АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ С 1985 ПО 2012

С. А. Турубанова

Университет штата Мэриленд, г. Колледж Парк, США
E-mail: svetlana.turubanova@gmail.com

А. М. Крылов

Университет штата Мэриленд, г. Колледж Парк, США
E-mail: amkrylov@gmail.com

П. В. Потапов

Университет штата Мэриленд, г. Колледж Парк, США
E-mail: potapov.peter@gmail.com

А. Ю. Тюкавина

Университет штата Мэриленд, г. Колледж Парк, США
E-mail: sashatyu@gmail.com

FOREST DYNAMICS IN EASTERN EUROPE (1985–2012) USING LANDSAT DATA ARCHIVE

S. A. Turubanova

University of Maryland, 4321 Hartwick rd. College Park, MD. USA 20740
E-mail: svetlana.turubanova@gmail.com

A. M. Krylov

University of Maryland, 4321 Hartwick rd. College Park, MD. USA 20740
E-mail: amkrylov@gmail.com

P. V. Potapov

University of Maryland, 4321 Hartwick rd. College Park, MD. USA 20740
E-mail: potapov.peter@gmail.com

A. Yu. Tyukavina

University of Maryland, 4321 Hartwick rd. College Park, MD. USA 20740
E-mail: sashatyu@gmail.com

Аннотация. Актуальность и цели. Сокращение посевной площади, изменение лесного законодательства, приватизирование лесных территорий, расширение рынков сбыта древесины и другие социо-экономические причины, связанные с распадом социалистического лагеря и СССР в конце 80-х – начале 90-х гг. XX в., вызвали разнонаправленные изменения лесного покрова стран Восточной Европы. Нами был разработан алгоритм автоматической обработки снимков, полученных разными съемочными системами (ТМ и ЕТМ+), и создания временных серий изображений, который позволяет картографировать общую лесопокрытую площадь, ее потери и прирост. **Материалы и методы.** Для анализа использовались снимки Ландсат с 1984 по 2012 г., полученные из глобального архива и выбранные только в пределах вегетационного сезона. Модель для нормализации значения спектральной яркости основывалась на разнице между спектральной яркостью данных Ландсат и многолетних средних значений спектральной яркости по данным MODIS. Полученные данные использовались для создания попиксельных временных серий наблюдений, которые были трансформированы в наборы «метрик», использованные в дальнейшем для картографирования динамики лесного покрова. **Результаты.** Общая площадь лесопокрытой территории увеличилась с 1985 до 2012 г. на 4,7 % во всех восточноевропейских странах, за исключением Эстонии и Латвии. В ряде наиболее населенных административных регионов России (например, в Московской и Ленинградской областях) преобладает сокращение лесного покрова. В среднем, ежегодная площадь нарушений лесного покрова с 2007 по 2012 г. на 22 % выше, чем в советское время. Процент лесных пожаров увеличился с 1,5 % от общей площади изменений лесов в 1980-х гг. до 11,3 % в период 2007–2012 гг. В 2011 г. доля пожаров достигала 29 % от общей площади изменений лесов, что отражает экстремальный пожарный сезон Европейской части России 2010 г. **Выводы:** Основной целью нашего исследования было создание пространственно-временного набора данных, отражающего динамику

лесного покрова Восточноевропейских стран в течение почти тридцати лет (1985–2012). Лесной покров в нашем анализе определялся набором биофизических признаков (сомкнутость крон деревьев и высота насаждения), что не всегда соответствует критериям кадастра земель. Полученные результаты иллюстрируют изменения лесного покрова в разных странах и регионах после распада социалистического лагеря и перехода от плановой экономики к рыночному хозяйству. Показанное сравнение с данными ФАО демонстрирует возможности использования данных космической съемки для картографирования изменений лесного покрова и оценки объема заготовки древесины.

Ключевые слова: Ландсат, лесопокрытая территория, изменения лесного покрова, лесовосстановление, вырубки, лесные пожары.

Для цитирования: Турубанова, С. А. Анализ динамики лесного покрова Восточной Европы на основе спутниковых данных с 1985 по 2012 / С. А. Турубанова, А. М. Крылов, П. В. Потапов, А. Ю. Тюкавина // Russian Journal of Ecosystem Ecology. – 2017. – Vol. 2 (1). – <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2017-1-3>

Abstract. The collapse of the “Eastern Bloc” and the breakdown of the Soviet Union in the late 1980's – early 1990's led to dramatic political and economic changes in Eastern European countries. Reduction of crop area, changes in the forest legislation, land privatization, markets change and other social and economic factors have caused changes in forested area within these countries. Statistical data on forest extent provided by the countries are not always comparable due to the use of different methods and definitions. Long-term archive of Landsat satellite data allows independent evaluation of the extent and change of forest area. We have developed an algorithm for the automatic processing of images obtained by different sensors (TM and ETM+) and compilation of a consistent image time series to map the total forest area, its loss and gain. The algorithm was used to estimate the forest area change in Eastern Europe from 1985 to 2012. The results showed that the forested area increased by 4,7 % in 2012 compared to 1985. The average annual forest loss was 0,41 % of the total forest area, and disturbance area increased from 1985 to 2012. Forest cover is quickly restored after the disturbance, and only 12 % of forest disturbance area occurred before 1995 was not recovered by 2012. The main factor of the forest disturbance was timber harvesting. The annual logging area declined after the collapse of the planned economy in the late 80's, increased by the year 2000, and then decreased again due to the economic crisis of 2007–2009. Our results and regional maps are available online at <http://glad.umd.edu/europe/> and may be used to analyze changes in forest area at national and sub-national levels.

Key words: Landsat, Forest Cover, Forest Cover Loss, Logging, Afforestation, Forest Fire.

For citation: Turubanova S.A., Krylov A.M., Potapov P.V., Tyukavina A.Yu. Forest dynamics in Eastern Europe (1985–2012) using landsat data archive. Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2017;2(1). (In Russ.). Available from: <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2017-1-3>

Введение

Политические и экономические изменения конца XX в. в странах бывшего социалистического блока и союзных республик бывшего СССР оказали значительное влияние на лесной покров и лесные ресурсы этих государств. Приватизация лесных территорий, изменение правил и законов регулирования лесных полномочий, а также расширение внешнего рынка оказали огромное воздействие на направление изменений в лесном хозяйстве [1–4]. В разных странах эти изменения происходили не одновременно и в различных направлениях [5]. Статистические данные, представляемые государствами, не всегда могут быть сопоставимы. Во-первых, границы стран изменились. Во-вторых, методология сбора информации менялась в течение этого периода времени и не совпадала в разных странах [6, 7]. Наличие открытых архивов спутниковых данных, в частности, собираемых программой США Ландсат с середины 80-х гг. по настоящее время, позволяет незави-

симо оценивать динамику растительного покрова, а также исследовать изменения категорий землепользования, запасов углерода и динамики экосистем [8, 9]. В связи с тем, что данные архива Ландсат были получены с помощью различных съемочных систем (ТМ, ЕТМ+ и т.д.) при разных атмосферных условиях, требуются специальные методы для обработки этих данных и создания непрерывных временных серий изображений [10].

Цель данного исследования – проследить изменения лесного покрова с 1985 по 2012 г. для стран Восточной Европы и проанализировать воздействие социально-экономических факторов на эти изменения, используя полный архив снимков Ландсат. Наличие 30-летнего архива спутниковых наблюдений позволяет решить проблему несопоставимости статистических данных, а также предоставляет более детальную картину распределения и изменения лесных ресурсов.

Использованный в данном исследовании алгоритм основан на глобальном методе карто-

графирования площади и динамики лесного покрова [11] и представляет собой усовершенствованный метод оценки динамики лесного покрова на региональном уровне. Преимуществом данного подхода является использование полного архива снимков Ландсат, что позволяет создать методологически последовательный и детальный набор данных о динамике лесного покрова за последние три десятилетия. Полученные в результате исследования данные доступны на сайте <http://glad.umd.edu/europe/> и могут быть использованы для дальнейшего анализа.

Материалы и методы

Анализ был проведен для государств бывшего социалистического блока: европейской части СССР (Украина, Белоруссия, Молдавия, европейская часть России), бывшей Югославии (Босния и Герцеговина, Хорватия, Словения, Сербия и Македония), бывшей Чехословакии (Чехия и Словакия), Польши, Венгрии, Румынии и Болгарии.

Для анализа использовались 59 539 снимков Ландсат (сканеры TM и ETM+) с 1984 по 2012 г., полученных из глобального архива. Мы использовали только данные, обработанные до уровня L1T (прошедшие ортокоррекцию). Кос-

мические снимки выбирались только в пределах вегетационного сезона, временные рамки которого были определены с использованием многолетних средних значений вегетационного индекса (NDVI), рассчитанного по данным сенсора MODIS [12].

Алгоритм автоматической обработки данных Ландсат и создания временных серий изображений представлен на рис. 1. В процессе обработки для каждого индивидуального снимка Ландсат автоматически создавалась маска облачных и теневых пикселей, которые исключались из дальнейшего анализа. Для остальных пикселей изображения мы рассчитывали нормализованные значения спектральной яркости. Модель для нормализации изображений основывалась на разнице между спектральной яркостью данных Ландсат и многолетних средних значений спектральной яркости по данным MODIS. Полученные нормализованные данные использовались для создания попиксельных временных серий наблюдений, которые были трансформированы в наборы «метрик», отражающих статистические параметры распределения и изменения спектральных значений временной серии. Полученные метрики использовались в дальнейшем для картографирования динамики лесного покрова.

Рис. 1. Алгоритм обработки архива космических снимков Ландсат

Было создано три категории метрик: долго-временные (1985–2000 и 2000–2012) для анализа изменений лесного покрова, трехлетние (1984–1986, 1999–2001, 2010–2012) – для картографирования лесного покрова на определенную дату, и ежегодные – для определения даты изменений. Для многолетних метрик (долго-временных и трехлетних) использовались безоблачные значения пикселей в течение вегетационного периода, которым соответствовали (1) максимум, минимум и выбранные перцентили (10, 25, 50, 75 и 90 %) яркости в каждом спектральном канале, а также соотношения каналов и значения, соответствующие ранговым порядкам нормализованного вегетационного индекса (NDVI) и значениям яркостной температуры; (2) средние значения наблюдений между выбранными перцентилями (интервалы для минимум 10 %, 10–25 %, 25–50 %, 50–75 %, 75–90 %, 90 % – максимум, минимум – максимум, 10–90 %, 25–75 %); и (3) угол наклона прямой линейной регрессии значений спектральной яркости от даты снимка. Ранее было показано [12, 13], что выбранные метрики применимы для картографирования динамики лесного покрова в бореальных и умеренных климатических поясах. Для ежегодных метрик использовались минимальные и максимальные значения спектральной яркости в течение вегетационного периода.

Лесной покров был закартографирован по состоянию на 1985, 2000 и 2012 гг. с использованием метода дерева регрессии [14]. Модель была обучена с использованием глобального продукта сомкнутости крон деревьев на 2000 г. [11] и наборе 1999–2001 трехлетних метрик, а затем применена для 1984–1986 и 2010–2012 метрик, в результате чего были получены сравнимые карты лесного покрова. Три года наблюдений для набора метрик использовались для того, чтобы избежать наличия пикселей, в которых данные на определенный год отсутствуют. Порог сомкнутости крон использовался ранее [12, 13] для картографирования лесопокрываемой площади и был рассчитан с учетом наилучшего соответствия полученной площади результатам официального лесного учета. Пик-

сели с сомкнутостью крон более 49 % были отнесены к лесопокрытым, а ≤ 49 % – к нелесным территориям.

Метод классификации с обучением применялся для картографирования нарушений лесного покрова. Для временного интервала 1985–2000 модель была разработана на основе обучающей выборки, выполненной экспертами; для 2000–2012 в качестве обучающей выборки использовались данные глобального сокращения лесов [11]. Для определения года изменений использовались временные ряды изменения вегетационного индекса NDVI, построенные на основе ежегодных метрик. Нарушения лесного покрова были разделены по типу (пожары, ветровалы и др.) с использованием визуального экспертного анализа. К «другим» типам нарушений относились вырубки и повреждения насекомыми. Возобновление лесного покрова было определено при сравнении лесного покрова на 1985, 2000 и 2012 гг.

Оценка точности полученных результатов для всех типов изменений проведена с использованием лучших доступных данных. Точность картографирования сокращения лесного покрова 1985–2000 и 2000–2012 оценивалась отдельно, чтобы доказать сопоставимость этих карт. Также была проведена оценка точности полученных карт лесовосстановления отдельно для нелесных территорий 1985 и в пределах нарушений 1985–2012. Используемые методы оценки точности следуют общепринятым рекомендациям [15–17]. Для того, чтобы оценить точность каждого тематического класса, мы выбрали стратифицированную случайную выборку пикселей. Были использованы следующие страты: (1) центральные части неизменных и измененных территорий, (2) пограничные территории с высокой степенью неопределенности (буфер в один пиксель вдоль границы между стратами). Для каждого периода сокращения лесного покрова в пределах страт случайным образом было выбрано 1000 пикселей, для каждого периода восстановления лесопокрываемой территории – 500 пикселей. Показатели точности полученных карт динамики лесного покрова приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели точности для карт изменений лесного покрова

	Точность пользователя (User's accuracy of change class)	Точность производителя (Producer's accuracy of change class)
Сокращение лесного покрова 1985–2000	89,9 %	90,0 %
Сокращение лесного покрова 2000–2012	94,3 %	88,2 %
Восстановление лесного покрова (после сокращения 1985–2012)	98,3 %	96,9 %
Восстановление лесного покрова (внутри нелесных территорий 1985)	91,0 %	75,2 %

Точность производителя для восстановления и сокращения лесного покрова ниже (88 % и 75 %), чем точность пользователя (89 % и 91 %). Основная масса ошибок классификации располагается в буферной зоне класса изменений, что подтверждает ранее опубликованные результаты [17]. Также мы сравнили результаты данной работы и глобальной карты изменений [11]. Представленный в данной работе метод классификации показывает гораздо лучшие результаты на региональном уровне, чем на глобально-континентальном (65 % и 68 % для ранее опубликованной глобальной карты, и 94 % и 88 % для данной региональной карты).

Результаты и обсуждение

Проведенный нами анализ выявил существенные изменения лесного покрова Восточной Европы с 1985 по 2012 г. Общая площадь лесопокрытой территории увеличилась с 216 млн га в 1985 г. до 226 млн га в 2012 г., что соответствует относительному приросту на 4,7 %. Лесопокрытая территория увеличилась во всех восточноевропейских странах, за исключением Эстонии и Латвии. В ряде административных регионов преобладает сокращение лесного покрова. Это наиболее населенные регионы России: Московская и Ленинградская области (рис. 2).

Рис. 2. Изменение лесного покрова с 1985 по 2012 г.

Почти 11 % лесного покрова 1985 г. были подвержены нарушениям, что в среднем соответствует 0,41 % в год. Ежегодная площадь нарушений сокращается в 1990-х гг., в период экономических реформ, и ускоряется после 2000 г. В среднем, ежегодная площадь наруше-

ний лесного покрова с 2007 по 2012 на 22 % выше, чем в советское время. Ежегодный объем рубок различается между странами и регионами (рис. 3). В то время, как большинство стран испытывало сокращение площади рубок в 1990-е гг., в странах Балтии (Эстонии, Латвии и

Литве) интенсивность лесозаготовок заметно возросла, скорее всего благодаря быстрому переходу к рыночному хозяйству. Ранние 2000-е гг. характеризуются ежегодным увеличением лесозаготовок во всех странах, за исключением России. Большинство стран увеличили площадь рубок вдвое по сравнению с советским периодом; в Эстонии – в три раза, в Латвии и Литве –

почти в четыре раза. Экономический кризис конца 2000-х оказал различное влияние на страны: центрально-европейские страны (Словакия, Чехия и Польша) и прибалтийские страны продолжали рост лесозаготовок, в то же время в других странах ежегодная площадь лесозаготовок осталась такой же или сократилась.

Рис. 3. Сравнение площади рубок относительно советского времени (1985–1988)

В целом на исследуемой территории заготовка древесины увеличилась по сравнению с советским периодом; исключениям является европейская часть России, где интенсивность лесозаготовок в целом снизилась. Тем не менее, на региональном уровне заметно отличается центральный район (самая населенная часть России и местонахождение крупных лесопромышленных предприятий), в котором наблюдается ситуация, сходная с остальными европейскими странами (увеличение площади вырубок), в то время как в остальной части европейской России интенсивность лесозаготовок так и не достигла советского уровня (рис. 3).

Заготовка древесины является основным фактором нарушений лесного покрова в Восточной Европе, площадь естественных нарушений относительно невелика и составляет меньше 10 % от общей территории изменений лесов. Тем не менее, частота и размеры лесных пожаров и ветровалов значительно увеличились в конце 2000-х (рис. 4). Процент лесных пожаров увеличился с 1,5 % от общей площади изменений лесов в 1980-х гг. до 11,3 % в период 2007–2012. В 2011 г. доля пожаров достигала 29 % от общей площади изменений лесов, что отражает экстремальный пожарный сезон Европейской части России 2010 г.

Рис. 4. Динамика изменения площади (тыс. га) пожаров (1) и ветровалов (2) на всей изучаемой территории

Лесной покров восстанавливается либо естественным путем, либо путем создания лесных культур после вырубок и естественных нарушений. Более половины (60 %) от всех нарушений, произошедших до 2007 г., восстановили лесной покров к 2012 г. В 2012 г. молодые леса, выросшие на месте вырубок и заброшенных сельскохозяйственных угодий, составили 15 % всей лесопокрытой территории. Только 12 % площади нарушений лесов до 1995 осталось не покрытой лесом к 2012 г. Зарастание сельскохозяйственных угодий играет огромную роль в увеличении лесопокрытой территории: 6,5 млн га молодых лесов появилось на месте пашни и пастбищ. Во многих странах зарастание земель

превысило площадь вырубок, что привело к увеличению лесного покрова (рис. 5). Необходимо принять во внимание, что данный анализ показывает только интенсивное зарастание заброшенных сельхозугодий. Полевое обследование зарастающих лесом сельхозугодий в нескольких регионах России показало, что только участки с сомкнутостью крон более 40 %, высотой более 6,5 м, и возрастом более 10 лет устойчиво выделяются по снимкам Ландсат. Отсутствие источников семян, высокая частота пожаров, а также плотная дернина, затрудняющая проникновение семян в почву, замедляют процесс распространения лесной растительности.

Рис. 5. Соотношение лесовосстановленной площади на бывших сельхозугодьях по отношению к общей нелесной территории в 1985 г. (уровень зарастания сельскохозяйственных площадей с 1985 г.)

Полученные результаты согласуются с данными, предоставляемыми национальными агентствами Всемирной Продовольственной Организации (FAO) [18, 19]. На рис. 6 показано

сравнение данных площади лесного покрова на 2010 г. (для этого из площади лесного покрова в 2012 г. были вычтены площади нарушений в 2011 и 2012 гг.).

Рис. 6. Сравнение данных по площади лесного покрова на 2010 г. по отдельным странам (BGR – Болгария, BIH – Босния и Герцеговина, BLR – Беларусь, CZE – Чехия, EST – Эстония, HRV – Хорватия, HUN – Венгрия, LTU – Литва, LVA – Латвия, MDA – Молдавия, MKD – Македония, MNE – Монтенегро, POL – Польша, ROU – Румыния, SRB – Сербия, SVK – Словакия, SVN – Словения, UKR – Украина)

Тем не менее были обнаружены различия в оценке площади изменений лесного покрова (рис. 7) между полученными данными и официальной статистикой по странам. Мы сравнивали площадь изменений лесного покрова для 1985–2012 гг., полученных со снимков с данными FAO 1990–2010 гг. [19]. Для большинства стран увеличение лесного покрова подтверждено как спутниковыми данными, так и данными FAO. Однако для ряда стран спутниковая оценка показывает большее увеличение площади лесов (Польша, Украина, Венгрия, Хорватия, Чехия) или недооценивает увеличение лесной территории (Белоруссия, Болгария, Сербия, Литва, Македония, Эстония, Латвия) по сравнению с данными FAO. Тот факт, что официальная статистика не включает определенные типы лесовосстановления (например, зарастание сельскохозяйственных угодий), возможно, объясняет недооценку изменений лесного покрова официальной статистикой по сравнению с данными, полученными в нашем исследовании. Переоценка официальных данных по лесовосстановлению может объясняться тем, что данные лесозарас-

тания попадают в статистику раньше, чем зарастание становится заметно на космических снимках. Наши оценки изменения лесного покрова в Эстонии и Латвии не совпадают с данными FAO. В то время как наши результаты показывают преобладание сокращения лесного покрова над лесовозобновлением, данные FAO показывают рост лесопокрытой территории.

Анализируя интенсивность лесозаготовок, мы сравнили среднегодовую площадь вырубок за 2009–2011 гг. с официальными данными объемов заготовки деловой древесины на 2010 г. [19]. Результаты показали высокую корреляцию между этими параметрами для бывших республик СССР и остальных европейских стран (рис. 8). Средний объем заготовки с гектара по нашим расчетам составил для бывших стран СССР 211 м³/га, для остальных стран – 524 м³/га. Мы предполагаем, что такое различие связано с несоответствием методов оценки, а также с климатическими и почвенными условиями. Кроме того, на это может повлиять степень распространенности выборочных рубок (площадь низкоинтенсивных выборочных ру-

бок не учитывалась в данном анализе). Тем не менее, подобное сравнение между площадью вырубок и объемами заготовки древесины

выявляет способность оценивать объемы лесозаготовок с помощью данных космического наблюдений.

Рис. 7. Сравнение площади изменений лесного покрова между полученными данными и официальной статистикой по странам (BGR – Болгария, BIH – Босния и Герцеговина, BLR – Беларусь, CZE – Чехия, EST – Эстония, HRV – Хорватия, HUN – Венгрия, LTU – Литва, LVA – Латвия, MDA – Молдавия, MKD – Македония, MNE – Монтенегро, POL – Польша, ROU – Румыния, SRB – Сербия, SVK – Словакия, SVN – Словения, UKR – Украина)

Рис. 8. Сравнение площади вырубок, определенной по спутниковым данным, с данными FAO по объемам заготовки деловой древесины в 2010 г. (BGR – Болгария, BIH – Босния и Герцеговина, BLR – Беларусь, CZE – Чехия, EST – Эстония, HRV – Хорватия, HUN – Венгрия, LTU – Литва, LVA – Латвия, MDA – Молдавия, MKD – Македония, MNE – Монтенегро, POL – Польша, ROU – Румыния, SRB – Сербия, SVK – Словакия, SVN – Словения, UKR – Украина)

Выводы

Основной целью нашего исследования было создание пространственно-временного набора данных, отражающего динамику лесного покрова Восточноевропейских стран в течение почти тридцати лет (1985–2012). Чтобы преодолеть несоответствие понятий и методов оценок лесохозяйственных характеристик, мы использовали архив данных космической съемки. Лесной покров в нашем анализе определялся набором биофизических признаков (сомкнутость крон деревьев и высота насаждения), что не всегда соответствует критериям кадастра земель.

Данные спутниковых наблюдений лучше подходят для мониторинга запасов углерода,

чем лесотаксационные данные [20]. Полученные результаты иллюстрируют изменения лесного покрова в разных странах и регионах в ходе изменения социо-экономических условий после распада социалистического лагеря и перехода от плановой экономики к рыночному хозяйству. Показанное сравнение с данными FAO демонстрирует возможности использования данных космической съемки для картографирования изменений лесного покрова и оценки объема заготовки древесины.

Авторы выражают глубокую благодарность за ценные комментарии и советы профессорам Хансону, Маккарти и Раделоф. Проект был выполнен при поддержке гранта NASA Land-Cover/Land-Use Change Program research grants NNX13AC66G and NNX12AG74G.

Список литературы

1. Forest policy networks in changing political systems: Case study of the Baltic states / M. Lazdinis, A. Carver, L. Carlsson, K. Tönisson, L. Vilkriste // *Journal of Baltic Studies*. – 2004. – Vol. 35 (4) – P. 402–419.
2. Strimbu, B. M. Forest conditions and management under rapid legislation change in Romania / B. M. Strimbu, G. M. Hickey, V. G. Strimbu // *The Forestry Chronicle*. – 2005. – Vol. 81 (3). – P. 350–358.
3. Tornaiainen, T. J. Russian forest policy in the turmoil of the changing balance of power / T. J. Tornaiainen, O. J. Saastamoinen, A. P. Petrov // *Forest Policy and Economics*. – 2006. – Vol. 9 (4). – P. 403–416.
4. Vanwambeke, S. O. From USSR to EU: 20 years of rural landscape changes in Vidzeme / S. O. Vanwambeke, P. Meyfroidt, O. Nikodemus // *Landscape and Urban Planning*. – Latvia, 2012. – Vol. 105 (3). – P. 241–249.
5. Cross-border comparison of land cover and landscape pattern in Eastern Europe using a hybrid classification technique / T. Kuemmerle, V. C. Radeloff, K. Perzanowski, P. Hostert // *Remote Sensing of Environment*. – 2006. – Vol. 103 (4). – P. 449–464.
6. Comparative analysis of harmonized forest area estimates for European countries / L. Seebach, P. Strobl, J. San Miguel-Ayanz, J. Gallego, A. Bastrup-Birk // *Forestry*. – 2011. – Vol. 84. – P. 285–299.
7. National forest inventories / E. Tomppo, Th. Gschwantner, M. Lawrence, R. E. McRoberts. – New York: Springer, 2010. DOI : 10.1007/978-90-481-3233-1
8. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring / M. A. Wulder, J. C. White, S. N. Goward, J. G. Masek, J. R. Irons, M. Herold, C. E. Woodcock // *Remote Sensing of Environment*. – 2008. – Vol. 112 (3). – P. 955–969.
9. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS / С. А. Барталев, В. А. Егоров, Д. В. Ершов, А. С. Исаев, Е. А. Лупян, Д. Е. Плотноков, И. А. Уваров // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2011. – Т. 8. – № 4. – С. 285–302.
10. Hansen, M. C. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. / M. C. Hansen, T. R. Loveland // *Remote Sensing of Environment*. – 2012. – Vol. 122. – P. 66–74.
11. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change / M. C. Hansen, P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. Turubanova, A. Tyukavina, J. R. G. Townshend // *Science*. – 2013. – Vol. 342. – P. 850–853.
12. Potapov, P. Regionalscale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia / P. Potapov, S. Turubanova, M. C. Hansen // *Remote Sensing of Environment*. – 2011. – Vol. 115 (2). – P. 548–561.
13. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive / P. V. Potapov, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, A. M. Krylov, J. L. McCarty, V. C. Radeloff, M. C. Hansen // *Remote Sensing of Environment*. – 2014. – Vol. 159. – P. 28–43.
14. Classification and regression trees / L. Breiman, J. H. Friedman, R. A. Olshen, C. J. Stone / Monterey, California: Wadsworth and Brooks/Cole. – 1984. – 366 p.
15. Stehman, S. V. Impact of sample size allocation when using stratified random sampling to estimate accuracy and area of land-cover change / S. V. Stehman // *Remote Sensing Letters*. – 2012. – Vol. 3. – P. 111–120.
16. National scale estimation of gross forest above ground carbon loss: a case study of the Democratic Republic of the Congo / A. Tyukavina, S. V. Stehman, P. V. Potapov, S. A. Turubanova, A. Baccini, S. J. Goetz, M. C. Hansen // *Environmental Research Letters*. – 2013. – Vol. 8 (4). – P. 1–14.
17. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change / P. Olofsson, G. M. Foody, M. Herold, S. V. Stehman, C. E. Woodcock, M. A. Wulder // *Remote Sensing of Environment*. – 2014. – Vol. 148. – P. 42–57.

18. FAO [Food and agriculture organization of the United Nations] On definitions of forest and forest change // FAO FRA, 2000. – P. 33 ; FAO, Rome FAO, 2010 ; Global forest resources assessment. – Rome : UNFAO, 2010.
19. Forest Europe, UNECE and FAO: State of Europe's Forests 2011 // Status and Trends in Sustainable Forest. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 2011.
20. Drivers of forest harvesting intensity patterns in Europe / Christian Levers, Pieter J. Verkerk, Daniel Müller, Peter H. Verburg, Van Butsic, Pedro J. Leitão, Marcus Lindner, Tobias Kuemmerle // Forest Ecology and Management. – 2014. – Vol. 315. – P. 160–172.

References

1. Lazdinis M., Carver A., Carlsson L., Tönisson K., Vilkriste L. *Journal of Baltic Studies*. 2004, vol. 35 (4), pp. 402–419.
2. Strimbu B. M., Hickey G. M., Strimbu V. G. *The Forestry Chronicle*. 2005, vol. 81 (3), pp. 350–358.
3. Torniaainen T. J., Saastamoinen O. J., Petrov A. P. *Forest Policy and Economics*. 2006, vol. 9 (4), pp. 403–416.
4. Vanwambeke S. O., Meyfroidt P., Nikodemus O. *Landscape and Urban Planning*. Latvia, 2012, vol. 105 (3), pp. 241–249.
5. Kuemmerle T., Radeloff V. C., Perzanowski K., Hostert P. *Remote Sensing of Environment*. 2006, vol. 103 (4), pp. 449–464.
6. Seebach L., Strobl P., San Miguel-Ayaz J., Gallego J., Bastrup-Birk A. *Forestry*. 2011, vol. 84, pp. 285–299.
7. Tomppo E., Gschwanter Th., Lawrence M., McRoberts R. E. *National forest inventories*. New York: Springer, 2010. DOI : 10.1007/978-90-481-3233-1
8. Wulder M. A., White J. C., Goward S. N., Masek J. G., Irons J. R., Herold M., Woodcock C. E. *Remote Sensing of Environment*. 2008, vol. 112 (3), pp. 955–969.
9. Bartalev S. A., Egorov V. A., Ershov D. V., Isaev A. S., Lupyan E. A., Plotnikov D. E., Uvarov I. A. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current issues of the Earth remote sensing from space]. 2011, vol. 8, no. 4, pp. 285–302.
10. Hansen M. C., Loveland T. R. *Remote Sensing of Environment*. 2012, vol. 122, pp. 66–74.
11. Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S., Tyukavina A., Townshend J. R. G. *Science*. 2013, vol. 342, pp. 850–853.
12. Potapov P., Turubanova S., Hansen M. C. *Remote Sensing of Environment*. 2011, vol. 115 (2), pp. 548–561.
13. Potapov P. V., Turubanova S. A., Tyukavina A., Krylov A. M., McCarty J. L., Radeloff V. C., Hansen M. C. *Remote Sensing of Environment*. 2014, vol. 159, pp. 28–43.
14. Breiman L., Friedman J. H., Olshen R. A., Stone C. J. *Classification and regression trees*. Monterey, California: Wadsworth and Brooks/Cole. 1984, 366 p.
15. Stehman S. V. *Remote Sensing Letters*. 2012, vol. 3, pp. 111–120.
16. Tyukavina A., Stehman S. V., Potapov P. V., Turubanova S. A., Baccini A., Goetz S. J., Hansen M. C. *Environmental Research Letters*. 2013, vol. 8 (4), pp. 1–14.
17. Olofsson P., Foody G. M., Herold M., Stehman S. V., Woodcock C. E., Wulder M. A. *Remote Sensing of Environment*. 2014, vol. 148, pp. 42–57.
18. FAO FRA, 2000. – R. 33; FAO, Rome FAO, 2010; Global forest resources assessment. Rome: UNFAO, 2010.
19. Status and Trends in Sustainable Forest. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 2011.
20. Levers Christian, Verkerk Pieter J., Müller Daniel, Verburg Peter H., Van Butsic, Leitão Pedro J., Lindner Marcus, Kuemmerle Tobias *Forest Ecology and Management*. 2014, vol. 315, pp. 160–172.