

Новый метод оценки степени антропогенной трансформации пригородных лесных массивов

Н. Н. ЛАЩИНСКИЙ¹, И. Д. ЗОЛЬНИКОВ^{2,3}, Н. В. ГЛУШКОВА^{2,3}, Н. В. ЛАЩИНСКАЯ¹

¹ *Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101
E-mail: nnl630090@gmail.com*

² *Институт геологии и минералогии СО РАН
630090, Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3*

³ *Новосибирский государственный университет
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2*

Статья поступила 30.11.15

Принята к печати 20.01.16

АННОТАЦИЯ

На основе синтеза данных космической съемки высокого разрешения, наземной верификации и методов ГИС-анализа разработаны объективные количественные показатели фрагментированности пригородных лесов с оценкой загруженности территории тропами разного типа и степени воздействия троп в зависимости от интенсивности их использования. Методические подходы апробированы на примере крупного лесного массива в новосибирском Академгородке.

Ключевые слова: фрагментация экосистем, дорожно-тропиночная сеть, пригородные леса, антропогенная трансформация, ГИС-технологии.

Для гармонизации отношений человека со средой обитания, оценки состояния последней и отслеживания основных трендов ее изменения необходима разработка методов объективной количественной оценки степени антропогенной трансформации естественных экосистем. Особенно актуальна эта задача для природных экосистем и их фрагментов, находящихся в непосредственной близости от крупных поселений или включенных в их состав. Из многообразного спектра типов антропогенного воздействия одним из наиболее

значимых и распространенных является фрагментация местообитаний, которая в настоящее время рассматривается как основная угроза биологическому разнообразию и причина исчезновения многих видов [Wilcox, Murphy, 1985; Gibb, Hochuli, 2001; Franklin et al., 2002; Schmiegelow, Mönkkönen, 2002]. Для пригородных и природных экосистем в пределах поселений с диффузной застройкой основной причиной фрагментации является формирование и развитие дорожно-тропиночной сети. Ее влияние на состав и функ-

ционирование естественных сообществ рассматривалось в ряде работ, применительно к различным группам организмов и типам экосистем [Basile, Lonner, 1979; Lyon, 1979; Rost, Bailey, 1979; Saunders et al., 1991; Tschardtke, 1992; Harper et al., 1993; Nally, et al., 2000; Parker, Nally, 2002; Forman, Sperling, 2003; Сорокина и др., 2010]. Складываясь частью вследствие планового развития поселения и частью стихийно, вследствие повседневного использования населением, дорожно-тропиночная сеть является объективным исторически сложившимся выражением взаимодействия социума и среды его обитания. В то же время она может быть охарактеризована рядом количественных показателей, которые можно рассматривать как индикаторы степени антропогенной трансформации экосистем.

Наиболее распространенными и социально значимыми естественными экосистемами, находящимися в тесном и длительном контакте с городскими поселениями, являются пригородные леса. Выполняя ряд важных эстетических, санитарно-гигиенических и рекреационных функций, эти леса испытывают значительное и многообразное воздействие социума как непосредственное, в виде вытаптывания, загрязнения и выборочной элиминации отдельных компонентов системы, так и опосредованное, через глубокое преобразование среды обитания. В зависимости от типа и напряженности антропогенного воздействия различные массивы лесов находятся в разной степени деградации. Расширение жилищного строительства приводит к пересмотру статуса и самой возможности существования зеленых насаждений. В этих условиях крайне необходима разработка надежных объективных критериев, позволяющих оценить состояние лесных массивов, степень их антропогенной трансформации и перспективы дальнейшего существования. Цель настоящей работы – выработка объективных количественных характеристик степени антропогенной трансформации пригородных лесных массивов на основе анализа дорожно-тропиночной сети. В отличие от ранее применявшихся подходов в данном исследовании использовался синтез данных космической съемки высокого разрешения, наземной верификации и методов ГИС-анализа.

Для анализа тропиночной сети и степени ее воздействия на лесные экосистемы проведено обследование существующих троп и других антропогенных объектов в крупном лесном массиве (около 50 га), ограниченном шоссейными асфальтированными дорогами в пределах новосибирского Академгородка – городского поселения с диффузной застройкой, созданного в конце 1950-х гг. При создании Академгородка основной задачей являлось сохранение по возможности естественных лесных массивов и распределение антропогенной инфраструктуры по принципу минимального воздействия на естественные экосистемы.

Естественная растительность территории представлена сосновыми и смешанными сосново-березовыми лесами с развитым травяным покровом на супесчаных грунтах древних высоких террас р. Оби [Лацинский, 2007]. В рамках эколого-флористической классификации леса относятся к классу *Brachypodio pinnati–Betuletea pendulae* Ermakov, Koroilyuk et Lashchinsky 1991 и порядку *Carici macrourae–Pinetalia sylvestris* Ermakov, Koroilyuk et Lashchinsky 1991 – травяных светлых и мелколиственных лесов юга Сибири [Ермаков и др., 1991]. Леса этого класса отличаются практически полным отсутствием напочвенного мохово-лишайникового покрова и хорошим развитием травяного яруса, образованного лесными и лесопушечными многолетними травянистыми мезофитами. Видовое разнообразие достигает 50–70 видов высших сосудистых растений на 100 м². Часто, особенно в случае антропогенной нагрузки (выпас или рекреация), в травостое существенную долю составляют луговые виды. В целом травостой развивается в условиях высокого светового довольствия и периодических кратковременных летних засух, хорошо адаптирован к умеренной зоо- или антропогенной нагрузке.

За более чем 50 лет существования Академгородка сложились определенные взаимоотношения населения с естественными лесными экосистемами, включенными в территорию городка. Выбранный для анализа лесной массив даже на космических снимках высокого разрешения выглядит целостным и благополучным (рис. 1). Однако внутри мас-

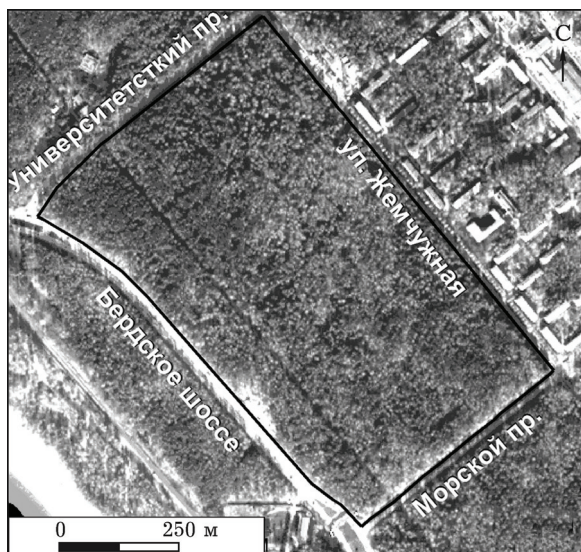


Рис. 1. Модельный участок (общая площадь – 554 328,86 м²)

сива имеется довольно развитая преимущественно стихийно сложившаяся дорожно-тропиночная сеть [Лацинский и др., 2013]. На модельном участке с помощью 12-канального GPS отмечены все точки начала и конца троп, их поворотов и пересечений. Для каждой точки отмечалось качество тропы и какие-либо особые свойства (мусор, кострища и т. п.). Затем в программе ArcGIS создан точечный слой со всеми атрибутами каждой точки, и на его основе построена детальная карта троп, наложенная на космический снимок высокого разрешения Quickbird. В работе анализировалось фрагментирование участка леса тропами различной нагрузки.

Каждому классу дорог и тропинок средствами программы ArcGIS построен буфер влияния в соответствии с существующими нормативными документами [База нормативной документации, 2001]. Для дорог первого класса зона воздействия на прилегающую территорию составила 250 м. Дороги второго класса с интенсивностью более 2000 ед./сут имеют зону воздействия в размере 120 м. Дорога третьего класса характеризуется буферной зоной 50 м. Тропы интенсивного использования, как грунтовые, так и отсыпные, оказывают примерно равное воздействие на примыкающую территорию, которое оценивается буферной зоной в 20 м. Слабые тропы периодического использования имеют буферную зону 10 м.

Кроме того, строилась схема густоты горизонтального расчленения леса тропинками. В данном случае все тропинки учитывались одинаково, вне зависимости от функциональной нагрузки и интенсивности воздействия на прилегающую территорию. Для исследуемого участка строилась сетка с шагом 1 м, в каждом узле которой в скользящем окне радиусом 50 м рассчитывалась суммарная длина всех тропинок, попавших в данный круг. Радиус круга выбран как заведомо достаточный для экранизации деревьями возможного шума от дорожных коммуникаций, что имеет значение для животных, населяющих лес.

Полученные показатели визуализировались средствами ArcGIS и использовались для построения гистограмм. Информативность расчетных величин оценивалась по степени трансформации растительного покрова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Асфальтированные тропы и дороги являлись первичным индикатором трансформирования. Тропами такого типа цельный участок сразу разбился на два, различной площади (рис. 2).

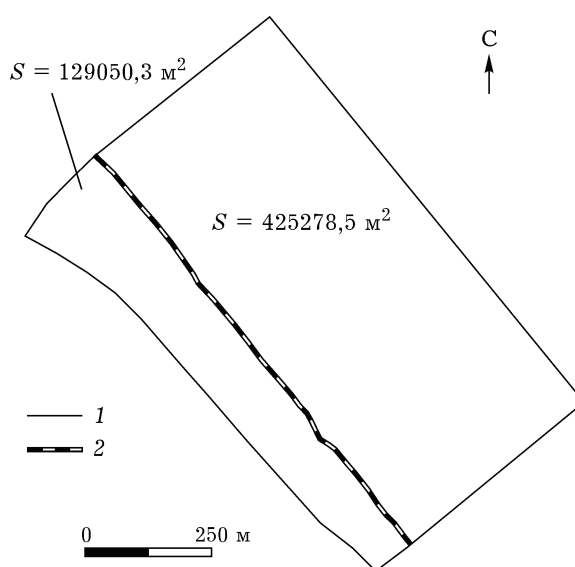


Рис. 2. Наложение асфальтированных троп, дорог и грунтовых технологических лесных дорог. 1 – границы участка; 2 – грунтовые технологические лесные дороги

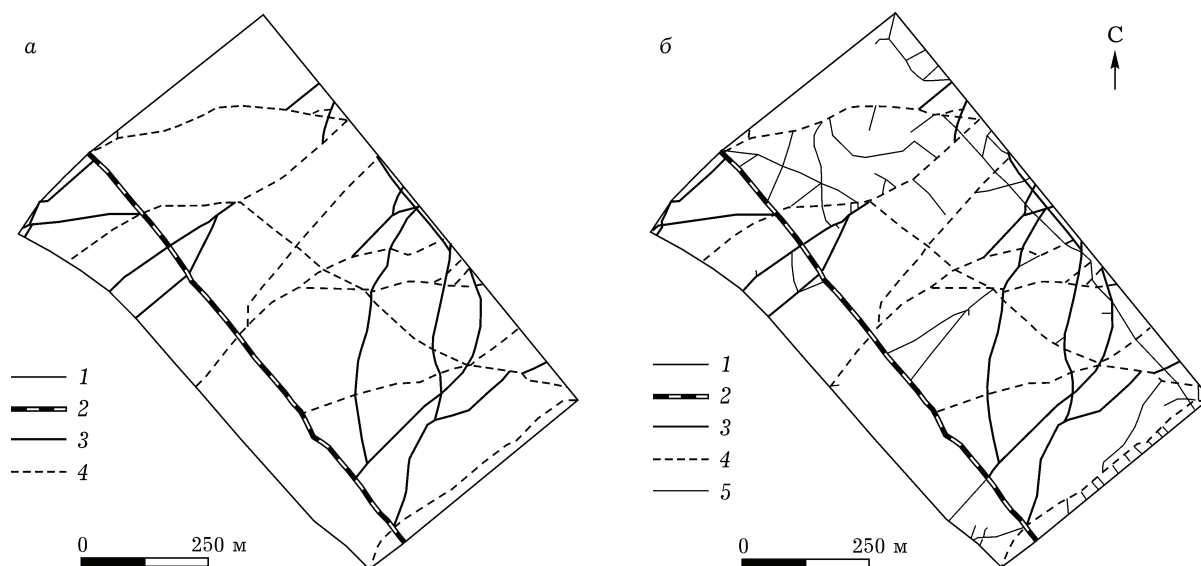


Рис. 3. Фрагментирование модельного участка тропами: а – отсыпными и грунтовыми интенсивного использования, б – всеми видами троп. 1 – границы участка; 2 – грунтовые технологические лесные дороги; 3 – отсыпные тропы интенсивного использования; 4 – грунтовые тропы интенсивного использования; 5 – слабые грунтовые тропы периодического использования

Добавление троп двух следующих типов – отсыпных и грунтовых интенсивного использования – разбило участок на 54 фрагмента разной площади (рис. 3). При добавлении слабых грунтовых тропинок периодического использования картина кардинально меняется – образуется 115 участков, причем коли-

чество мелких участков (размером от 44 до 1400 м²) достигает шести десятков, рис. 4.

Следующим шагом анализа построены буферные зоны, сначала только для асфальтированных троп, дорог и грунтовых технологических лесных дорог (рис. 5).

Буферные зоны троп интенсивного использования (отсыпных и грунтовых) разбили участок на 29 фрагментов разной площади (рис.

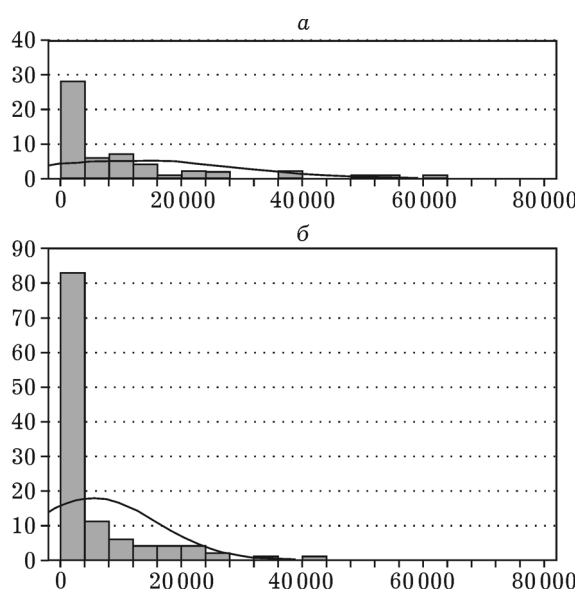


Рис. 4. Гистограмма распределения площадей участков при разбиении модельного тропами: а – отсыпными и грунтовыми интенсивного использования (всего 54 участка); б – всеми видами троп (115 участков)

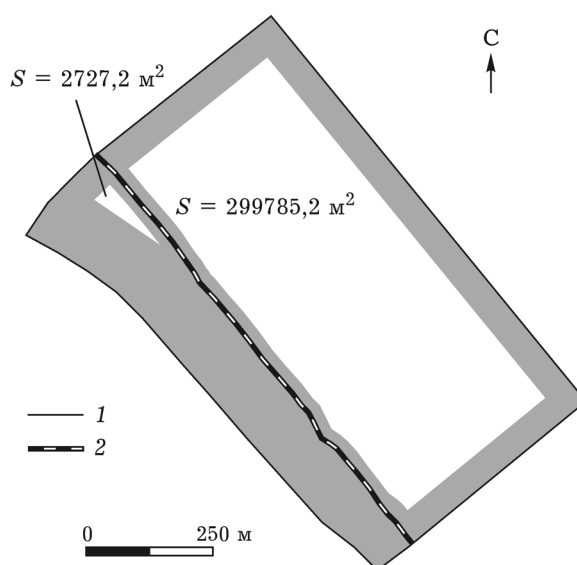


Рис. 5. Буферные зоны вокруг асфальтированных троп, дорог (1) и грунтовых технологических лесных дорог (2)

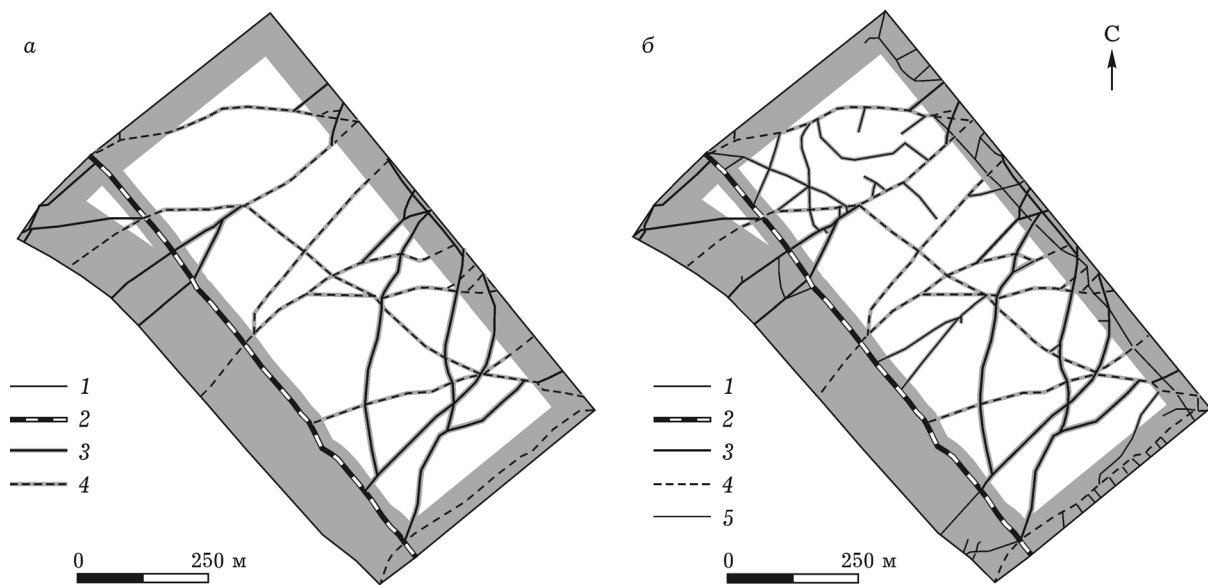


Рис. 6. Буферные зоны: а – вокруг троп отсыпных и грунтовых интенсивного использования, б – вокруг всех троп

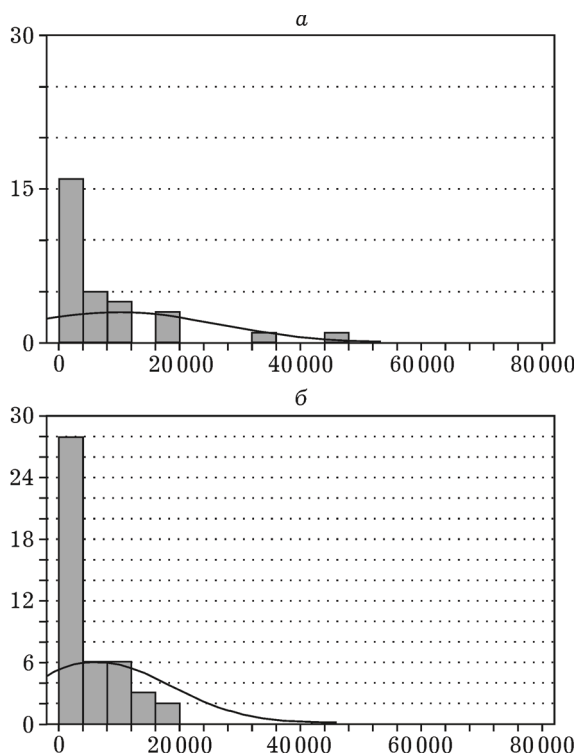


Рис. 7. Гистограмма распределения площадей “нетронутых” участков при разбиении модельного: а – тропами отсыпными и грунтовыми интенсивного использования (всего 29 участков); б – всеми тропами (44 участка)

6, а; 7, а). При построении буферных зон вокруг всех тропинок появилось уже 44 “островка” (см. рис. 6, б; 7, б).

Гистограммы распределения площадей участков, на которые исследуемая территория разбивается тропами (см. рис. 4), убедительно иллюстрируют тот факт, что наибольшее количество участков имеют небольшие площади. Так, добавление в анализ слабых грунтовых троп периодического использования увеличивает количество фрагментов с 54 (см. рис. 4, а) до 115 (см. рис. 4, б), где примерно 85 фрагментов имеют площадь меньше 4000 м². Анализ участка леса с построением буферных зон уменьшил количество “нетронутых” фрагментов (см. рис. 6) и в этом случае прослеживается аналогичная закономерность после добавления троп периодического использования (увеличение фрагментарности с 29 до 44 и общим увеличением количества участков небольших по площади, см. рис. 7). Таким образом, учет полной тропинойной сети ведет к увеличению фрагментарности и, как следствие, к уменьшению площади однородных участков.

Другой подход к анализу дорожно-тропинойной сети акцентирует внимание на загрузженности территории тропами разного типа. В этом случае нами использован метод построения плотностных сеток средствами

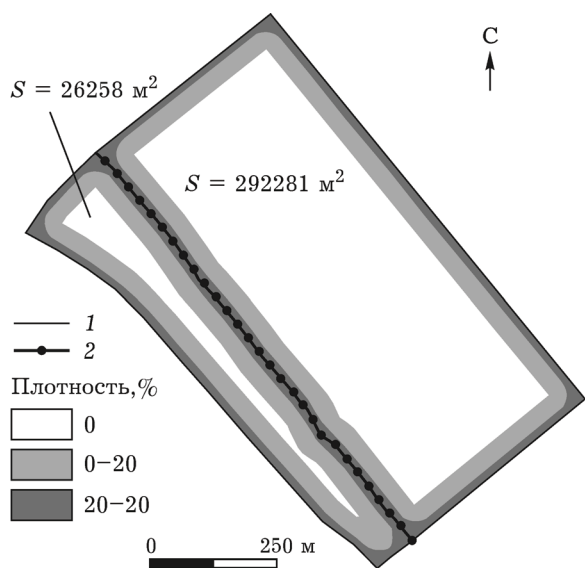


Рис. 8. Плотностная сетка асфальтированных троп, дорог и грунтовых технологических лесных дорог

ArcGis. Сеточный анализ показал себя перспективным инструментом для моделирования региональной экосистемы и пространственных взаимосвязей ее компонентов на основе интеграции разнородной информации [Зольников и др., 2005]. На среднемасштабном уровне исследования сеточный анализ эффективен как составная часть комплексной ГИС-

технологии, ориентированной на картографирование и мониторинг гетерогенных природно-территориальных комплексов [Зольников и др., 2010]. В контексте рассматриваемой статьи анализ плотностных сеток нашел применение в анализе фрагментации лесных массивов тропинками. Полученная плотностная сетка нормировалась на максимум густоты тропиной сети, шкала интервалов значений взята с шагом 10 % от этого максимального значения (рис. 8–10). Этот показатель позволяет оценить относительную фрагментированность лесного массива в пределах всей изучаемой территории. Схема густоты тропиной сети существенно дополняет схему буферных зон влияния, поскольку акцентирует внимание не на степени антропогенного воздействия тропинок разного типа, а на степени расчлененности массива.

Как видно из представленных схем и гистограмм, в результате построения плотностных сеток почти не остается целостных нефраgmentированных участков. Так, добавление слабых грунтовых троп периодического использования уменьшило количество участков с 15 до 11, при этом более 90 % участков имеют площадь меньше 4000 м². В целом по плотностным сеткам, наиболее полно учитывающим фрагментацию лесного массива

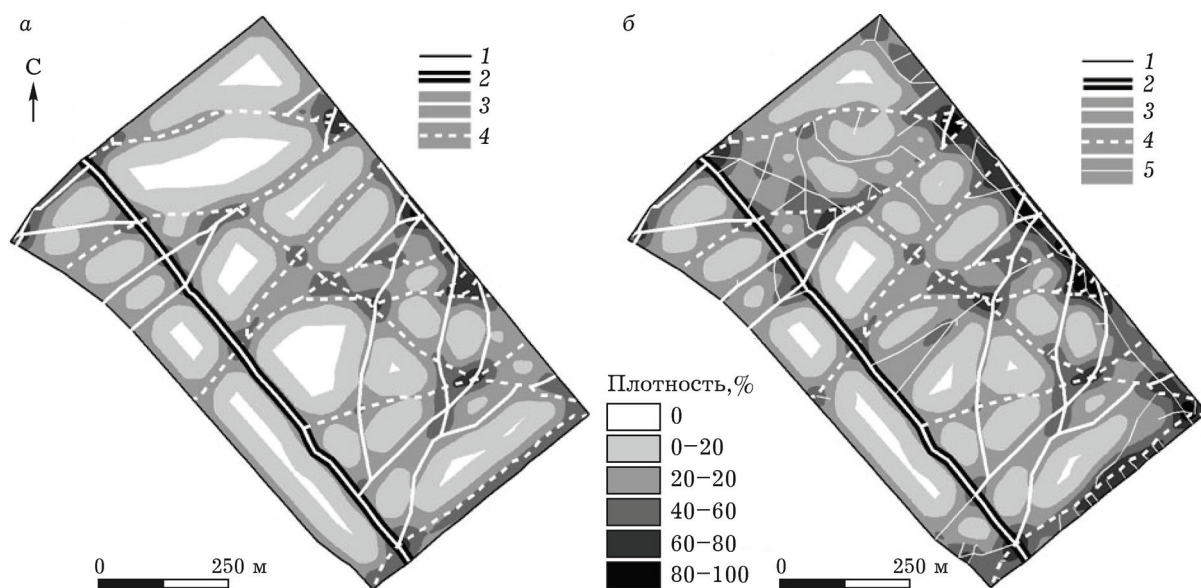


Рис. 9. Плотностная схема с участием троп: а – отсыпных и грунтовых интенсивного использования; б – всех троп

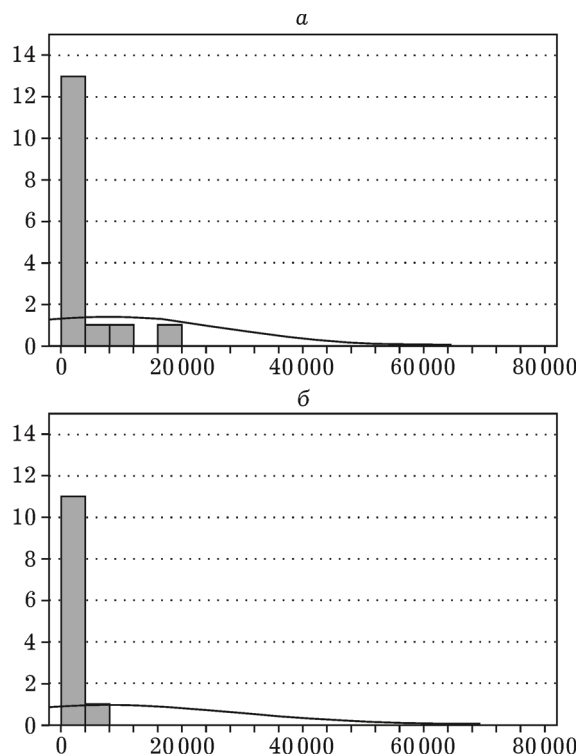


Рис. 10. Гистограмма распределения площадей «нетронутых» участков при разбиении модельного плотностными сетками троп: а – отсыпными и грунтовыми интенсивного использования (всего 15 участков); б – всеми тропами (11 участков)

тропами, площадь незатронутых селитебным воздействием участков составляет 2,3 % от всей исследуемой территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Полученные характеристики дорожно-тропиночной сети хорошо коррелируют со степенью антропогенной трансформации, по крайней мере для растительного компонента экосистем. Вдоль троп, даже незначительных, наблюдается глубокое проникновение внутрь лесного массива сорных и луговых видов, чуждых для естественной экосистемы. Уплотнение грунта на тропах препятствует распространению корневищ и приводит к фрагментации клональных образований вегетативно-подвижных видов. Распространение мусора и эвтрофикация почвы вдоль троп также отрицательно сказывается на общем состоянии экосистемы.

Рассчитанные показатели хорошо дополняют друг друга и могут быть эффективно

использованы в различных типах экосистем не только для оценки их современного состояния, но и для прогнозов дальнейших изменений, оптимизации существующих тропиночных сетей и интенсивности их использования.

ЛИТЕРАТУРА

- База нормативной документации: www.complexdoc.ru. 2001. Руководство по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов дорожного хозяйства. Электронный ресурс.
- Ермаков Н. Б., Королюк А. Ю., Ладинский Н. Н. Флористическая классификация мезофильных травяных лесов Южной Сибири. Препринт. Новосибирск, 1991. 96 с.
- Зольников И. Д., Айриянц А. А., Королюк А. Ю. Мартысевич У. В. Подход к моделированию региональной экосистемы и пространственных взаимосвязей ее компонентов на основе интеграции междисциплинарной информации // Сиб. экол. журн. 2005. № 6. С. 927–937.
- Зольников И. Д., Лямина В. А., Королюк А. Ю. Комплексная технология картографирования и мониторинга гетерогенного растительного покрова // География и прир. рес. 2010. № 2. С. 126–131.
- Ладинский Н. Н. Растительный покров Академгородка // Природа Академгородка: 50 лет спустя. Новосибирск, 2007. С. 41–46.
- Ладинский Н. Н., Зольников И. Д., Андреев О. В., Глушкова Н. В., Ладинская Н. В., Андреев娜 Н. Г. Анализ лесной тропиночной сети верхней зоны Академгородка // Динамика экосистем новосибирского Академгородка. Новосибирск, 2013. С. 75–84.
- Сорокина Г. А., Шикалова Е. А., Пахарькова Н. В. Стрессовое воздействие дорожно-тропиночной сети на растительные сообщества // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27, № 3–4. С. 243–246.
- Basile J. V., Lonner T. N. Vehicle restrictions influence elk and hunter distribution in Montana // J. Forestry. 1979. Vol. 77, N 3. P. 155–159.
- Forman T. T., Sperling D. Road Ecology. Science and Solutions. Washington D.C.: Island Press, 2003. 481 p.
- Franklin A. B., Noon B. R., George T. L. What is habitat fragmentation? // Studies in Avian Biol. 2002. N 25. P. 20–29.
- Gibb H., Hochuli D. F. Habitat fragmentation in an urban environment: large and small fragments support different arthropod assemblages // Biol. Conservation. 2002. Vol. 106. P. 91–100.
- Harper S. J., Bollinger K., Barret G. W. Effects of habitat patch shape on population dynamics of meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*) // J. Mammalogy. 1993. Vol. 72. P. 1045–1055.
- Lyon L. J. Habitat effectiveness for elk as influenced by roads and cover // J. Forestry. 1979. Vol. 77, N 10. P. 658–660.
- Nally R. M., Bennett A. F., Horrocks G. Forecasting the impact of habitat fragmentation. Evaluation of the impact of habitat fragmentation on birds in boxi-

- ronbark forests of central Victoria, Australia // *Biol. Conservation*. 2000. Vol. 95. P. 7–29.
- Parker M., Mac Nally R. Habitat loss and the fragmentation threshold: an experimental evaluation of impacts on richness and total abundances using grassland invertebrates // *Ibid.* 2002. Vol. 102. P. 217–229.
- Rost G. R., Bailey J.A. Distribution of mule deer and elk in relation to roads // *J. Wildlife Management*. 1979. Vol. 43. P. 634–641.
- Saunders D. A., Hobbs R. J., Margules C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review // *Conservation Biol.* 1991. N 5. P. 18–32.
- Schmielgelow F. K. A., Mönkkönen M. Habitat loss and fragmentation in dynamic landscapes: avian perspectives from the boreal forest // *Ecol. Appl.* 2002. Vol. 12. N 2. P. 375–389.
- Tscharntke T. Fragmentation of *Phragmites* habitat, minimum viable population size, habitat suitability, and local extinction of moths, midges, flies, aphids and birds // *Conservation Biol.* 1992. Vol. 6. N 4. P. 530–536.
- Wilcox B. A., Murphy D. D. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction // *Amer. Naturalist*. 1985. Vol. 125. P. 879–887.

A New Method of Assessment of the Degree of Anthropogenic Transformation of Suburban Woodlands

N. N. LASHCHINSKIY¹, I. D. ZOLNIKOV^{2,3}, N. V. GLUSHKOVA^{2,3}, N. V. LASHCHINSKAYA¹

¹ *Central Siberian Botanic Garden, SB RAS
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101
E-mail: nnl630090@gmail.com*

² *Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS
630090, Novosibirsk, Koptuga ave., 3*

³ *Novosibirsk State University,
630090, Novosibirsk, Pirigiva str., 2*

New quantitative indicators of ecosystem fragmentation based on remote sensing, ground research and GIS-analysis have been developed. Density of trails and the extent of their influence on forest ecosystems were estimated. A new approach was tested in the forest area nearby Novosibirsk Akademgorodok.

Key words: ecosystem fragmentation, trail net, suburban forest, anthropogenic transformation, GIS-technology.