

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСНОГО ПОКРОВА Г. МОСКВЫ

Т. В. Черненко¹, И. П. Котлов², Н. Г. Беляева¹

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия,
e-mail: chernenkova50@mail.ru

² Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова,
Москва, Россия

ECOLOGICAL POTENTIAL OF FOREST COVER IN MOSCOW

T. V. Chernenkova, I. P. Kotlov, N. G. Belyaeva

Аннотация. В условиях быстрого роста городского населения во всем мире экологическая и социальная значимость городских лесов возрастает. Для большинства городских систем не существует единой системы мониторинга состояния зеленых зон. Биоразнообразие является одной из экосистемных услуг, и его оценка особенно актуальна для крупных и быстро развивающихся мегаполисов. В настоящем исследовании предложена методика оценки состава и структуры городских лесных систем на примере города Москвы (Россия) с учетом присоединенных в 2012 г. территорий. При обработке данных дистанционного зондирования (Sentinel-2A, DEM SRTM, радиолокационные изображения PALSAR) в сочетании с наземными данными (в качестве пространственно распределенной обучающей выборкой) использовался алгоритм «случайного леса». Впервые составлена картографическая модель городских лесов территории Москвы для типологических единиц на уровне формаций и групп ассоциаций. Предлагаемая оценка типологического разнообразия лесов может служить для ежегодного мониторинга биоразнообразия городских лесов Москвы.

Ключевые слова: городские леса, мониторинг, лесное разнообразие, сукцессия, фрагментация, пространственное моделирование, типологическое разнообразие, данные дистанционного зондирования, случайный лес, Москва

Abstract. With a rapidly growing urban population around the world, the ecological and social importance of urban forests is gaining. For most urban systems, there is no unified system for monitoring the state of green zones. Biodiversity is one of the ecosystem services, its assessment especially true for large and rapidly developing megalopolises. Current study proposes a methodology for the composition and structure of urban forest systems

using the example of Moscow city (Russia), taking into account areas joined to Moscow in 2012. Random forest algorithm was used for remote sensing data (Sentinel-2A, DEM SRTM, PALSAR radar images) in combination with spatially enhanced training sample. A spatial model of a forest formations and groups of associations for the Moscow city area is made for the first time. The proposed baseline assessment of typological forest diversity can serve for the annual monitoring of the biodiversity of urban forests in Moscow.

Keywords: urban forests, monitoring, forest diversity, succession, fragmentation, spatial modeling, typological diversity, remote sensing data, random forest, Moscow

Лесной покров современной территории Москвы является уникальным объектом трансформации. В 2012 г. к исторической территории города (108 тыс. га) была присоединена так называемая «Новая Москва» площадью 148 тыс. га. В итоге площадь городской территории после расширения административных границ была увеличена в 2,4 раз, и Москва поднялась с 11-го на 6-е место по площади в рейтинге крупнейших городов мира. Неоднородность современной территории Москвы из-за разного характера землепользования, численности населения, интенсивности градостроительной деятельности и транспортной инфраструктуры определяет разные функции и разное состояние лесов города (таблица). Насколько леса старой и новой части Москвы справляются с обеспечением природно-ресурсного и экологического потенциала, и каковы риски в поддержании социальных и экологических потребностей населения в урборегионе? Чтобы ответить на эти вопросы, необходима комплексная оценка состояния лесов исследуемой территории и антропогенной нагрузки.

Целью работы является оценка состава и структуры лесного покрова крупного мегаполиса в разрезе 3-х секторов различной антропогенной нагрузки и характера землепользования.

В пределах всей исследуемой территории города Москвы оценивались естественные и полустественные лесные насаждения, площадь участков которых превышала 0,36 га (в соответствии с минимальным размером пиксела), а проективное покрытие древесного яруса — более 30 %.

Для выделения типологических единиц использована экспертная классификация описаний, разработанная в ходе предыдущих исследований [Chernenkova et al., 2020]. Для валидации классификации применен линейный пошаговый дискриминантный анализ в программе IBM SPSS Statistics 12. В качестве переменных предикторов использованы значения покрытий основных лесобразу-

ющих видов и сумма покрытий видов наземного яруса, относящихся к определенной эколого-ценотической группе (ЭЦГ). При оценке сукцессионного (динамического) статуса лесов выделяли следующие категории: коренные и производные леса. Коренные леса представлены аборигенными древесными видами, развивающиеся при слабом воздействии человека и без катастрофических природных факторов в течение времени, сопоставимого с предельным биологическим возрастом этих пород. Производные — серийные сообщества после пожаров, антропогенных нарушений, мелиорации и посадок культур. Различали коротко- и длительно-производные леса.

Зонирование территории Москвы с разной степенью антропогенной нагрузки

Показатель	Сектор		
	I	II	III
Расположение	Москва в пределах Московской кольцевой автодороги (МКАД)	Москва до второй кольцевой автодороги	Периферийная южная часть Москвы
Площадь, тыс. га*	99,9	64,1	81,7
Численность, тыс. чел.**	12 600	167,1	13,5
Плотность чел./га*	126	2,6	0,17
Лесистость, %*	9,0	34,0	56,3
Средний размер лесного участка, %*	12	24	64

* Оригинальные данные.

** По данным [Население Москвы..., 2021].

В качестве ДДЗ использована полностью безоблачная мультиспектральная съемка Sentinel-2, выполненная в течение двух дней (20 и 23 июня 2021 г.) и соединенная в бесшовную мозаику. Кроме 11 спектральных каналов, рассчитаны 41 спектральный индекс, включая индексы, оцененные как чувствительные к стрессовому состоянию растительности. Для повышения точности моделирования использована цифровая модель рельефа SRTM и рассчитанные на ее основе 10 морфометрических характеристик. Также использованы радарные данные Palsar-2 [Shimada et al., 2014]. Для снятия автокорреляции применен метод удаления высоко скоррелированных слоев по границе отсечения 0,5 [Graham, 2003]. В результате оставлено 7 растровых слоев, которые имеют парные корреляции

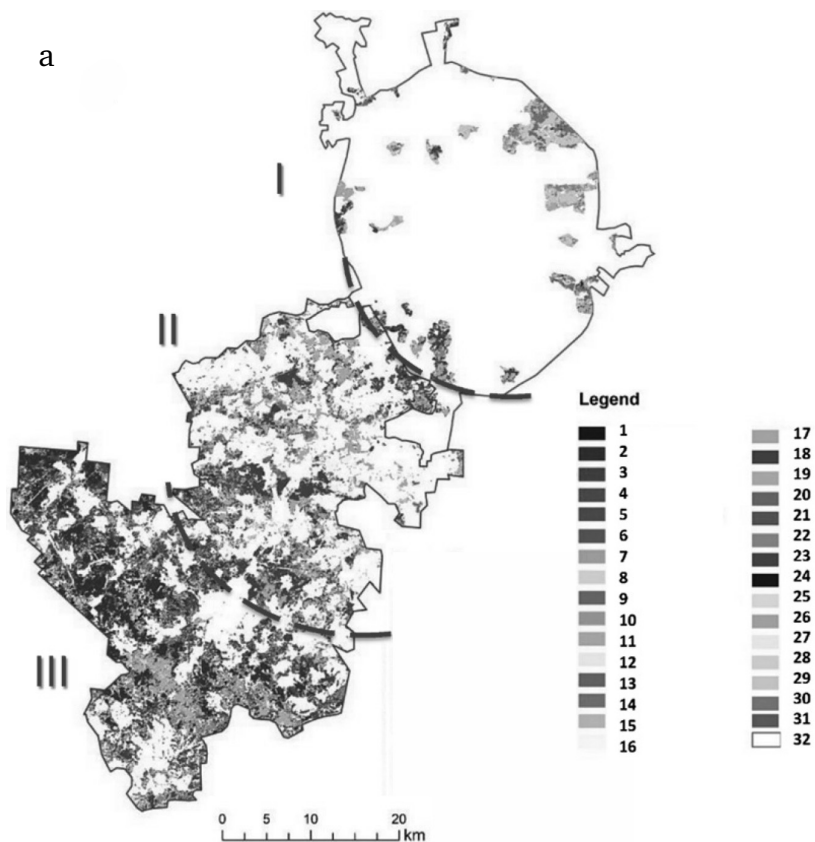


Рис. 1 (начало). Типологическое разнообразие лесов города Москвы:

а — карта типологического разнообразия

Еловые: 1 — кустарничковые мелкотравно-зеленомошные, 2 — мелкотравные, 3 — мелкотравно-широкоотравные, 4 — широкоотравные;

Елово-мелколиственные: 4 — кустарничковые мелкотравно-зеленомошные, 5 — мелкотравные, 6 — мелкотравно-широкоотравные, 7 — широкоотравные;

Сосново-еловые: 8 — кустарничковые мелкотравно-зеленомошные, 9 — мелкотравные, 10 — мелкотравно-широкоотравные, 11 — широкоотравные;

Сосновые: 12 — кустарничковые мелкотравно-зеленомошные, 13 — мелкотравные, 14 — мелкотравно-широкоотравные, 15 — широкоотравные, 16 — разнотравные, 17 — кустарничковые травяно-сфагновые; 18 — дубовые широкоотравные, 19 — липовые широкоотравные, 20 — широколиственно-еловые широкоотравные;

Березовые: 21 — мелкотравные, 22 — широкоотравные, 23 — влажнотравно-широкоотравные, 24 — травяно-болотные, 25 — разнотравные, 26 — кустарничковые травяно-сфагновые;

Осиновые: 27 — широкоотравные, 28 — влажнотравно-широкоотравные; 29 — серо-ольховые влажнотравно-широкоотравные; 30 — черноольховые влажнотравно-широкоотравные, 31 — черноольховые травяно-болотные; 32 — безлесные территории

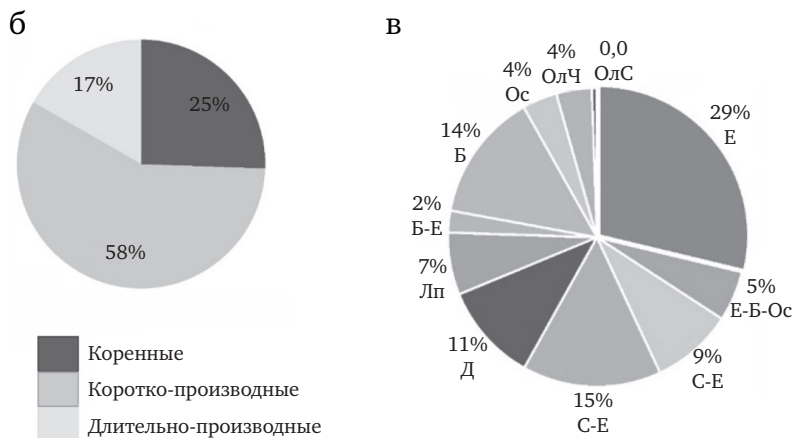


Рис. 1 (окончание). Типологическое разнообразие лесов города Москвы: б — динамический статус лесов; в — формационный состав лесов

не более 0,5: каналы голубой (2) и красный край (6), индексы NDWI2, BNDWI, GLI, абсолютная высота и согласованная поляризация HH. При моделировании пространственной структуры лесного покрова использован метод «случайный лес» [Breiman, 2001; Grabska et al., 2020].

На рис. 1, а представлена карта типологического разнообразия лесов г. Москвы. Общая площадь лесных насаждений — 76,82 тыс. га, что составляет 31,3 % всей площади территории. В среднем условно-коренные леса представлены на четверти лесопокрытой площади. В пределах трех выделенных секторов их доля различается, в частности в направлении от центра Москвы к периферии доля лесопокрытой площади сокращается почти на 40 % (рис. 1, б).

Большая площадь лесной территории занята производными сообществами (75 %) (см. рис. 1, б). При этом доля коротко-производных модификаций составляет 58 %. В лесах этого типа прослеживается отчетливая динамика замещения раннесукцессионных мелколиственных (берез и осины), а также елово-мелколиственных и сосново-мелколиственных лесов коренными (елью) или широколиственными породами. Длительно-производные антропогенные модификации, представленные в основном, мелколиственными сообществами, составляют 17 %. При сравнении состава трех секторов доля коротко производных сообществ в секторе III увеличивается вдвое по сравнению с сектором I, в то время как



Рис. 2. Соотношение лесов разного динамического статуса в 3-х секторах города Москвы

площадь длительно-производных, напротив сокращается более чем в 2 раза (рис. 2).

В итоге выявлена неудовлетворительная способность лесных насаждений поддерживать социальные и экологические потребности жителей в Старой Москве (сектор I), особенно в центральной части города. В остальных двух секторах мегаполиса отмечено достаточно высокое типологическое разнообразие лесов, — здесь представлены практически все типы сообществ, присутствующие в Московском регионе. Тем не менее, имеется угрожающая тенденция сокращения площади лесов в секторе II — территории массовой коттеджной застройки. Сочетание низких значений таких показателей как среднего размера участка, доли наибольшего выдела в общей площади, площади выделов с высокой долей длительно-производных типов лесов является критичным для устойчивого существования лесного покрова. Такая ситуация складывается в исторической части города (сектор I) и является потенциально опасной для сектора II с учетом высоких темпов застройки. Предложенная методика и выполненная оценка типологического разнообразия лесов могут служить основой для ежегодного мониторинга биоразнообразия городских лесов Москвы.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-17-00120.

ЛИТЕРАТУРА

Население Москвы по округам и районам 23.03.2021 [электронный источник] // URL: <http://www.statdata.ru/naselenie-moskvy-po-okrugam-i-rajonom> (от 16 июля 2024).

Breiman L. Random forests. *Machine learning*, 2001. 45. P. 5–32.

Черненкова Т. В., Сулова Е. Г., Морозова О. В., Беляева Н. Г., Котлов И. П. Биоразнообразие лесов Московского региона // *Экосистемы: экология и динамика*. 2020. Т. 4. № 3. С. 61–144.

Grabska E., Frantz D., Ostapowicz K. Evaluation of machine learning algorithms for forest stand species mapping using Sentinel-2 imagery and environmental data in the Polish Carpathians. *REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112103>.

Graham M. H. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*, 2003. № 84. P. 2809–2815.

Shimada M., Itoh T., Motooka T., Watanabe M., Shiraish T., Thapa R., Lucas R. New global forest/non-forest maps from ALOS PALSAR data (2007–2010). *Remote Sensing of environment*, 2014. № 155. P. 13–31.