

## Карты и ГИС в сельском хозяйстве и землепользовании

### Maps and GIS in agriculture and land use

УДК: 911:504.06

DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-136-152

Н. Н. Алексеева<sup>1</sup>, А. И. Банчева<sup>2</sup>, Ю. С. Гринфельдт<sup>3</sup>, Д. А. Третьяченко<sup>4</sup>

#### РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ)

#### АННОТАЦИЯ

На основе сопряженного анализа разновременных геопространственных данных по наземному покрову Европейского космического агентства с привлечением эколого- и экономико-географических материалов были выявлены основные направления изменения землепользования в Ярославской области за 1992–2019 гг. На этой основе определены основные геоэкологические процессы, характеризующие особенности текущего развития природно-хозяйственных систем. Для анализа выбрано 22 перехода классов наземного покрова (занимают более, чем 1 % от площади класса), формирующих шесть направлений трансформации: 1) увеличение площади древесного покрова; 2) сокращение площади древесного покрова; 3) расширение застройки; 4) заболачивание территории; 5) увеличение площади обводненной территории; 6) сокращение площади обводненной территории. Для каждого направления охарактеризованы основные процессы, обусловленные комплексом разнообразных факторов. Анализ данных в ГИС показал, что за период 1992–2019 гг. изменения наземного покрова произошли на площади в 2,44 тыс. км<sup>2</sup>, или на 6,8 % территории области. В результате оценки двух основных (преобладающих по площади) направлений (увеличение и сокращение древесного покрова) получен вывод о нетто-увеличении залесенной площади в Ярославской области за 27 лет на 970 км<sup>2</sup>. При этом расширение лесных земель имело место в основном в зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов, а сокращение лесов — преимущественно в южно-таежной подзоне зоны тайги. Трансформация землепользования — важный фактор, который необходимо учитывать при разработке регионально-ориентированных рекомендаций для управления природно-антропогенными ландшафтами и принятия решений по предмету экологических проблем.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** наземный покров, землепользование, природно-антропогенные ландшафты, залесение и обезлесение, застройка, геоэкология

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: [nalex01@mail.ru](mailto:nalex01@mail.ru)

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: [ban-sai@mail.ru](mailto:ban-sai@mail.ru)

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: [y.greenfeldt@gmail.com](mailto:y.greenfeldt@gmail.com)

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: [daria.trt@gmail.com](mailto:daria.trt@gmail.com)

Nina N. Alekseeva<sup>1</sup>, Alexandra I. Bancheva<sup>2</sup>, Yulia S. Greenfeldt<sup>3</sup>, Darya A. Tretyachenko<sup>4</sup>

**REGIONAL ASSESSMENT OF LAND USE CHANGE  
BASED ON GEOSPATIAL DATA  
(THE CASE OF YAROSLAV REGION)**

**ABSTRACT**

The main directions of land use change in the Yaroslavl Region for 1992–2019 were identified based on a conjugate analysis of multi-temporal geospatial data on land cover from the European Space Agency, with the involvement of environmental and economic-geographical materials. On this basis, the main geocological processes characterizing the features of the current development of natural and economic systems are identified. For analysis, 22 transitions of land cover classes were selected (occupying more than 1 % of the class area). They form six transformation directions: 1) increase of tree cover area; 2) reduction of tree cover area; 3) expansion of built-up areas; 4) waterlogging; 5) increase of flooded areas; 6) reduction of flooded areas. For each direction, the main processes determined by a complex of various factors are characterized. Analysis of data in GIS showed that for 1992–2019 land cover changes occurred over an area of 2.44 thous. km<sup>2</sup>, or 6.8 % of the region's territory. As a result of the assessment of two main (dominant in area) directions (increase and reduction of tree cover), a conclusion was drawn about a net increase in the forested area in the Yaroslavl Region over 27 years by 970 km<sup>2</sup>. At the same time, the expansion of forest lands took place mainly in the zone of coniferous-broad-leaved (mixed) forests, and the reduction of forests took place in the southern taiga subzone of taiga zone. Land use transformation is an important factor that should be taken into account for the development of regionally oriented recommendations for managing natural-anthropogenic landscapes and solving environmental problems.

**KEYWORDS:** land cover, land use, natural-anthropogenic landscapes, forestation and deforestation, built-up area, geocology

**ВВЕДЕНИЕ**

Масштабные изменения в землепользовании, наряду с нехваткой ключевых природных ресурсов и деградацией экосистемных услуг, характеризуют современный этап антропоцена [Berkes, 2017]. Землепользование — весьма подвижный процесс, обусловленный нарастанием или снижением интенсивности хозяйственных нагрузок, сменой вариантов использования земель, изменением режимов хозяйственного функционирования территории. В целом, изменения землепользования оказывают существенное влияние на динамику природно-антропогенных ландшафтов, меняют ход экзодинамических и биогеохимических процессов, устойчивость к внешним воздействиям, в т. ч. к изменению климата. По этой причине изучение землепользования и динамики наземного покрова в последнее десятилетие стало важной составляющей многочисленных исследований в сфере оценки экологических услуг (в т. ч. баланса углерода) и сохранения экосистемного и биологического разнообразия [Niu et al., 2021; Li et al., 2022; Winkler et al., 2023], основой

---

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: [nalex01@mail.ru](mailto:nalex01@mail.ru)

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: [ban-sai@mail.ru](mailto:ban-sai@mail.ru)

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: [y.greenfeldt@gmail.com](mailto:y.greenfeldt@gmail.com)

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: [daria.trt@gmail.com](mailto:daria.trt@gmail.com)

для анализа региональных геоэкологических проблем (например, деградации земель, обезлесения ландшафтов и т. п.) [Li et al., 2016; Potapov et al., 2022], а также при разработке мер по адаптации к изменениям климата [Reinhart et al., 2022]. Методологический аппарат таких исследований хорошо разработан: переходы классов наземного покрова, полученных с помощью объективных биофизических показателей на основе ДДЗ, рассматриваются как отражение трансформации землепользования за определенный период времени. Заметим, что термины «наземный покров» и «землепользование» не тождественны. Последнее описывает экономические и социальные функции территории или цели, для которых люди используют территорию. Земельный покров и землепользование взаимосвязаны, но эти связи сложны [Soesbergen, 2016]. Один класс наземного покрова (например, луга) может представлять собой пастбища, рекреационные объекты или газоны в зонах застройки. А один тип использования земель (например, охрана природы) может охватывать несколько классов наземного покрова, включая леса, луга и водно-болотные угодья. Сопряженный анализ разновременных геопространственных данных по наземному покрову с привлечением физико- и экономико-географических материалов позволяет определять основные изменения типов землепользования в конкретном районе, а также выявлять основные траектории развития природно-хозяйственных систем. Например, на этой основе можно четко выделять территории, где происходят процессы обезлесения, зарастания пашен, лесовосстановления, деградации лесных массивов, заболачивания, осушения, застройки, распашки и др. Ареалы таких процессов, по сути, могут рассматриваться как геоэкологические стадии трансформации природно-антропогенных систем (в случае их привязки к ландшафтам). Подобные исследования проводились нами для макрорегионального уровня [Алексеева и др., 2019; Klimanova et al., 2017].

Особый интерес представляет анализ трансформации природно-хозяйственных систем Европейской территории России, где есть области, характеризующиеся высокой интенсивностью трансформации сельскохозяйственных и лесных земель. Одним из таких регионов является Ярославская область. Основные зональные типы ландшафтов Ярославской области — южнотаежные и подтаежные леса, представленные хвойными (ель, сосна), мелколиственными (береза, осина) и смешанными древостоями на дерново-подзолистых почвах и их разновидностях (подзолистых, болотно-подзолистых и болотных почвах). Большинство из них имеют благоприятный механический состав для возделывания сельскохозяйственных культур<sup>1</sup>. Практически все леса производные и представляют собой массивы с преобладанием березы, осины, серой ольхи, с примесью хвойных деревьев (ель, сосна) или отдельными участками хвойных лесов<sup>2</sup>.

Земельные ресурсы Ярославской области представлены преимущественно землями лесного фонда, занимающими около 1,82 млн га, или 65,3 % территории. Общая площадь земель сельскохозяйственного назначения в 2019 г. составила 1,21 млн га, или 47,2 % территории области. Сельскохозяйственные угодья представлены преимущественно пашнями (793 тыс. га). Под земли населенных пунктов отведено 203,1 тыс. га (7,9 %)<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Доклад о состоянии и использовании земель Ярославской области в 2019 г. Ярославль: Управление Росреестра по Ярославской области Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, 2020. 72 с.

<sup>2</sup> Леса высокой природоохранной ценности. Ярославская область. Электронный ресурс: <https://hcvf.ru/ru/map>

<sup>3</sup> Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 г.». Электронный ресурс: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/) (дата обращения 31.01.2024)

Цель работы — выявление динамики наземного покрова Ярославской области на основе открытых геопространственных данных за период 1992–2019 гг., и на основе полученных результатов — основных направлений трансформации землепользования.

В задачи исследования входили:

- отработка алгоритма исследования, включая выбор оптимальной базы геопространственных данных по наземному покрову;
- выявление изменений, произошедших в землепользовании Ярославской области за период исследования;
- выявление основных направлений трансформации, и на этой основе — геоэкологических процессов, определяющих направленность развития природно-антропогенных систем;
- изучение причинно-следственных связей выявленных процессов с привлечением статистических данных, официальных материалов, научных публикаций.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как правило, исследования по динамике наземного покрова в региональных масштабах проводятся либо на основе дешифрирования разновременных космических снимков, либо с использованием готовых баз геопространственных данных по наземному покрову, которые получены на основе обработки ДДЗ с различных съемочных аппаратов и систем. Оба эти подхода имеют свои преимущества и недостатки. Возможности их использования для геоэкологических исследований рассмотрены в статье [Алексеева и др., 2017]. Если рассматривать готовые тематические базы данных по наземному покрову, то следует учитывать ряд неопределенностей в итоговом наборе данных за длительный период, связанных с различными процедурами классификации, атмосферными возмущениями, а также изменениями спутниковых датчиков и алгоритмов получения космических изображений. Несоответствия между источниками данных могут также быть результатом ошибок, вызванных погрешностями географической привязки данных дистанционного зондирования или обобщением векторных карт [Castilla, Hay, 2007]. Это существенно влияет на качество статистики как по отдельным классам наземного покрова, так и на соответствие многолетних наборов данных. Число баз данных постоянно увеличивается. В настоящее время в открытом доступе представлено около 60 глобальных и региональных баз по землепользованию и наземному покрову с разрешением от 1 км до 10 м и около 50 тематических продуктов [Wang et al., 2023].

Для выбора баз геопространственных данных по наземному покрову было проанализировано несколько источников. Условием отбора было соответствие следующим критериям — длинный гармонизированный ряд данных (с начала 1990-х гг.), наличие в открытом доступе, проведенная валидация и развернутая легенда. Кроме того, авторы посчитали целесообразным использовать среднее разрешение (100–500 м) геопространственных данных по наземному покрову, которые дают более генерализованную картину на уровне региона, чем данные высокого разрешения (10 м, 30 м). Отметим, что среднее пространственное разрешение (230 м) также используется для картографирования типов экосистем/растительности России ИКИ РАН за 2000–2018 гг. (легенда близка к категориям наземного покрова) [Барталев и др., 2011].

Разнообразные геопространственные данные, имеющиеся в открытом доступе, широко используются для анализа динамики землепользования и обусловленных ею процессов для регионов России — например, [Bartalev et al., 2016; Choudhury et al., 2019]. Для целей исследования были необходимы согласованные данные за длительный период. Значительная часть ранних баз данных (например, UMD Land Cover Classification, полученных при обработке данных AVHRR за 1981–1994 гг. (разрешение 1 100 м) и DISCover

Land Cover (AVHRR) за 1992–1993 гг. (1 000 м)) не обновляется. Наиболее детальные классификации Global Landcover 2000 (SPOT4 Vegetation) и GlobCover 2009 (ENVISAT MERIS) (300 м), MODIS Land Cover, 2001–2012 (MODIS Terra/Aqua) (500 м) включали 21, 18 и 16 классов соответственно. Они также охватывают ограниченный временной интервал. Более поздний продукт Land Cover Type (MCD12Q1) Ver. 6 (500 м) предоставляет типы наземного покрова с ежегодными интервалами за 2001–2020 гг.

Задаче выделения ареалов однотипных изменений землепользования за 30-летний период более всего отвечают данные по наземному покрову, полученные в рамках проекта по наземному покрову Инициативы по изменению климата Европейского космического агентства (CCI LC)<sup>1</sup>, предоставляющего согласованные карты, начиная с 1992 г. в системе классификации наземного покрова (Land Cover Classification System) ФАО ООН. Классификация земельного покрова, принятая ФАО, обеспечивает единообразную основу для картирования наземного покрова суши, позволяющую отнести каждый пиксел к одному из заранее определенных классов. Преимуществом этих данных является достаточно подробный уровень дифференциации наземного покрова (21 категория), в то время как другие базы данных, даже с большим пространственным разрешением, имеют вдвое меньшее число генерализованных категорий [Wang et al., 2023]. Геопространственные данные ESA включают такие классы наземного покрова, как хвойные и широколиственные леса, а также водно-болотные угодья, что принципиально важно для оценки. Разрешение пиксела в исходных растрах составляет 300 м. Благодаря наличию длинного временного ряда данных, для анализа динамики земельного покрова Ярославской области выбраны данные 1992 и 2019 гг.

Оценка динамики землепользования осуществлялась в программе ArcGIS. В начале исследования была проведена первичная обработка исходных данных: из мирового растра вырезана Ярославская область, выполнено перепроецирование растра в проекцию WGS 1984 UTM Zone 37N с разрешением 100 × 100 м для удобства дальнейших расчетов и анализа результатов. Исходные 21 класс были сгруппированы в 11 обобщенных (табл. 1). Такой подход позволил генерализовать полученные многочисленные переходы в направлении трансформации природно-антропогенных систем Ярославской области и выделить внутри них основные геоэкологические процессы.

Для уточнения сущности категорий (определение преобладающего видового состава лесов, характера заболоченных территорий) использовались карты растительного покрова портала Научная космическая обсерватория углерода лесов<sup>2</sup>, Open Street Map, атлас Ярославской области [1999] и космические снимки открытого доступа Google Earth для проведения визуального дешифрирования.

Так, в один класс наземного покрова были объединены все виды *пахотных земель*: неорошаемые пашни, мозаики пахотных земель с природной растительностью (с долей пашни более 50 % от площади пиксела) и сеяные луга. В класс *лугов* включен собственно травяной покров, который занимает наибольшие площади в данном классе, а также мозаики травяного и древесно-кустарникового покрова (доля травяного покрова — более 50 % от площади пиксела) и закустаренные земли, занимающие крайне небольшую площадь. Объединены в один класс территории с *разреженной растительностью* и *лишенные растительности*, также как и «затапливаемые» земли с древесной и луговой растительностью, конкретно — в единый класс «водно-болотные угодья».

<sup>1</sup> The European Space Agency. MRLC maps series from 1992 onwards (v207 and v2.1.1). Электронный ресурс: [https://climate.esa.int/en/projects/land-cover/data/#mrlc-maps-series-from-1992-onwards-\(v207-and-v2.1.1\)](https://climate.esa.int/en/projects/land-cover/data/#mrlc-maps-series-from-1992-onwards-(v207-and-v2.1.1)) (дата обращения 05.07.2023)

<sup>2</sup> Космическая обсерватория: Леса России из космоса. Электронный ресурс: <http://carbon.cepl.rssi.ru/maps/> (дата обращения 15.03.2024)

Табл. 1. Классы наземного покрова Ярославской области  
 Table 1. Land cover classes of the Yaroslavl Region

Исходные классы наземного покрова (ESA)	Обобщенные классы наземного покрова	№
Неорошаемые пашни	Пашни	1
Сеяные луга		
Мозаики пашен (>50 %) и природной растительности		
Мозаики природной растительности (>50 %) и пашен	Мозаика (молодой древостой, луга, пашни)	2
Лиственные леса, включая разреженные (сомкнутость древесного полога 15–40 %)	Редкостойные мелколиственные леса	3
Мозаики древесно-кустарниковой растительности (>50 % площади пиксела) и травяного покрова		
Сомкнутые лиственные леса (сомкнутость древесного полога >40 %)	Сомкнутые мелколиственные леса	4
Хвойные леса, включая разреженные	Хвойные леса	5
Сомкнутые хвойные леса		
Смешанные леса	Смешанные леса	6
Мозаики травяного (>50 %) и древесно-кустарникового покрова	Луга (естественные пастбища, залежи)	7
Травяной покров		
Закустаренные территории		
Заросли кустарников		
Разреженная растительность	Без растительности или с разреженной растительностью	8
Разреженные кустарники		
Территории, лишенные растительности		
Древесный покров, затопляемый	Водно-болотные угодья	9
Кустарниковый или травяной покров, затопляемый		
Городские территории	Селитебные зоны	10
Водные объекты	Водные объекты	11

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно проведенным расчетам, для Ярославской области характерна следующая структура наземного покрова (2019 г.): 60 % территории занято древесным покровом (с абсолютным преобладанием разреженных мелколиственных лесов) и 22 % — пашнями. Остальные классы занимают существенно меньшую площадь (хвойные леса — 7 %, водно-болотные угодья — 6 % и др.) (рис. 1). Анализ данных в ГИС показал, что за период 1992–2019 гг. изменения наземного покрова произошли на площади 2,44 тыс. км<sup>2</sup>, или 6,8 % территории области.

В процессе анализа трансформации наземного покрова из всех типов переходов (95) были выделены те, которые занимали более 1 % площади того или иного класса наземного покрова, представленного в 2019 г. Выделенные 22 класса были сгруппированы в направления трансформации землепользования, а внутри них выявлены геоэкологические процессы (табл. 2), определяющие функционально-динамические особенности текущего

развития природно-хозяйственных систем. Всего выделено шесть направлений трансформации (рис. 2):

- 1) увеличение площади древесного покрова;
- 2) сокращение площади древесного покрова;
- 3) расширение застройки;
- 4) заболачивание;
- 5) увеличение площади обводненной территории;
- 6) сокращение площади обводненной территории.

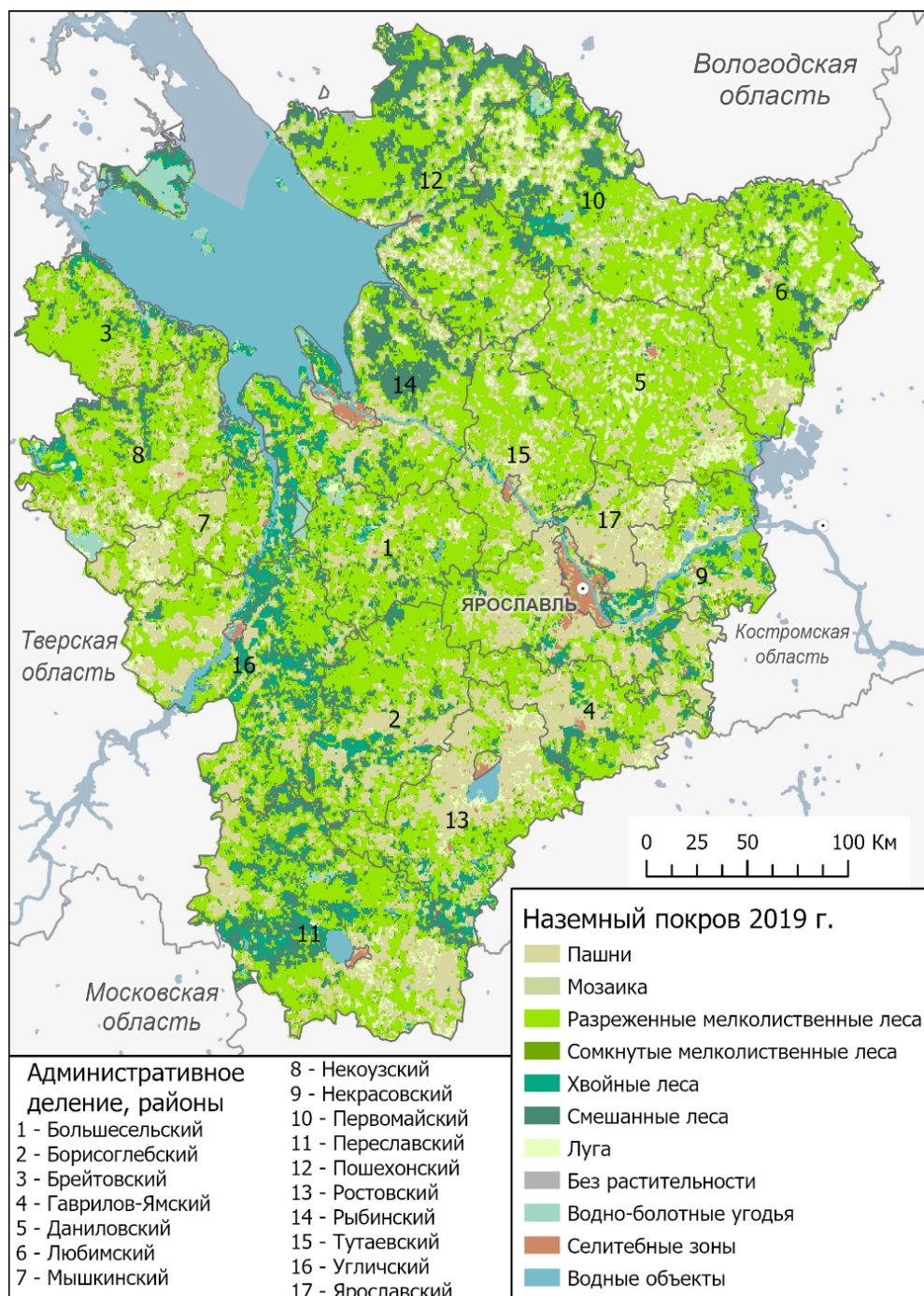
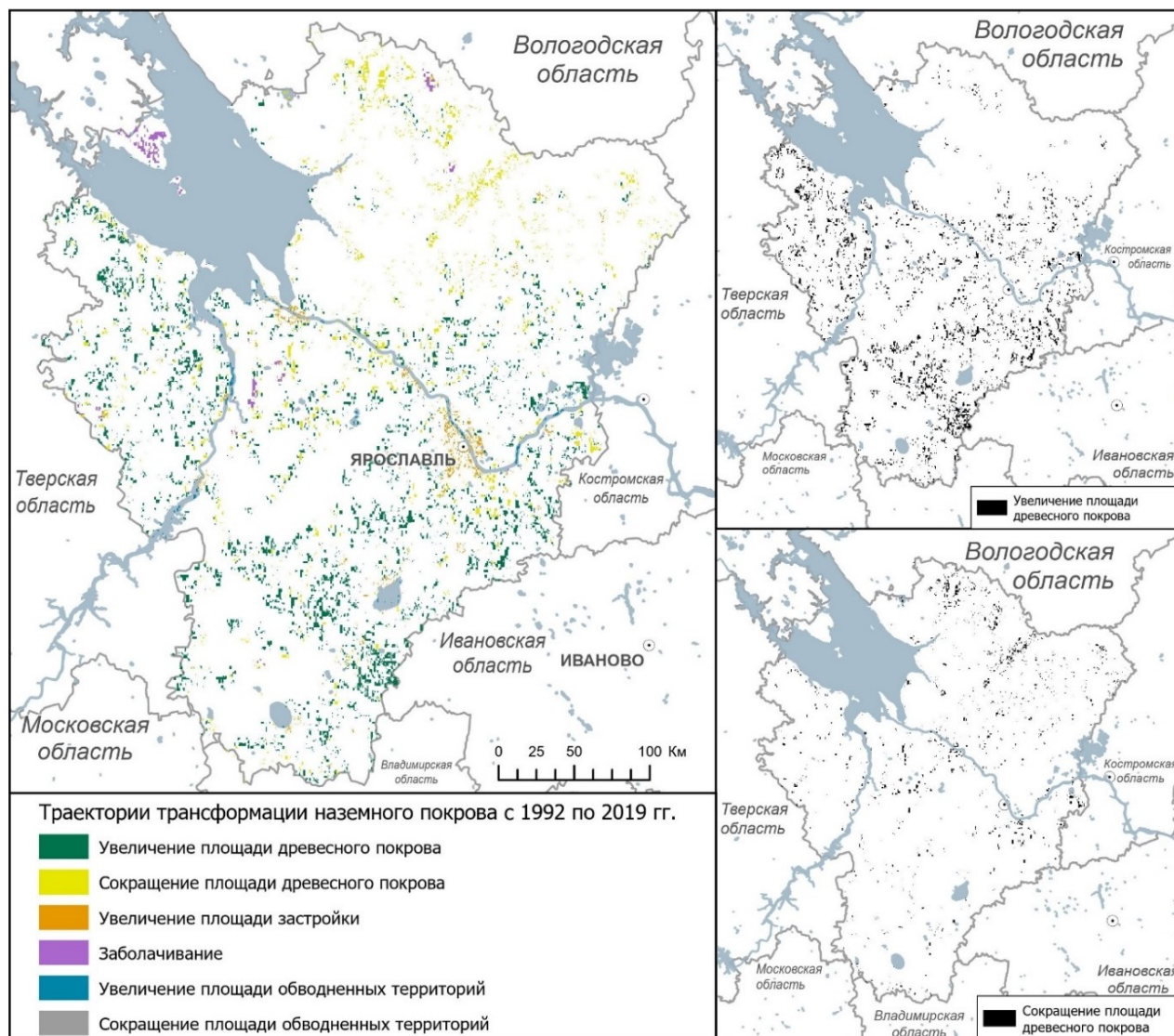


Рис. 1. Наземный покров Ярославской области, 2019 г.  
Fig. 1. Land cover of the Yaroslavl Region, 2019

Табл. 2. Направления трансформации наземного покрова  
и геоэкологические процессы в Ярославской области, 1992–2019 гг.  
Table 2. Directions of land cover transformation and geoeological processes  
in the Yaroslavl Region, 1992–2019

Направления трансформации	Площадь трансформации, км <sup>2</sup>	Геоэкологические процессы	Типы изменений	Доля типа изменений от процесса, %	Площадь, занимаемая процессом, км <sup>2</sup>
Увеличение площади древесного покрова (залесение)	1 431	Заращение древесным покровом пашен	1_3	94,7	435
			1_4	2,0	
			1_5	3,3	
		Заращение древесным покровом мозаики	2_3	77,6	996
			2_4	7,7	
			2_5	5,5	
Сокращение площади древесного покрова	473	Распашка на месте лесов	3_1	100	290
		Расширение лугов и сенокосов на месте лесов	3_7	100	55
		Увеличение мозаичности	3_2	100	126
		Обезлесение	3_8	72,6	2
6_8	27,4				
Увеличение площади застройки	110	Расширение застройки	1_10	76,4	110
			2_10	9,6	
			3_10	4,1	
			5_10	10,1	
Заболачивание	93	Заболачивание на месте лесов	3_9	60,9	88
			6_9	27,3	
			2_9	11,4	
		Заболачивание на месте водных объектов (расширение водно-болотных угодий)	11_9	100	5
Увеличение площади обводненных территорий	42	Расширение обводненных территорий (подтопление лесов)	5_11	100	42
Сокращение площади обводненных территорий	1	Осушение	11_8	100	1

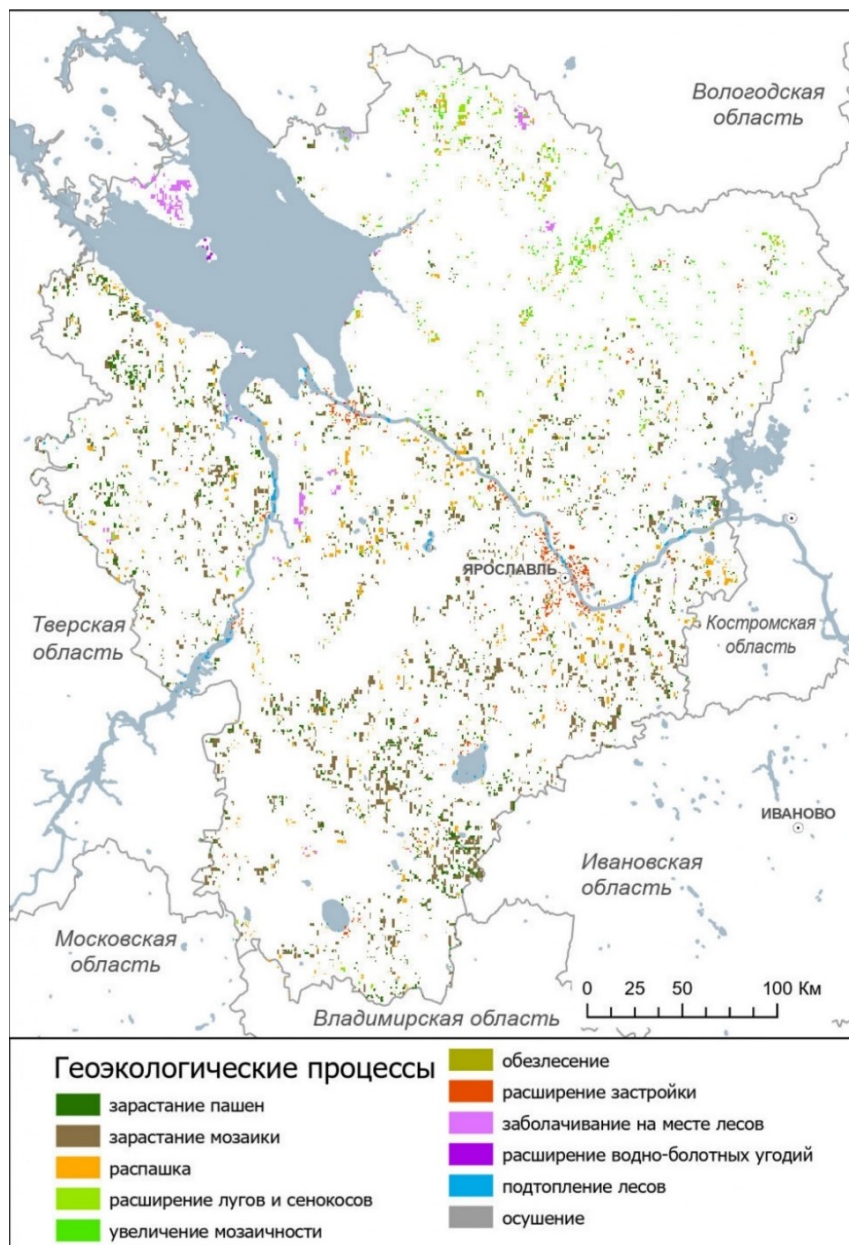
\*Примечание: в столбце «Типы изменений» показатель x\_u означает смену класса наземного покрова x на класс u; обозначения классов см. в табл. 1.



*Рис. 2. Направления трансформации наземного покрова Ярославской области за период 1992–2019 гг. На правой верхней врезке — увеличение площади древесного покрова, на правой нижней врезке — сокращение площади древесного покрова*

*Fig. 2. Directions of land cover transformation of the Yaroslavl Region for 1992–2019. In the upper right inset — an increase of forest cover, in the lower right inset — a decrease of forest cover*

Увеличение площади древесного покрова могло происходить как на месте бывших пашен, так и на месте мозаичного растительного покрова. Поэтому выделено два процесса (рис. 3). В первом случае — процесс зарастания полей из-за постоянного или временного сокращения сельскохозяйственной деятельности (забрасывания пахотных угодий или перевода их в залежь). Второй процесс — зарастание мозаичного покрова (более 50 % площади пиксела природной растительности, а также пашни), который проявляется в расширении древесного покрова не только на месте пашни, но и на месте кустарников или лугов в результате сукцессионных процессов. В эту же группу процессов входит искусственное лесовосстановление и дополнение лесных культур в рамках мероприятий по воспроизводству лесов на землях лесного фонда.



*Рис. 3. Геоэкологические процессы в результате трансформации землепользования Ярославской области за 1992–2019 гг.*  
*Fig. 3. Geoeological processes as a result of land use transformation of the Yaroslavl Region for 1992–2019*

Сокращение древесного покрова может рассматриваться как результат четырех процессов:

- 1) распашка на месте лесов;
- 2) расширение лугов и сенокосов на месте лесов;
- 3) увеличение мозаичности залесенной территории (подразумевает смену редкостойного мелколиственного леса на мозаичный наземный покров; причиной могут быть мелкие рубки, распашка и фрагментация древостоев по другим причинам);
- 4) собственно обезлесение (смена редкостойных мелколиственных и смешанных лесов на участки с фрагментарной растительностью или без растительности, обусловленная, по-видимому, в основном вырубками или пожарами).

Траектория заболачивания может быть обусловлена несколькими процессами с учетом различных исходных категорий: расширение болот из-за сведения лесов, расширение низинных болот (возможно, из-за зарастания отдельных участков водоемов и русел). Также выделены процессы расширения обводненных территорий (на месте лесов) и осушения; процесс расширения застройки.

*Увеличение площади древесного покрова* — наиболее распространенное направление трансформации в Ярославской области. За период 1992–2019 гг. зафиксировано залесение пахотных угодий на площади 435 км<sup>2</sup> и мозаичного наземного покрова на площади 996 км<sup>2</sup> (всего около 1,4 тыс. км<sup>2</sup>). Восстановлению древостоя во многом способствовал процесс забрасывания пахотных угодий в 1990-е гг. вследствие распада совхозно-колхозной системы в период с 1994–1996 гг. [Вараксин, 2012]. В настоящее время на этих территориях произрастает преимущественно редкостойный мелколиственный лес (на 85 % от площади залесения)<sup>1</sup>.

На вырубках происходит естественное возобновление мелколиственными породами: только за период 2007–2018 гг. площадь, занятая ими, увеличилась на 108 км<sup>2</sup>. В естественном лесовосстановлении, как правило, преобладает береза — пионерный вид, одна из почвоулучшающих пород, повышающих продуктивность земель [Балашкевич, 2006]. Так, по данным полевого обследования залежей в 2019–2021 гг., в Пошехонском, Брейтовском, Угличском, Ростовском и Переславском районах в древесной растительности преобладают:

- береза пушистая;
- береза бородавчатая;
- ольха серая;
- ольха черная;
- ива козья;
- ива ломкая;
- осина;
- ель европейская;
- сосна;
- рябина;
- черемуха;
- яблоня;
- клен.

Возраст древостоя оценен в 12–34 года [Мишин и др., 2022]. Согласно нашим оценкам, мелколиственные леса более всего увеличили свои площади в Борисоглебском, Гаврилов-Ямском и Некоузском районах. Пример увеличения лесной площади со смешанным хвойно-мелколиственным древостоем — южная часть Ростовского района, а также локальные участки недалеко от г. Гаврилов-Ям.

Искусственное лесовосстановление (посадка семян сосны и ели), согласно Лесному плану за 2007–2018 гг., проведено на площади 133 км<sup>2</sup>. Естественное лесовосстановление выполнено на площади 138 км<sup>2</sup>, дополнение лесных культур — на 111 км<sup>2</sup> (там же).

*Сокращение площади древесного покрова* наблюдалось на втрое меньшей территории (около 470 км<sup>2</sup>), в основном за счет распашки (290 км<sup>2</sup>) и увеличения мозаичности лесных массивов (фрагментации) (126 км<sup>2</sup>), в т. ч. в результате вырубок. Замена древостоев луговыми сообществами отмечена на территории 55 км<sup>2</sup>, а полная потеря древостоев — лишь на 2 км<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 г. М.: Росинформагротех, 2021. 404 с.

Среди факторов данных процессов присутствуют пожары, вредители и болезни деревьев, рубки. По данным МЧС, на землях лесного фонда ежегодно возникает до 12 пожаров. Средняя площадь выгорания составляет от 0,18 до 0,32 км<sup>2</sup>/год, т. е. около 5–8 км<sup>2</sup> за 27 лет<sup>1</sup>. Данные Global Forest Watch говорят о более значительном сокращении площади древесного покрова в результате пожаров — около 33 км<sup>2</sup> (за 2001–2020 гг.). Наибольшие потери древостоя зафиксированы в Рыбинском, Переславском, Большесельском и Ростовском районах<sup>2</sup>. Вырубки также могут являться значимым фактором: по официальным данным за 2022 г. 63 % территории лесного фонда Ярославской области передано в аренду, из них более 90 % — для заготовки древесины<sup>3</sup>.

Установлено, что за период 2009–2018 гг. более всего уменьшилась площадь хвойных насаждений — на 175 км<sup>2</sup>, за счет уменьшения площади молодняков и приспевающих насаждений<sup>4</sup>. Сокращение площади хвойных молодняков обусловлено рубкой спелых и перестойных хвойных лесов без последующего возобновления их хвойными породами, переводом их в другие категории земель, например, для нужд строительства (газопроводы, нефтепроводы, ЛЭП) и по другим причинам.

В результате совокупной оценки двух выше рассмотренных направлений (увеличение и сокращение древесного покрова) получен вывод о нетто-увеличении залесенной площади в Ярославской области за 27 лет на 970 км<sup>2</sup>.

*Заболачивание* (расширение площади водно-болотных угодий) отмечено в гораздо меньших масштабах, на площади 93 км<sup>2</sup>, и во многом за счет заболачивания редкостойных мелколиственных лесов (54 км<sup>2</sup>). Процесс приурочен к болотам Солодихинское (Некоузский район, на границе с Тверской областью), Шалимовское и Великий Мох (Мышкинский и Большесельский районы), Соколье и Новленское (Первомайский район). Значения общей площади болот в Ярославской области по официальным данным и данным спутниковых снимков схожи, и составляют около 400 км<sup>2</sup> (по данным Росреестра на 2019 г. — 365 км<sup>2</sup>)<sup>5</sup>. Увеличение площади заболоченных земель связано, по-видимому, как с природными процессами, так и с прекращением работ по реконструкции и эксплуатации мелиоративных систем и выводу из строя осушительной сети вследствие ее зарастания<sup>6</sup>: с начала 2000-х гг. предприняты попытки сохранения водно-болотных угодий с целью обеспечения 15 % минимума площадей болот для поддержания возможности рационального природопользования [Горохова, Маракаев, 2009].

*Увеличение площади обводненных территорий* в период с 1992 по 2019 гг. происходило за счет процесса расширения данных территорий вследствие подтопления редкостойных хвойных лесов на площади 5 км<sup>2</sup>. Процесс проявляется по берегам р. Волги в Мышкинском, Угличском, Ярославском и Некрасовском районах, а также в южной прибрежной зоне Рыбинского водохранилища. Подтопление лесов на данных участках может быть связано с режимом в бассейне р. Волги (несвоевременный сброс воды), ирригацией,

<sup>1</sup> Пожары в России: данные о местах и типах природных пожаров за 2012–2021 гг. МЧС: Инфраструктура научно-исследовательских данных. АНО «ЦПУР», 2022. Электронный ресурс: <http://data-in.ru/data-catalog/datasets/202/> (дата обращения 10.04.2024)

<sup>2</sup> Global Forest Watch. Электронный ресурс: <https://www.globalforestwatch.org/map/country/RUS> (дата обращения 10.04.2024)

<sup>3</sup> Доклад об экологической ситуации в Ярославской области в 2022 г. Ярославль: Департамент охраны окружающей среды и природопользования Ярославской области, 2023. 48 с.

<sup>4</sup> Лесной план Ярославской области. Утв. Приказом губернатора от 29.12.2018 № 386. Электронный ресурс: <https://portal.yarregion.ru/deptsdlh/activity/planing/index.php> (дата обращения 14.03.2024)

<sup>5</sup> Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 г. М.: Росинформгротех, 2021. 404 с.

<sup>6</sup> Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Ярославской области в 2017 г. Ярославль: Департамент охраны окружающей среды и природопользования Ярославской области, 2019. 232 с.

гидротехническим строительством, коммунальным и промышленным водопотреблением, землеустроительной деятельностью. По официальным данным, обводненные территории занимают 7 км<sup>2</sup>. Регулярно из бюджета области выделяются средства на укрепление берегов данных водных объектов ввиду высокого риска сезонного подтопления<sup>1</sup>. Расширение обводненных территорий также может происходить и по естественным причинам, например в результате избыточного увлажнения. Источниками переувлажнения могут быть грунтовые и поемные воды (повышение уровня подземных вод) [Разумова и др., 2016].

*Сокращение площади обводненных территорий.* Процесс осушения аквальных комплексов и зарастания их фрагментарной растительностью занимает всего чуть более 0,5 км<sup>2</sup>. Возможные его причины — проведение дренажных работ, в т. ч. на частных земельных участках, для защиты фундамента и элементов конструкции от разрушительного воздействия большого количества влаги [Сабо, 2007].

*Увеличение площади застройки* происходило в основном на месте пахотных угодий (84 км<sup>2</sup>), и к 2019 г. площадь застроенных земель составила 270 км<sup>2</sup>. Расширение застройки в большей степени приурочено к городам Ярославль, Рыбинск и Переславль-Залесский. Согласно официальным данным, застройка происходит наиболее активно в Ярославском (28,5 %), Рыбинском (12,3 %) и Переславском (9,6 %) районах<sup>2</sup>.

Таким образом, из шести установленных направлений трансформации землепользования за 27-летний период наиболее выражено увеличение территорий, занятых древесным покровом (рис. 4). Оно отмечено на половине площади всех 22 переходов классов наземного покрова. Эти изменения, как показано выше, обусловлены разнообразными процессами.

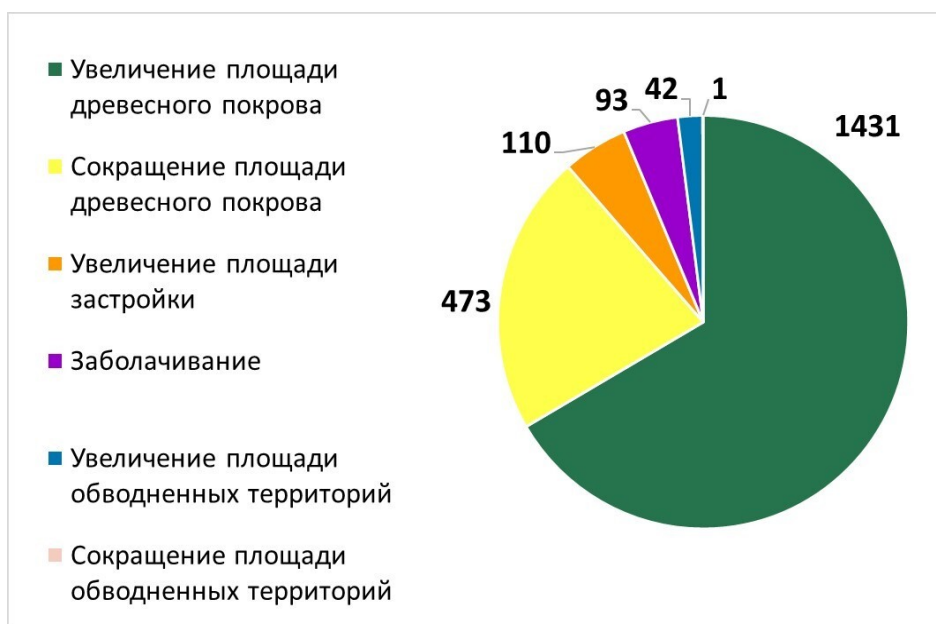


Рис. 4. Направления трансформации землепользования за исследуемый период, км<sup>2</sup>  
 Fig. 4. Directions of land use transformation for the study period, km<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Доклад о состоянии и использовании земель Ярославской области в 2019 г. Ярославль: Управление Росреестра по Ярославской области Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, 2020. 72 с.

<sup>2</sup> Доклад о состоянии и использовании земель Ярославской области в 2019 г. Ярославль: Управление Росреестра по Ярославской области Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, 2020. 72 с.

## ВЫВОДЫ

На основе анализа переходов классов наземного покрова за период нескольких десятилетий можно получить представление об основных направлениях трансформации землепользования, обусловленных разнообразными процессами, имеющими геоэкологические последствия. Так, в Ярославской области за 1992–2019 гг. преобладающим по площади направлением трансформации землепользования оказалось облесение (нетто-увеличение древесного покрова), которое стало результатом ряда процессов, зафиксированных по зарастанию пашен и мозаик с фрагментированным растительным покровом. Среди значимых направлений — распашка на месте лесных земель. При этом, расширение лесных земель имело место в основной зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов, а сокращение лесов — преимущественно в южно-таежной подзоне.

Наибольший интерес для анализа представляют те многосоставные направления трансформации, которые обусловлены разнообразными процессами, выделенными по нескольким переходами классов наземного покрова. В целом, эти многофакторные процессы можно трактовать как геоэкологические, т. к. они обусловлены динамикой социально-экономической ситуации, институциональными изменениями, сдвигами моделей потребления и природными явлениями. Безусловно, они требуют дальнейшего изучения и интерпретации с ландшафтно-геоэкологических позиций.

Трансформация форм землепользования, интенсификация или снижение хозяйственных нагрузок — важные факторы, которые необходимо учитывать при разработке регионально-ориентированных рекомендаций управления природно-антропогенными ландшафтами, для решения экологических проблем (в т. ч. в сфере сохранения биоразнообразия и экосистемных услуг) и при планировании стратегий низкоуглеродного развития.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова № 121040100322-8.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The study was carried out under the State assignment of the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University No. 121040100322-8.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева Н. Н., Климанова О. А., Третьяченко Д. А., Банчева А. И.* Траектории трансформации земельного покрова в зональных типах ландшафтов Индокитая. Известия Русского географического общества, 2019. № 4. С. 1–14.
- Алексеева Н. Н., Климанова О. А., Хазиева Е. С.* Глобальные базы данных земельного покрова и перспективы их использования для картографирования современных ландшафтов. Известия РАН. Серия географическая, 2017. № 1. С. 110–123. DOI: 10.15356/0373-2444-2017-1-110-123.
- Атлас Ярославской области. География. История. М.: Издательство ДИК, 1999. 48 с.
- Балашкевич Ю. А.* Зарастание бывших сельскохозяйственных земель древесной растительностью. Актуальные проблемы лесного комплекса. Сборник научных трудов. Вып. 13. Брянск: Брянская государственная инженерно-техническая академия, 2006. С. 4–6.
- Барталев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Луян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А.* Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302.

*Вараксин Г. С., Вайс А. А., Байкалов Е. М.* Заращение древесной растительностью земель сельскохозяйственного назначения. Вестник КрасГАУ, 2012. № 5. С. 201–205.

*Горохова В. В., Маракаев О. А.* Экосистемы болот Ярославской области: состояние и охрана. Ярославль: Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, 2009. 156 с.

*Мишин Д. М., Русаков А. В., Симонова Ю. В., Рюмин А. Г., Созинов О. В., Тиходеева М. Ю.* Ранние этапы формирования леса на месте бывших пашен в Ярославской области. Материалы VI Всероссийской научной конференции. С. 438–440. Электронный ресурс: [https://rep.herzen.spb.ru/file\\_viewer/4960](https://rep.herzen.spb.ru/file_viewer/4960) (дата обращения 04.04.2024)

*Разумова Н. В., Разумов В. В., Молчанов Э. Н.* Переувлажнение и подтопление почв и земель в Центральном регионе России. Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева, 2016. № 82. С. 3–27.

*Сабо Е. Д.* Природные факторы и приемы осушения. Лесной вестник, 2007. № 7. С. 90–96.

*Bartalev S. A., Plotnikov D. E., Loupian E. A.* Mapping of arable land in Russia using multiyear time series of MODIS data and the LAGMA classification technique. Remote Sensing Letters, 2016. V. 7. No. 3. P. 269–278. DOI: 10.1080/2150704X.2015.1130874.

*Berkes F.* Environmental Governance for the Anthropocene? Social-Ecological Systems, Resilience, and Collaborative Learning. Sustainability, 2017. V. 9. Iss. 7. P. 1232. DOI: 10.3390/su9071232.

*Castilla G., Hay G.* Uncertainties in land use data. Hydrology and Earth System Sciences, 2007. V. 11. Iss. 6. P. 1857–1868. DOI: 10.5194/hess-11-1857-2007.

*Choudhary K., Boori M. S., Kupriyanov A. V.* A remote sensing and GIS based approach for land use/cover, inundation and vulnerability analysis in Moscow, Russia. Computer Optics, 2019. V. 43(1). P. 90–98. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-1-90-98.

*Klimanova O., Naumov A., Greenfieldt Y., Prado R., Tretyachenko D.* Recent regional trends of land use and land cover transformations in Brazil. Geography, Environment, Sustainability, 2017. V. 10. No. 4. P. 98–116. DOI: 10.24057/2071-9388-2017-10-4-98-116.

*Li J., Dong S., Li Y., Wang Y., Li Z., Li F.* Effects of land use change on ecosystem services in the China – Mongolia – Russia economic corridor. Journal of Cleaner Production, 2022. V. 360. P. 132175. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132175.

*Li W., Ciais P., MacBean N., Peng S., Defourny P., Bontemps S.* Major forest changes and land cover transitions based on plant functional types derived from the ESA CCI Land Cover product. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016. V. 47. P. 30–39. DOI: 10.1016/j.jag.2015.12.006.

*Niu Z., He H., Peng S., Ren X., Zhang L., Gu F., Zhu G., Peng C., Li P., Wang J., Ge R., Zeng N., Zhu X., Lv Y., Chang Q., Xu Q., Zhang M., Liu W.* A process-based model integrating remote sensing data for evaluating ecosystem services. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2021. V. 13. Iss. 6. P. e2020MS002451. DOI: 10.1029/2020MS002451.

*Potapov P., Hansen M. C., Pickens A., Hernandez-Serna A., Tyukavina A., Turubanova S., Zalles V., Li X., Khan A., Stolle F., Harris N., Song X.-P., Baggett A., Kommareddy I., Kommareddy A.* The global 2000–2020 land cover and land use change dataset derived from the Landsat archive: First results. Frontiers in Remote Sensing, 2022. V. 3. P. 856903. DOI: 10.3389/frsen.2022.856903.

*Reinhart V., Fonte C. C., Hoffmann P., Bechtel B., Rechid D., Boehner J.* Comparison of ESA climate change initiative land cover to CORINE land cover over Eastern Europe and the Baltic

States from a regional climate modeling perspective. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021. V. 94. P. 102221. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102221.

*Soesbergen A.* A review of land use change models. London: UNEP, 2016. 76 p.

*Wang Y., Sun Y., Cao X., Wang Y., Zhang W., Cheng X.* A review of regional and Global Scale Land Use/Land Cover (LULC) mapping products generated from satellite remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2023. V. 206. P. 311–334. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2023.11.014.

*Winkler K., Yang H., Ganzenmüller R., Ceccherini G., Duveiller G., Grassi G., Pongratz J., Bastos A., Shvidenko A., Araza A., Herold M., Wigneron J.-P., Ciais Ph.* Changes in land use and management led to a decline in Eastern Europe's terrestrial carbon sink. *Communications Earth & Environment*, 2023. V. 4. No. 237. DOI: 10.1038/s43247-023-00893-4.

## REFERENCES

*Alekseeva N. N., Klimanova O. A., Khazieva E. S.* Global land cover databases and prospects for their use for mapping modern landscapes. *Izvestia RAN. Seriya Geograficheskaya (News of the Russian Academy of Sciences. Geographical series)*, 2017. V. 1. P. 110–123 (in Russian). DOI: 10.1536/0373-2444-2017-1-110-123.

*Alekseeva N. N., Klimanova O. A., Tretyachenko D. A., Bancheva A. I.* Trajectories of land cover transformation in zonal types of landscapes of Indochina. *Izvestiya Russkogo Geograficheskogo Obshestva (News of Russian Geographical Society)*, 2019. V. 4. P. 1–14 (in Russian).

*Atlas of the Yaroslavl Region. Geography. History.* Moscow: Publishing House DIK, 1999. 48 p. (in Russian).

*Balashkevich Yu. A.* Overgrowing of former agricultural lands with woody vegetation. Current problems of the forestry complex. Collection of scientific papers. Bryansk: Bryansk State Engineering and Technological Academy, 2006. V. 13. P. 4–6 (in Russian).

*Bartalev S. A., Egorov V. A., Ershov D. V., Isaev A. S., Lupyan E. A., Plotnikov D. E., Uvarov I. A.* Satellite mapping of vegetation cover in Russia using data from the MODIS spectroradiometer. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 2011. V. 8. No. 4. P. 285–302 (in Russian).

*Bartalev S. A., Plotnikov D. E., Loupian E. A.* Mapping of arable land in Russia using multiyear time series of MODIS data and the LAGMA classification technique. *Remote Sensing Letters*, 2016. V. 7. No. 3. P. 269–278. DOI: 10.1080/2150704X.2015.1130874.

*Berkes F.* Environmental Governance for the Anthropocene? *Social-Ecological Systems, Resilience, and Collaborative Learning. Sustainability*, 2017. V. 9. Iss. 7. P. 1232. DOI: 10.3390/su9071232.

*Castilla G., Hay G.* Uncertainties in land use data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2007. V. 11. Iss. 6. P. 1857–1868. DOI: 10.5194/hess-11-1857-2007.

*Choudhary K., Boori M. S., Kupriyanov A. V.* A remote sensing and GIS based approach for land use/cover, inundation and vulnerability analysis in Moscow, Russia. *Computer Optics*, 2019. V. 43(1). P. 90–98. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-1-90-98.

*Gorokhova V. V., Marakaev O. A.* Ecosystems of wetlands of the Yaroslavl Region: state and protection. Yaroslavl: P. G. Demidov Yaroslavl State University, 2009. 156 p. (in Russian).

*Klimanova O., Naumov A., Greenfieldt Y., Prado R., Tretyachenko D.* Recent regional trends of land use and land cover transformations in Brazil. *Geography, Environment, Sustainability*, 2017. V. 10. No. 4. P. 98–116. DOI: 10.24057/2071-9388-2017-10-4-98-116.

- Li J., Dong S., Li Y., Wang Y., Li Z., Li F.* Effects of land use change on ecosystem services in the China – Mongolia – Russia economic corridor. *Journal of Cleaner Production*, 2022. V. 360. P. 132175. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132175.
- Li W., Ciais P., MacBean N., Peng S., Defourny P., Bontemps S.* Major forest changes and land cover transitions based on plant functional types derived from the ESA CCI Land Cover product. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016. V. 47. P. 30–39. DOI: 10.1016/j.jag.2015.12.006.
- Mirin D. M., Rusakov A. V., Simonova Yu. V., Ryumin A. G., Sozinov O. V., Tikhodeeva M. Yu.* Early stages of forest formation on the former arable lands in the Yaroslavl Region. *Materials of the VI All-Russian Scientific Conference*. P. 438–440 (in Russian). Web resource: [https://rep.herzen.spb.ru/file\\_viewer/4960](https://rep.herzen.spb.ru/file_viewer/4960) (accessed 04.04.2024).
- Niu Z., He H., Peng S., Ren X., Zhang L., Gu F., Zhu G., Peng C., Li P., Wang J., Ge R., Zeng N., Zhu X., Lv Y., Chang Q., Xu Q., Zhang M., Liu W.* A process-based model integrating remote sensing data for evaluating ecosystem services. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 2021. V. 13. Iss. 6. P. e2020MS002451. DOI: 10.1029/2020MS002451.
- Potapov P., Hansen M. C., Pickens A., Hernandez-Serna A., Tyukavina A., Turubanov S., Zalles V., Li X., Khan A., Stolle F., Harris N., Song X.-P., Baggett A., Kommareddy I., Kommareddy A.* The global 2000–2020 land cover and land use change dataset derived from the Landsat archive: first results. *Frontiers in Remote Sensing*, 2022. V. 3. P. 856903. DOI: 10.3389/frsen.2022.856903.
- Razumova N. V., Razumov V. V., Molchanov E. N.* Waterlogging and flooding of soils and lands in the Central Region of Russia. *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016. V. 82. P. 3–27 (in Russian).
- Reinhart V., Fonte C. C., Hoffmann P., Bechtel B., Rechid D., Boehner J.* Comparison of ESA climate change initiative land cover to CORINE land cover over Eastern Europe and the Baltic States from a regional climate modeling perspective. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021. V. 94. P. 102221. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102221.
- Sabo E. D.* Natural factors and drainage techniques. *Forestry Bulletin*, 2007. V. 7. P. 90–96 (in Russian).
- Soesbergen A.* A review of land use change models. London: UNEP, 2016. 76 p.
- Varaksin G. S., Weiss A. A., Baikalov E. M.* Overgrowth of woody vegetation on agricultural land. *The Bulletin of KrasGAU*, 2012. V. 5. P. 201–205 (in Russian).
- Wang Y., Sun Y., Cao X., Wang Y., Zhang W., Cheng X.* A review of regional and Global Scale Land Use/Land Cover (LULC) mapping products generated from satellite remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2023. V. 206. P. 311–334. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2023.11.014.
- Winkler K., Yang H., Ganzenmüller R., Ceccherini G., Duveiller G., Grassi G., Pongratz J., Bastos A., Shvidenko A., Araza A., Herold M., Wigneron J.-P., Ciais Ph.* Changes in land use and management led to a decline in Eastern Europe’s terrestrial carbon sink. *Communications Earth & Environment*, 2023. V. 4. No. 237. DOI: 10.1038/s43247-023-00893-4.
-