

УДК 911:004.9+502.53:504.732

П.А. Украинский¹, Э.А. Терехин², Я.В. Павлюк³**ФРАГМЕНТАЦИЯ ЛЕСОВ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ВОРСКЛА С КОНЦА XVIII ВЕКА**

Статья посвящена истории фрагментации лесов верхней части бассейна Ворсклы. Для этой территории проведена количественная оценка степени фрагментированности лесов по трем временным срезам – концу XVIII века, концу XIX века и началу XXI века. За начальное состояние взята реконструкция ландшафтов XVI века – периода, предшествовавшего началу интенсивного хозяйственного освоения территории (по Ю.Г. Чендеву). Сведения о расположении лесов в прошлом взяты из старинных карт. Для современного этапа леса закартографированы по космическим снимкам Landsat. По результатам исследования выявлена тенденция усиления фрагментированности лесов с течением времени. Показано, что в ходе освоения территории очаги интенсивной фрагментации постепенно смещались вниз по течению Ворсклы и ее притоков. При этом происходило дробление цельных лесных массивов, уменьшение площади лесов и увеличение изрезанности их границ. Результатом таких процессов стала современная география распространения лесов в бассейне Ворсклы, где на естественные закономерности наложилась отпечаток активная хозяйственная деятельность человека.

Ключевые слова: бассейн Ворсклы, Белгородская область, исторические карты, индикаторы фрагментированности, фрагментация лесов, Landsat.

Введение. Фрагментация ландшафтов – существенный фактор снижения биоразнообразия [Fahrig, 2003; Fischer, Lindenmayer, 2007; Wu, 2009]. Она ведет к разделению целостных популяций на изолированные субпопуляции с ограниченным внутривидовым обменом генов. Следствие этого – инбридинг, случайный дрейф генов и другие генетические процессы, ослабляющие репродуктивные возможности живых организмов. В сумме это ведет к появлению большого количества аномалий и генетическому вырождению субпопуляций [Макеева с соавт., 2006; Ripperger et al., 2013; Fietz et al., 2014]. Также, во фрагментированном ландшафте нарушаются пути суточных и сезонных миграций животных, что ведет к снижению численности видов [Soulé et al., 2004].

Для лесостепи проблема фрагментации лесов особенно значима. Лесные массивы здесь изначально были фрагментированы, перемежаясь открытыми степными пространствами. Хозяйственная деятельность человека сделала это состояние еще более выраженным [Чендев с соавт., 2008; Михно, 2012]. Для многих лесных видов растений и животных лесостепь является южной периферией ареала их распространения. Поэтому эти виды здесь находятся в уязвимом состоянии и крайне чувствительны к антропогенному воздействию на места обитания [Dulamsuren et al., 2005; Goroshko, 2012; Hauck et al., 2012]. В настоящее время это воздействие очень мощное, поскольку лесостепная зона отличается высоким уровнем хозяйственного освоения и засе-

ленности [Goleusov, Lisetskii, 2008; Чендев с соавт., 2011; Kotlyarova et al., 2012].

Постановка проблемы. Для изучения влияния фрагментации ландшафтов на популяции необходима количественная оценка величины фрагментированности. Это является одной из прикладных задач ландшафтной экологии [Jaeger, 2000; Хорошев с соавт., 2006]. Для лесостепной зоны степень фрагментированности лесов пока еще слабо изучена. Существующие работы в этой области либо не затрагивают вопрос ее количественной оценки, либо сосредоточены на оценке фрагментирующей роли транспортной инфраструктуры для всей совокупности ландшафтов, включая лесные, степные и агроландшафты [Михно, 2012; Биатов с соавт., 2014]. Поэтому цель представленного исследования заключается в количественной оценке фрагментированности лесов лесостепной зоны и изучении закономерностей ее изменения во времени и пространстве. Это требует решения нескольких частных задач. Во-первых, необходимо собрать сведения о размещении лесов, их площади и периметре границ в разные исторические периоды. Во-вторых, нужно выполнить непосредственно оценку фрагментированности лесов. А затем на этой основе выявить хронологические и пространственные тенденции изменения фрагментированности лесов.

Материалы и методы. Для решения поставленных задач выбрана верхняя часть бассейна Ворсклы, которая расположена в Белгородской области. Исследуемая территория приурочена к юго-запад-

¹ НИУ «БелГУ», факультет Горного дела и природопользования, Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, мл. науч. с., канд. геогр.н.; e-mail: ukrainski@bsu.edu.ru

² НИУ «БелГУ», факультет Горного дела и природопользования, Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: terekhin@bsu.edu.ru

³ НИУ «БелГУ», факультет Горного дела и природопользования, Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, мл. науч. с.; e-mail: kuzmenko@bsu.edu.ru

ным отрогам Среднерусской возвышенности. Характерна развитая овражно-балочная сеть. Речные долины имеют асимметричную форму – возвышенное крутое правобережье и низкое пологое левобережье. Абсолютные высоты колеблются в пределах от 254 до 125 м. Регион белгородской части бассейна Ворсклы типичен для возвышенных провинций лесостепи Восточно-Европейской равнины (Приднепровско-Подольской, Среднерусской, Приволжской, Бугульминско-Белебевской). Здесь представлены все характерные лесные биотопы. К ним относятся нагорные дубравы, расположенные по правобережьям рек, сосновые боры на левобережных террасах речных долин, байрачные леса, приуроченные к верховьям оврагов и балок. Редкие биотопы представлены реликтовыми лесными сфагновыми болотами, встречающимися в суффозионных понижениях внутри сосновых боров. В белгородской части бассейна Ворсклы размещен ряд особо охраняемых природных территорий, важных для сохранения биоразнообразия: два участка заповедника Белогорье (Лес на Ворскле и Острасьеви Яры), природный парк Хотмыжский, а также ряд заказников и памятников природы [Биатов с соавт., 2014]. Хозяйственное освоение исследуемой территории началось со второй половины XVI века. До этого здесь произрастало несколько крупных лесных массивов. Их границы можно приблизительно установить по ареалам распространения серых лесных почв. В дальнейшем они подверглись вырубкам. История сокращения площади лесов изучена достаточно полно. По современным оценкам лесистость Белгородской области за период хозяйственного освоения сократилась с 40,0 до 8,3%, то есть более чем в 4 раза [Чендев с соавт., 2008].

Использование бассейнового подхода при определении границ исследуемой территории не случайно. Это подход уже зарекомендовал себя в различных географических исследованиях на территории Белгородской области [Кузьменко с соавт., 2013; Lisetskii et al., 2014]. Фрагментированность ландшафтов обычно оценивают внутри единиц административно-территориального деления. Это удобно для исследователя, однако все же правильнее в качестве изучаемой территории выбирать физико-географические регионы различного порядка, поскольку изучению подвергаются природные объекты, а не социально-экономические явления. В лесостепи Среднерусской возвышенности границы физико-географических регионов преимущественно совпадают с границами наиболее крупных речных бассейнов. Стоит также отметить, что по имеющимся сведениям леса на территории Белгородской области сосредотачивались именно внутри границ основных речных бассейнов, а по водоразделам пролегали степные участки [Чендев с соавт., 2008].

Фрагментация лесов была изучена по трем временным срезам: конец XVIII века, конец XIX века, начало XXI века. Работа по инвентаризации лесных массивов прошлого выполнена в ходе предыдущих

исследований, связанных с созданием проектов бассейнового природопользования для территории Белгородской области [Кузьменко с соавт., 2013; Lisetskii et al., 2014]. Для сравнения также взяты сведения об изначальном размещении лесов в XVI веке (из реконструкции состояния ландшафтов Белгородской области до начала интенсивного хозяйственного освоения, выполненной Ю.Г. Чендевым) [Чендев с соавт., 2008]. Точность расположения лесов XVI века, реконструированного на основе анализа почвенного покрова, соответствует требованиям к точности почвенных карта масштаба 1:50 000.

Данные о лесах в XVIII веке получены по односторонним картам «Плана Генерального Межевания» 1785 г. Точность векторизации границ в соответствии с масштабом (1:84 000) составляет $\pm 8,4$ м. Сведения о лесах XIX века взяты из трехверстных военно-топографических карт Европейской России 1880 г. [Кузьменко с соавт., 2013]. Точность векторизации границ в соответствии с масштабом (1:126 000) составляет $\pm 12,6$ м. Привязка и оцифровка картографического материала выполнена в программе ArcGIS.

Сведения о современных лесах получены из электронной карты лесопокрытых земель Белгородской области масштаба 1:50 000. [Терехин, 2013а]. Эта карта была создана на основе дешифрирования снимков со спутников Landsat-5 и 7 (использованы каналы многозональной съемки с пространственным разрешением снимков составляет 30 м/пиксель). Существующая практика дешифрирования космических снимков показала, что снимки Landsat являются качественным источником данных о современном распространении лесов [Кравцова В.И., Лошкарева, 2010; Михеева, 2010]. Точность векторизации границ по ним (равная половине пикселя изображения) составляет ± 15 м. Нами использовались снимки с номером сцены path/row – 177,25 и 178,25 за 2011–2012 годы. Обработка снимков выполнена в программах ERDAS IMAGINE и ArcGIS [Терехин, 2013б].

При анализе пространственно-временных особенностей фрагментации лесов, использовали традиционное деление процесса фрагментации ландшафта на шесть фаз [Forman, 1995]. В целом, детальность и масштаб всех использованных данных по все временным срезам позволяют обнаруживать четыре из шести фаз фрагментации – дробление, сжатие, уничтожение и перфорирование лесных массивов. Для выявления фрагментации в фазах врезания и рассечения необходимы более детальные данные.

Дальнейшая обработка пространственных данных была выполнена в программе ArcGIS. Для каждого лесного массива были рассчитаны площадь и периметр. На основе этих сведений для белгородской части бассейна Ворсклы были рассчитаны 9 показателей, характеризующих фрагментированность лесов [McGarigal, Marks, 1995; Jaeger, 2000; Watts, Handley, 2010]. Перечень показателей подобран таким образом, чтобы в совокупности они по-

зволяли выделять все фазы фрагментации. Показатели, основанные только на площади лесов и количестве фрагментов (1, 2, 3, 8) в большей степени чувствительны к таким формам фрагментации, как уничтожение отдельных лесных массивов и сжатие фрагментов лесов. Показатели, для расчета которых используется количество фрагментов лесов и их периметр, более чувствительны к такой форме фрагментации, как рассечение и дробление цельных лесных массивов (4, 5, 6, 7). Для получения целостной оценки фрагментированности необходимо использовать различные индикаторы в комплексе [Wade et al., 2003; Гусев, 2014]. Обоснование совокупного применения показателей использованного нами перечня дано в работах [Jaeger, 2000; Oehmichen, Köhl, 2006].

Доля угодий (в нашем случае доля лесов) – лесистость:

$$EP = \frac{Af}{A} \cdot 100. \quad (1)$$

Лесистость характеризует интенсивность фрагментации лесных массивов, но не позволяет разделить различные фазы фрагментации. Является наиболее известным показателем. Именно с него чаще всего начинается анализ фрагментированности конкретного составляющего ландшафтного рисунка (применительно к данной работе – лесов) [Викторов, 1986].

Средний размер фрагмента леса (Mean Patch Size):

$$MPS = \frac{\sum_{i=1}^n Ai}{n}. \quad (2)$$

Показатель MPS наиболее эффективен для выделения фрагментации в фазе сжатия, особенно если другие фазы слабо выражены.

Плотность фрагментов (Patch Density):

$$PD = \frac{n}{A}. \quad (3)$$

Показатель плотности фрагментов позволяет оценить масштабы фрагментацию в фазе дробления. В отечественной литературе также известен как коэффициент сложности ландшафтного рисунка [Викторов, 1986].

Плотность границ (Edge Density)

$$PD = \frac{n}{A}. \quad (4)$$

Плотность границ – это показатель, наиболее чувствительный к таким фазам фрагментации как врезание и рассечение.

Индекс формы ландшафта (Landscape Shape Index):

$$LSI = \frac{P}{2\sqrt{\pi} \cdot A}. \quad (5)$$

В отличие от показателей PD, ED и MPS, наиболее эффективных для выделения конкретных фаз

фрагментации, показатели LSI, MSI и MPAR более универсальные. Показатель LSI позволяет выделять фазы фрагментации, связанные с изменением как площади, так и границы лесных массивов. В отечественной литературе также известен как коэффициент расчлененности [Викторов, 1986]. Особенностью индекса является то, что при его расчете не учитывается количество лесных массивов. Поэтому LSI наиболее эффективен, когда фаза дробления отсутствует. Этот недостаток LSI устранен в показателях MSI и MPAR, учитывающих число лесных массивов. MSI и MPAR являются наиболее комплексными показателями, в равной мере реагирующими на все фазы фрагментации.

Средний индекс формы (Mean Shape Index):

$$MSI = \sum_{i=1}^n \frac{Pi}{2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot Ai}. \quad (6)$$

Среднее отношение периметра к площади (Mean Perimeter Area Ratio)

$$MPAR = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Pi}{Ai}}{n}. \quad (7)$$

Эффективный размер ячейки (Effective Mesh Size):

$$MESH = \frac{1}{A} \cdot \sum_{i=1}^n Ai^2. \quad (8)$$

Эффективный размер ячейки – это площадь, которая будет получена, если всю территорию разделить на одинаковые фрагменты, сохранив при этом существующую вероятность встречи двух особей в пределах одного фрагмента. Наиболее часто используется при анализе фрагментированности ландшафта различными естественными и антропогенными преградами (автодороги, реки и др.) [Jaeger, 2000].

Среднее значение кратчайшего расстояния до ближайшего леса:

$$ENN = \frac{\sum_{i=1}^n Di}{n}. \quad (9)$$

В формулах (1)–(9) A – общая площадь территории, Ai – площадь отдельного леса, n – количество фрагментов леса, Af – общая площадь всех лесов, P – протяженность границы лесов, Pi – длина границы отдельного леса, Di – кратчайшее расстояние до ближайшего леса.

Расчет показателей фрагментированности был выполнен как для верхней части бассейна Ворсклы в целом, так и для бассейнов ее притоков.

Результаты и их обсуждение. Размещение лесов на исследуемой территории в различные исторические периоды показано на рис. 1. Видна нарастающая фрагментация лесных массивов и увеличивающаяся неравномерность их размещения.

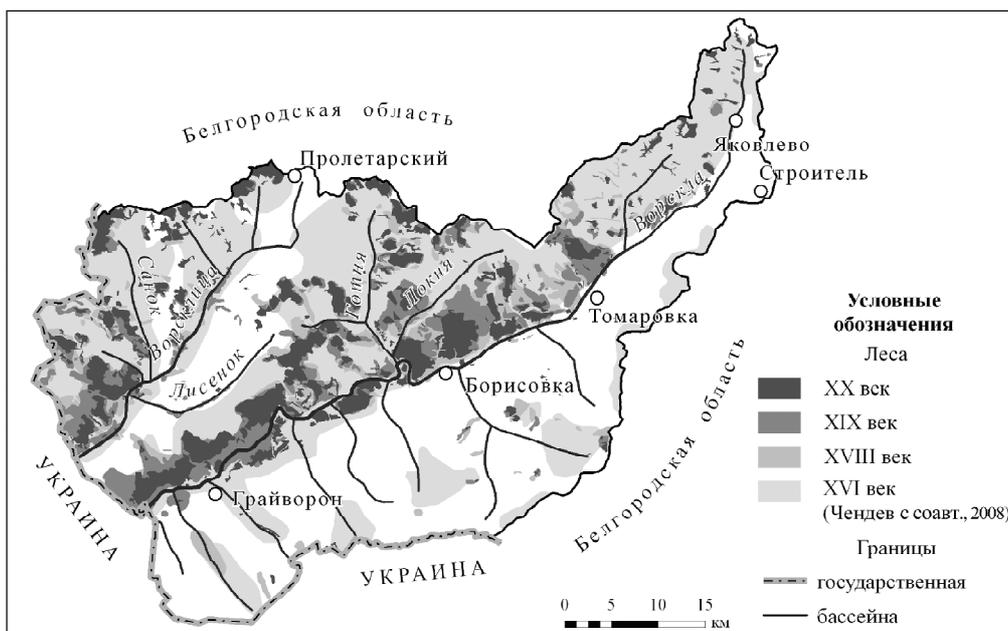


Рис. 1. Размещение лесов в верхней части бассейна Ворсклы в конце XVIII в. – начале XXI в.

Fig. 1. Forest areas in the upper part of the Vorskla River basin in the late 18th – early 21st centuries

Количественное описание процессов показано в табл. 1.

В период, предшествовавший началу интенсивного хозяйственного освоения территории (XVI в.), значения индикаторов фрагментированности были такими же, как сейчас в регионах лесной зоны Европы со средней фрагментированностью лесов [Усова, 2007]. А современное состояние аналогично лесным регионам со значительной степенью сведения лесов [Oehmichen, Köhl, 2006; Walz et al., 2013].

Сопоставление полученных результатов с данными по XVI веку показало, что большая часть ле-

сов исследуемой территории была сведена уже на начальном этапе хозяйственного освоения. На это указывает резкое возрастание всех индикаторов фрагментированности (табл. 1).

Детально описать ход фрагментации, ее специфику и пространственные закономерности в промежутке XVI – конец XVIII не представляется возможным в силу отсутствия картографического материала (не хватает временного среза по XVII веку). Из исторических источников известно, что сведение лесов в XVII веке связано с заготовкой строительных материалов для возведения населенных пунктов и оборонительных сооружений, а в конце XVII – первой поло-

Таблица 1

Индикаторы фрагментированности лесов верхней части бассейна Ворсклы

Индикатор	Период			
	XVI в. [реконструкция Чендев с соавт., 2008]	конец XVIII в.	конец XIX в.	начало XXI в.
Количество фрагментов (N), шт.	12	117	138	288
Плотность фрагментов (PD), шт./км ²	0,48×10 ⁻²	4,77×10 ⁻²	5,55×10 ⁻³	11,55×10 ⁻²
Лесистость (FP), %	57,96	15,89	16,45	11,34
Средний размер фрагмента (MPS), км ²	118,02	7,78	2,96	0,98
Периметр (P), км	565,97	910,29	1016,37	1310,32
Плотность границ (ED), км/км ²	0,23	0,37	0,41	0,53
Индекс формы ландшафта (LSI)	3,20	2,43	5,75	14,50
Эффективный размер ячейки (MESH), км ²	372,68	4,28	5,30	0,75
Средний индекс формы (MSI)	1,57	1,46	1,49	1,69
Среднее отношение периметра к площади (MPAR)	1,21	6,12	6,70	17,87
Среднее расстояние до ближайшего леса (ENN), км	10,56	2,21	1,96	1,37

вине XVIII века основная причина сокращения площади лесов – строительство Азовско-Черноморской корабельной флотилии [Чендев с соавт., 2008].

Для последующих периодов можно территориально выделить участки с проявлением различных фаз фрагментации (перфорации, дробления, сокращение площади (диссипации) и исчезновения

ландшафтов) [Forman, 1995]. Сопоставление значительных различных индикаторов фрагментированности указывает на преобладание той или иной формы фрагментации в конкретный период. В конце XVIII – конце XIX века фрагментация лесов заключалась преимущественно в усложнении формы контуров. При сохранении достаточно крупной площади лес-

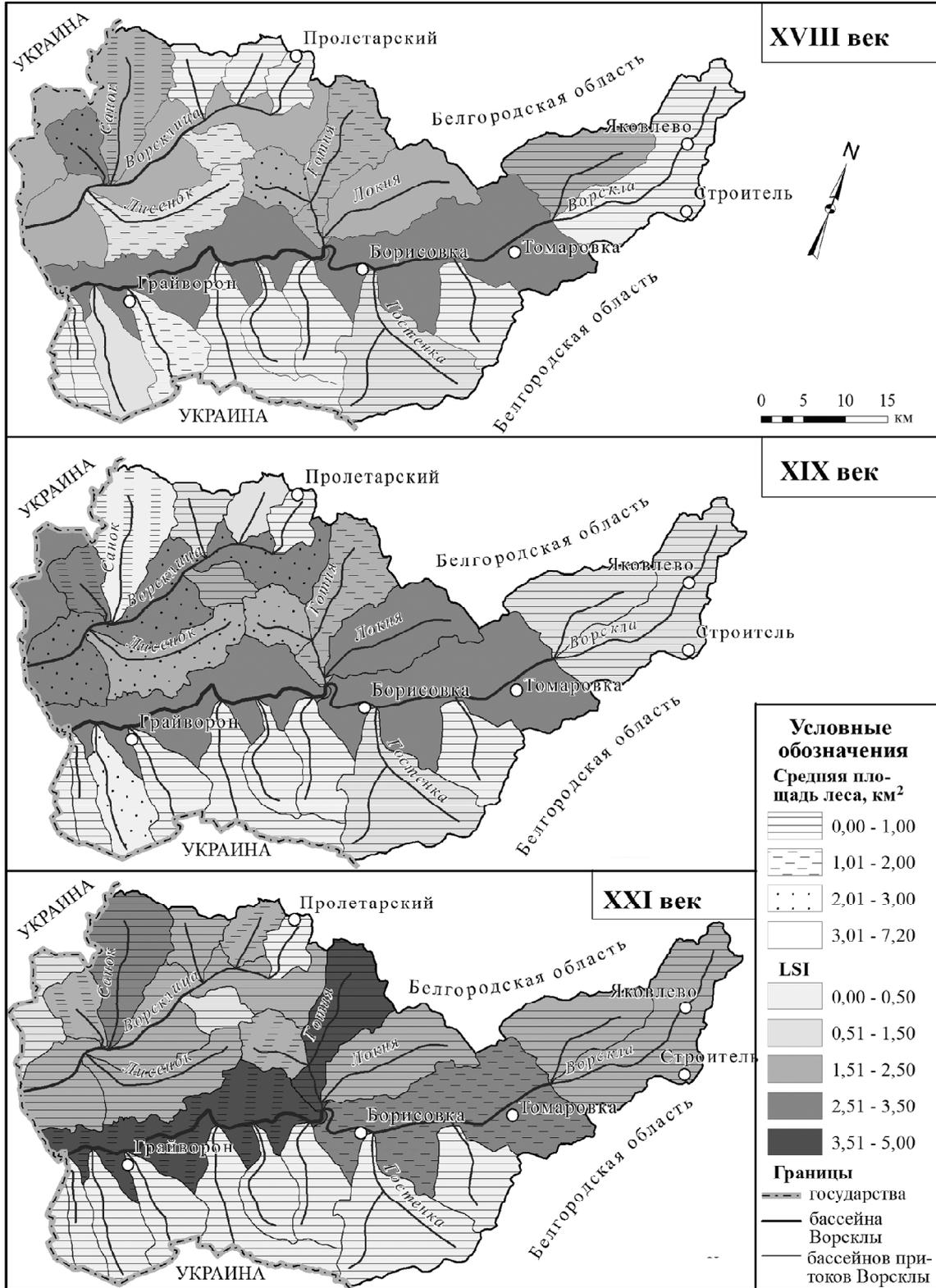


Рис. 2. Фрагментированность лесов верхней части бассейна Ворсклы в конце XVIII в. – начале XXI в.

Fig. 2. Fragmentation of forests in the upper part of the Vorskla River basin in the late 18th – early 21st centuries

ных массивов, увеличивался периметр их границ (табл. 1, рис. 2). Процесс дробления лесных массивов тогда был еще относительно слабо выражен и имели место в основном врезание в лесные массивы иных угодий и смещение границы леса по периметру.

На следующем этапе (конец XIX – начало XXI века) усилилось дробление лесных массивов при сохраняющейся роли усложнения формы границ лесов. Результатом этого становится резкое, более чем в два раза, возрастание числа лесных массивов. Мозаичность ландшафтов также продолжала интенсивно увеличиваться. В результате в это время все индикаторы фрагментированности дают одинаково сильный рост (табл. 1). Основные социально-экономические процессы, приводившие в XVIII–XIX вв. к фрагментации лесов достаточно хорошо изучены [Титова с соавт., 2014; Чендев с соавт., 2008]. Главной причиной вырубки лесов было высвобождение земель под распашку. Так, 63% лесов Белгородской области, сведенных в этот период, сейчас заняты пашней. Населенными пунктами занято 17% бывших лесов области. И на территории 20% сведенных лесов сейчас находятся травянистые растительные сообщества [Титова с соавт., 2014].

В настоящее время уже существует подробная карта, отражающая причины вырубки леса на территории Белгородской области [Титова с соавт., 2014]. Сопоставление этой карты с результатами проведенного нами исследования позволяет сопоставить социально-экономические процессы, приведшие к сведению лесов, и различные формы фрагментации.

С разрастанием населенных пунктов связана только одна фаза фрагментации – сжатие. Причем она проявляется исключительно локально – в местах соприкосновения населенных пунктов с лесными массивами. С выведением леса под пашню связаны все четыре фазы фрагментации, которые вы-

деляются примененными нами методами. В отличие от населенных пунктов, фаза сжатия пашней проявляется по всему периметру. Фаза дробления в бассейне Ворсклы связана преимущественно с вырубкой леса под пашню.

Под травянистой растительностью сейчас находится часть бывших пойменных и байрачных лесов [Титова с соавт., 2014]. С такими рубками связана фрагментация в фазах полного сведения лесных массивов и сжатия по периметру. Иногда имеет место дробление таким способом лесных массивов. Основная причина того, что лес на таких участках не восстановился, заключается в долговременном их использовании для сенокоса и выпаса скота.

Отдельно следует обратить внимание на такой индикатор, как среднее кратчайшее расстояние до ближайшего леса. Его изменение может интерпретироваться неоднозначно. Поэтому для правильной интерпретации необходимо его анализировать в комплексе с другими индикаторами, а также учитывать при этом зональные особенности территории, развитие антропогенной нагрузки. В лесной же зоне при отсутствии влияния человека или угасании хозяйственной деятельности увеличение индикатора ENN может указывать на разрастание лесных массивов [Baumann et al., 2012]. В нашем случае увеличение ENN свидетельствует о фрагментации лесов через дробление лесных массивов.

Анализ показателей фрагментации, рассчитанных для бассейнов притоков Ворсклы, показывает, что фрагментация лесов происходила неравномерно не только во времени, но и в пространстве. Эта неоднородность процесса фрагментации показана на рисунке 2. Статистическая характеристика данных, использованных для расчета нанесенных на карту показателей, приведена в табл. 2. Из нее следует, что центральная тенденция (медиана) имеющихся вы-

Таблица 2

Критерии статистической значимости центральной тенденции исходных данных, использованных для расчета и картографирования показателей фрагментированности в разрезе речных бассейнов

Показатели	Характеристики		Период		
			конец XVIII в.	конец XIX в.	начало XXI в.
Количество лесов	Медиана <i>p</i> -значение		4 0,22	6 0,58	8 0,15
	Границы 95% доверительного интервала	2,5% 97,5%	3 9	4 10	6 21
Площадь лесов, км ²	Медиана <i>p</i> -значение		6,27 0,26	5,89 0,15	7,18 0,7
	Границы 95% доверительного интервала	2,5% 97,5%	4,27 24,61	4,11 23,86	4,36 14,28
Периметр границы лесов, км	Медиана <i>p</i> -значение		20,28 0,11	32,92 0,34	36,33 0,32
	Границы 95% доверительного интервала	2,5% 97,5%	17,25 65,86	21,91 75,10	27,28 80,61
Расстояние ближайшего соседства, км	Медиана <i>p</i> -значение		0,73 0,79	0,33 0,15	0,37 0,6
	Границы 95% доверительного интервала	2,5% 97,5%	0,39 2,16	0,25 0,70	0,30 0,71

борок соответствует центральной тенденции генеральной совокупности (p -значение не опускается ниже 0,05). Проверка этого выполнена при помощи одностороннего теста Вилкоксона (выбор теста обусловлен тем, что данные имеют распределение отличное от нормального).

Нагляднее всего неоднородность фрагментации в пространстве и во времени показывает сочетание индекса формы ландшафта (LSI) и среднего размера лесного массива (MPS) (рис. 2). Увеличение LSI указывает на увеличение периметра лесов вследствие дробления, а MPS позволяет выявить сокращение площади без изменения числа лесных массивов.

Более всего от вырубок и фрагментации пострадали леса в бассейнах притоков Ворсклицы, где этот процесс начался раньше. В результате здесь не осталось лесов крупнее 1 км². Леса на правобережье Ворсклы сохранились гораздо лучше. Сюда в XIX–XX веках сместился ареал максимального развития фрагментации. Относительно позднее развитие фрагментации позволило сохраниться здесь лесам крупнее 1 км². Сохранению лесов по правобережью Ворсклы способствовало их стратегическое значение. В XVII веке они охранялись от рубок как естественный элемент Белгородской засечной черты. А в XVIII веке леса вдоль правого берега Ворсклы охранялись как резерв корабельной древесины [Чендев с соавт., 2008].

Наименее выраженные изменения произошли на левобережье Ворсклы, где леса были изначально мало распространены. В целом, на исследуемой территории фрагментированность лесных ландшафтов нарастает по мере продвижения вверх по течению реки (рис. 2).

Полученные сведения о фрагментированности лесов могут быть полезны для изучения состояния

популяций животных. Перечень видов, к которым применимы результаты работы, ограничивается детальностью исходных данных. То есть это крупные животные с высокой подвижностью – копытные (кабан, лось, косуля, благородный олень) и хищники (волк, лиса, барсук).

Выводы:

– фрагментация лесов верхней части бассейна Ворсклы последовательно нарастала в течение всего периода хозяйственного освоения территории. Результатом этого стало резкое увеличение мозаичности ландшафтов. В течение последних трех веков фрагментация лесов в верхней части бассейна Ворсклы постоянно увеличивалась. В начале этого периода преобладали такие формы фрагментации, как сокращение площади существующих лесных массивов и врезание в леса иных угодий. С XIX века основными формами фрагментации стали дробление цельных лесных массивов и уничтожение отдельных лесов;

– в пространстве наблюдалась закономерность смещения основных очагов фрагментации вниз по течению рек. Первыми влияние фрагментации в XVIII веке испытали леса, расположенные в верховьях притоков Ворсклы. Затем, в XIX веке началась интенсивная фрагментация лесов, произрастающих в бассейне крупнейшего притока Ворсклы – Ворсклицы. В XX веке наибольших масштабов фрагментация лесов достигла непосредственно по правобережью Ворсклы. В итоге, за весь рассмотренный период фрагментация лесов верхней части бассейна р. Ворсклы увеличилась в семь раз. Увеличилось количество лесных массивов, уменьшилась их площадь, а границы их стали более изрезанными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Биатов А.П., Украинский П.А., Нарожняя А.Г. Сравнительный анализ фрагментированности ландшафтов белгородской части бассейна Ворсклы и Мерлы (Харьковская область, Украина) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2014. Вып. 26(3). С. 157–165.
- Викторов А.С. Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 179 с.
- Гусев А.П. Пространственно-временные изменения структуры ландшафтов юго-востока Белоруссии и их экологические последствия (на примере инвазий растений) // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. 2014. № 1. С. 18–23.
- Кравцова В.И., Лошкарева А.Р. Исследование северной границы леса по космическим снимкам разного разрешения // Вестник Московского университета. 2010. № 6. С. 49–57.
- 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. Вып. 15(3–2). С. 652–657.
- Макеева В.М., Малюченко О.П., Леонтьева О.А. Оценка состояния генофонда природных популяций позвоночных животных в условиях фрагментированного ландшафта Москвы и Подмосковья (на примере бурых лягушек) // Генетика. 2006. Т. 42. № 5. С. 628–642.
- Михеева А.И. Пространственная изменчивость положения верхней границы леса в Хибинах (по материалам дистанционного зондирования) // Вестник Моск. ун-та. 2010. № 4. С. 18–22.
- Михно В.Б. Ландшафтные особенности инсультности дубрав среднерусской лесостепи // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология. 2012. № 1. С. 14–20.
- Терехин Э.А. Применение данных спутниковой съемки для анализа многолетних изменений в лесах Белгородской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Вып. 10(2). С. 70–80.
- Терехин Э.А. Методика поиска эффективных спектральных индексов для автоматизированного дешифрирования водных объектов (на примере Белгородской области) // География и природные ресурсы. 2013. № 3. С. 132–138.
- Титова С.В., Кобяков К.Н., Золотухин Н.И., Полуянов А.В. Белогорье без белых гор? Угрозы стенным экосистемам в Белгородской области / Под ред. А.А. Тишкова. М., 2014. 40 с.
- Усова И.П. Оценка фрагментации лесов с использованием ландшафтных индексов (на примере восточно-белорусской ландшафтной провинции) // Актуальные проблемы геоботаники. Мат-лы III Всероссийской школы-конференции. II часть. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 250–253.
- Хорошев А.В., Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н. Современное состояние ландшафтной экологии // Изв. РАН. Сер. географ. 2006. № 5. С. 12–21.
- Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Серикова Е.В., Крамчанинов Н.Н. Деградация геосистем Белгородской области в результате хо-

зяйственной деятельности // География и природные ресурсы. 2008. № 4. С. 69–75.

Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С., Смирнова Л.Г., Новых Л.Л., Долгих А.В. Антропогенная эволюция серых лесостепных почв в южной части Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2011. № 1. С. 3–15.

Baumann M., Ozdogan M., Kuemmerle T., Wendland K.J., Esipova E., Radeloff V.C. 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.

Dulamsuren C., Hauck M., Muhlenberg M. Vegetation at the taiga forest-steppe borderline in the western Khentey Mountains, northern Mongolia // Annales Botanici Fennici. 2005. V. 42(6). P. 411–426.

Fahrig L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity // Annual review of ecology, evolution and systematic. 2003. V. 34. P. 487–515.

Fietz J., Tomiuk J., Loeschke V., Weis-Dootz T., Segelbacher G. Genetic consequences of forest fragmentation for a highly specialized arboreal mammal—the Edible Dormouse // PLoS ONE. 2014. V. 9(2). e88092. doi:10.1371/journal.pone.0088092

Fischer J., Lindenmayer D.B. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis // Global Ecology and Biogeography. 2007. V. 16(3). P. 265–280.

Forman R.T.T. Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 632 p.

Goleusov P.V., Lisetskii F.N. Soil development in anthropogenically disturbed forest-steppe landscapes // Eurasian Soil Science. 2008. V. 41(13). P. 1480–1486.

Goroshko O.A. Red-crowned Cranes on the Russian-Chinese Argun River and neighboring parts of the Daurian steppes // Chinese Birds. 2012. V. 3(3). P. 231–238.

Hauck M., Javkhlan S., Lkhagvadorj D., Bayartogtokh B., Dulamsuren C., Leuschner C. Edge and land-use effects on epiphytic lichen diversity in the forest-steppe ecotone of the Mongolian Altai // Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 2012. V. 207(6). P. 450–458.

Jaeger J. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation // Landscape Ecology. 2000. V. 15. P. 115–130.

Kotlyarova E.G., Cherniavskii V.I., Dumacheva E.V. Ecologically Safe Architecture of Agrolandscape is basis for sustainable development / Sustainable Agriculture Research. 2012. V. 2(2). P. 11–23.

Lisetskii F.N., Zemlyakova A.V., Terekhin E.A., Naroznyaya A.G., Pavlyuk Ya.V., Ukrainskii P.A., Kirilenko Zh.A., Marinina O.A., Samofalova O.M. New Opportunities of Geoinformational Technologies and Remote Sensing // Adv. Environ. Biol. 2014. N 8(10). P. 536–539.

McGarigal K., Marks B.J. FRAGSTATS – Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: USDA Forest Service General, Pacific Northwest Research Station. 1995, 134 p.

Oehmichen K., Köhl M. Weiterentwicklung von Indikatoren zur Erfassung der Fragmentierung von Wäldern unter Berücksichtigung der Datenverfügbarkeit: Arbeitsbericht. N 2006/2. Hamburg: Institut für Weltforstwirtschaft, 2006. 41 p.

Ripperger S.P., Tschapka M., Kalko E.K.V., Rodriguez-Herrera B., Mayer F. Life in a mosaic landscape: anthropogenic habitat fragmentation affects genetic population structure in a frugivorous bat species // Conservation Genetics. 2013. V. 14(5). P. 925–934.

Soulé M.E., Mackey B.G., Recher H.F., Williams J.E., Woinarski J.C.Z., Driscoll D., Dennison W.C., Jones M.E. The role of connectivity in Australian conservation // Pacific Conservation Biology. 2004. V. 10. P. 266–279.

Wade T.G., Ritters K.H., Wickham J.D., Jones K.B. Distribution and causes of global forest fragmentation // Conservation Ecology. 2003. V. 7(2). Data Views 22.06.2014 www.ecologyandsociety.org/vol7/iss2/art7/.

Walz U., Krüger T., Schumacher U. Fragmentierung von Wäldern in Deutschland – neue Indikatoren zur Flächennutzung // Natur und Landschaft. 2013. V. 88(3). P. 118–127.

Watts K., Handley P. Developing a functional connectivity indicator to detect change in fragmented landscapes // Ecological Indicators. 2010. V. 10. P. 552–557.

Wu J. Ecological dynamics in fragmented landscapes: Princeton guide to ecology. Princeton: Princeton University Press, 2009. P. 438–444.

Поступила в редакцию 20.04.2015
Принята к публикации 27.09.2016

P.A. Ukrainskij¹, E.A. Terekhin², Ya.V. Pavlyuk³

FRAGMENTATION OF FORESTS IN THE UPPER PART OF THE VORSKLA RIVER BASIN SINCE THE END OF THE 18TH CENTURY

The article deals with the history of forest fragmentation in the upper part of the Vorskla River basin. A quantitative assessment of the degree of forest fragmentation for three time periods (the end of the 18th century, the end of the 19th century and the beginning of the 21st century) was performed for the area. Landscape reconstruction for the 16th century (after Yu.G.Chendev), i.e before the active economic development of the territory), was considered as a reference situation. Data on forest distribution in the past were obtained from old maps. The recent forest coverage was mapped using the Landsat satellite images. The results of the study show a trend of increasing forest fragmentation over time. In the course of development the areas of intense fragmentation gradually shifted downstream the Vorskla River and its tributaries. This was accompanied by the splitting of forest stands, the decrease of forest area and the growing indentation of their boundaries. The processes determined the present-day pattern of forests in the basin of the Vorskla River, formed under the combination of natural factors and the active economic activities.

Key words: the Vorskla River basin, Belgorod region, Landsat, fragmentation indicators, forest fragmentation, historical maps.

¹ Belgorod State National Research University, Faculty of Mining and Natural Resource Management, Federal and regional centre for aerospace and ground monitoring of objects and natural resources, Junior Scientific Researcher, PhD. in Geography; *e-mail:* ukrainski@bsu.edu.ru

² Belgorod State National Research University, Faculty of Mining and Natural Resource Management, Federal and regional centre for aerospace and ground monitoring of objects and natural resources, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; *e-mail:* terekhin@bsu.edu.ru

³ Belgorod State National Research University, Faculty of Mining and Natural Resource Management, Federal and regional centre for aerospace and ground monitoring of objects and natural resources, Junior Scientific Researcher; *e-mail:* kuzmenko@bsu.edu.ru

REFERENCES

- Baumann M., Ozdogan M., Kuemmerle T., Wendland K.J., Esipova E., Radeloff V.C. 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.
- Biatov A.P., Ukrainskiy P.A., Narozhnyaya A.G. Sravnitel'nyy analiz fragmentirovannosti landshaftov belgorodskoy chasti basseyna Vorskly i Merly (Khar'kovskaya oblast', Ukraina) [Comparative analysis of landscape fragmentation in the Vorskla and the Merla river (Khar'kov region, Ukraine)] // *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2014. V. 26(3). P. 157–165 (in Russian).
- Chendev Yu.G., Petin A.N., Serikova E.V., Kramchaninov N.N. Degradatsiya geosistem Belgorodskoy oblasti v rezul'tate khozyaystvennoy deyatelnosti [Degradation of geosystems in the Belgorod region as a result of the economic activities] // *Geografiya i prirodnye resursy*, 2008. N 4. P. 69–75 (in Russian)
- Chendev Yu.G., Aleksandrovskiy A.L., Khokhlova O.S., Smirnova L.G., Novykh L.L., Dolgikh A.V. Antropogennaya evolyutsiya serykh lesostepnykh pochv v yuzhnoy chasti Srednerusskoy vozvysheynosti [Anthropogenic evolution of dark gray forest-steppe soils in the southern part of the Central Russian Upland] // *Pochvovedenie*, 2011. N 1. P. 3–15 (in Russian).
- Dulamsuren C., Hauck M., Muhlenberg M. Vegetation at the taiga forest-steppe borderline in the western Khentey Mountains, northern Mongolia // *Annales Botanici Fennici*. 2005. V. 42(6). P. 411–426.
- Fahrig L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity // *Annual review of ecology, evolution and systematic*. 2003. V. 34. P. 487–515.
- Fietz J., Tomiuk J., Loeschke V., Weis-Dootz T., Segelbacher G. Genetic consequences of forest fragmentation for a highly specialized arboreal mammal—the Edible Dormouse // *PLoS ONE*. 2014. V. 9(2). e88092. doi:10.1371/journal.pone.0088092
- Fischer J., Lindenmayer D.B. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis // *Global Ecology and Biogeography*. 2007. V. 16(3). P. 265–280.
- Forman R.T.T. *Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995, 632 p.
- Goleusov P.V., Lisetskii F.N. Soil development in anthropogenically disturbed forest-steppe landscapes // *Eurasian Soil Science*. 2008. V. 41(13). P. 1480–1486.
- Goroshko O.A. Red-crowned Cranes on the Russian-Chinese Argun River and neighboring parts of the Daurian steppes // *Chinese Birds*. 2012. V. 3(3). P. 231–238.
- Gusev A.P. Prostranstvenno-vremennye izmeneniya struktury landshaftov yugo-vostoka Belorussii i ikh ekologicheskie posledstviya (na primere invaziy rasteniy) [Spatial and temporal changes in the structure of landscapes south-east of Belarus and their ecological consequences (on example invasive plants)] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2014, no 1, pp. 18–23 (in Russian).
- Hauck M., Javkhlan S., Lkhagvadorj D., Bayartogtokh B., Dulamsuren C., Leuschner C. Edge and land-use effects on epiphytic lichen diversity in the forest-steppe ecotone of the Mongolian Altai // *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 2012. V. 207(6). P. 450–458.
- Jaeger J. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation // *Landscape Ecology*. 2000. V. 15. P. 115–130.
- Khoroshev A.V., Puzachenko Yu.G., D'yakov K.N. Sovremennoe sostoyanie landshaftnoy ekologii [Recent stage of the landscape ecology] // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2006, no 5, pp. 12–21 (in Russian).
- Kotlyarova E.G., Cherniavskikh V.I., Dumacheva E.V. Ecologically Safe Architecture of Agrolandscape is basis for sustainable development // *Sustainable Agriculture Research*. 2012. V. 2(2). P. 11–23.
- Kravtsova V.I., Loshkareva A.R. Issledovanie severnoy granitsy lesa po kosmicheskim snimkam raznogo razresheniya [Study of the northern forest line using space imagery of different resolutions] // *Vestnik Moskovskogo universiteta*, 2010. N 6. P. 49–57 (in Russian).
- Kuz'menko Ya.V., Lisetskii F.N., Kirilenko Zh.A., Grigor'eva O.I. Obespechenie optimal'noy vodookhrannoy lesistosti pri basseynovoy organizatsii prirodopol'zovaniya [Providing the optimum water protection forests amount at basin organization of nature management] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2013, V. 15(3–2). P. 652–657 (in Russian).
- Lisetskii F.N., Zemyakova A.V., Terekhin E.A., Naroznyaya A.G., Pavlyuk Ya.V., Ukrainskii P.A., Kirilenko Zh.A., Marinina O.A., Samofalova O.M. New Opportunities of Geoinformational Technologies and Remote Sensing // *Adv. Environ. Biol*. 2014. N 8(10). P. 536–539.
- Makeeva B.M., Malyuchenko O.P., Leont'eva O.A. Otsenka sostoyaniya genofonda prirodnykh populatsiy pozvonochnykh zhivotnykh v usloviyakh fragmentirovannogo landshafta Moskvy i Podmoskov'ya (na primere burykh lyagushek) [Evaluation of the state of the gene pool of natural populations dwelling in the fragmented landscape of Moscow and Moscow region (with special reference to brown frogs)] // *Genetika*, 2006, V. 42. N 5. P. 628–642 (in Russian).
- McGarigal K., Marks B.J. FRAGSTATS – Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: USDA Forest Service General, Pacific Northwest Research Station. 1995. 134 p.
- Mikheeva A.I. Prostranstvennaya izmenchivost' polozheniya verkhney granitsy lesa v Khibinakh (po materialam distantsionnogo zondirovaniya) [Spatial variability of the forest line in the Khibiny Mountains (based on remote sensing materials)] // *Vestnik Moskovskogo universiteta*. 2010, no 4, pp. 18–22 (in Russian).
- Mikhno V.B. Landshaftnye osobennosti insulyarnosti dubrav srednerusskoy lesostepi [Landscape features of oak forests insularity in the central Russian part of forest-steppe] // *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2012. N 1. P. 14–20 (in Russian).
- Oehmichen K., Köhl M. Weiterentwicklung von Indikatoren zur Erfassung der Fragmentierung von Wäldern unter Berücksichtigung der Datenverfügbarkeit: Arbeitsbericht. N 2006/2. Hamburg: Institut für Weltforstwirtschaft, 2006. 41 p.
- Ripperger S.P., Tschapka M., Kalko E.K.V., Rodriguez-Herrera B., Mayer F. Life in a mosaic landscape: anthropogenic habitat fragmentation affects genetic population structure in a frugivorous bat species // *Conservation Genetics*. 2013. V. 14(5). P. 925–934.
- Soulé M.E., Mackey B.G., Recher H.F., Williams J.E., Woinarski J.C.Z., Driscoll D., Dennison W.C., Jones M.E. The role of connectivity in Australian conservation // *Pacific Conservation Biology*. 2004. V. 10. P. 266–279.
- Terekhin E.A. Primenenie dannykh sputnikovoy s'emki dlya analiza mnogoletnikh izmeneniy v lesakh Belgorodskoy oblasti [Using remote sensing data for the analysis of long-term changes in the forests of the Belgorod region] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013. V.10 (2), pp. 70–80 (in Russian).
- Terekhin E.A. Metodika poiska effektivnykh spektral'nykh indeksov dlya avtomati-zirovannogo deshifirovaniya vodnykh ob'ektov (na primere Belgorodskoy oblasti) [The procedure of seeking effective spectral indices for automated interpretation of water bodies (a case study of Belgorod oblast)] // *Geografiya i prirodnye resursy*, 2013, no 3, pp. 132–138 (in Russian).
- Titova S.V., Kobayakov K.N., Zolotukhin N.I., Polyakov A.V. Belgor'ye bez belykh gor? Ugrozy stepnym ekosistemam v Belgorodskoy oblasti [Belgorie without White Mountains? Threats to steppe ecosystems in the Belgorod region] // *Pod red. A.A. Tishkova. M.*, 2014. 40 s.

Usova I.P. Otsenka fragmentatsii lesov s ispol'zovaniem landshaftnykh indeksov (na primere vostochno-belorussoy landshaftnoy provintsii) [Assessment of forest fragmentation using landscape indices (on example the Eastern Belarusian landscape area)] // Aktual'nye problemy geobotaniki: materialy III Vserossiyskoy shkola-konferentsii. II chast'. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2007. P. 250–253 (in Russian).

Viktorov A. S. Risunok landshafta [Pattern of landscape]. M.: Mysl', 1986. 179 p. (in Russian).

Wade T.G., Riitters K.H., Wickham J.D., Jones K.B. Distribution and causes of global forest fragmentation // Conservation Ecology.

2003. V. 7(2). Data Views 22.06.2014 www.ecologyandsociety.org/vol7/iss2/art7/.

Walz U., Krüger T., Schumacher U. Fragmentierung von Wäldern in Deutschland – neue Indikatoren zur Flächennutzung // Natur und Landschaft. 2013. V. 88(3). P. 118–127.

Watts K., Handley P. Developing a functional connectivity indicator to detect change in fragmented landscapes // Ecological Indicators. 2010. V. 10. P. 552–557.

Wu J. Ecological dynamics in fragmented landscapes: Princeton guide to ecology. Princeton: Princeton University Press, 2009. P. 438–444.

Received 20.04.2015

Accepted 27.09.2016