

О. И. Маркова¹, А. Н. Гуня², А. Ж. Пуреховский³

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ТЕРРИТОРИИ БОЛЬШОЙ МОСКВЫ ЗА ДВАДЦАТЬ ЛЕТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

АННОТАЦИЯ

В статье изложены результаты изучения динамики древесной растительности на территории Большой Москвы за двадцать лет (2000–2020 гг.). С помощью материалов дистанционного зондирования Landsat ARD и геоинформационных технологий на основе значений отражательной способности, яркостной температуры, вегетационных индексов построена серия карт приростов и потерь древесной растительности. При подсчете площадей лесов и полей установлено, что за 20 лет их площадь в целом немного увеличилась. Установлено, что прирост древесной растительности в Старой Москве характерен в основном для жилых районов, близких к МКАД. В ТиНАО максимальные приросты древесной растительности разбросаны равномерно по районам. На ООПТ, как правило, большого прироста не наблюдается. Потери древесной растительности на ООПТ связаны с их ландшафтным преобразованием и строительством различных сооружений. Наибольшие потери леса наблюдаются в спальных районах Старой Москвы, не примыкающих непосредственно к МКАД. В Новой Москве выделяются линии транспортных магистралей и районы, ориентированные на застройку. Из особо охраняемых природных территорий наибольшие потери леса характерны для национального парка «Лосиный остров». Из природно-исторических парков наиболее пострадали Измайлово, Кузьминки-Люблино, Царицыно, Москворецкий парк. Территории ООПТ в основном характеризуются стабильностью своих древесных насаждений, не отличаясь ни сильным приростом, ни большой убылью. Была произведена оценка изменений площадей прироста и убыли лесов в целом в городе по категориям высот деревьев, в результате которой установлено, что наибольший прирост характерен для категорий 5, 7, 9–13 м, а наибольшие потери — для категорий 12, 18, 19 и 21 м. Территории, где высота деревьев не изменялась, также имеют свою небольшую долю в площади города (около 1,5 %). Полученные данные можно рекомендовать для изучения истории города, развития городского планирования и природоохранных мероприятий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: растительный покров, космические снимки, геоинформационные технологии, вегетационные индексы, динамика городских ландшафтов

¹ Московский государственный университет, географический факультет, Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: solntsevaolga1401@gmail.com

² Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН), Старомонетный пер., д. 29, стр. 4, Москва, Россия, 119017, *e-mail*: a.n.gunya@igras.ru

³ Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН), Старомонетный пер., д. 29, стр. 4, Москва, Россия, 119017, *e-mail*: purekhovskii@igras.ru

Olga I. Markova¹, Alexey N. Gunya², Andrey G. Purekhovskii³

ASSESSMENT OF CHANGE IN VEGETATION COVER OF THE TERRITORY OF GREATER MOSCOW OVER TWENTY YEARS USING SATELLITE IMAGES

ABSTRACT

The article presents the results of a study of the dynamics of woody vegetation in the territory of Greater Moscow over twenty years (2000–2020). Using Landsat ARD remote sensing data and geoinformation technologies, a series of maps of growth and loss of woody vegetation were constructed based on reflectivity values, brightness temperature, and vegetation indices. When calculating the areas of forests and fields, it was found that over 20 years their area has slightly increased overall. It was found that the increase in woody vegetation in Old Moscow is characteristic mainly of residential areas close to the Moscow Ring Road. In TiNAO, the maximum increases in woody vegetation are evenly distributed across the districts. In nature protected areas, as a rule, there is no significant increase. Losses of woody vegetation in protected areas are associated with their landscape transformation and construction of various structures. The greatest forest losses are observed in the residential areas of Old Moscow, not directly adjacent to the Moscow Ring Road. In New Moscow, there are lines of transport arteries and areas oriented towards development. Of the specially protected natural areas, the greatest forest losses are typical for the Losiny Ostrov National Park. Of the natural and historical parks, Izmailovo, Kuzminki-Lyublino, Tsaritsyno, and Moskvoretsky Park suffered the most. The territories of the specially protected natural areas are mainly characterized by the stability of their tree stands, not distinguished by either strong growth or large losses. An assessment was made of changes in the areas of forest growth and loss in the city as a whole by tree height categories, which found that the greatest growth is typical for categories 5, 7, 9–13 m, and the greatest losses are for categories 12, 18, 19, and 21 m. The territories where the tree height did not change also have a small share in the city area (about 1.5%). The data obtained can be recommended for studying the history of the city, developing urban planning and environmental protection measures.

KEYWORDS: vegetation cover, space images, geoinformation technologies, vegetation indices, dynamics of urban landscapes

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходят большие изменения в преобразовании московского мегаполиса. Население города постоянно увеличивается, производится крупномасштабное строительство и ландшафтное преобразование. С 2012 г. к старым городским территориям присоединились еще и территории Новой Москвы⁴.

Весьма заметным в ландшафтных преобразованиях города является изменение естественного растительного покрова. Он является основным ресурсообразующим фактором биосферы, значимость которого определяется свойством продуцирования

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: solntsevaolga1401@gmail.com

² Institute of Geography, RAS, 29, build. 4, Staromonetny ln., Moscow, 119017, Russia, e-mail: a.n.gunya@igras.ru

³ Institute of Geography, RAS, 29, build. 4, Staromonetny ln., Moscow, 119017, Russia, e-mail: purekhovskii@igras.ru

⁴ Постановление Московской городской Думы от 7 декабря 2011 г. № 372 «Об утверждении соглашения об изменении границы между субъектами Российской Федерации городом Москвой и Московской областью»

органического вещества и способностью поддерживать качество среды [Петров, Терехина, 2013]. Растительность чувствительна к различным антропогенным нарушениям и наглядно отражает изменения экологической обстановки. Глубокое антропогенное воздействие приводит к значительной трансформации или уничтожению растительного покрова в целом или отдельных, наиболее уязвимых видов растений [Радченко и др., 2016].

Растительность — чувствительный индикатор уровня антропогенной нагрузки на природную среду. Надежными показателями степени экологического неблагополучия являются уменьшение площади коренных сообществ, лесистости, полноты древостоев (плотность древостоя, сомкнутость крон, бонитет), повреждение древостоев техногенными выбросами, заболевания древостоев, уменьшение проективного покрытия и биологической продуктивности, изменение плотности подроста, выбитость напочвенного покрова, замена одних видов на другие [Кочуров, 2003; Гусев, Соколов, 2008].

Сбор и анализ картографических источников, экологическое дешифрирование аэрокосмических материалов с использованием различных видов съемок является необходимой частью первого этапа оценки состояния растительности [Радченко, 2016].

Оценка состояния растительного покрова по космическим снимкам известна в России по многим современным работам, например [Алексеева и др., 2017; Голубева и др., 2019; Захаров и др., 2019; Антонов, 2020; Литинский, 2020; Гусев, Шпилевская, 2020; Шахбазян, 2021; Грищенко и др., 2022; Васильченко, Выприцкий, 2023; Мелкий, Верхотуров, 2023 и др.]. Для оценки состояния растительного покрова используют различные вегетационные индексы, которые рассчитываются в результате математических операций с разными спектральными каналами в каждом пикселе снимка.

В настоящей работе сделана попытка оценить изменение площадей растительного города, включая новые территории, по космическим снимкам за двадцатилетие, прошедшее с начала XXI в., за которое произошло наиболее интенсивное преобразование городских территорий и масштабное строительство.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе для выявления трендов в изменении земельного и лесного покрова Москвы использовались тематические продукты Landsat ARD, подготовленные лабораторией GLAD (Global Land Analysis and Discovery) Университета Мэриленда (США), на базе 16-дневных композитов, сформированных из лучших вариантов съемки серии космических спутников Landsat Геологической службы США (USGS) и Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (NASA), нормализованных по отражательной способности (для видимого, ближнего и коротковолнового инфракрасного диапазонов каналов), а также уровню качества данных [Potapov et al., 2020]. Landsat является единственным общедоступным источником глобальных спутниковых данных со средним разрешением (30 м), доступным до 2016 г., что позволяет проводить историческую оценку изменений наземных ландшафтов [Wulder et al., 2012].

Продукт Landsat ARD состоит из 16-дневных композиционных данных, нормированных по отражательной способности и температурной яркости, составленных из лучших вариантов съемки. Участки, закрытые облаками и дымкой в безоблачных композитах, заполняются с помощью специализированного метода заполнения пробелов. Ежегодные 16-дневные временные ряды Landsat ARD преобразованы в набор основанных на ранжировании статистических данных (фенологических показателей), что позволяет применить для них многовременную классификацию и регрессионные модели. Для тематической классификации рассчитывались коэффициенты детерминации между физическими характеристиками композита и истинными значениями Landcover.

Ранжирование строилось на основе:

- 1) значений отражательной способности;
- 2) соответствующих значений яркостной температуры;
- 3) соответствующих значений вегетационных индексов: нормализованного вегетационного индекса (NDVI) и нормализованного водного индекса (NDWI).

Вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) служит количественным показателем фотосинтетически активной биомассы [Гусев, Шпилевская, 2020]. Нормализованный разностный водный индекс (Normalized Difference Water Index (NDWI)) служит для определения и мониторинга изменений содержания поверхностных вод, является важным показателем оценки мутности вод [Халин, 2022].

Для каждого ранжирования извлекался набор статистических данных, включающих выбранные ранги (минимум, максимум, квартили), межранговые средние значения (минимум — первый квартиль, первый — третий квартиль, третий квартиль — максимум) и амплитуды (от минимума до максимума, от минимума к медиане, от медианы к максимуму). Был также рассчитан набор показателей на основе вегетационных индексов, который представляет собой основные этапы фенологии (начало, конец, пик вегетационного периода).

Для изучения изменения типов земельного покрова использовались тематические продукты, полученные в рамках проекта “The Global 2000–2020 Land Cover and Land Use Change”: “Cropland” — возделываемые или пахотные земли, и “Built-Up Lands” — застроенные территории, которые были созданы на основе Landsat ARD с помощью индивидуальных моделей на основе нейронных сетей типа «дерева решений» или сверточных нейронных сетей с функцией deep learning и откалиброваны с применением наземных полевых данных для каждого класса группы наземных ландшафтов [Potapov et al., 2022].

Для изменения (прирост и сведение) древесной растительности использовался продукт “Forest Extent and Height” — высота древесной растительности. Это глобальное покрытие модели высоты древесной растительности делалось на основе данных Landsat ARD и калибровалось с использованием лидарных данных GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation Lidar).

В качестве обучающих данных использовалась метрика 95 % GEDI энергии сигнала относительно высоты поверхности (RH95). Для каждого тайла Landsat ARD была откалибрована отдельная модель с использованием обучающих данных, собранных в соседних тайлах. Была использована GEDI RH95 2019 г. в качестве зависимой переменной и многовременные показатели Landsat того же года в качестве независимых переменных для калибровки ансамблей алгоритмов деревьев регрессии. Минимальная высота древесных растений, включенных в покрытие, была принята за 3 м [Potapov et al., 2021].

Геопространственный анализ проводился в среде утилиты командной строки Gidal и с использованием утилит, написанных на языке Python. Статистический анализ включал в себя расчет площадей трансформации ландшафтов по административным единицам с использованием утилиты «Таблица пересчетов».

Тематические слои, полученные с помощью геоинформационных технологий, были проанализированы и обработаны картографическими способами изображения, созданы легенды; была создана информация о динамике (потерях и приросте) лесных площадей, которая была сопоставлена с картами административных районов, особо охраняемых природных территорий (для Новой Москвы — крупных лесных массивов).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего, по произведенным расчетам динамика площадей лесных территорий была сопоставлена с динамикой территорий сельскохозяйственных (табл. 1). За первое двадцатилетие XXI в. в целом, несмотря на активное строительство, лесопокрытые площади увеличились на 8 243 891 м² (около 824 га или 8,2 км² — 0,3 % от всей территории, 0,8 % от территории лесов). Это небольшая, но все же положительная динамика. В то же время сельскохозяйственные земли в результате перевода областных территорий в московские и ликвидации распахов (которые хоть в малом количестве, но были) в Старой Москве сократились на 130 943 489 м² (около 13 094 га или 130,9 км² — 5,2 % от всей территории, 95,1 % от территории полей), т. е. поля сократились более чем вдвое.

Табл. 1. Динамика площадей леса и сельскохозяйственных земель в Москве (учитывая новые территории, общая площадь 2 561,5 км²) с 2000 по 2020 гг.
Table 1. Dynamics of forest and agricultural land areas in Moscow (including new territories, total area 2 561.5 km²) from 2000 to 2020

Территории	Общая площадь на 2020 г., м ²	Прирастание, м ²		Убывание, м ²	
Лесопокрытые территории	1 062 936 379	49 780 404		41 536 513	
		% от всей территории	% от территории лесов	% от всей территории	% от территории лесов
		1,9	4,68	1,6	3,91
Распаханные сельскохозяйственные земли	137 679 911	44 803 450		175 746 939	
		% от всей территории	% от территории полей	% от всей территории	% от территории полей
		1,7	32,54	6,9	127,65

Далее подробно были рассмотрены изменения площадей лесных территорий. На рис. 1 показана общая ситуация изменения лесного покрова (прироста и убывания) на фоне самих лесных территорий, расположенных в границах административных округов Москвы.

Наиболее крупные лесные массивы расположены в Восточном административном округе (национальный парк «Лосиный остров» — 30,8 км² на территории Москвы; природно-исторический парк (ПИП) «Измайлово» — 16,1 км²; лесопарк «Кусково» — 2,7 км²), Юго-Западном АО (ПИП «Битцевский лес» — 22,1 км², Бутовский лесопарк — 16,1 км², ландшафтный заказник «Теплый Стан» — 3,3 км²), Северо-Западном АО (ПИП «Москворецкий» — 36,6 км² совместно с частью, расположенной в ЗАО; ПИП «Тушинский» — 6,6 км², ПИП «Долина р. Сходни в Куркино» — 2,7 км²; ПИП «Покровское-Стрешнево» — 2,2 км²), Зеленоградском АО (Зеленоградский лесопарк — 10,2 км²), Новомосковский АО (Ульяновский лесопарк — 26,8 км², Валуевский лесопарк — 21,0 км², государственный природный заказник «Дубровицкий лес» — 5,8 км²).

На рис. 2 и 3 отражен прирост древесных растений в пяти категориях высоты деревьев в метрах с наложением сетки административных районов.

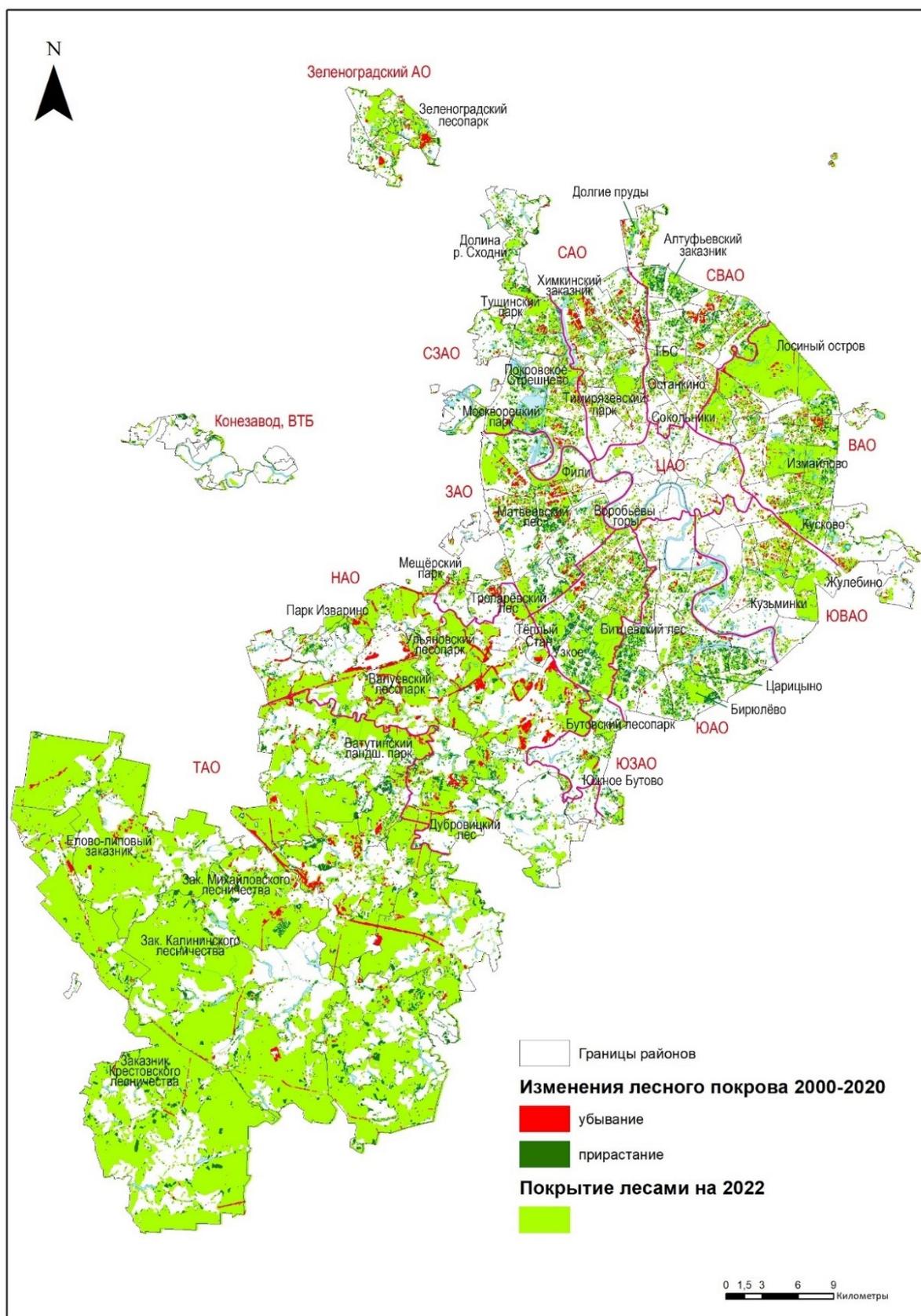


Рис. 1. Изменение лесного покрова Москвы за двадцать лет
Fig. 1. Changes in Moscow's forests cover over twenty years

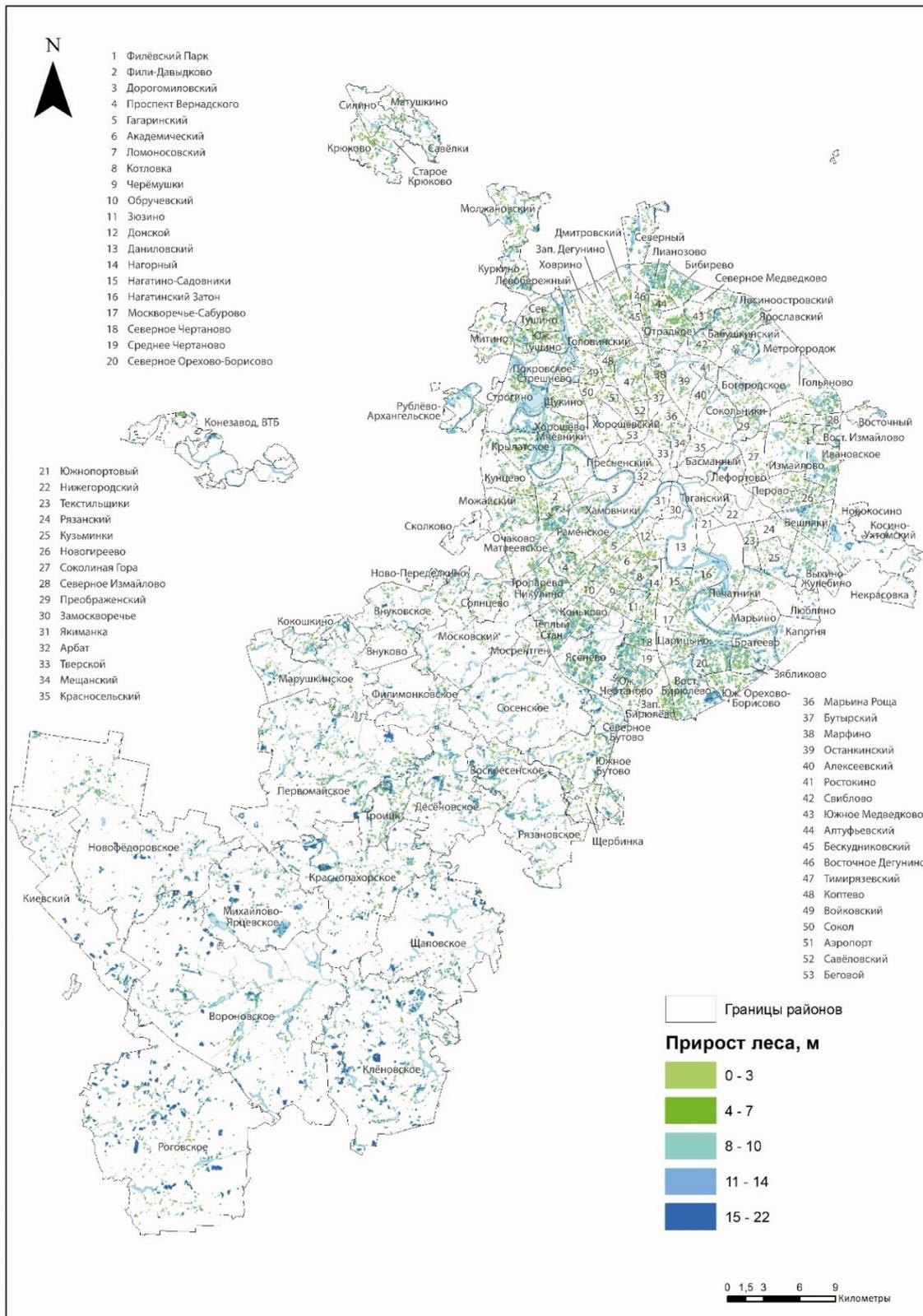


Рис. 2. Прирост древесных растений за 20 лет, м
Fig. 2. Growth of woody plants over 20 years, m

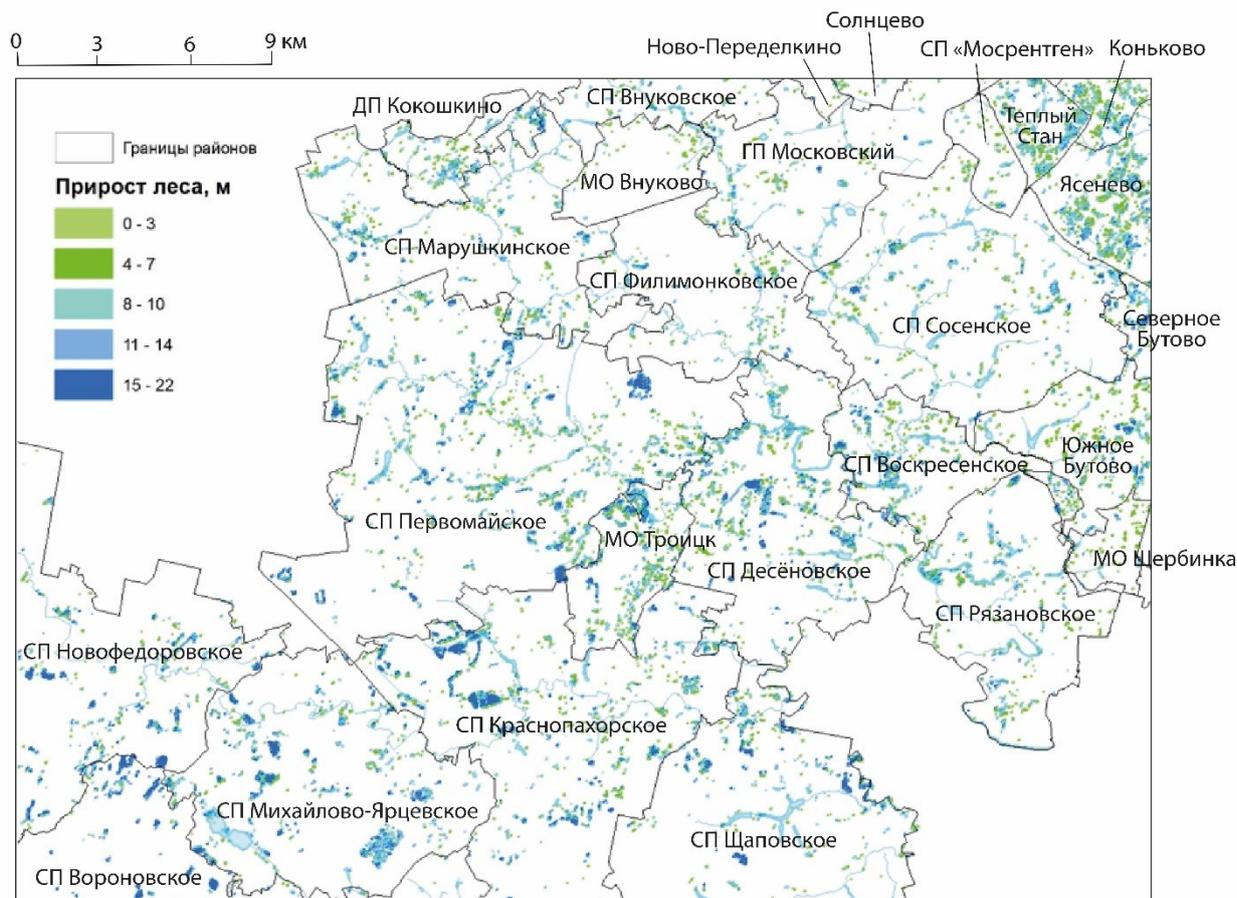


Рис. 3. Места наиболее высоких приростов деревьев в Новой Москве
Fig. 3. Places of the highest tree growth in New Moscow

Мещерский природный парк — 4,6 км²), Троицкий АО (заказники «Хвойно-широколиственные и осиновые леса Калининского лесничества» — 3,8 км²; «Широколиственный лес Крестовского лесничества» — 3,5 км²; «Дубрава с березой и осиной в Яковлевском лесничестве» — 2,1 км²; «Елово-липовые леса с примесью ясеня и вяза» в Голохвастово, Кузнецовское лесничество — 2,0 км²; «Елово-широколиственный и березовый лес Михайловского лесничества» — 1,3 км²).

Как правило, эти леса относятся к ООПТ (особо охраняемым природным территориям) или ООЗТ (особо охраняемым зеленым территориям в Новой Москве, где еще сохранилось достаточно большое количество лесов) [Маркова, 2020].

Наибольшие потери леса за 20 лет относятся к ТиНАО и северным округам Старой Москвы; наибольший прирост лесных территорий характерен для юга Старой Москвы.

Наиболее высокие приросты леса (от 11 до 22 м) и обширные по распространению приросты более низких категорий наблюдаются в районах Старой Москвы:

- Северо-Восточный АО — Лианозово, Алтуфьево, Бибирево, (Алтуфьевский заказник), Лосиноостровский, Ярославский, Бабушкинский, Отрадное;
- Восточный АО — Гольяново, Восточное и Северное Измайлово, Ивановское, Новогиреево, Преображенский, Вешняки (лесопарк «Кусково»);
- Южный АО — Северное, Среднее, Южное Чертаново (парки Покровское, Варшавские пруды), Западное и Восточное Бирюлево (Бирюлевский лесопарк), Северное и Южное Орехово-Борисово, Царицыно (ПИП «Царицыно»), Зябликово;

- Юго-Западный АО — Котловка, Нагорный, Коньково, Теплый Стан, Ясенево (Ясневский лесопарк), Северное и Южное Бутово;
- Западный АО — Тропарево-Никулино (Тропаревский лесопарк), Проспект Вернадского, Очаково-Матвеевское, Раменское, Ломоносовский, Крылатское (ПИП «Москворецкий»);
- Северо-Западный АО — Строгино, Хорошево-Мневники, Северное и Южное Тушино, Молжановский, Куркино (ПИП «Долина р. Сходни в Куркино»).

В основном это жилые районы, близкие к МКАД. На ООПТ, как правило, большого прироста не наблюдается. В Юго-Восточном, Северном и Центральном АО также больших приростов нет (в Центральном более всего — в Мещанском районе и в Лефортово). Отчасти приросты связаны с быстрорастущими породами, используемыми в озеленении города (клен, липа, рябина, береза). Но наибольшей скоростью роста и агрессивностью отличается древесный сорняк клен ясенелистный, или американский (*Acer negundo*), инвазионный вид, натурализовавшийся интродуцент, который представляет угрозу биологическому разнообразию и активно распространился в Москве [Гниненко, 2005]. Весьма быстрым ростом обладают также тополя (в основном используется тополь бальзамический — *Populus balsamifera*), которые крайне выгодны для города благодаря исключительным свойствам поглощать пыль и давать прохладу в жаркие дни. С тополями, однако, в последние годы ведется ожесточенная борьба (в основном жесткое опиливание) из-за тополиного пуха, который на самом деле аллергеном не является, и, кроме того, существуют методы высаживания «непушистых» тополей^{1,2}. Тополя для озеленения города на самом деле весьма перспективны.

В ТиНАО максимальные приросты древесной растительности разбросаны довольно равномерно по районам (муниципальному образованию Троицк и сельским поселениям), как на территориях сельских населенных пунктов, так и зарастающих полей и частично лесов. Наибольшие приросты деревьев в высоту характерны для Троицкого МО, Первомайского, Десёновского, Воскресенского, Краснопахорского, Михайлово-Ярцевского, Клёновского, Роговского СП (в основном в центральной части ТиНАО).

С помощью материалов Landsat изучены также потери лесной растительности (рис. 4). При создании карты особое внимание уделено территориям природопользования, где наблюдаются наибольшие потери. В легенде выделены комплексы жилой и торговой застройки, которые с начала XXI в. были весьма расширены, производственные и транспортные зоны (здесь деревья в основном вырубались под новое строительство). Отмечены спортивные, лечебные и оздоровительные комплексы, характеризующиеся особым типом освоения. Нанесены парки и рекреационные зоны, где наблюдались наибольшие потери лесной растительности.

Для нанесения на карту выбрано прозрачное оформление условных знаков, они в основном даны обводкой различных цветов и форм (кроме знака аэропортов). Это сделано с целью наилучшего совмещения со слоем потерь леса, чтобы они были хорошо видны.

Наибольшие потери леса наблюдаются в спальных районах Старой Москвы, не примыкающих непосредственно к МКАД. Это относится ко всем административным округам, кроме Южного и Юго-Западного (в них больше всего потерь в районах

¹ Головина Е. Ученые выявили самое лучшее дерево для озеленения города. Вечерняя Москва, 26 марта 2019. Электронный ресурс: <https://vm.ru/society/728473-uchenye-vuyavili-samoe-luchshee-derevo-dlya-ozeleneniya-goroda> (дата обращения 28.01.2024)

² Зиннатова А. Д., Снигирева Е. А. Незаслуженно обиженный. Старт в науке. VI Международный конкурс научно-исследовательских и творческих работ учащихся. Электронный ресурс: <https://school-science.ru/6/1/36881> (дата обращения 28.01.2024)

На схеме отражены основные виды московских ООПТ:

- национальный парк;
- природно-исторические парки;
- ландшафтные заказники;
- природные заказники;
- фаунистические заказники;
- орнитологический заказник;
- комплексные заказники;
- заповедный участок;
- экологические парки.

Нагатинно-Садовники, Царицыно, Москворечье-Сабурово, Западное Бирюлёво, Зюзино, Коньково, Обручевский). Небезызвестно, что практически во всех районах столицы за 20 лет шло и в настоящее время продолжается активное высотное строительство. В Центральном АО больше всего деревьев убыло в Пресненском (строительство Делового Центра) и Таганском (расширение Нижегородской улицы) районах. Отмечены также производственные предприятия, в основном относящиеся к автомобильному делу, которых было создано с начала XXI в. большое количество.

На востоке Зеленоградского АО также произошли крупные потери древесной растительности. Например, это относится к промзоне Малино, занятой в основном гаражами и автопредприятиями. Сейчас там планируется построить жилые кварталы¹.

В Новой Москве по потерям деревьев особенно выделяются линии транспортных магистралей, которые за 20 лет были расширены или проложены вновь (ЦКАД, Калужское, Киевское, Филимонковское шоссе, линии улиц и железных дорог). Довольно много линий протесек. И, конечно, много осуществлено вырубок под строительство жилых, деловых и медицинских комплексов (Троицк, Красная Пахра, Коммунарка и др.). Выделяется полигон отходов в Малинках (новая московская свалка). Из ООЗТ в ТиНАО отмечены некоторые заказники и парки, потерявшие деревья (см. рис. 4).

На рис. 5 показаны потери леса с сопоставлением с территориями ООПТ (Старая Москва). Не все небольшие ООПТ имеются на фоновой подложке; в таком случае они нанесены прозрачными кольцевыми значками.

Наибольшие потери леса характерны для Лосинового острова, что является весьма неблагоприятным явлением для сохранения природной среды национального парка. Из природно-исторических парков наиболее пострадали Измайлово, Кузьминки-Люблино, Царицыно, Москворецкий парк. Ландшафтные преобразования и городское транспортное строительство в настоящее время, после 2020 г., значительно повлияли на Покровское-Стрешнево и Битцевский лес, но на данной схеме это не отразилось. Из других ООПТ можно отметить природные заказники «Склоны долины р. Москвы в Сабурово», «Троицкий», «Долина р. Сетуни», ландшафтный заказник «Химкинский», экологический парк «Участок Нагатинской поймы р. Москвы», где произошли значительные потери.

Изменения площадей прироста и убыли лесов в целом по категориям высот деревьев мы можем проследить по табл. 2 и диаграммам, которые были построены для наглядной демонстрации числовых данных (рис. 6). С использованием геоинформационных

¹ В промзону «Малино» вдохнут вторую жизнь. Zelao.ru. Новости Зеленограда. Окружная электронная газета, 13.10.2023. Электронный ресурс: <https://www.zelao.ru/58/582/55831-v-promzonu-malino-vdohnut-vtoruyu-jizn/> (дата обращения 28.01.2024)

Табл. 2. Изменения в приросте и убыли лесов по категориям высот (в м) с 2000 по 2020 гг.
Table 2. Changes in forest gain and loss by altitude categories (in m) from 2000 to 2020

Категории, м	Прирост		Убыль	
	Площадь, м ²	% от площади изменений	Площадь, м ²	% от площади изменений
0	618 467	1,24	676 021	1,63
1	11 841	0,02	14 895	0,04
2	37 276	0,07	33 342	0,08
3	51 703	0,10	112 142	0,27
4	46 007	0,09	114 225	0,27
5	5 075 642	10,20	1 085 275	2,61
6	3 650 511	7,33	1 231 641	2,97
7	5 764 800	11,58	2 227 664	5,36
8	3 297 931	6,62	1 707 285	4,11
9	4 461 581	8,96	2 510 770	6,04
10	4 514 785	9,07	2 718 701	6,55
11	4 604 177	9,25	2 342 810	5,64
12	5 715 415	11,48	3 895 852	9,38
13	4 023 400	8,08	2 945 972	7,09
14	3 461 695	6,95	2 970 850	7,15
15	3 316 434	6,66	2 816 237	6,78
16	2 424 825	4,87	2 281 012	5,49
17	2 465 558	4,95	2 798 048	6,74
18	2 503 319	5,03	3 123 272	7,52
19	1 951 349	3,92	3 100 729	7,47
20	1 625 699	3,27	2 236 722	5,38
21	1 099 282	2,21	3 942 211	9,49
22	1 394 427	2,80	2 509 693	6,04
23	775 945	1,56	1 404 019	3,38
24	242 222	0,49	1 135 944	2,73
25	6 192	0,01	1 640 115	3,95
26	—	—	200 591	0,48
27	—	—	8 256	0,02

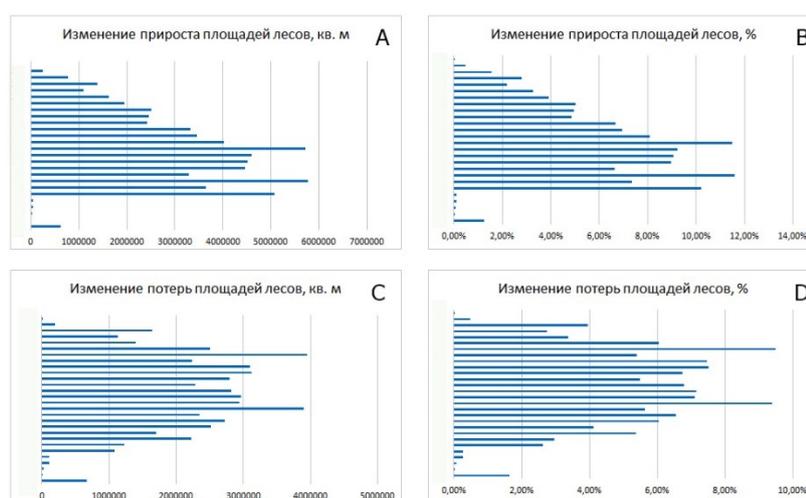


Рис. 6. Диаграммы изменений лесов по категориям высот (в м) с 2000 по 2020 гг.
Прирост площадей: А — в м²; В — в %. Убыль площадей: С — в м²; D — в %
Fig. 6. Diagrams of forest changes by altitude categories (in m) from 2000 to 2020. Area gain:
A — in m²; B — in %. Area loss: C — in m²; D — in %

ВЫВОДЫ

В результате исследований проделана следующая работа и получены определенные выводы:

1. Изучена динамика древесной растительности на территории Большой Москвы за двадцать лет (2000–2020 гг.), с того времени, когда Москва еще не расширила свои границы.
2. С помощью материалов дистанционного зондирования Landsat ARD и геоинформационных технологий на основе значений отражательной способности, яркостной температуры, вегетационных индексов построена серия карт приростов и потерь древесной растительности.
3. При подсчете площадей лесов и полей установлено, что за 20 лет их площадь немного увеличилась, что является положительной динамикой для Москвы. Площадь сельскохозяйственных угодий значительно, более чем вдвое, сократилась (имеется в виду Новая Москва).
4. Прирост древесной растительности в Старой Москве характерен в основном для жилых районов, близких к МКАД. Максимальные приросты, вероятнее всего, связаны с инвазивным видом клен ясенелистный (*Acer negundo*). В ТиНАО максимальные приросты древесной растительности разбросаны равномерно по районам.
5. На ООПТ, как правило, большого прироста не наблюдается. Потери древесной растительности на ООПТ связаны с их ландшафтным преобразованием и строительством различных утилитарных и рекреационных объектов, в т. ч. спортивных.
6. Наибольшие потери леса наблюдаются в спальных районах Старой Москвы, не примыкающих непосредственно к МКАД. В Новой Москве выделяются линии транспортных магистралей и районы, ориентированные на застройку.
7. Из особо охраняемых природных территорий наибольшие потери леса характерны для национального парка «Лосиный остров», что является весьма неблагоприятным явлением. Из природно-исторических парков наиболее пострадали Измайлово, Кузьминки-Люблино, Царицыно, Москворецкий парк.
8. В основном же территории ООПТ характеризуются стабильностью своих древесных насаждений, не отличаясь ни сильным приростом, ни большой убылью.
9. Была произведена оценка изменений площадей прироста и убыли лесов в целом в городе по категориям высот деревьев, в результате которой установлено, что наибольший прирост характерен для категорий 5, 7, 9–13 м, а наибольшие потери — для категорий 12, 18, 19 и 21 м. Территории, где высота деревьев не изменялась, также имеют свою небольшую долю в площади города (около 1,5 %).

Полученные данные можно рекомендовать для изучения истории города, развития городского планирования и природоохранных мероприятий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках тем госзадания МГУ имени М. В. Ломоносова «Изучение динамики социоприродных систем с использованием геоинформационного картографирования и цифровых технологий» (121051100163-3), 2021/2025 и ИГРАН «Биотические, географо-гидрологические и ландшафтные оценки окружающей среды для создания основ рационального природопользования» (FMWS-2024-0007), 2024/2028.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Lomonosov Moscow State University “Studying the dynamics of socio-natural systems using geoinformation mapping and digital technologies” (121051100163-3), 2021/2025, and of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences “Biotic, geographic-hydrological and landscape assessments of the environment to create a basis for rational nature management” (FMWS-2024-0007), 2024/2028.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.

Антонов С. А. Анализ пространственного положения защитных лесных насаждений на основе геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26. Ч. 2. С. 408–420. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-408-420.

Васильченко А. А., Выпріцкій А. А. Картографирование лесных насаждений Волгоградской области по данным ДЗЗ с использованием индексов BSFI и NDWI. Геодезия и картография, 2023. № 10. С. 39–49. DOI: 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-39-49.

Гниненко Ю. И. Инвазии чуждых видов в лесные сообщества. Чужеродные виды на территории России, 11.02.2012. Электронный ресурс: http://www.sevin.ru/invasive/publications/gninenko_02.html (дата обращения 02.02.2024).

Голубева Е. И., Каширина Е. С., Новиков А. А., Глухова А. В. Использование индекса NDVI для геоэкологической оценки особо охраняемых природных территорий на примере города Севастополя. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331.

Грищенко М. Ю., Лучер Д. А., Бочарников М. В. Оценка возможности дешифрирования растительности по тепловым космическим снимкам на примере Южного Урала и Кузнецкого Алатау. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2022. Т. 28. Ч. 1. С. 496–507. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-496-507.

Гусев А. П., Соколов А. С. Информационно-аналитическая система для оценки антропогенной нарушенности лесных ландшафтов. Вестник Томского государственного университета. Биология, 2008. № 309(4). С. 176–179.

Гусев А. П., Шпилевская Н. С. Фитоиндикаторы техногенного химического воздействия на лесной ландшафт. Геополитика и экогеодинамика регионов, 2020. Том 6(16). Вып. 1. С. 192–198.

Захаров К. В., Медведков А. А., Иванова Е. Ю. Технология геоэкологической оценки урбанизированных территорий (на примере Ближнего Подмосковья). ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 352–361. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-352-361.

Кочуров Б. И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территорий. Смоленск: Маджента, 2003. 500 с.

Литинский П. Ю. Анализ динамики антропогенных изменений экосистем водосбора р. Кемь (бассейн Белого моря) с использованием данных Global Forest Change. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26. Ч. 2. С. 396–407. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-396-407.

Маркова О. И. Особо охраняемые территории Москвы как основа экологического каркаса мегаполиса. Географическая среда и живые системы, 2020. № 4. С. 28–47. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-4-28-47.

Мелкий В. А., Верхотуров А. А. Анализ динамики состояния лесных растительных сообществ в заказнике «Макаровский» (Сахалин) по данным дистанционного зондирования земли. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2023. Т. 29. Ч. 1. С. 393–405. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-393-405.

Петров К. М., Терехина Н. В. Растительность России и сопредельных территорий. СПб.: Химиздат, 2013. 328 с.

Радченко Т. А., Морозова Л. М., Веселкин Д. В., Федоров Ю. С. Оценка состояния растительности: луга и тундры [учеб.-метод. пособие]. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2016. 86 с.

Халин П. С. Анализ замутненности воды р. Волга в районе Волжской ГЭС на основе данных дистанционного зондирования. Прогрессивные технологии в мировом научном пространстве: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 14 марта 2022 г.). Стерлитамак: АМИ, 2022. С. 5–10.

Шахбазян Т. З. Мониторинг особо охраняемых природных территорий лесостепных ландшафтов Ставропольской возвышенности средствами ДДЗ. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2021. Т. 27. Ч. 1. С. 364–376 DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-364-376.

Potapov P., Hansen M. C., Kommareddy I., Kommareddy A., Turubanova S., Pickens A., Adusei B., Tyukavina A., Ying Q. Landsat Analysis Ready Data for Global Land Cover and Land Cover Change Mapping. Remote Sensing, 2020. No. 12, 426. 22 p. DOI: 10.3390/rs12030426.

Potapov P., Li X., Hernandez-Serna A., Tyukavina A., Hansen M. C., Kommareddy A., Pickens A., Turubanova S., Tang H., Silva C. E., Armston J., Dubayah R., Blair J. B., Hofton M. Mapping Global Forest Canopy Height through Integration of GEDI and Landsat Data. Remote Sensing of Environment, 2021. V. 253. Art. 112165. 11 p. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112165.

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. Art. 856903. 22 p. DOI: 10.3389/frsen.2022.856903.

Wulder M. A., Masek J. G., Cohen W. B., Loveland T. R., Woodcock C. E. Opening the Archive: How Free Data Has Enabled the Science and Monitoring Promise of Landsat. Remote Sensing of Environment, 2012. V. 122. P. 2–10. DOI: 10.1016/j.rse.2012.01.010.

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.
- Antonov S. A.* Spatial analysis of protective forest plantations based on geographic information technologies and remote sensing data. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2020. V. 26. Part 2. P. 408–420 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-408-420.*
- Golubeva E. I., Kashirina E. S., Novikov A. A., Glukhova A. V.* Using the NDVI index for geocological estimation of specially protected natural territories by the example of Sevastopol. *InterCarto. InterGIS. Geoinformation support for sustainable development of territories: Proceedings of the International Conf. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 320–331 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331.*
- Gninenko Yu. I.* Invasions of alien species into forest communities. Alien species on the territory of Russia, 11.02.2012. Web resource: http://www.sevin.ru/invasive/publications/gninenko_02.html (accessed 02.02.2024).
- Grishchenko M. Y., Lucher D. A., Bocharnikov M. V.* Evaluation of the possibility of vegetation interpretation on thermal infrared satellite images, case of the Southern Urals and Kuznetsk Alatau. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: MSU, Faculty of Geography, 2022. V. 28. Part 1. P. 496–507 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-496-507.*
- Gusev A. P., Shpilevskaya N. S.* Phytoindicators of technogenic chemical impact on forest landscape. *Geopolitics and ecogeodynamics of regions*, 2020. V. 6(16). Iss. 1. P. 192–198.
- Gusev A. P., Sokolov A. S.* Information and analytical system for assessing anthropogenic disturbance of forest landscapes. *Tomsk State University Journal. Biology*, 2008. No. 309(4). P. 176–179.
- Khalin P. S.* Analysis of turbidity of the Volga River water in the area of the Volga Hydroelectric Power Station based on remote sensing data. *Progressive technologies in the global scientific space: Proceedings of articles based on the results of the International scientific and practical conference (Ekaterinburg, March 14, 2022). Sterlitamak: AMI, 2022. P. 5–10.*
- Kochurov B. I.* *Geoecology: ecodiagnosics and ecological-economic balance of territories. Smolensk: Magenta, 2003. 500 p. (in Russian).*
- Litinsky P. Yu.* Analysis of the dynamics of anthropogenic changes in ecosystems of the Kem River catchment (White Sea basin) using Global Forest Change data. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2020. V. 26. Part 2. P. 396–407 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-396-407.*
- Markova O. I.* Specially protected territories of Moscow as the basis of the ecological framework of a metropolis. *Geographical Environment and Living Systems*, 2020. No. 4. P. 28–47. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-4-28-47.
- Melkiy V. A., Verkhoturov A. A.* Analysis of the dynamics of condition forest plant communities in the “Makarovsky” nature sanctuary (Sakhalin Island) by remote sensing data. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International*

conference. Moscow: MSU, Faculty of Geography, 2023. V. 29. Part 1. P. 393–405 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-393-405.

Petrov K. M., Terekhina N. V. Vegetation of Russia and adjacent territories. St. Petersburg: Chimizdat, 2013. 328 p. (in Russian).

Potapov P., Hansen M. C., Kommareddy I., Kommareddy A., Turubanova S., Pickens A., Adusei B., Tyukavina A., Ying Q. Landsat Analysis Ready Data for Global Land Cover and Land Cover Change Mapping. *Remote Sensing*, 2020. No. 12, 426. 22 p. DOI: 10.3390/rs12030426.

Potapov P., Li X., Hernandez-Serna A., Tyukavina A., Hansen M. C., Kommareddy A., Pickens A., Turubanova S., Tang H., Silva C. E., Armston J., Dubayah R., Blair J. B., Hofton M. Mapping Global Forest Canopy Height through Integration of GEDI and Landsat Data. *Remote Sensing of Environment*, 2021. V. 253. Art. 112165. 11 p. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112165.

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. Art. 856903. 22 p. DOI: 10.3389/frsen.2022.856903.

Radchenko T. A., Morozova L. M., Veselkin D. V., Fedorov Yu. S. Assessment of vegetation condition: Meadows and tundra [study-method. manual]. Ekaterinburg: Publishing House of the Ural University, 2016. 86 p. (in Russian).

Shahbazyan T. Z. Monitoring of specially protected natural territories of forest-steppe landscapes of the Stavropol upland by means of remote sensing data. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: MSU, Faculty of Geography, 2021. V. 27. Part 1. P. 364–376 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-364-376.

Vasilchenko A. A., Vypritsky A. A. Mapping of forest plantations of the Volgograd region according to remote sensing data using the BSFI and NDWI indices. *Geodesy and Cartography*, 2023. No. 84(10). P. 39–49 (in Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-39-49.

Wulder M. A., Masek J. G., Cohen W. B., Loveland T. R., Woodcock C. E. Opening the Archive: How Free Data Has Enabled the Science and Monitoring Promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 2012. V. 122. P. 2–10. DOI: 10.1016/j.rse.2012.01.010.

Zakharov E. V., Medvedkov A. A., Ivanova E. Yu. Technology of geocological assessment of urbanized territories (on the example of the Near Moscow Region). InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 352–361 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-352-361.