	22	26
3	2855.3	4594.8	12.5	8.8	9	15
4	5829.1	7171.8	14.7	11.4	22	27
5	939.6	1907.1	2.8	2.9	3	6
Всего	27670.2	36598.0	13.0	9.2	16	21

**Таблица 2.** Параметры линейных приращений лесных массивов в 1970–2014 гг., оцененные на ключевых участках Белгородской области

Участок	Число измерений		Средняя длина приращений, м		Скорость м/10 лет	
	северная экспозиция	южная экспозиция	северная экспозиция	южная экспозиция	северная экспозиция	южная экспозиция
1	175	137	33.1	35.9	7.5	8.2
2	147	91	26.9	24.3	6.1	5.5
3	176	115	19.6	23.5	4.4	5.3
4	121	87	24.9	13.3	5.6	3.0
5	150	86	15.1	15.0	3.4	3.4
Всего	769	516	24.0	23.8	5.4	5.4

щадь единичного лесного массива снизилась с 13.0 до 9.2 га, что произошло на фоне роста общей площади лесов. На анализируемых ключевых участках число лесных массивов выросло с 2122 в 1970 г. до 3975 в 2014 г., т.е. на 87%. При этом в наименьшей степени рост мозаичности был выражен в степной зоне, где на фоне общего роста площади лесов средняя площадь одиночного лесного массива практически не изменилась.

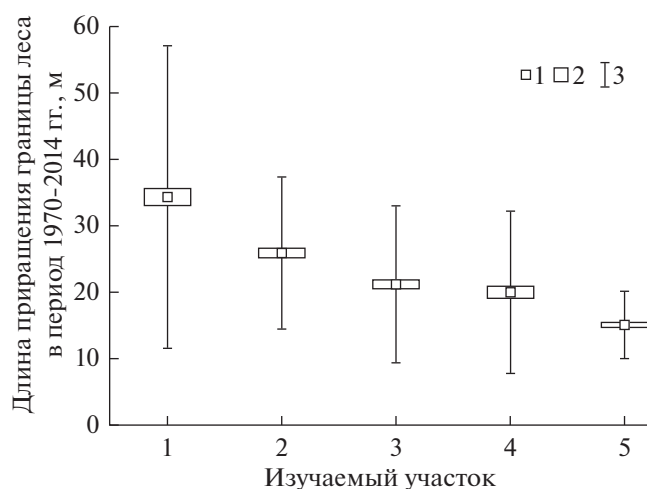
Анализ выборки из измеренных границ линейных приращений лесных массивов позволил получить численные значения расстояний, на которые произошло продвижение границ лесов, и скорости произошедших изменений.

Суммарная экспериментальная выборка включала 769 измерений на склонах северной экспозиции и 516 – на склонах южной экспозиции (табл. 2).

Сравнение длин приращений на склонах разных экспозиций, проведенное по полученным данным на основе величины *t*-критерия Стьюдента, показало, что на участках 1, 2 и 5 статистически значимых различий в длинах приращений на склонах северной и южной экспозиции не установлено. На участках 3 и 4 значимые различия выявлены, но при этом на участке 3 более высокой оказалась длина приращений на южных склонах, а на участке 4 – на северных. Анализ совокупной выборки со всех 5 ключевых участков показал, что значимых различий в длинах приращений на склонах северной и южной экспозиций (при их средней крутизне в 4°–5°) не выявлено.

Оценка показала, что средние расстояния, на которые произошло продвижение границ лесных массивов за 45 лет, значительно различаются на всех участках, кроме 3-го и 4-го (оба расположены в условиях лесостепи). Среднее расстояние (для склонов обеих экспозиций) на которое произошло распространение границы леса на 1-м, самом западном участке, составило 34.3 м, на 2-м – 25.9 м, 3-м – 21.2 м, 4-м – 20.0 м, 5-м (степном) – 15.0 м. Таким образом, сравнение длин приращений на ключевых участках, проведенное методом дисперсионного анализа, показало, что в пределах региона наблюдается их закономерное уменьшение в направлении с запада на восток (рис. 3).

На основе полученных результатов установлено, что с 1970 по 2014 г. в регионе наблюдался рост лесистости на 31% от ее величины на начальную оцениваемую дату. При этом выявляется рост мозаичности лесных массивов, проявляющийся в увеличении числа лесных массивов при снижении их средней площади. Увеличение лесистости было характерно как для условий лесостепи, так и для северной части степной зоны. Оценка расстояний, на которые произошло продвижение границ лесных ареалов, показало, что наибольшая величина линейного приращения лесных массивов была характерна для самого западного участка и составила 34.5 м. Наименьшая величина линейного приращения границы леса отмечена на самом юго-восточном участке – 15 м. Этот участок, в отличие от остальных, расположен в се-



**Рис. 3.** Характеристики средних расстояний, на которые произошло продвижение границ лесных массивов в период 1970–2014 гг. на ключевых участках исследования. 1 – среднее, 2 – среднее и стандартная ошибка среднего, 3 – стандартное отклонение.

верной части степной зоны. Статистическая оценка показала, что достоверных различий в расстояниях, на которые произошло продвижение границы леса, на северных и южных склонах не выявлено.

Увеличение лесистости может быть объяснено рядом причин. Наиболее важной из них являются благоприятные для роста лесистости климатические условия, проявившиеся в сокращении на 10–12 дней продолжительности зимнего периода, увеличении его средней многолетней температуры на 1.4–1.6°C и росте годового количества осадков в период 1980–2010-х гг. (Лебедева, Крымская, 2008; Новикова и др., 2017). Так, по данным метеостанций (Белгород, Валуйки, Богородицкое-Фенино) в регионе рост годового количества осадков в период 1980–2010 гг. в сравнении со среднемноголетним составил 48 мм.

Росту лесных массивов, вероятно, могли также способствовать геоморфологические условия, а именно развитая долинно-балочная сеть, перераспределяющая сток атмосферных осадков, влияющая на характер грунтового увлажнения, а через них – на интенсивность лесообразования. Однако этот вопрос требует отдельного рассмотрения.

Кроме того, в отдельных местах на увеличение лесистости мог влиять антропогенный фактор, который фрагментарно проявлялся в образовании лесных полос, создаваемых вдоль сильно развитой в регионе овражно-балочной сети.

На территории исследования в том же направлении, в котором происходит снижение интенсивности линейных приращений границ лесных массивов, также наблюдается снижение значений гидротермического коэффициента (Лебеде-

ва, Крымская, 2008). Таким образом, меньшая скорость лесообразования на степном юго-востоке Белгородской области могла быть обусловлена более засушливыми климатическими условиями этой территории.

**Заключение.** Для юга Среднерусской возвышенности за период с 1970 по 2014 гг. установлен рост лесистости на 31% от уровня 1970 г. – с 16 до 21% от общей исследованной площади. За этот же период в регионе выявлено повышение мозаичности лесопокрываемых земель, отразившееся в росте числа лесных массивов (на 87% от уровня 1970 г.) с одновременным снижением средней площади единичного лесного участка с 13 до 9.2 га на фоне роста общей площади лесопокрываемых земель. Оценка расстояний, на которые с 1970 по 2014 г. произошло продвижение границы лесов, показала, что его наибольшая величина характерна для самого влажного в климатическом отношении западного участка Белгородской области, а наименьшая – для юго-восточного участка, соответствующего степной зоне. Скорость линейных приращений лесных массивов в регионе изменялась от 7.8 м/10 лет в западной части до 3.4 м/10 лет на его юго-востоке. Таким образом, на изучаемой территории происходило закономерное снижение скорости линейного распространения границ лесов от влажных к более засушливым условиям. Полярная экспозиция склонов (южная и северная) в изучаемом регионе не оказывала существенного влияния на скорость распространения лесных массивов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипова М.В.* Изменение площади лесов на Среднерусской возвышенности за последние 250 лет // Лесоведение. 2014. № 3. С. 23–30.
- Жирин В.М., Князева С.В., Эйдлина С.П.* Многолетняя динамика вегетационных индексов темнохвойных лесов после повреждения сибирским шелкопрядом // Лесоведение. 2016. № 1. С. 3–14.
- 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.
- Лебедева М.Г., Крымская О.В.* Проявление современных климатических изменений в Белгородской области // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2008. № 3(43). С. 188–196.
- Михно В.Б.* Ландшафтные особенности инсультности дубрав Среднерусской лесостепи // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2012. № 1. С. 14–20.
- Новикова Е.П., Григорьев Г.Н., Вагулин И.Ю., Чумейкина А.С.* Вариации гидротермического режима в Черноземье за последние 30 лет на фоне глобального изменения климата // Научные ведомости Белгородского го-

сударственного университета. Серия: Естественные науки. 2017. № 11(260). С. 105–113.

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.

Потапов П.В., Журавлева И.В., Маниша А.Е., Турубанова С.А., Ярошенко А.Ю. Выявление и мониторинг дистанционными методами малонарушенных лесных территорий мира // Лесоведение. 2008. № 2. С. 58–67. Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области. Белгород: Изд-во БелГУ, 2005. 179 с.

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.

Украинский П.А., Терехин Э.А., Павлюк Я.В. Фрагментация лесов верхней части бассейна реки Ворскла с конца XVIII века // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. № 1. С. 82–91.

Чендев Ю.Г. Эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. М.: ГЕОС, 2008. 212 с. Щепашенко Д.Г., Швиденко А.З., Лесив М.Ю., Онтиков П.В., Щепашенко М.В., Краксер Ф. Площадь лесов России и ее динамика на основе синтеза продуктов дистанционного зондирования // Лесоведение. 2015. № 3. С. 163–171.

Borrelli P., Modugno S., Panagos P., Marchetti M., Schütt B., Montanarella L. Detection of harvested forest areas in Italy using Landsat imagery // Applied Geography. 2014. V. 48. P. 102–111.

Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Krylov A.M., McCarty J.L., Radeloff V.C., Hansen M.C. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive // Remote Sensing of Environment. 2015. V. 159. P. 28–43.

Schmidt M., Lucas R., Bunting P., Verbesselt J., Armston J. Multi-resolution time series imagery for forest disturbance and regrowth monitoring in Queensland, Australia // Remote Sensing of Environment. 2015. V. 158. P. 156–168.

## Satellite-Derived Spatiotemporal Variations of Forest Cover in Southern Forest-Steppe, the Central Russian Upland

E. A. Terekhin<sup>1,\*</sup> and Yu. G. Chendev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belgorod State National Research University, Pobedy st. 85, Belgorod, 308015, Russia

\*E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Received 15 March 2018

Revised 14 June 2018

Accepted 4 February 2019

Forest cover dynamics derived from detailed archival and recent satellite images was studied in southern forest-steppe, the Central Russian Upland (within Belgorod Oblast). Here we analyze data from 5 sites of the total area of 1722 km<sup>2</sup>, representative for diverse environment of the region. The forest cover has increased by 31% during 1970–2014. Fragmentation of lands with forest cover was noted. Number of separate woodlands has increased by 87%, and the average size of woodland has decreased from 13.0 to 9.2 ha. The average linear movement of the forest margin towards steppe tended to decrease from north-west to south-east. The largest advance of 34.3 m of the forest areal was found in the humid western part of the region, while it was as small as 15.0 m in dry southeast. The average distance of forest advancement since 1970 was 24 m, as measured at 1285 study sites. The distances of forest expansion significantly differed between forest-steppe and steppe domains of Belgorod Oblast. The expansion cannot be attributed to northern or southern exposition of the forested slopes of rivers and ravines.

*Keywords:* percent forest cover, forest dynamics, the Central Russian Upland, forest-steppe, satellite images.

**Acknowledgements:** The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 14-17-00171).

### REFERENCES

Arkhipova M.V., Variation in forest area on the Central Russian Upland within the last 250 years, *Contemporary Problems of Ecology*, 2015, Vol. 8, No. 7, pp. 830–837.

Borrelli P., Modugno S., Panagos P., Marchetti M., Schütt B., Montanarella L., Detection of harvested forest areas in Italy using Landsat imagery, *Applied Geography*, 2014, Vol. 48, pp. 102–111.

Chendev Y.G., *Evolutsiya lesostepnykh pochv Srednerusskoi vozvyshennosti v golotsene* (Forest-steppe soils evolution in

Central Russian Upland in Holocene), Moscow: GEOS, 2008, 212 p.

Kuzmenko Y., Lisetskiy F., Kirilenko J., Grigoryeva O., Obespechenie optimal'noi vodookhrannoi 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.

Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Proyavlenie sovremennykh klimaticheskikh izmenenii v Belgorodskoi oblasti (Effects



- of modern climatic changes in the Belgorod area), *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2008, No. 3(43), pp. 188–196.
- Mikhno V.B., Landshaftnye osobennosti insulyarnosti dubrav Srednerusskoi lesostepi (Landscape features of oak forests insularity in the Srednerusskaya partially-wooded steppe), *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2012, No. 1, pp. 14–20.
- Novikova E.P., Grigoryev G.N., Vagurin I.Y., Chumeykina 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 Chernozemiye over the last 30 years on the background of global climate change), *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2017, No. 11(260), pp. 105–113.
- Postolov V.D., Nedikova E.V., Kryukova N.A., Lesistost' territorii i ee optimal'nost' dlya uslovii TsChO (Optimal forest cover of an area in conditions of the Central Black Earth Region), *Ekologiya Tsentral'no-Chernozemnoi oblasti Rossiiskoi Federatsii*, 2005, No. 2(15), pp. 95–96.
- Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Krylov A.M., Mccarty J.L., Radeloff V.C., Hansen M.C., Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive, *Remote Sensing of Environment*, 2015, Vol. 159, pp. 28–43.
- Potapov P.V., Zhuravleva I.V., Manisha A.E., Turubanova S.A., Yaroshenko A.Y., Vyyavlenie i monitoring distantsionnymi metodami malonarushennykh lesnykh territorii mira (Identification and monitoring of world intact landscapes using remote sensing methods), *Lesovedenie*, 2008, No. 2, pp. 58–67.
- Prirodnye resursy i ekologicheskoe sostoyanie Belgorodskoi oblasti* (Nature resources and environmental health of Belgorod Oblast), Belgorod: Izd-vo BelGU, 2005, 179 p.
- Schepaschenko D.G., Shvidenko A.Z., Lesiv M.Y., Ontikov P.V., Shchepashchenko M.V., Kraxner F., Estimation of forest area and its dynamics in Russia based on synthesis of remote sensing products, *Contemporary Problems of Ecology*, 2015, Vol. 8, No. 7, pp. 811–817.
- Schmidt M., Lucas R., Bunting P., Verbesselt J., Armston J., Multi-resolution time series imagery for forest disturbance and regrowth monitoring in Queensland, Australia, *Remote Sensing of Environment*, 2015, Vol. 158, pp. 156–168.
- Terekhin E.A., Geoinformatsionnoe kartografirovaniye izmenenii v lesakh na osnove sputnikovykh 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.
- Ukrainskij P.A., Terekhin E.A., Pavlyuk Y.V., Fragmentatsiya lesov verkhnei chasti basseina reki Vorskla s kontsa XVIII veka (Fragmentation of forests in the upper part of the Vorskla River basin since the end of the 18th century), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2017, No. 1, pp. 82–91.
- Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P., Mnogoletnyaya dinamika vegetatsionnykh indeksov temnokhvoynykh lesov posle povrezhdeniya sibirskim shelkopryadom (Long-term dynamics of vegetation indices in dark coniferous forest after Siberian moth injury), *Lesovedenie*, 2016, No. 1, pp. 3–14.