

УДК 581.524.34

doi: 10.17223/19988591/41/5

Ю.С. Отмахов¹, Т.С. Черникова¹, Б.А. Третьяков²

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Антропогенная трансформация растительных сообществ сосновых лесов в городской среде

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00908 А и по программе государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения Центрального сибирского ботанического сада Сибирского отделения Российской академии наук № 0312-2016-0004, по проекту «Ценоотическое разнообразие растительного покрова Западной Сибири и ее горного обрамления: экологические и географические закономерности формирования».

Рассматривается закономерность антропогенной трансформации растительных лесных сообществ Новосибирского Академгородка. Отмечается общий процесс синантропизации флоры, что приводит к угрозе вытеснения отдельных видов и замене их рудеральными и адвентивными. Естественные сосновые лесные сообщества сменяются на антропогенно измененные. В зависимости от удаленности лесных растительных сообществ от зданий и степени фрагментации выделено три уровня антропогенного стресса: 1. Сообщества березово-сосновых и сосново-березовых разнотравных лесов, имеющие расстояние до зданий до 100 м, наиболее подвержены антропогенному влиянию на леса. Это более фрагментированные сообщества, в которых увеличивается численность рудеральных видов. 2. Сообщества березово-сосновых и сосново-березовых разнотравных лесов в зоне застройки с удаленностью от жилых построек более 100 м. В этих сообществах отмечена умеренная антропогенная нагрузка, при этом возрастает доля синантропных видов, что приводит к увеличению общего числа видов. 3. Сообщества березово-сосновых и сосновых осоковых лесов, березово-сосновых и сосновых коротконожковых лесов, березово-сосновых и сосновых разнотравных лесов, березово-сосновых орляковых лесов расположены на расстоянии более 400 м от зданий. Эти лесные сообщества занимают большую территорию, менее фрагментированы и обладают большей устойчивостью к инвазиям. Из них наибольшую устойчивость к инвазиям проявили березово-сосновые орляковые леса.

Ключевые слова: городские леса; антропогенное воздействие; адвентивные растения; синантропные виды; селитебные территории, Новосибирск.

Введение

В настоящее время неуклонно растет антропогенное воздействие на окружающую среду, это приводит к трансформации растительного покрова, синантропизации и последующему полному уничтожению естественной растительности. Лесам как главному компоненту зеленого покрова придается основное значение, и особое внимание уделяется пониманию механизмов трансформации и устойчивости лесных сообществ [1, 2]. При этом важность изучения городских лесов определяется их экологическим потенциалом, который является важнейшим фактором повышения качества жизненной среды города. Под влиянием высокой антропогенной нагрузки ухудшается общее состояние лесов, снижаются их защитные, санитарно-гигиенические и эстетические функции. К настоящему времени изучены последствия разнообразных форм химического загрязнения [2, 3], их воздействие на растительность [1, 4], санитарное состояние и возобновление древостоя [5, 6].

Первые исследования территории будущего Новосибирского Академгородка (далее – Академгородка) приурочены к созданию водохранилища и касались в основном зоны затопления [7]. В период строительства научного центра одновременно с постройкой и заселением микрорайонов проводились исследования влияния антропогенных изменений как на саму растительность, так и на численность вредителей, состав почвы и т.д. [8]. И.В. Тараном установлено, что искусственное уплотнение почв, разрушение лесной подстилки, вытаптывание травяного покрова, повреждение подлеска и подроста нарушают водно-воздушный и температурный режим почвы, вызывают ослабление и деградацию лесных растительных сообществ. В результате это приводит в первую очередь к выпадению малостойких растений и увеличению количества рудеральных видов, а при еще большем увеличении нагрузки – к исчезновению травяного яруса и подстилки. При долговременном антропогенном воздействии уплотнение почвы ведет к угнетению подроста, ослаблению и гибели взрослых деревьев, в первую очередь *Populus tremula* L. [9].

Вероятность внедрения адвентивных видов в сообщества уменьшается при увеличении видового богатства ценозов, т.е. увеличиваются степень использования ресурсов и межвидовая конкуренция [10]. Ранее установлена прямая зависимость числа адвентивных видов от типа сообществ и пространственной структуры [11–13]. Наибольшее число адвентивных видов произрастает в периодически нарушаемых открытых сообществах (сегетальные, рудеральные сообщества и т.д.), это связано с низким уровнем межвидовой конкуренции, причем прогнозировать инвазибельность невозможно, так как в разных экологических условиях она определяется сочетанием определенных биотических и абиотических барьеров [14].

Неоднородность и мозаичность химической загрязненности окружающей среды и изменения почв под воздействием антропогенной активности

выявлены в результате исследований 1990–1994 гг., что позволило разработать мероприятия по уходу, сохранению, развитию рекреационных лесов [7, 15] и способы восстановления лесов на территории Академгородка [3], которые в основном так и не были реализованы.

В последнее время изучение растительности окрестностей Академгородка проводилось Н.Н. Лашинским и др. [7]. Однако участки придомовых территорий остались не исследованы, это и послужило основанием для проведения обследования не только участков естественных лесных массивов, но и лесов селитебной территории Академгородка.

Цель данной работы – оценить влияние антропогенной нагрузки на флористический состав лесов и выявить устойчивые к инвазиям лесные сообщества.

Вслед за рядом авторов мы предполагаем, что умеренное антропогенное влияние приводит к увеличению видового богатства в лесных сообществах. Известно, что при умеренной нарушенности увеличивается число видов, особенно вдоль лесных дорожек [16–18]. Также мы ожидаем снижения числа видов естественной флоры в городских условиях, что подтверждается рядом публикаций [4, 19].

Мы предполагаем, что участки леса большей площади более устойчивы к инвазиям, даже в городских условиях. Многие авторы сходятся во мнении, что краевые эффекты перестают сказываться на расстояниях от 30 до 70 м, а доля видов естественной флоры в сообществах является показателем их устойчивости. Ранее показано, что на участок леса площадью 1 га приходится 1% видов естественной флоры, на участок площадью 2 га – 14%, участок площадью 3 га – 24%, участок площадью 5 га – 36%, участок площадью 10 га – 52% и участок площадью 50 га – 77% [6, 19, 20].

Материалы и методики исследования

Новосибирск (55°00'01"N, 82°55'00"E) является крупнейшим городом Западной Сибири. Превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ в атмосферном воздухе в течение года наблюдается в Калининском, Кировском, Ленинском, Железнодорожном районах города Новосибирска. [21]. Исследуемая территория находится в Советском районе (рис. 1) и характеризуется низким уровнем загрязнения. К тому же северо-западная пространственная ориентация поверхностных водных потоков позволяет выносить загрязнения, поступающие на почвенную поверхность, за пределы жилых застроек [7]. Академгородок расположен в 20 км к югу от центра Новосибирска на правом берегу Обского водохранилища. Территория относится к Приобскому сосново-боровому лесостепному району [22]. В ходе работы исследованы растительные сообщества, находящиеся на разном удалении от зоны застройки. Площадь исследованной территории составляет около 2 500 га, она расположена в западной части Академгородка,

которая рассечена улицами и магистралями на несколько фрагментов. На этой территории проживает более 50 тыс. человек.

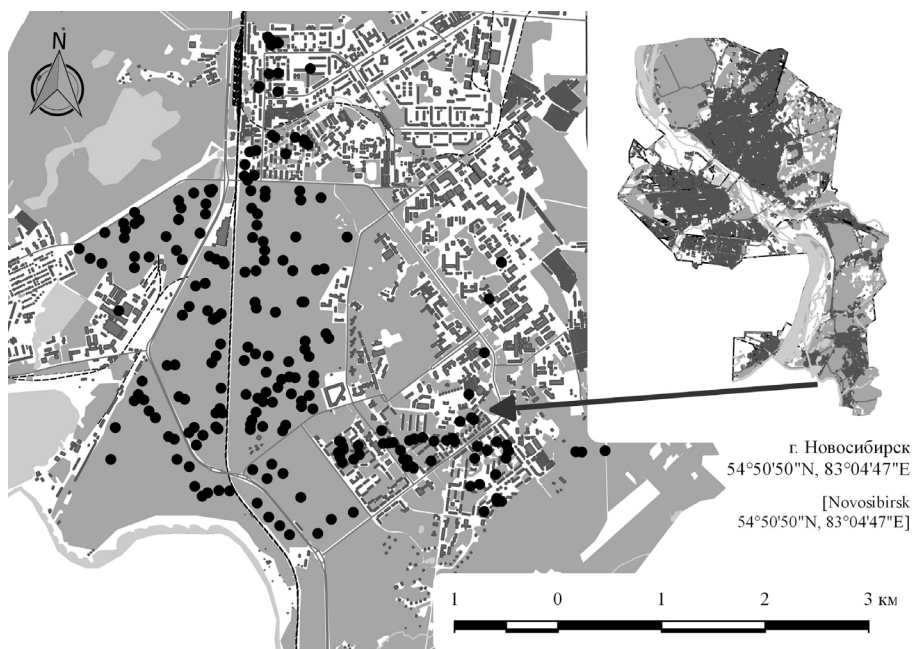


Рис. 1. Территория исследования. Точками показаны места расположения пробных площадей геоботанических описаний

[Fig. 1. Map of the study area. The dots show the locations of sample plots of geobotanical descriptions]

Исследованная «зеленая зона» имеет свои особенности: участки лесных массивов не только примыкают к Академгородку, но и включены в зону застройки. Стоит отметить, что в отличие от распространенной практики, подразумевающей полную очистку стройплощадки от деревьев и кустарников, при строительстве Академгородка в свое время принимались определенные меры по защите естественных массивов леса [23, 24], что дает нам возможность с уверенностью говорить о лесных сообществах во дворах жилых домов как естественных островках растительности. Антропогенное воздействие на лесные участки выражается в формировании сети дорожек сквозь лес и, как следствие, вытаптывании растительного покрова. Зачастую спонтанная неконтролируемая посещаемость лесов отдыхающими приводит к пожарам и загрязнению бытовым мусором отдельных участков. Леса селитебной территории испытывают наиболее сильное антропогенное воздействие, выражающееся как в вытаптывании и загрязнении, так и в привнесении в естественные сообщества, в том числе намеренном, чуждых видов.

Почвы естественных ландшафтов Академгородка преимущественно дерново-подзолистые и серые лесные. Дерново-подзолистые почвы сосновых лесов наиболее бедны содержанием гумуса и не загрязнены тяжелыми металлами. Серые лесные почвы березовых лесов и вторичных лугов на повышенных формах рельефа являются самыми плодородными. Подстилаящая поверхность сложена древнеаллювиальными песками и суглинками [25].

На территории выделяют урбостратифицированные почвы – урбаноземы, резко отличающиеся от нативных почв не только по генезису и морфологии, но и по составу и свойствам [7]. Для верхней части профиля урбаноземов характерно наличие двух слоев: верхнего – мелкозема с высоким содержанием гумуса и нижнего – засыпанного строительным мусором. Урбаноземы загрязнены тяжелыми металлами, содержание подвижной формы которых превышает фон в 4–20 раз [25].

Климат рассматриваемого района резко континентальный с умеренной обеспеченностью теплом и влагой [26]. В Новосибирске средняя продолжительность солнечного сияния за год составляет 2 088 ч. Средняя температура воздуха в январе $-18,3^{\circ}\text{C}$, в июле $+19,2^{\circ}\text{C}$. Средняя продолжительность безморозного периода колеблется в пределах 124–142 дней. Во все периоды года преобладают южные и юго-западные ветры. Среднегодовое количество осадков составляет 440 мм. Годовые суммы формируются главным образом за счет летних дождевых осадков – около 320 мм. Средняя высота снежного покрова составляет 40 см [27].

В основу работы легли 232 геоботанических описания, выполненных в течение полевых сезонов 2015–2016 гг. Описания в лесных сообществах сделаны на площадках 25×25 м (625 м^2). В отдельных случаях размер площадки зависел от ее местоположения, так как в городских условиях не всегда представляется возможность полноценно заложить учетные площадки, и в этих случаях размер площадок составлял 10×10 м (100 м^2) – это, как правило, разреженные лесные участки между домами. Древесный ярус в этих условиях учитывался на площади 250–400 м^2 . При описании растительных сообществ мы придерживались общепринятых геоботанических методов [28]. В каждом описании учитывались все сосудистые растения. Названия таксонов высших сосудистых растений приводятся по сводке С.К. Черепанова [29], книге А.И. Шмакова [30]; мохообразных – по сводке M.S. Ignatov et al. [31]. Классификация растительности проведена согласно доминантному подходу [32].

В сообществах выявлен состав аборигенных, адвентивных и рудеральных видов. Категория аборигенных видов, или видов естественной флоры, определяется как растения, появившиеся на данной территории без влияния человека [33]. Под адвентивными видами понимаются виды, присутствие которых на данной территории не связано с естественным ходом флорогенеза, а является результатом прямой или косвенной деятельности человека [34]. Группа рудеральных видов приурочена к нарушенным местообитаниям [35].

Нами выделено три уровня антропогенного стресса: 1) наиболее высокий – в центре Академгородка с наименьшей удаленностью растительных сообществ от жилых домов (до 100 м); 2) средний уровень – в 500 м от центра Академгородка и с удаленностью от жилых домов на расстояние 120–130 м; 3) для сообществ с низким уровнем стресса характерно максимальное удаление от центра Академгородка и жилых домов (свыше 400 м). Для оценки уровня антропогенного стресса учитывалась дистанция от центра площадки до ближайших зданий и строений. Данные о сооружениях в виде полигональных объектов получены из открытых источников Open Street Map [36], при этом точками отсчета выбраны центроиды ближайших 10 полигонов. Координаты центра геоботанических описаний определялись с помощью GPS/ГЛОНАС-приемника Garmin. Матрица расстояний рассчитана в свободной кроссплатформенной геоинформационной системе QGIS (код проекции EPSG:32644). Для этих данных о расстояниях рассчитаны дескриптивные статистики по матрице размерности $2 \times 2 \ 320$.

Растительность представляет многомерную систему, метрика которой определяется количеством описаний и числом видов в них, а признаками являются количественные характеристики видов, присутствующих в описании, в нашем случае это проективное покрытие, выраженное в процентах [37]. Классификация растительности проведена дивизимным методом кластеризации (DIANA), при этом учитывались все виды растений, зафиксированные в пределах учетных площадок, размерность матрицы составила 232×342 . Базовая цель этого анализа состоит в том, чтобы объединить сообщества в группы по принципу схожести флористического состава в каждой группе.

Связь между общим числом видов, числом видов естественной флоры, числом рудеральных и адвентивных видов и площадью занимаемого участка каждым типом сообществ оценивали с помощью непараметрического коэффициента корреляции Спирмена. Так как объем выборки для выбранных параметров является малым ($n \leq 30$), то проверка нулевой гипотезы осуществлялась путем сравнения вычисленного коэффициента корреляции с критическими значениями, взятым из статистических таблиц при установленном уровне значимости ($p < 0,05$). Сходство между объектами вычислено при помощи меры сходства Брея–Кертиса [38]. Все расчеты произведены в статистической среде R, пакеты ‘vegan’ [39], ‘GGally’ [40], ‘yarr’ [41].

Результаты исследования и обсуждение

В составе флоры лесов на изученной территории Академгородка нами отмечено 342 вида высших растений, из них 66 рудеральных и 72 адвентивных вида, а также 9 напочвенных листостебельных мхов.

Проведенный кластерный анализ показал не только сходство видового состава лесных сообществ, но и четкое распределение по уровню антропо-

генного стресса. Кластерный анализ сообществ выявил на первом уровне 5 групп (рис. 2), при этом на втором уровне также отмечается наибольшее различие кластеров, где и выделено 6 групп.

Две группы (1–2-й кластеры) расположены непосредственно в зоне застройки. Первый кластер сформировали березово-сосновые и сосново-березовые разнотравные леса (антропогенно трансформированные). Во второй кластер объединены березово-сосновые и сосново-березовые разнотравные леса, расположенные в зоне застройки.

Четыре группы (3–6-й кластеры) располагаются в обособленных лесных массивах, разделенных магистральными авто- и железной дорогами. В третий кластер вошли березово-сосновые и сосновые осоковые леса (расположены вблизи главных магистралей). Березово-сосновые и сосновые короткокожковые леса образовали четвертый кластер (расположены вдали от главных магистралей). Пятый кластер объединил березово-сосновые и сосновые разнотравные леса (расположены в центральной части лесного массива) и шестой – березово-сосновые орляковые леса (занимают наиболее увлажненные местообитания).

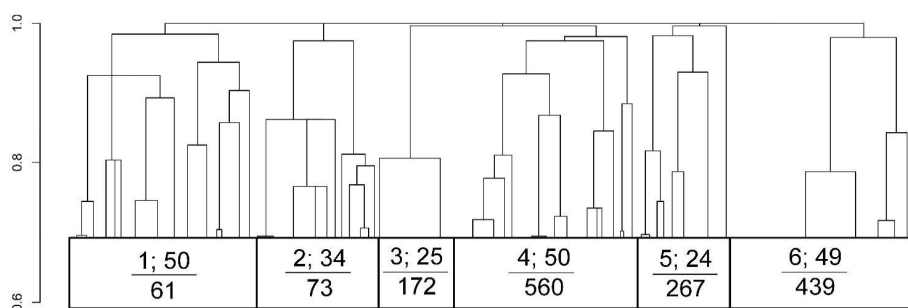


Рис. 2. Дендрограмма кластерного анализа растительных сообществ. По оси X – растительные сообщества, по оси Y – мера различия. Блоками выделена группировка на 6 кластеров. Номера геоботанических описаний не приводятся. Цифрами обозначены: в числителе – номер кластера (типа растительного сообщества); число описаний данного типа; в знаменателе – исследованная площадь данного кластера, га

[Fig. 2. Dendrogram of six clusters resulting from the Divisive Analysis (the Bray-Curtis distance). On the X-axis - Vegetation relevés; on the Y-axis - Dissimilarity. The numbers are: in the numerator - Plant community type (cluster number); the number of vegetation relevés of this type; in the denominator - The studied area of this cluster, ha]

Лесные сообщества в городской среде являются в той или иной степени трансформированными по сравнению с такими же сообществами, расположенными вдали от урбанизированных территорий. В Академгородке формируется своеобразная группа антропогенно трансформированных сообществ, развивающихся на селитебных территориях, где максимально проявляется влияние антропогенного фактора, и в зональных неурбанизированных районах.

Расстояния между растительными сообществами и строениями для каждого из шести массивов геоботанических описаний отражены в виде ящичной диаграммы (рис. 3).

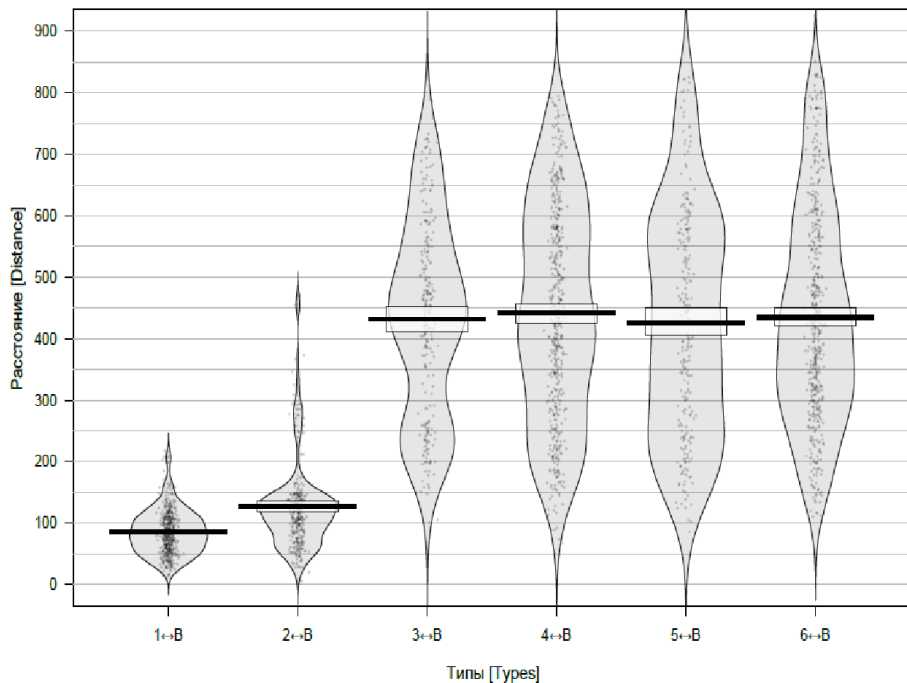


Рис. 3. Расстояния между лесными сообществами и зданиями (1↔B, 2↔B, 3↔B и т.д.). По оси X – типы лесных сообществ; по оси Y – расстояния между типами лесных сообществ и зданиями, м. Точки – исходные данные (показывают разброс данных); серые полигоны – плотность точек; горизонтальная черная полоска – медиана; «ящик» – верхний квартиль и нижний квартиль [Fig. 3. The distance between plant communities and buildings (1↔B, 2↔B, 3↔B, etc.).

On the X - axis - Vegetation types; on the Y - axis - Distance between vegetation types and buildings, in meters. The dots indicate source data (show data scattering); the density of the dots is gray polygons; the Median is a black stripe; the "Box" is the upper quartile and the lower quartile]

Как отмечено выше, на основе этих расстояний выделено три уровня антропогенного стресса. По точкам, расположенным внутри «ящиков», можно судить, какие из групп наиболее удалены от селитебной территории. Чем выше расположена средняя линия (медиана), тем дальше находятся сообщества от зданий. На диаграмме лидерами являются сообщества третьего-шестого кластеров: березово-сосновые и сосновые осоковые леса; березово-сосновые и сосновые короткокожковые леса; березово-сосновые и сосновые разнотравные леса; березово-сосновые орляковые леса. В среднем эти сообщества расположены на расстоянии более 400 м от зданий. Плотность то-

чек березово-сосновых и сосновых осоковых лесов имеет прерывистый характер, это связано с тем, что такие сообщества сконцентрированы на двух противоположных участках; наибольшая скученность точек отмечена для березово-сосновых орляковых лесов, так как большинство геоботанических описаний расположены в одном массиве.

По высоте самих «ящиков» можно судить о том, насколько компактно расположены сообщества. Наиболее сгруппированы в пространстве геоботанические описания, расположенные на селитебной территории, на это указывает и плотность точек. Сообщества березово-сосновых и сосново-березовых разнотравных лесов, имеющие наименьшее расстояние до зданий, в среднем до 100 м, наиболее подвержены антропогенному влиянию на леса, относятся к первому уровню антропогенного стресса. Средний уровень стресса характеризуется удаленностью лесных сообществ от жилых построек (в среднем более 100 м), к этому уровню относятся березово-сосновые и сосново-березовые разнотравные леса в зоне застройки.

Рассмотрим сообщества, объединенные в кластеры.

1. Березово-сосновые разнотравные леса (антропогенно трансформированные).

В первую группу вошли участки, наиболее подверженные антропогенной нагрузке, с наименьшей площадью, всего 61 га, и сильной фрагментацией. В лесах этой группы расположены детские площадки, асфальтированные или отсыпанные дорожки. В перечне наиболее распространенных видов кустарникового и травянистого ярусов в основном присутствуют рудеральные и адвентивные виды.

Сомкнутость древесного яруса до 30%; он представлен в основном *Betula pendula*, *Populus tremula* и *Pinus sylvestris*. Во второй древесный ярус входят *Tilia cordata*, *Quercus robur* высотой 5–6 метров.

Кустарниковый ярус достаточно развит (до 30%): *Sorbus sibirica*, *Syringa josikaea*, *Syringa vulgaris*, *Acer negundo*, *Acer ginnala*.

Проективное покрытие травяного яруса составляет 60–70%. В нем наиболее распространены рудеральные и адвентивные виды: *Taraxacum officinale*, *Plantago major*, *Poa annua*, *Amoria repens*. Встречаются: *Medicago falcata*, *Medicago sativa*, *Polygonum aviculare*, *Bromopsis inermis*, *Achillea asiatica*, *Amoria hybrida*, *Trifolium pratense*.

Видовая насыщенность 12–41 вида на 100 м². Всего нами обнаружено 195 видов, 56 из которых – сорные (*Elytrigia repens*, *Berteroa incana*, *Convolvulus arvensis* и др.) и 40 – адвентивные (*Cichorium intybus*, *Lactuca serriola*, *Echium vulgare* и др.).

2. Березово-сосновые разнотравные леса (расположены в зоне застройки).

В эту группу вошли умеренно нарушенные естественные березово-сосновые леса площадью 73 га внутри селитебных территорий, фрагментированные дорожками и тропинками, а также сосново-березовые разнотравные

сообщества. В составе травянистой растительности оказались как типичные лесные виды, так и адвентивные с рудеральными.

Проективное покрытие основных доминантов древесного яруса березово-сосновых сообществ составляет: *Pinus sylvestris* – до 45% и *Betula pendula* – до 30%; подрост практически отсутствует. В сосново-березовых сообществах сомкнутость древесного яруса достигает 53%. Проективное покрытие *Betula pendula* до 45% и *Pinus sylvestris* до 8%, встречается *Populus tremula*. Во втором древесном ярусе присутствуют *Tilia cordata*, *Quercus robur* высотой 5–6 метров.

Проективное покрытие кустарникового яруса до 20%, он представлен *Padus avium*, *Sorbus sibirica*, *Acer ginnala*, *Syringa josikaea*.

Среди травянистого яруса преобладают адвентивные и рудеральные виды: *Urtica dioica*, *Plantago major*, *Geranium sibiricum*, *Chelidonium majus*, *Impatiens glandulifera*, *Arctium lappa*. В отдельных сообществах отмечено доминирование *Impatiens parviflora* – до 50%, *Urtica dioica* – до 70% и *Plantago major* – до 70%.

Видовая насыщенность от 13 до 52 видов на 100 м². Общее число обнаруженных видов 285, однако число сорных видов снижается до 49; изменяется видовой состав по сравнению с сообществами первой группы. Отмечено 23 адвентивных вида.

3. Березово-сосновые и сосновые осоковые леса (расположены вблизи главных магистралей).

Сообщества этой группы по площади занимают 172 га леса с небольшой фрагментацией. Они обычно расположены на выровненных участках и склонах, хотя встречались как на вершинах дюн, так и в междюнных понижениях, территориально расположены ближе к магистральным дорогам и железнодорожным путям. Сомкнутость древесного яруса 70–75%, он представлен в основном *Pinus sylvestris*, хотя зачастую присутствуют *Betula pendula*, а также посадки *Picea obovata*. Во всех сообществах возобновление незначительное.

Проективное покрытие кустарникового яруса достигает 20%, значительную долю в нем составляют *Sorbus sibirica* и *Caragana arborescens*.

В травяном ярусе (покрытие 50–70%) значительную долю занимает *Carex macroura* *Rubus saxatilis*, присутствуют *Brachypodium pinnatum* и *Calamagrostis arundinacea*. В двух сообществах отмечена значительная доля *Rubus idaeus* (65–70%). В одном сообществе отмечено значительное участие *Urtica dioica*, расположенного вблизи тропинок.

Моховой ярус, представленный *Pleurozium schreberi*, присутствует в небольшом количестве, редко превышает 2–5%, хотя в двух сообществах его покрытие составляет 50%. Чаще всего образует куртины на валежнике и старых поваленных деревьях. Хвойная подстилка в сообществах мощностью 3–5 см.

Видовая насыщенность в среднем 32–47 видов на 625 м². Надо отметить, что нами выявлено 144 вида, из них сорных – 6, адвентивных – 24.

4. Березово-сосновые и сосновые коротконожковые леса (расположены вдали от главных магистралей).

Сообщества четвертой группы занимают наибольшую площадь (560 га), мало фрагментированы и наиболее удалены от главных магистралей. Расположены не только на склонах и выровненных участках, но и в междюнных понижениях и на вершинах дюн. Древесный ярус представлен в основном *Pinus sylvestris* с небольшим присутствием *Betula pendula*. Сомкнутость 65–70%, возобновление невелико, менее 5%.

Кустарниковый ярус слабо развит, проективное покрытие 10–15%, и представлен в значительной мере *Caragana arborescens* с небольшой примесью *Sorbus sibirica* и *Rosa majalis*. В отдельных сообществах кустарниковый ярус достигает 30% и представлен *Salix caprea*, *Viburnum opulus* и *Frangula alnus*.

Основные доминанты в травяном ярусе: *Brachypodium pinnatum* – 20–40%, *Carex macroura* – 10–25%, *Rubus saxatilis* – 5–10% и *Calamagrostis arundinacea* – 3–5%.

Мохово-лишайниковый ярус распределен неравномерно, формируя главным образом куртинки на валежнике. В большей части его проективное покрытие составляет 1–5%, но на части площадок достигает 50–70%. Представлен в основном *Pleurozium schreberi*.

Видовая насыщенность 18–54 вида на 625 м². Общая численность видов увеличивается в сообществах, где увеличивается проективное покрытие древесного и кустарникового, а также высота травяного ярусов. Всего обнаружено 151 вид, из них сорных видов – 9, адвентивных – 24.

5. Березово-сосновые и сосновые разнотравные леса (расположены в центральной части лесного массива).

Данная группа на изученной территории занимает 267 га. Сообщества расположены чаще всего на повышениях и выровненных участках, преимущественно в центральной части изученного лесного массива, фрагментация небольшая.

Покрытие древесного яруса 60–75%. Представлен он *Pinus sylvestris* с присутствием *Betula pendula* (менее 10%). Проективное покрытие подроста до 5%.

Кустарниковый ярус выражен слабо, занимает около 1% и представлен в основном *Caragana arborescens* и *Sorbus sibirica*.

Травяной ярус занимает в среднем 50–60%, в отдельных сообществах достигает 80%. В основном представлен *Carex macroura* и *Calamagrostis arundinacea*, но явного преобладания над другими видами нет.

Ярус мхов главным образом располагается в приствольной части и на валежнике, в отдельных сообществах его проективное покрытие достигает 40%.

Видовая насыщенность 24–57 видов на 625 м². Нами обнаружено 132 вида, из них 6 сорных и 21 адвентивных.

6. Березово-сосновые орляковые леса (занимают наиболее увлажненные местообитания).

Эта группа по площади занимает 439 га. Сообщества расположены на склонах, в низинах, увлажненных местах южной части исследованного массива.

Покрытие древесного яруса 65–70%. Основу его составляют *Pinus sylvestris* – 40% и *Betula pendula* – 20–25%, иногда в понижениях встречается *Betula pubescens*. Подрост меньше 1%.

Кустарниковый ярус занимает 20–30%, в отдельных сообществах до 50%. Представлен преимущественно *Sorbus sibirica* и *Caragana arborescens*.

Покрытие травяного яруса составляет 80–85%. Доминирует *Pteridium pinetorum*, его проективное покрытие достигает 70%. Значительную долю также занимают *Carex macroura* и *Brachypodium pinnatum*.

Моховой ярус слабо выражен, мхи встречались на валежнике и пнях, лишь в исключительных случаях покрывая 50% поверхности.

Видовая насыщенность 13–58 видов на 625 м². В данной группе выявлено 154 вида, 5 из них рудеральные и 24 адвентивные, что является наименьшим результатом среди выявленных групп. Низкая доля сорных и адвентивных видов в составе травостоя позволяет нам характеризовать эту группу сообществ как более устойчивые к антропогенной нагрузке вследствие высококонкурентных способностей *Pteridium pinetorum* [42].

Наше предположение о том, что умеренное антропогенное влияние приводит к увеличению видового богатства, подтвердилось. Наибольшее число видов (285) обнаружено в сообществах с умеренной нарушенностью в березово-сосновых разнотравных лесах (в зоне застройки); необходимо отметить, что увеличение числа видов произошло за счет рудеральных. Однако второе место по общему числу видов обнаружено в березово-сосновых разнотравных лесах (антропогенно трансформированных) с наиболее высоким уровнем антропогенного воздействия, что противоречит нашим представлениям о негативном влиянии человека. Хотя при более внимательном рассмотрении мы видим наименьшее число естественных видов (99) по сравнению с другими типами леса, высокое число видов объясняется наличием большого числа рудеральных (56) и адвентивных видов (40).

Несмотря на различную площадь лесов, менее подверженных антропогенной нагрузке, число видов незначительно различается: так, число рудеральных составляет 5–9 видов, а число адвентивных – 21–24 вида, при этом число видов естественной флоры составляет 105–125.

Мы ожидали обнаружить четкую зависимость устойчивости сообществ и площади лесов: чем больше площадь леса, тем устойчивее сообщества. Это предположение подтвердилось, хоть и слабой, отрицательной корреляцией (–0,72) между площадью лесов и числом рудеральных видов, т.е. чем больше площадь леса, тем меньше доля адвентивных видов. Из этого следует, что лесные сообщества, занимающие большую площадь, наиболее устойчивы к антропогенному воздействию.

Следует отметить корреляцию между общим числом всех видов и числом видов естественной флоры (0,87), а также числом рудеральных видов (0,81). В первом случае увеличение рудеральных видов приводит к увеличению общей численности видов в сообществах, во втором – с уменьшением

общего числа видов уменьшается численность видов естественной флоры. Корреляционная связь между остальными показателями ценотических связей не достигает уровня статистической значимости.

Таким образом, лесные сообщества, которые занимают большую территорию и менее фрагментированы, обладают большей устойчивостью к инвазиям. Слабо трансформированные леса (березово-сосновые и сосновые осоковые леса, березово-сосновые и сосновые коротконожковые леса) площадью от 172 га до 560 га с низким антропогенным влиянием менее подвержены деградации. В трех группах (березово-сосновые и сосновые осоковые, березово-сосновые и сосновые коротконожковые и березово-сосновые и сосновые разнотравные леса) доля видов естественной флоры составляет 87–89%. В березово-сосновых орляковых лесах доля видов естественной флоры – 94%.

В сообществах, которые более фрагментированы, увеличивается численность рудеральных видов, что приводит к увеличению общей численности этих фитоценозов. В районах жилой застройки выявлены антропогенно измененные сообщества березово-сосновых и сосново-березовых лесов общей площадью 61 га, в которых доля видов естественной флоры составляет 58%.

При умеренной антропогенной нагрузке на березово-сосновые разнотравные леса, расположенные в зоне застройки, площадь которых составляет 73 га, возрастает доля синантропных видов до 30%, что приводит к увеличению общего числа видов.

Заключение

На изученной территории Новосибирского Академгородка нами отмечено 342 вида высших сосудистых растений, из них 66 рудеральных и 72 адвентивных вида, а также 9 видов листостебельных мхов. В результате проведенных исследований выявлено увеличение деградации сообществ по мере приближения к селитебной территории. Однако при умеренной антропогенной нагрузке наблюдается увеличение видового богатства сообществ. Лесные массивы с большой площадью и низким уровнем антропогенного стресса достаточно устойчивы к инвазиям. Следует отметить, что наибольшей устойчивостью обладают березово-сосновые орляковые леса.

Авторы благодарят канд. биол. наук, н.с. лаборатории экологии и геоботаники М.А. Полякову за рекомендации в процессе работы над статьей и д-ра биол. наук, г.н.с. лаборатории экологии и геоботаники Н.Н. Лацинского (Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск) за ценные критические замечания по флористическому составу растительных сообществ.

Литература

1. Бурова Н.В., Феклистова П.А. Антропогенная трансформация пригородных лесов. Архангельск : Изд-во Архангельского гос. техн. ун-та, 2007. 264 с.

2. Шергина О.В., Михайлова Т.А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. 200 с.
3. Черненькова Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М. : Наука, 2002. 119 с.
4. Malmivaara-Lämsä M., Hamberg L., Löfström I., Vanha-Majamaa I., Niemelä J. Trampling tolerance of understorey vegetation in different hemiboreal urban forest site types in Finland // *Urban ecosystems*. 2008. Vol. 11. PP. 1–16.
5. Селочник Н.Н. Факторы деградации лесных экосистем // *Лесоведение*. 2008. № 5. С. 52–60.
6. Шавнин С.А., Веселкин Д.В., Воробейчик Е.Л., Галако В.А., Власенко В.Э. Факторы трансформации сосновых насаждений в районе города Екатеринбурга // *Лесоведение*. 2015. № 5. С. 346–355.
7. Динамика экосистем Новосибирского Академгородка / отв. ред. И.Ф. Жимулев. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2013. 438 с.
8. Зубкус Л.П., Скворцова А.В., Кормачева Т.Н. Озеленение Новосибирска. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1962. 340 с.
9. Таран И.В., Спиридонов В.Н. Устойчивость рекреационных лесов. Новосибирск : Наука, 1977. 179 с.
10. Elton C.S. The ecology of invasions by animals and plants. Methuen, London, 1958. 181 p.
11. Vila M., Pino J., Font X. Regional assessment of plant invasions across different habitat types // *Journal of Vegetation Science*. 2007. Vol. 18. PP. 35–42.
12. Brown R.L., Peet R.K. Diversity and invisibility of Southern Appalachian plant communities // *Ecology*. 2003. Vol. 84, № 1. PP. 32–39.
13. Fridley J.D., Brown R.L., Bruno J.E. Null models of exotic invasion and scale-dependent patterns of native and exotic species richness // *Ecology*. 2004. Vol. 85, № 12. PP. 3215–3222.
14. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Адвентивизация растительности в призме идей современной экологии // *Журнал общей биологии*. 2002. Т. 63, № 6. С. 500–508.
15. Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском Научном Центре СО РАН. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1995. 251 с.
16. Kessler M. Maximum plant-community endemism at intermediate intensities of anthropogenic disturbance in Bolivian montane forests // *Conservation biology*. 2001. Vol. 15. 634–641.
17. Westphal C. Theoretische Gedanken und beispielhafte Untersuchungen zur Naturnähe von Wäldern im Staatlichen Forstamt Sellhorn (Naturschutzgebiet Lüneburger Heide) // *Berichte Forschungszentrum Waldökosysteme, Reihe A*. 2001. Bd. 174. S. 1–189.
18. Deutschewitz K., Lausch A., Kühn I., Klotz S. Native and alien plant species richness in relation to spatial heterogeneity on a regional scale in Germany // *Global Ecology and Biogeography*. 2003 Vol. 12. PP. 299–311.
19. Ewers R.M., Didham R.K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation // *Biological reviews*. 2006. Vol. 81. PP. 117–142.
20. Didham R.K., Lawton J.H. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments // *Biotropica*. 1999. Vol. 31 (1). PP. 17–30.
21. Пиквин В.М., Чиндяева Л.Н. Экологическая инфраструктура сибирского города (на примере Новосибирской агломерации). 2-е изд., доп. Новосибирск : Сибпринт, 2005. 194 с.
22. Крылов Г.В. Леса Западной Сибири. М. : Изд-во АН СССР, 1961. 255 с.
23. Природа Академгородка: 50 лет спустя / отв. ред. И.Ф. Жимулев. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. 250 с.

24. Растительное многообразие Центрального сибирского ботанического сада СО РАН / науч. ред. И.Ю. Коропачинский, Е.В. Банаев. Новосибирск : Гео, 2014. 492 с.
25. Сысо А.И., Смоленцев Б.А., Якименко В.Н. Почвенный покров Новосибирского Академгородка и его экологическая оценка // Сибирский экологический журнал. 2010. Т. 17, № 3. С. 363–378.
26. Агроклиматические ресурсы Новосибирской области. Л. : Гидрометиздат, 1971. 155 с.
27. Луцицкая И.О., Белая Н.И., Арбузов С.А. Климат Новосибирска и его изменения. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
28. Корчагин А.А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника / ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагин. М. ; Л. : Изд-во Наука, 1964. Т. 3. С. 39–62.
29. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья-95, 1995. 992 с.
30. Шмаков А.И. Определитель папоротников России. 2-е изд. Барнаул : АРТИКА, 2009. 126 с.
31. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A., Abolina A., Akatova T.V., Baisheva E.Z., Bardunov L.V., Baryakina E.A., Belkina O.A., Bezgodov A.G., Boychuk M.A., Cherdantseva V.Ya., Czernyadjeva I.V., Doroshina G.Ya., Dyachenko A.P., Fedosov V.E., Goldberg I.L., Ivanova E.I., Jukoniene I., Kannukene L., Kazanovsky S.G., Kharzinov Z.Kh., Kurbatova L.E., Maksimov A.I., Mamatkulov U.K., Manakyan V.A., Maslovsky O.M., Napreenko M.G., Otnyukova T.N., Partyka L.Ya., Pisarenko O.Yu., Popova N.N., Rykovsky G.F., Tubanova D.Ya., Zheleznova G.V., Zolotov V.I. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. PP. 1–130. doi: 10.15298/arctoa.15.01.
32. Александрова В.Д. Классификация растительности. Обзор принципов классификации и классификационных систем в различных геоботанических школах. Л. : Наука, 1969. 275 с.
33. Pyšek P., Richardson D.M., Rejmánek M., Webster G.L., Williamson M., Kirschner J. Alien plant in checklist and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists // Taxon. 2004. Vol. 53, № 1. PP. 131–143.
34. Richardson D.M., Pyšek P., Rejmanek M., Barbour M.G., Panetta F.D., West C.J. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions // Diversity and definitions. 2000. Vol. 6. PP. 93–107.
35. Никитин В.В. Сорные растения флоры СССР. Л. : Наука, 1983. 454 с.
36. Open Street Map project. URL: <http://www.openstreetmap.org> (дата обращения: 31.03.2017).
37. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Л. : ЛГУ, 1984. 288 с.
38. Bray R.J., Curtis J.T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin // Ecological monographs. 1957. Vol. 27. PP. 325–349.
39. Oksanen J., Blanchet F.G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., Minchin P.R., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Stevens M.H., Szoecs E. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-2. Date 2017-01-17. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>.
40. Schloerke B., Crowley J., Cook D., Hofmann H., Wickham H., Briatte F., Marbach M., Thoen E., Elberg A., Larmarange J. GGally: Extension to 'ggplot2' R package Version 1.3.0. Date 2016-11-13. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/GGally/GGally.pdf>.
41. Phillips N. A Companion to the e-Book «YaRrr!: The Pirate's Guide to R» R package Version 0.1.4. Date 2017-02-07. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/yarr/yarr.pdf>.
42. Ершова Э.А. Антропогенная трансформация в пригородных сообществах с участием в травостое папоротника орляка (*Pteridium pinetorum*) // Растительный мир Азиатской России. 2012. Т. 1, № 2. С. 132–138.

Поступила в редакцию 06.06.2017 г.; повторно 17.01.2018 г.;
принята 27.02.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.

Авторский коллектив:

Отмахов Юрий Сергеевич – канд. биол. наук, м.н.с. лаборатории экологии и геоботаники ФГБУН Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Золото-долинская, 101).

E-mail: otmachov@mail.ru

Черникова Татьяна Сергеевна – канд. биол. наук, н.с. лаборатории экологии и геоботаники ФГБУН Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Золото-долинская, 101).

E-mail: hchernika@yandex.ru

Третьяков Борис Андреевич – студент кафедры ботаники, Биологический институт Национального исследовательского Томского государственного университета (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36).

E-mail: temartret@yandex.ru

For citation: Otmakhov YuS, Chernikova TS, Tretyakov BA. Anthropogenic transformation of vegetation in urban pine forests. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:75-95. doi: 10.17223/19988591/41/5 In Russian, English Summary

Yury S. Otmakhov¹, Tatiyana S. Chernikova¹, Boris A. Tretyakov²

¹ Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

² Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

Anthropogenic transformation of vegetation in urban pine forests

In the paper, we discuss anthropogenic transformation of forest plant communities in Novosibirsk Akademgorodok. The aim of this study was to evaluate the anthropogenic impact on the floristic composition and to identify forest plant communities resistant to invasions. The explored area is about 2500 hectares, it is located in the western part of Novosibirsk Akademgorodok, which is dissected by streets and roads into several fragments (See Fig. 1). The basis of this work is 232 geobotanical descriptions, carried out during 2015-2016. Descriptions of forest vegetation are made at the sites of 25×25 m (625 m²) and 10×10 m (100 m²) of sparse forest areas between buildings (wood layer was taken into account in the area of 250-400 m²). We took into account all vascular plants. We used the dominant approach to classify vegetation. We identified the composition of native, adventive and ruderal species. The degree of anthropogenic stress was considered on the basis of distances from the center of the site to nearby buildings. The geographical coordinates of the center of geobotanical descriptions were determined using GPS/GLONASS. We identified three degrees of anthropogenic stress (See Fig. 3): 1) the highest is the center of Novosibirsk Akademgorodok with the lowest remoteness of plant communities from residential buildings (up to 100 m); 2) the average is 500 m from the Akademgorodok center, and the remoteness from residential buildings at the distance of 120-130 m; 3) low degree of stress is the maximum distance from the center of Novosibirsk Akademgorodok and residential buildings (over 400 m). Vegetation was classified by clustering (DIANA), the matrix of dimension was 232×354. We used Spearman's correlation coefficient to assess the relationship between the total number of species, the number of natural flora species, the number of ruderal and adventive species and the area occupied by each community type. The parameters are statistically significant (p<0.05). The similarity between the objects was computed using the Bray-Curtis similarity measure. All calculations are performed using the software R.

We identified the types of plant communities within the studied area (See Fig. 2).

1. Anthropogenic birch-pine forests. The closeness to the forest is 30%: *Betula*

pendula, *Populus tremula* and *Pinus sylvestris*. The shrub layer cover is 30%: *Sorbus sibirica*, *Syringa josikaea*, *Syringa vulgaris*, *Acer negundo* and *Acer ginnala*. In the same layer are *Tilia cordata* and *Quercus robur*. The herb layer cover is 60-70%. Among these common ruderal and adventive species are *Taraxacum officinale*, *Plantago major*, *Poa annua* and *Amoria repens*. Species richness is 12-41 species per 100 m². We found 195 species, 56 of which are weed (*Elytrigia repens*, *Berteroa incana*, *Convolvulus arvensis*, etc.) and 40 are adventive (*Cichorium intybus*). **2. Birch-pine forests in the residential area.** The closeness to the forest is 75%: *Betula pendula* is up to 40% and *Pinus sylvestris* is up to 8%, *Populus tremula* is also encountered. The cover shrub layer is 20%: *Padus avium*, *Sorbus sibirica*, *Acer ginnala* and *Syringa josikaea*. This layer is composed of *Tilia cordata* and *Quercus robur*. The grass layer is dominated by adventive and ruderal species: *Urtica dioica*, *Plantago major*, *Geranium sibiricum*, *Chelidonium majus*, *Impatiens glandulifera*, *Aegopodium podagraria* and *Arctium lappa*. Species richness is from 13 to 52 species per 100 m². The number of species is 285, the number of weed species is 49 and 23 alien species. **3. Birch-pine and pine sedge forests.** The closeness to the forest is 70-75%: *Pinus sylvestris*, often *Betula pendula*, and there are plantations of *Picea obovata*. The cover shrub layer is 20%: *Sorbus sibirica* and *Caragana arborescens*. The grass layer is dominated by *Rubus saxatilis* *Carex macroura*, there are *Brachypodium pinnatum* and *Calamagrostis arundinacea*. The moss and lichen layer is represented by *Pleurozium schreberi*. It forms clumps on old fallen trees. Coniferous litter is found in communities with a capacity of 3-5cm. Species richness is, on average, 32 to 47 species per 625 m². We identified 144 species, including 6 weed and 24 adventive ones. **4. Birch-pine and pine tor-grass forests.** The closeness to the forest is 65-70%; the undergrowth is less than 5%. The cover shrub layer is 10-15%: *Caragana arborescens*, *Sorbus sibirica* and *Rosa majalis*. The vegetation shrub layer is up to 30%: *Salix caprea*, *Viburnum opulus* and *Frangula alnus*. The grass layer is dominated by *Brachypodium pinnatum* 20-40%, *Carex macroura* - 10-25%, *Rubus saxatilis* - 5-10% and *Calamagrostis arundinacea* - 3-5%. The moss and lichen layer forms specimens on the fallen trees. Its projective cover is 1-5%. Species richness is 18-54 species per 625 m². In total, 151 species were discovered, including 9 weed and 24 adventive ones. **5. Birch-pine and pine grass forests.** The forest cover is 60-75%: *Pinus sylvestris* and *Betula pendula* (less than 10%). The cover of the undergrowth is 5%. The cover shrub layer is 1%: *Caragana arborescens* and *Sorbus sibirica*. The herb layer covers 50-60%, and in some plant communities up to 80%. It is represented by *Carex macroura* and *Calamagrostis arundinacea*. The layer of mosses is located in tree trunks and fallen trees; its projective cover reaches 40%. Species richness is 24-57 species per 625 m². We found 132 species, of them 6 are weed species and 21 are alien species. **6. Birch-pine bracken forests.** The forest cover is 65-70%: *Pinus sylvestris* is 40% and *Betula pendula* is 20-25%, in depressions *Betula pubescens* is encountered. The undergrowth is less than 1%. The cover shrub layer is 20-30%, in some plant communities it is up to 50%. It is represented by *Sorbus sibirica* and *Caragana arborescens*. The herbaceous layer cover is 80-85%. It is dominated by *Pteridium pinetorum*, its projective cover reaches 70%. There is a significant proportion of *Carex macroura* and *Brachypodium pinnatum*. Species richness is 13-58 species per 625 m². In this group, 154 species were identified, 5 of them are ruderal and 24 are adventive, the lowest result among the identified groups. A low proportion of weed and adventive species in the composition of grass allows us to characterize this group of vegetation as more resistant to anthropogenic pressures due to competitive abilities of *Pteridium pinetorum*. We should note correlation between the total number of all species, the number of natural flora species (0.87), and the number of ruderal species (0.81). This indicates that with a decrease in the total number of species, the number of natural flora species decreases.

Within the studied area, we determined 342 species of higher vascular plants: 66 ruderal species, 72 alien species, and 9 musci species. There was an increased degradation of vegetation closer to residential areas. On the territories of residential areas, we identified anthropogenically modified vegetation of birch-pine and pine-birch forests with a total area of 61 hectares, in which the proportion of natural flora species is 58%. We established that with a moderate anthropogenic load on birch-pine grass forests located in the development zone, the proportion of synanthropic species increases to 30%, which leads to an increase in the total number of species. Natural forests (birch-pine and pine sedge forests and birch-pine and pine tor-grass forests) with low anthropogenic influence are less susceptible to degradation. In the three groups (birch-pine and pine sedge forests, birch-pine and pine tor-grass forests and birch-pine and pine grass forests) the proportion of natural flora species is 87-89%. In birch-pine bracken forests, the proportion of natural flora species is 94%. Thus, forest vegetation, which is represented over large areas and less fragmented, is more resistant to invasions, and an increase in the number of ruderal species increases the total number of vegetation. Birch-pine bracken forests are most resistant to invasions.

The paper contains 3 Figures and 42 References.

Key words: urban forests; anthropogenic influence; adventive plants; synanthropic species; residential zone; Novosibirsk.

Funding: This work was partially supported by the RFBR (Grant No 16-05-00908 A) and conducted in the framework of base projects of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Project No VI.52.1).

Acknowledgments: We are grateful to researchers of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, MA Polyakova, Cand. Sci. (Biol.), for recommendations during the study, and NN Lashchinskiy, Dr. Sci. (Biol.), for valuable critical comments on the floristic composition of plant communities.

References

1. Burova NV, Feklistova PA. Antropogennaya transformatsiya prigorodnykh lesov [Anthropogenic transformation of suburban forests]. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University Publ.; 2007. 264 p. In Russian
2. Shergina OV, Mikhailova TA. Sostoyanie drevesnykh rasteniy i pochvennogo pokrova parkovykh i lesoparkovykh zon g. Irkutsk [Status of woody plants and soil in park and forest park zones of Irkutsk]. Irkutsk: VB Sochava Institute of Geography Publ.; 2007. 200 p. In Russian
3. Chernenkova TV. Reaktsiya lesnoy rastitel'nosti na promyshlennoe zagryaznenie [Reaction of forest vegetation to industrial pollution]. Moscow: Nauka Publ.; 2002. 119 p. In Russian
4. Malmivaara-Lämsä M, Hamberg L, Löfström I, Vanha-Majamaa I, Niemelä J. Trampling tolerance of understorey vegetation in different hemiboreal urban forest site types in Finland. *Urban ecosystems*. 2008;11:1-16.
5. Selochnik NN. Factors of forest ecosystem degradation. *Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie)*. 2008;5:52-60. In Russian
6. Shavnin SA, Veselkin DV, Vorobeichik EL, Galako VA, Vlasenko VE. Factors of the pine stands transformation in vicinities of Yekaterinburg. *Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie)*. 2015;5:346-355. In Russian, English Summary
7. *Dinamika ekosistem Novosibirskogo Akademgorodka* [Dynamics of ecosystems in Novosibirsk Akademgorodok]. Zhimulev IF, editor. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ.; 2013. 438 p. In Russian

8. Zubkus LP, Skvortsova AV, Kormacheva TN. Ozelenenie Novosibirsk [Lanscaping of Novosibirsk]. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ.; 1962. 340 p. In Russian
9. Taran IV, Spiridonov VN. Ustoychivost' rekreatsionnykh lesov [Stability of recreation forests]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1977. 179 p. In Russian
10. Elton CS. The ecology of invasions by animals and plants. London: Methuen; 1958. 181 p. doi: [10.1177/0309133307087089](https://doi.org/10.1177/0309133307087089)
11. Vila M, Pino J, Font X. Regional assessment of plant invasions across different habitat types. *Journal of Vegetation Science*. 2007;18:35-42. doi: [10.1111/j.1654-1103.2007.tb02513.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02513.x).
12. Brown RL, Peet RK. Diversity and invisibility of Southern Appalachian plant communities. *Ecology*. 2003;84(1):32-39. doi: [10.1890/0012-9658\(2003\)084\[0032:DAIOSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[0032:DAIOSA]2.0.CO;2).
13. Fridley JD, Brown RL, Bruno JE. Null models of exotic invasion and scale-dependent patterns of native and exotic species richness. *Ecology*. 2004;85(12):3215-3222. doi: [10.1890/03-0676](https://doi.org/10.1890/03-0676).
14. Mirkin BM, Naumova LG. The vegetation adventivisation through perspective of current ecological ideas. *Biology Bulletin Reviews*. 2002;63(6):506-508.
15. Okruzhayushchaya sreda i ekologicheskaya obstanovka v Novosibirskom Nauchnom Tsentre SO RAN [Environment and ecological situation at Novosibirsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences]. Ermikov VD, editor. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ.; 1995. 251 p. In Russian
16. Kessler M. Maximum plant-community endemism at intermediate intensities of anthropogenic disturbance in Bolivian montane forests. *Conservation Biology*. 2001;15:634-641. doi: [10.1046/j.1523-1739.2001.015003634.x](https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015003634.x)
17. Westphal C. Theoretische Gedanken und beispielhafte Untersuchungen zur Naturnähe von Wäldern im Staatlichen Forstamt Sellhorn (Naturschutzgebiet Lüneburger Heide). *Berichte des Forschungszentrums Waldoekosysteme/Waldsterben*. Göttingen: Universität Göttingen Publ.; 2001;174:1-189. In German
18. Deutschewitz K, Lausch A, Kühn I, Klotz S. Native and alien plant species richness in relation to spatial heterogeneity on a regional scale in Germany. *Global Ecology and Biogeography*. 2003;12:299-311. doi: [10.1046/j.1466-822X.2003.00025.x](https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00025.x)
19. Ewers RM, Didham RK. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews*. 2006;81:117-142. doi: [10.1017/S1464793105006949](https://doi.org/10.1017/S1464793105006949)
20. Didham RK, Lawton JH. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. *Biotropica*. 1999;31(1):17-30.
21. Pikvin VM, Chindyaeva LN. Ekologicheskaya infrastruktura sibirskogo goroda (na primere Novosibirskoy aglomeratsii) [Environmental infrastructure in Siberian cities (the example of Novosibirsk agglomeration)]. 2nd ed. Novosibirsk: Sibprint Publ.; 2005. 194 p. In Russian
22. Krylov GV. Lesa Zapadnoy Sibiri [Forests of West Siberia]. Kabanov NE, editor. Moscow: AS USSR Publ.; Publ.; 1961. 255 p. In Russian
23. Priroda Akademgorodka: 50 let spustya [Nature of Akademgorodok: 50 years later]. Zhimulev IF, editor. Novosibirsk: Publishing House SB RAS; 2007. 250 p. In Russian
24. Plant diversity of Central Siberian Botanical Garden, SB RAS. Koropachinskiy IYu, Banaev EV, editors. Novosibirsk: Academic Publishing House Geo Ltd; 2014. 492 p. In Russian, English Summary
25. Syso AI, Smolentsev BA, Yakimenko VN. The soil cover of Akademgorodok and its agroecological assessment. *Contemporary Problems of Ecology*. 2010;17(3):253-264. doi: [10.1134/S199542551003001X](https://doi.org/10.1134/S199542551003001X)
26. Agroklimaticheskie resursy Novosibirskoy oblasti [Agroclimatic resources of Novosibirsk region]. Chernikova MI, editor. Leningrad: Gidrometizdat Publ.; 1971. 155 p. In Russian

27. Luchitskaya IO, Belaya NI, Arbuzov SA. Klimat Novosibirska i ego izmeneniya [The Climate of Novosibirsk and its changes]. Novosibirsk: Publishing House SB RAS; 2010. 224 p. In Russian
28. Korchagin AA. Vidovoy (floristicheskiy) sostav rastitel'nykh soobshchestv i metody ego izucheniya [Species (floristic) composition of plant communities and methods of its study]. In: *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Vol. 3. Lavrenko EM and Korchagin AA, editors. Moscow-Leningrad: Nauka Publ.; 1964. pp. 39-62. In Russian
29. Cherepanov SK. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR) [Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR)]. St. Petersburg: Mir & Sem'ya-95 Publ.; 1995. 991 p. In Russian
30. Shmakov AI. Key for the ferns of Russia. 2nd ed. Barnaul: АРТИКА Publ.; 2009. 126 p. In Russian
31. Ignatov MS, Afonina OM, Ignatova EA, Abolina A, Akatova TV, Baisheva EZ, Bardunov LV, Baryakina EA, Belkina OA, Bezgodov AG, Boychuk MA, Cherdantseva VYa, Czernyadjeva IV, Doroshina GYa, Dyachenko AP, Fedosov VE, Goldberg IL, Ivanova EI, Jukoniene I, Kannukene L, Kazanovsky SG, Kharzinov ZKh, Kurbatova LE, Maksimov AI, Mamatkulov UK, Manakyan VA, Maslovsky OM, Napreenko MG, Otnyukova TN, Partyka LYa, Pisarenko OYu, Popova NN, Rykovsky GF, Tubanova DYa, Zheleznova GV, Zolotov VI. Check-list of mosses of East Europe and North Asia. *Arctoa*. 2006;15:1-130. doi: [10.15298/arctoa.15.01](https://doi.org/10.15298/arctoa.15.01).
32. Aleksandrova VD. Klassifikatsiya rastitel'nosti. Obzor printsipov klassifikatsii i klassifikatsionnykh sistem v razlichnykh geobotanicheskikh shkolakh [Classification of vegetation. An overview of the principles of classification and classification systems in different geobotanical schools]. Leningrad: Nauka Publ.; 1969. 275 p. In Russian
33. Pyšek P, Richardson DM, Rejmánek M, Webster GL, Williamson M, Kirschner J. Alien plant in checklist and floras: Towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon*. 2004;53(1):131-143.
34. Richardson DM, Pyšek P, Rejmanek M, Barbour MG, Panetta FD, West CJ. Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. *Diversity and definitions*. 2000;6:93–107.
35. Nikitin VV. Sornye rasteniya flory SSSR [Weed plants in the flora of the USSR]. Leningrad: Nauka Publ.; 1983. 454 p. In Russian
36. *Open Street Map project* [Electronic resource]. Available at: <http://www.openstreetmap.org/> (accessed 31.03.17).
37. Shmidt VM. Matematicheskie metody v botanike [Mathematical methods in botany]. Leningrad: Leningrad State University Publ.; 1984. 288 p. In Russian
38. Bray RJ, Curtis JT. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs*. 1957;27:325-349. Available at: <http://cescos.fau.edu/gawliklab/papers/BrayJRandJTCurtis1957.pdf> (accessed 31.03.17).
39. Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGlinn D, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MH, Szoecs E. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-2. Date 2017-01-17. [Electronic resource]. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf> (accessed 31.03.17).
40. Schloerke B, Crowley J, Cook D, Hofmann H, Wickham H, Briatte F, Marbach M, Thoen E, Elberg A, Larmarange J. GGally: Extension to 'ggplot2' R package Version 1.3.0. Date 2016-11-13. [Electronic resource]. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/GGally/GGally.pdf> (accessed 31.03.17).
41. Phillips NA. Companion to the e-Book «YaRrr!: The Pirate's Guide to R» R package Version 0.1.4. Date 2017-02-07. [Electronic resource]. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/yarrr/yarrr.pdf> (accessed 31.03.17).

42. Ershova EA. Anthropogenic transformation in suburban communities containing brakes (*Pteridium pinetorum*) in the grass stand. *Rastitel'nyj Mir Aziatskoj Rossii*. 2012;1(2):132-138. In Russian

*Received 06 June 2017; Revised 17 January 2018;
Accepted 27 February 2018; Published 30 March 2018*

Author info:

Otmakhov Yuri S, Cand. Sci. (Biol.), Junior Researcher, Laboratory of Ecology and Geobotany, Federal State Budgetary Institution of Science Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya Str., Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: otmachov@mail.ru

Chernikova Tatiyana S, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Laboratory of Ecology and Geobotany, Federal State Budgetary Institution of Science Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya Str., Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: hcernika@yandex.ru

Tretyakov Boris A, Student, Department of Botany, Institute of Biology, Tomsk State University, 36 Lenin Ave, Tomsk 634050, Russian Federation.

E-mail: temartret@yandex.ru