

Климатические и постаграрные векторы трансформации лесопокрытых территорий староосвоенных районов Европейской России

© 2025. В. В. Елсаков¹, к. б. н., в. н. с., Т. А. Мыльникова¹, ст. лаборант,
А. Ю. Боровлёв¹, инженер, Л. М. Баскин², д. б. н., г. н. с.,
В. М. Щанов¹, ведущий инженер-программист,

¹Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
101000, Россия, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20,
e-mail: elsakov@ib.komisc.ru

В работе проведён анализ изменений растительного покрова ряда районов Костромского Заволжья за период 1985–2023 гг. по разновременным спутниковым данным Landsat и MODIS. Для выявления изменений площадей доминирующих классов использованы две тематические карты растительного покрова и земной поверхности, подготовленные по снимкам Landsat (М 1 : 100 000) для 08.08.1985 г. и 10.08.2018 г. На примере отдельных районов показано увеличение доли хвойных лесных сообществ с 32,6 до 43,8%. Доля лиственных сообществ осталась без изменений (39,7–39,9%). Доля «коренных» лесов (на классификации 1985 и 2018 гг. отнесены к одному классу) составила 25,9% для хвойных и 26,2% для лиственных лесов. Сопоставление снимков детального разрешения Corona KH-2 (19.08.1973) и ESRI Imagery (29.04.2023) демонстрирует участки изменений, связанные с зарастаниями залежных земель и заброшенных сельскохозяйственных угодий. Наиболее активное зарастание отмечено на краевых участках, граничащих с лесными фитоценозами. Показатели сомкнутости крон древесного полога, рассчитанные по снежным изображениям Landsat, наиболее полно отражают изменения лесных сообществ. После крупного пожара в 1972 г. (площадь около 870 км²) к 2015 г. были восстановлены лесные сообщества с сомкнутостью крон до 80–90%. Для ненарушенных хвойных коренных лесов характерно постепенное (порядка 0,2% в год) снижение значений сомкнутости, что может быть использовано как индикатор малонарушенных лесов. Анализ изменений спектрального индекса EVI (Enhanced Vegetation Index) показывает, что большая часть классов лесных сообществ находится в стабильном состоянии. Значительная протяжённость периода наблюдений по MODIS (24 года) нивелировала рассчитанный линейный тренд для многих участков, даже с крупными изменениями.

Ключевые слова: лесные насаждения, спутниковые методы исследований, глобальные трансформации бореальных экосистем.

Climatic and post-agrarian vectors of transformation of forested areas in old-developed regions of European Russia

© 2025. V. V. Elsakov¹ ORCID: 0000-0001-7111-5161^{*}

T. A. Mylnikova¹ ORCID: 0000-0002-4909-850X^{*} A. Yu. Borovlev¹ ORCID: 0009-0000-9072-2397^{*}

L. M. Baskin² ORCID: 0000-0003-0699-642X^{*} V. M. Shchanov¹ ORCID: 0000-0003-4420-4956^{*}

¹Institute of Biology of Komi Science Centre of the
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

²National Research University Higher School of Economics,
20, Myasnitskaya St., Moscow, Russia, 101000,
e-mail: elsakov@ib.komisc.ru

The article analyses changes in the vegetation cover in several districts of the Kostroma Volga region within 1985–2023 using multi-temporal Landsat and MODIS satellite data. Two thematic maps of vegetation cover and land surface (M 1 : 100 000) were prepared based on Landsat images (for 08.08.1985 and 10.08.2018). The maps were used to identify changes in dominant classes of the region. Case study in some districts show that the share of coniferous forest

communities increased from 32.6 to 43.8%. The share of deciduous communities remained unchanged (39.7–39.9%). The proportion of 'indigenous' forests (classified as one class in 1985 and 2018) was 25.9% for coniferous forests and 26.2% for deciduous forests. Comparison of detailed resolution images of Corona KH-2 (19.08.1973) and ESRI Imagery (29.04.2023) shows that areas of changes are associated with overgrowing fallow lands and agricultural territories. The most active overgrowth can be observed at the edges of plots bordering with forest phytocenoses. The canopy density indices calculated from Landsat winter and early spring images reflect changes in the forest communities most fully. After a conflagration in 1972 forest communities with a canopy density of up to 80–90% were restored by 2015. Undisturbed coniferous native forests are characterized by a gradual decrease (about 0.2% per year) in canopy density values; this fact can be used as an indicator of intact forests. Analysis of changes in the spectral EVI (Enhanced Vegetation Index) shows that most of the forest community classes remain stable. However, the considerable length of the observation period (24 years) leveled out the calculated linear trend for many sites, even with large changes.

Keywords: forest stands, satellite research methods, global transformations of boreal ecosystems.

Климатически обусловленные и статистически обоснованные изменения характеристик лесных сообществ отчётливо фиксируются на северных границах распространения лесной растительности [1, 2], на участках экотонных зон в связи с расширением ареала древесных пород [3–6]. Наряду с этим, интерес представляет анализ основных лесопокрытых и прилегающих к ним территорий, расположенных в оптимальных для развития лесных пород условиях. Лесные массивы староосвоенных районов европейской России – наиболее сильно изменившиеся бореальные экосистемы. Уничтожение и распашка лесных территорий региона сменилась зарастанием полей и восстановлением лесов. К таким территориям относится Костромская область, где лесопокрываемая площадь занимает 86,7%, и наблюдается тренд увеличения площади лесов.

С начала XVII века началось сельскохозяйственное и лесохозяйственное освоение этой территории. Происходило истребление леса и распашка участков, прилегающих к рекам Унже, Ветлуге, Меже, Вохме, Нее и другим. Максимального населения деревни этого региона достигли к 1915 г. [7]. В советский период отмечено уменьшение числа деревень. Шёл процесс, названный в работе [8] как «сжатие освоенного пространства», связанный с концентрацией населения в некоторых поселениях и исчезновением других. Подтверждение этого процесса дают публикации 1907 г. [9] и статистические документы 2019 г. [10].

Крестьяне осваивали лесные поляны и пустоши для сенокоса. Эти мелкоконтурные участки пашни и сенокосов создали характерный мозаичный ландшафт на удалении до 10 км от поселений. В 1940–1980-х гг. происходила концентрированная рубка лесов на территориях, более удалённых от больших рек. В XX веке становление социалистического сельского хозяйства привело к расширению участков пашни. В 1960–1980-х гг. интенсив-

ная мелиорация (удаление лесов по окраинам полей, осушение увлажнённых участков) ещё более увеличила площади крупных полей, сократила протяжённость опушек.

Крупные изменения ландшафта связаны с лесными пожарами [11]. Выгорели сосновые леса, широко распространённые в изученном регионе, а также ряд торфяных болот. Специального внимания заслуживает гари 1972 г. на левом берегу р. Унжи в Макарьевском и Мантуровском районах. Подобно тому, как это наблюдал К.К. Калинин [12], на всех обследованных участках гари после пожара наблюдалось успешное естественное возобновление материнской породой – сосной, а также лиственными – берёзой и осинкой. Лишь в сосняках лишайниковых, пройденных слабым низовым пожаром, и брусничных, повреждённых верховым пожаром, возобновление было недостаточным или практически отсутствовало. Этот пожар уничтожил поселения, исключил существовавшую здесь интенсивную вырубку леса. Была уничтожена инфраструктура (дороги, мосты). В настоящее время хвойный лес на месте гари 1972 г., резко выделяющийся на снимках, восстановился, в 2006 г. на участке создана ООПТ Федерального уровня «Кологривский лес». В современных условиях изменение стратегии использования экологического потенциала территории от лесопромышленной эксплуатации к рекреации представляется оправданным.

Социально-экономическая революция 1990-х гг. сопровождалась падением сельского хозяйства и прекращением пахоты. В Костромской области, с благоприятными для роста леса условиями, произошло зарастание окраин больших полей и полей в глубине лесов, использовавшихся для сенокоса.

Выявление трендов изменений коренных лесов в сопоставлении с данными метеорологических наблюдений позволит подойти к вопросу построения долговременного прогноза показателей лесных сообществ при разных

сценариях климатической трансформации [13]. Использование спутниковых изображений разных лет в сочетании с методами математического моделирования даёт предпосылки для статистического обоснования такой оценки. Как было показано для территории Кировской области [14], материалы спутниковой съёмки детального разрешения служат важным источником данных для наблюдения за этапами зарастания сельскохозяйственных залежей.

Цель настоящей работы заключена в анализе изменений лесопокрытых территорий центральной части Костромского Заволжья за период последних десятилетий по спутниковым данным, в том числе, подвергавшихся в течение хозяйственного использования разнонаправленным изменениям в связи с трансформацией сельских сообществ (восстановление леса на заброшенных землях).

Объекты и методы исследований

Мы анализировали изменения лесопокрытых территорий районов центральной части Костромского Заволжья (15,7 тыс. км²): Кологривский (3,5 тыс. км²), Межевский (2,2 тыс. км²), Мантуровский (2,7 тыс. км²), Макарьевский (4,8 тыс. км²), Нейский (2,2 тыс. км²) административные районы Костромской области (рис. 1), относимые к южно-таёжной ботанико-географической зоне европейской части РФ (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 367 от 18.08.2014). Обработку спутниковых изо-

бражений проводили с использованием программного пакета Erdas Imagine 10.0.

Основой для выявления изменений служат подготовленные управляемые классификации спутниковых изображений (Landsat 4, 5, 7 и 8) двух временных срезов 08.08.1985 г. и 10.08.2018 г. с выделением доминирующих классов растительного покрова. После подбора сезонно сопоставимых сцен, отнесённых к схожему состоянию растительности, атмосферной и радиометрической коррекции, формировали мозаику изображений с последующим разбиением доминирующих фитоценозов и земной поверхности на 7 классов по методу решающих правил. Сопоставление подготовленных тематических карт позволило выявить участки с классами растительного покрова, сохранившиеся или перешедшие в другие группы, существенно изменившие свои площадные характеристики.

Для выявления количественных трендов изменений растительного покрова привлекали временные серии спутниковых сцен сенсоров MODIS (MOD13Q1, источник данных: <https://earthexplorer.usgs.gov>) интервала 2000–2023 гг. с рассчитанными спектральными индексами EVI (Enhanced Vegetation Index). По мнению ряда авторов [15] индекс имеет преимущества в сравнении с широко используемым спектральным индексом NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) из-за меньших атмосферных или почвенных влияний. Для вегетационного периода каждого года отбирали только максимальные показатели, по которым рассчитывали суммарный линейный тренд изменений.

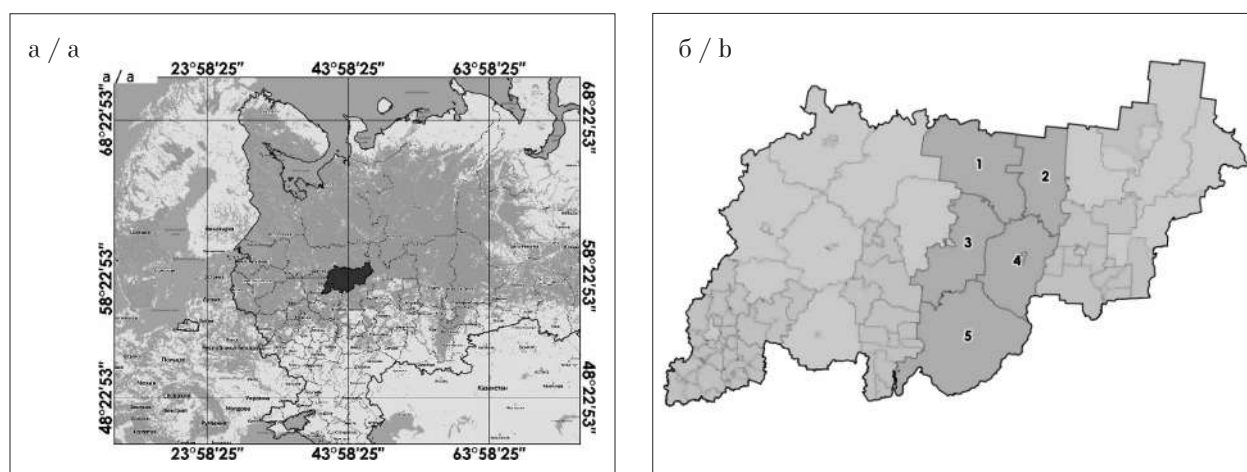


Рис. 1. Районы выполненных работ (а). Модельные районы: 1 – Кологривский (3,5 тыс. км²), 2 – Межевский (2,2 тыс. км²), 3 – Нейский (2,2 тыс. км²), 4 – Мантуровский (2,7 тыс. км²), 5 – Макарьевский (4,8 тыс. км²) (б)

Fig. 1. Studied areas (a). Model districts: 1 – Kologrivskiy (3.5 thousand km²), 2 – Mezhevskiy (2.2 thousand km²), 3 – Neyskiy (2.2 thousand km²), 4 – Manturovskiy (2.7 thousand km²), 5 – Makarievskiy (4.8 thousand km²) (b)

Показатели сомкнутости крон древесного и высокого кустарникового ярусов территории рассчитывали по изображениям Landsat второй половины ранневесеннего периода наблюдений (08.03.1985, 22.03.1996, 27.03.2015). Предварительный анализ показал, что достоверность выявления показателей сомкнутости возрастает при использовании зимних и ранневесенних изображений, что с одной стороны связано с маскированием многих форм микрорельефа земной поверхности снежным покровом [16], с другой – отсутствием листвы и погребением лишайниково-мохового, травяно-кустарничкового и частично кустарникового яруса, что усиливает контрастность исследуемых компонент. При обработке изображений использовали метод декомпозиции спектральных смесей (метод SMA, Spectral Mixed Analysis). В качестве «чистых компонент» привлекали величины, полученные для открытых пологих заснеженных участков (сомкнутость крон менее 0,05) и характеристики участков с максимально сомкнутым древостоем (сомкнутостью крон 0,9–0,95). Итогом обработки изображений стали тематические картосхемы, отражающие показатель сомкнутости древесного яруса (%) и его изменения для отдельных лет наблюдений. Результаты обработки легли в основу оценки интенсивности изменений показателя по рассчитанным временным срезам изображений, представленной в виде линейной функции и приведённой для удобства к 10-ти летнему интервалу наблюдений.

Для отдельных участков привлекали спутниковые изображения детального разрешения ESRI Imagery (источник данных: www.arcgis.com/home/webscene/viewer.html) и Corona KH-2 (<https://earthexplorer.usgs.gov>) при выявлении природы происходящих изменений. При характеристике климатических трансформаций последних лет использованы данные архива ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» по состоянию погоды наиболее приближенной метеорологической станции «Кострома» за временной интервал 1925–2023 гг.

Результаты и обсуждение

По данным наблюдений метеорологической станции «Кострома» с конца 1990-х гг. на территории рассматриваемого региона отмечен рост средних температур в летний вегетационный период. Превышение зимних и весенних температур наблюдается в те же периоды. С 1980 г. можно наблюдать рост

количества летних (жидких) осадков (отдельные снижения 1985–2000 гг. и 2015–2019 гг.). Сложившиеся условия могут рассматриваться как способствующие росту продуктивности лесов.

По классификации спутниковых снимков 2018 г. леса покрывают 83,4% всей площади рассмотренных районов Костромской области (в 1985 г. показатель составлял 72,5%). В большинстве случаев площади лесопокрытых территорий соответствуют официальным данным. Менее половины площади лесов (43,8%) приходится на хвойные породы (в сравнении – 32,6% в 1985 г.), а 39,7% на лиственные (39,9% в 1985 г.). В 1985 г. в пределах территории отмечена значительная доля молодоговозрастных лиственных лесов (12,7%), которая к 2018 г. снизилась до 2,6%. Изменение площадей лиственных лесов может рассматриваться как величина, характеризующая интенсивность и направленность одной из стадий сукцессионного восстановления нарушенных территорий. Нарушения лесного покрова вызваны и естественными причинами: только один ветровал июля 2010 г. в Костромской области вызвал нарушения лесного полога на площади более 60 тыс. га, что в 4 раза превосходит среднюю ежегодную площадь сплошных вырубок на территории Костромской области [17].

Участок «свежей» гари за рекой Унжей (площадью около 870 км²) отчётливо зафиксирован на снимках Landsat MSS 1973 г. (14.06.1973), на классификации 1985 г. бо́льшая его часть отнесена к классу молодых и разреженных лесов, с последующим её восстановлением хвойными лесами. К 2018 г. растительный покров участка можно отнести к поздней стадии сукцессионного восстановления с формированием хвойных и лиственных лесов, следы нарушений не фиксируются спутниковыми методами.

Наибольшая доля хвойных лесов представлена в южной части рассмотренного региона (Макарьевский район до 53,0%), лиственных – в северной (Кологривский район до 56,7%). Статистические показатели изменений площадей классов представлены в таблице. Доля «коренных» лесов (на классификации 1985 и 2018 гг. отнесены к одному классу) составила 25,9% для хвойных и 26,2% для лиственных лесов. На снимках 1985 г. и 2018 г. на водные поверхности приходится 0,6–0,9%, на территории, лишённые растительного покрова, 7,6 и 5,8% соответственно. В охваченный наблюдениями

период фиксировали рост площади хвойных лесов с 32,6 до 43,8%. Доля лиственных лесов осталась почти без изменений – от 39,9 до 39,7%. Отмечено сокращение сельскохозяйственных земель, но увеличение площади класса травяной растительности (с 3,2% в 1985 г. до 5,6% в 2018 г.).

Анализ изменений спектрального индекса EVI, позволяющего количественно оценить запас зелёной фитомассы, показывает, что большая часть выделенных классов растительного покрова находится в стабильном состоянии. Значительная протяжённость периода наблюдений по снимкам MODIS (24 года) часто нивелировала рассчитанный линейный тренд для многих участков, даже с крупными изменениями. Для лесопокрываемых территорий как хвойных, так и лиственных лесов, большая часть отнесена к группе классов со слабыми изменениями (индекс EVI варьировал в пределах от -0,02 до +0,02 за 10 лет). Более детальный анализ с привлечением съёмки высокого пространственного разрешения показывает, что в данный класс попали и участки с «сильными нарушениями» – рубки, приходящиеся на начало и окончание периода наблюдений. За наблюдаемый период они восстанавливались молодоговозрастным лиственным древостоем с высокими показателями зелёной фитомассы и затем «выпадали» при статистическом анализе.

С 1985 по 2018 гг. отмечено активное зарастание и восстановление ранее использованных сельскохозяйственных земель и нарушенных участков (до 14% территории перешло в классы лиственных и хвойных лесов). По оценкам ИКИ РАН (г. Москва),

площадь лесов на заброшенных сельскохозяйственных землях в период с 2001 по 2021 гг. на территории России увеличилась на 5,8 млн га, средние темпы увеличения площади лесов на заброшенных сельскохозяйственных землях около 125 тыс. га/год [18]. Сопоставление разновременных снимков детального разрешения Corona KH-2 (19.08.1973) и ESRI Imagery (29.04.2023) демонстрирует участки наибольших изменений, связанных с зарастанием сельскохозяйственных угодий, небольших сенокосов, лесных просек (рис. 2, см. цв. вкладку VIII). Наиболее активное зарастание можно наблюдать на краевых участках, граничащих с лесными фитоценозами. Субстрат на таких участках обогащён органикой и содержит почвенный банк семян. Отмечено [19], что восстановление растительного покрова нарушенных территорий протекает наиболее интенсивно в зоне аккумуляции веществ.

Рассмотренный временной период характеризуется и ростом сомкнутости крон древесного/кустарникового ярусов (рис. 3, см. обложку) на участках, ранее нарушенных и повреждённых пожаром (отчётливо прослеживается восстановление лесного массива в районе крупного пожара 1972 г.).

Большинство нарушенных до 1985 г. участков к 2015 г. увеличили показатели сомкнутости до 70–80%. На участках гари к 2015 г. сформированы древостои с сомкнутостью крон до 80–90% (рис. 3В). Большинство коренных лесов отнесены к классу незначительных изменений сомкнутости (от -0,2 до 0,2% в год) или имели отрицательные показатели (более -0,2%) (рис. 4, см. обложку), что в целом характерно для коренных старовозрастных

Изменение площадных показателей доминирующих классов, %
Changes in the dominant classes area, %

Таблица / Table

Категории Categories		1985							
		Кл. 1 Cl. 1	Кл. 2 Cl. 2	Кл. 3 Cl. 3	Кл. 4 Cl. 4	Кл. 5 Cl. 5	Кл. 6 Cl. 6	Кл. 7 Cl. 7	Итого Total
2018	Кл. 1 / Cl. 1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,004	0,1	0,1	0,9
	Кл. 2 / Cl. 2	0,1	1,5	1,5	1,0	0,5	0,5	0,6	5,8
	Кл. 3 / Cl. 3	0,1	1,5	25,9	11,4	0,1	0,7	4,1	43,8
	Кл. 4 / Cl. 4	0,01	1,9	4,2	26,2	0,6	0,3	6,4	39,7
	Кл. 5 / Cl. 5	0,03	1,8	0,3	0,5	1,6	0,7	0,7	5,6
	Кл. 6 / Cl. 6	0,01	0,2	0,1	0,2	0,1	0,9	0,1	1,6
	Кл. 7 / Cl. 7	0,01	0,6	0,4	0,5	0,3	0,2	0,6	2,6
	Итого / Total	0,6	7,6	32,6	39,9	3,2	3,3	12,7	100,0

Примечание: Кл. 1 – водные поверхности; Кл. 2 – территории без растительности; Кл. 3 – хвойные леса; Кл. 4 – лиственные леса; Кл. 5 – сельскохозяйственные земли; Кл. 6 – болота; Кл. 7 – молодоговозрастные лиственные леса.
Note: Cl. 1 – water; Cl. 2 – bare ground; Cl. 3 – coniferous forests; Cl. 4 – deciduous forests; Cl. 5 – farmlands; Cl. 6 – swamps; Cl. 7 – young-growth deciduous forests.

**Д. Н. Шерстобитов, В. В. Ермаков, В. В. Пыстин,
О. В. Тупицына, Д. Е. Быков «Утилизация отходов
спиртовой барды длительного хранения методом
аэробного компостирования». С. 162.**



Рис. 1. Космические снимки участка размещения спиртовой барды:
а) 06.09.2009, б) 02.07.2011 (источник – Google Earth)

Fig. 1. Satellite images of the site for the placement of distillery stillage:
а) 06.09.2009, б) 02.07.2011 (source – Google Earth)

**В. В. Елсаков, Т. А. Мыльникова, А. Ю. Боровлёв, Л. М. Баскин,
В. М. Щанов «Климатические и постаграрные векторы
трансформации лесопокрытых территорий
староосвоенных районов Европейской России». С. 188.**

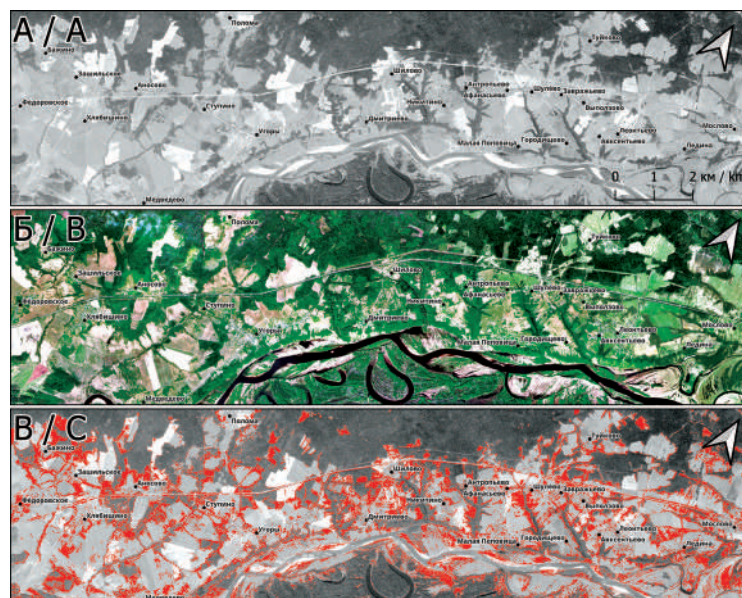


Рис. 2. Участки зарастаний сельскохозяйственных угодий Мантуровского района. Спутниковая съёмка Corona KH-2 от 19.08.1973 (а) и ESRI Imagery от 29.04.2023 (б), результат сравнения изображений (в). Сельскохозяйственные угодья, заросшие лесной/кустарниковой растительностью за период 1973–2023 гг., выделены красным цветом / **Fig. 2.** Overgrowth areas of farmlands in Manturovsky District. Corona KH-2 satellite imagery from 19.08.1973 (a), ESRI Imagery from 29.04.2023 (b), and a result of image comparison (c). Farmlands overgrown with forest/shrub vegetation for 1973–2023 are highlighted in red

лесов, для которых по мере увеличения возраста степень просматриваемости «в глубину» на аэрофотоизображениях возрастает [20]. Изображения разных лет могут быть представлены в виде суммарного тренда изменений показателя (рис. 4).

Согласно результатам, представленным на рисунке 4, выраженные положительные тренды отмечены лишь для 10% ранее нарушенных хвойных лесов.

Заключение

Анализ спутниковых изображений периода 1985–2023 гг. показал, что основные участки изменений Костромского Заволжья относятся к территориям, восстанавливающимся после хозяйственного использования или пожаров. За 40-летний период наблюдений отмечено восстановление лесного участка, нарушенного крупной гарью в 1972 г. (по величинам индекса EVI, сомкнутости крон), до уровня показателей, эквивалентных прилегающим фоновым участкам.

При выделении лесных «коренных» сообществ информативным критерием является рассчитанный показатель тренда сомкнутости крон древесного/кустарникового покрова. Для хвойных коренных лесов характерно постепенное (порядка 0,2% в год) снижение значений, что может быть использовано как индикатор малонарушенных лесов.

Для освоенных районов территории наблюдается активное зарастание краевых зон сельскохозяйственных угодий лесной и кустарниковой растительностью.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) в рамках реализуемого на базе НИУ «Высшая школа экономики» проекта № 24-68-00055 «Из прошлого в будущее: сельские сообщества в условиях постагроного вектора трансформаций».

Литература

1. Кравцова В.И., Лошкарёва А.Р. Динамика растительности экотона тундра-тайга на Кольском полуострове в связи с климатическими колебаниями // Экология. 2013. № 4. С. 275–283. doi: 10.7868/S0367059713040082
2. Харук В.И., Рэнсон К. Дж., Им С.Т., Наурзбаев М.М. Лиственичники лесотундры и климатические тренды // Экология. 2006. № 5. С. 323–331.
3. Елсаков В.В., Марущак И.О. Спектрзональные спутниковые изображения в выявлении трендов климатических изменений лесных фитоценозов западных

склонов Приполярного Урала // Компьютерная оптика. 2011. Т. 35. № 2. С. 281–286.

4. Мыльников Т.А., Елсаков В.В. Продвижение верхней границы леса Национального парка Югыд Ва под влиянием климатических трансформаций // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. 2022. № 8. С. 45–54. doi: 10.25686/2022.84.60.005

5. Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 215 с.

6. Shiryaev A.G., Moiseev P.A., Peintner U., Devi N.M., Kukarskih V.V., Elsakov V.V. Arctic greening caused by warming contributes to compositional changes of mycobiota at the Polar Urals // Forests. 2019. V. 10. Article No. 1112. doi: 10.3390/f10121112

7. Торопов С.Н. История православных приходов Мантуровской земли. Кострома: ДиАр, 2012. 352 с.

8. Нефёдова Т.Г., Медведев А.А. Сжатие освоенного пространства в центральной России: динамика населения и использование земель в сельской местности // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84. № 5. С. 645–659. doi: 10.31857/S258755662005012X

9. Список населённых мест Костромской губернии (по сведениям 1907 г.). Кострома: тип. Т.П. Андрониковой, 1908. 189 с.

10. Об утверждении реестра населённых пунктов Костромской области. Постановление Администрации Костромской области от 8 апреля 2014 года № 133-а (с изменениями на 17 июня 2019 года) [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/412301869> (Дата обращения: 03.12.2024).

11. Воробьёв Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. М.: Дэкс-Пресс, 2004. 312 с.

12. Калинин К.К. Крупные лесные пожары в лесном Среднем Заволжье и система лесохозяйственных мероприятий по ликвидации их последствий. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. 364 с.

13. Воробьёв О.Н., Лежнин С.А., Курбанов Э.А., Яхьяев А.Б., Дергунов Д.М., Тарасова Л.В., Ястребова А.В. Прогнозный анализ лесного покрова Среднего Поволжья на основе временных рядов и климатических сценариев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 4. С. 115–130. doi: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-115-130

14. Домнина Е.А., Адамович Т.А., Тимонов А.С., Ашихмина Т.Я. Мониторинг зарастания заброшенных земель сельскохозяйственного назначения по спутниковым снимкам высокого разрешения // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 82–89. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-082-089

15. Jin Y., Yang X., Qiu J., Li J., Gao T., Wu Q., Zhao F., Ma H., Yu H., Xu B. Remote sensing-based biomass estimation and its spatio-temporal variations in temperate

grassland, Northern China // *Remote Sens.* 2014. V. 6. P. 1496–1513. doi: 10.3390/rs6021496

16. Алексеев Н.А., Сваткова Т.Г. Зимние топографические карты // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География.* 2008. № 3. С. 8–11.

17. Петухов И.Н., Немчинова А.В. Ветровальные нарушения лесного покрова в Костромской области и на сопредельных территориях в 1984–2011 гг. // *Лесоведение.* 2014. № 6. С. 17–25.

18. Гичан Д.В., Тебенкова Д.Н. Заращение земель сельскохозяйственного назначения древесной растительностью: масштабы, причины, пути использования. Обзор // *Вопросы лесной науки.* 2023. Т. 6. № 3. Статья № 131. doi: 10.31509/2658-607x-202363-131

19. Сумина О.И. Первичные сукцессии на карьерах как натурная модель для изучения процессов формирования наземных экосистем // *Теоретическая и прикладная экология.* 2014. № 1. С. 40–44. doi: 10.25750/1995-4301-2014-1-040-044

20. Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков. М.: Недра, 1983. 374 с.

References

1. Kravtsova V.I., Loshkareva A.R. Dynamics of vegetation in the tundra-taiga ecotone on the Kola Peninsula depending on climate fluctuations // *Ecologiya.* 2013. No. 4. P. 275–283 (in Russian). doi: 10.7868/S0367059713040082

2. Kharuk V.I., Ranson K.J., Im S.T., Naurzbaev M.M. Forest-tundra larch forests and climatic trends // *Ecologiya.* 2006. No. 5. P. 323–331 (in Russian).

3. Elsakov V.V., Maruschak I.O. Spectrozonally satellite images in estimation of climatic trends of forest vegetation on west slopes of the Subpolar Urals // *Computer Optics Journal.* 2011. V. 35. No. 2. P. 281–286 (in Russian).

4. Mylnikova T.A., Elsakov V.V. The expansion of upper forest boundary in the national park Yugyd Va under climatic impact // *Forest ecosystems under climate change: biological productivity and remote monitoring.* 2022. No. 8. P. 45–54 (in Russian). doi: 10.25686/2022.84.60.005

5. Shiyatov S.G. Dynamics of tree and shrub vegetation in the Polar Urals mountains under the influence of modern climate change. Ekaterinburg: Ural Branch of RAS, 2009. 215 p. (in Russian).

6. Shiryaev A.G., Moiseev P.A., Peintner U., Devi N.M., Kukarskih V.V., Elsakov V.V. Arctic greening caused by warming contributes to compositional changes of mycobiota at the Polar Urals // *Forests.* 2019. V. 10. Article No. 1112. doi: 10.3390/f10121112

7. Toropov S.N. History of Orthodox parishes of the Manturov land. Kostroma: DiAr, 2012. 352 p (in Russian).

8. Nefedova T.G., Medvedev A.A. Shrinkage of Active Space in Central Russia: population dynamics and land use

in countryside // *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya.* 2020. V. 84. No. 5. P. 645–659 (in Russian). doi: 10.31857/S258755662005012X

9. List of populated places of Kostroma province (according to 1907). Kostroma: tip. T.P. Andronikovoy, 1908. 189 p. (in Russian).

10. On approval of the register of settlements of the Kostroma region. Resolution of the Administration of the Kostroma region of April 8, 2014 No. 133-a (amended on June 17, 2019) [Internet resource] <https://docs.cntd.ru/document/412301869> (Accessed: 03.12.2024).

11. Vorobyev Y.L., Akimov V.A., Sokolov Y.I. Forest fires on the territory of Russia: status and problems. Moskva: Deko-Press, 2004. 312 p. (in Russian).

12. Kalinin K.K. Large forest fires in the Middle Volga forest region and the system of forestry measures to eliminate their consequences. Yoshkar-Ola: PGTU, 2012. 364 p. (in Russian).

13. Vorobyov O.N., Lezhnin S.A., Kurbanov E.A., Yakhyayev A.B., Dergunov D.M., Tarasova L.V., Yastrebova A.V. Predictive analysis of forest cover in the Middle Volga Region based on time series and climate scenarios // *Current problems in remote sensing of the Earth from space.* 2024. V. 21. No. 4. P. 115–130 (in Russian). doi: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-115-130

14. Domnina E.A., Adamovich T.A., Timonov A.S., Ashikhmina T.Ya. Monitoring of overgrowing of abandoned agricultural lands using high-resolution satellite images // *Theoretical and Applied Ecology.* 2022. No. 3. P. 82–89 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-082-089

15. Jin Y., Yang X., Qiu J., Li J., Gao T., Wu Q., Zhao F., Ma H., Yu H., Xu B. Remote sensing-based biomass estimation and its spatio-temporal variations in temperate grassland, Northern China // *Remote Sens.* 2014. V. 6. No. 2. P. 1496–1513. doi: 10.3390/rs6021496

16. Alekseenko N.A., Svatkova T.G. Winter topographic maps // *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography.* 2008. No. 3. P. 8–11 (in Russian).

17. Petukhov I.N., Nemchinova A.V.B. Windthrows in forests of Kostroma oblast and the neighboring lands in 1984–2011 // *Lesovedenie.* 2014. No. 6. P. 17–25 (in Russian).

18. Gichan D.V., Tebenkova D.N. Woody plants growth on abandoned agricultural lands: scale, causes of abandonment, ways of use. A review // *Forest Science Issues.* 2023. V. 6. No. 3. Article No. 131 (in Russian). doi: 10.31509/2658-607x-202363-131

19. Sumina O.I. Primary successions on quarries as a full-scale model for study of terrestrial ecosystems development // *Theoretical and Applied Ecology.* 2014. No. 1. P. 40–44 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2014-1-040-044

20. Akovetskiy V.I. Image interpretation. Moskva: Nedra, 1983. 374 p. (in Russian).

*В. В. Елсаков, Т. А. Мыльникова, А. Ю. Боровлёв,
Л. М. Баскин, В. М. Щанов*

«КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ПОСТАГРАРНЫЕ ВЕКТОРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛЕСОПОКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЙ СТАРООСВОЕННЫХ РАЙОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ». С. 188.

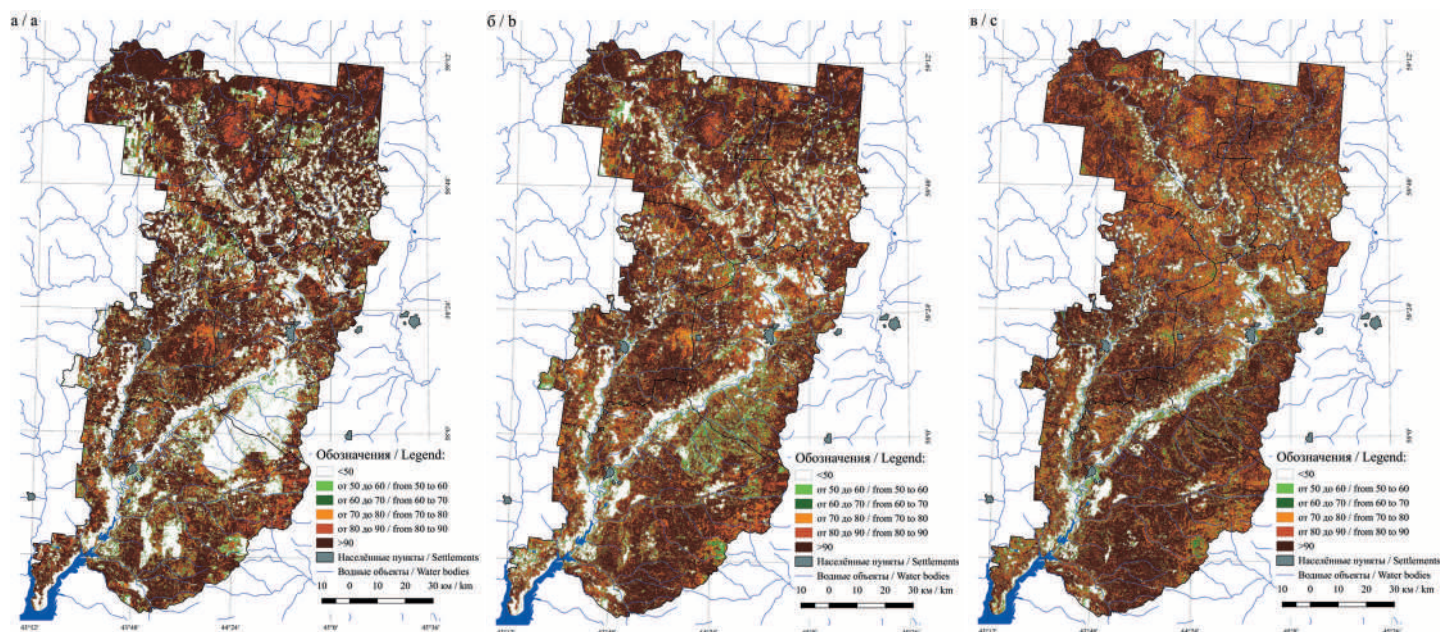


Рис. 3. Рассчитанные показатели сомкнутости крон по съёмкам спутника серии Landsat (а – 08.03.1985, б – 22.03.1996, в – 27.03.2015)

Fig. 3. Calculated canopy density indices from Landsat satellite images (а – 08.03.1985, б – 22.03.1996, в – 27.03.2015)

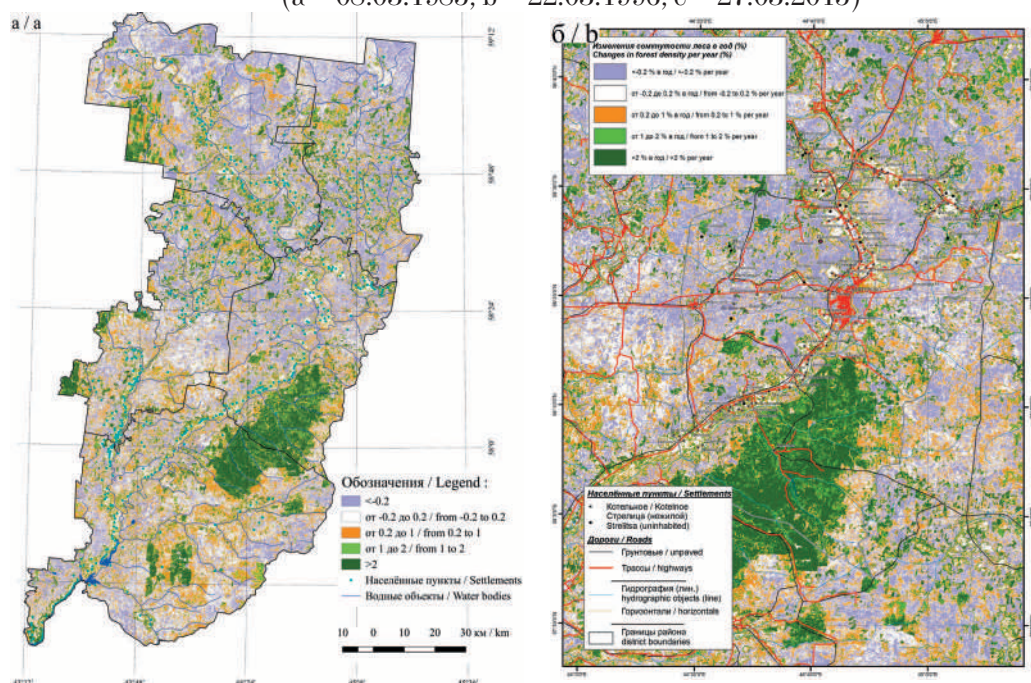


Рис. 4. Суммарный тренд изменений сомкнутости крон по снимкам Landsat за период 1985–2019 гг. Общий вид всей территории (а), участок гари на границе Мантуровского и Макарьевского районов (б)

Fig. 4. Cumulative trend of changes in the canopy density according to Landsat images for the period 1985–2019. General view (а) and a fire-site within the border of Manturovskiy and Makarievskiy districts (б)