

ЭКОЛОГИЯ

УДК 582.29 (571.150-25)
doi: 10.17223/19988591/32/9

Е.В. Романова

Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Закономерности распространения лишайников по территории г. Барнаула (Западная Сибирь, Россия)

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект 14-04-31597 мол. а.

Выявлены основные закономерности распространения лишайников на городской территории – наибольшее видовое богатство отмечено для городских парков и соснового бора. При этом во всех изученных местообитаниях обнаружено высокое таксономическое разнообразие лишайников на коре древесных растений и низкое – на искусственных субстратах. Кроме того, в искусственных насаждениях наблюдалась смена некоторыми видами лишайников предпочитаемого субстрата. Анализ факторов, влияющих на разнообразие эпифитных лишайников, показал, что видовое богатство и обилие на пробной площадке демонстрируют наибольшую положительную корреляцию с высотой от основания ствола, а доля деревьев, не заселенных лишайниками, имеет максимальную положительную корреляцию с трафиком автотранспорта и максимальные отрицательные корреляции с высотой травянистого покрова и площадью зеленого насаждения. Результаты исследования свидетельствуют о том, что эпифитные лишайники претерпели негативные изменения не только в искусственных насаждениях в пределах жилых и промышленных районов города, но и в естественных фитоценозах пригородной зоны.

Ключевые слова: лишайники; лишенофлора; таксономическое разнообразие; распространение; лишеносинузии; Западная Сибирь.

Введение

Изучение разнообразия лишайников на урбанизированных территориях представляет большой интерес как в фундаментальном, так и в прикладном аспекте, однако данные о лишайниках для большинства крупных и малых городов Западной Сибири являются недостаточными и не позволяют выявить характерные для региона закономерности распространения этих организмов в городских условиях. Одним из таких слабо обследованных в лишенологическом отношении городов является Барнаул – к настоящему времени по литературным данным известно о находках 35 видов [1], и опубликован список лишайников в городских парках, содержащий 23 вида [2]. Эти сведения о лишайниках г. Барнаула являются явно не достаточными для

обоснованных выводов об их таксономическом разнообразии и закономерностях распространения по урбанизированной территории, поэтому цель данного исследования – дополнить имеющиеся литературные данные о лишайниках г. Барнаула и выявить закономерности их распространения на городской территории.

Материалы и методики исследования

Характеристика района исследования. Барнаул является административным центром Алтайского края, расположен в восточной части Приобского плато, в зоне лесостепи, на левом берегу р. Обь в устье р. Барнаулка. Географические координаты центра города: 53°20'49" с. ш., 83°46'37" в. д., абсолютная высота над уровнем моря колеблется от 130 до 250 м. Климат исследуемой территории резко континентальный, средняя температура января составляет –17,5°C, июля +19,8°C, среднегодовое количество осадков 477 мм, преобладающие направления ветра: южное, западное и юго-западное. Территория города составляет 322 км² и включает в себя пять административных районов: Железнодорожный, Индустриальный, Ленинский, Октябрьский, Центральный [3]. Население в 2013 г. – 632 848 человек [4]. Растительность Барнаула и его окрестностей относится к подзоне южной лесостепи. Коренная растительность представлена степными, лесными и пойменно-луговыми типами [5]. Однако практически во всех городских районах характерные для данных климатических условий фитоценозы заменены искусственными насаждениями со значительной долей древесных растений, интродуцированных из других регионов. Городская территория характеризуется высоким уровнем атмосферного загрязнения, при этом выбросы от автотранспорта составляют приблизительно половину суммарной эмиссии загрязняющих веществ [6].

Учет лишайников и сбор лишенологического материала проводились в течение полевого сезона 2013 г. в административных границах г. Барнаула (рис. 1). Обследованы все искусственные и естественные растительные сообщества на городской территории.

В насаждениях возле промышленных комплексов Октябрьского и Индустриального районов и в жилых кварталах Индустриального района лишайники не обнаружены. В естественных растительных сообществах (сосновый бор, пойменные ивово-тополевые заросли) заложено 11 пробных геоботанических площадей размером 40×40 м (4 – в сосновом бору на правом берегу р. Барнаулка, 2 – в пойме р. Барнаулка, 5 – в пойме р. Обь), на которых случайным образом выбирались пробные деревья по 10 экземпляров каждого вида. Если какой-либо форофит представлен менее чем десятью взрослыми экземплярами, учет эпифитных лишайников осуществлялся на самых крупных стволах в непосредственной близости пробной площади. В парках, скверах и других искусственных насаждениях древесные растения высажены рядами или моновидовыми группами, и метод пробных площадей не

позволил бы охватить все разнообразие форофитов, поэтому для учета эпифитных лишайников выбраны по 10 пробных стволов среди самых крупных экземпляров всех присутствующих видов древесных растений.

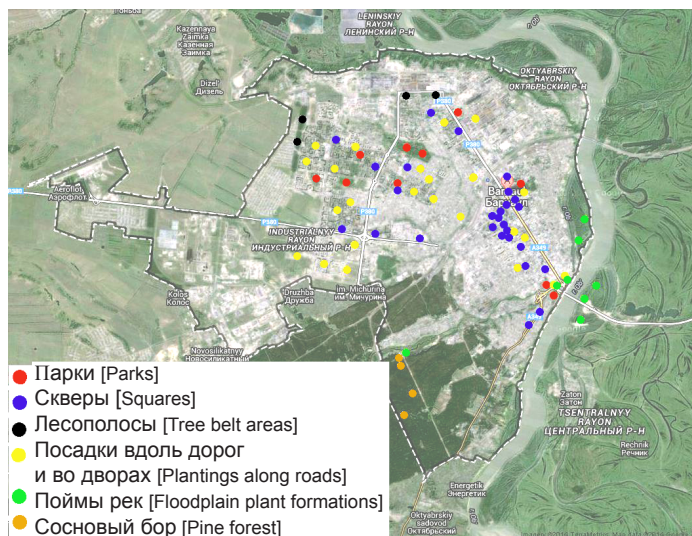


Рис. 1. Места учета эпифитных лишайников и сбора лихенологических образцов на территории г. Барнаула (источник топографической основы: <https://www.google.ru/maps>)
[Fig. 1. Registration and collection places of epiphytic lichens in Barnaul
 (Source of the topographic base: <https://www.google.ru/maps>)]

Если какой-либо вид представлен менее чем десятью экземплярами, в качестве пробных взяты все имеющиеся в данном местообитании стволы. Образцы лишайников собраны с древесных растений, относящихся к 25 видам (7 местных и 18 интродуцированных из других природных зон). На стволах ещё трех (*Picea abies* (L.) H. Karst., *P. obovata* Ledeb., *Syringa josikaea* J. Jacq.) лишайники не обнаружены ни в одном из обследованных местообитаний. На каждом пробном стволе на стороне с максимально развитым лишайниковым покровом закладывались по две учетные площадки размером 20×20 см – в нижней части ствола (на высоте около 0,3 м от комля) и на стволе (на высоте 1,2–1,3 м от комля). Встречаемость каждого вида лишайников оценивалась как процент площадок, на которых он присутствовал, от общего числа площадок, заложенных в данном сообществе. Обилие (проективное покрытие) оценивалось как для каждого вида отдельно, так и суммарное для всех лишайников на площадке. Для определения лихеносинузий использовались так называемые «верные виды», встречаемость которых равна или превышала 50%. Собранные образцы обработаны в Лаборатории низших растений ЦСБС СО РАН с использованием стандартных лихенологических методик. Всего обработано и депонировано в NS 1 200 гербарных образцов.

Для определения таксономической принадлежности лишайников использованы Определитель лишайников СССР [7] и Определитель лишайников России [8]. Виды из группы *Lecania cyrtella* (Ach.) Th.Fr. определены с использованием публикации R.R. Naesborg [9], посвященной таксономической ревизии этой группы. Спорные определения проверены в ноябре 2014 г. в ходе работы с образцами, депонированными в LE. Современные названия таксонов лишайников приведены по базе данных Mucobank [10]. В исследование включены также некоторые грибы, которые, по современным представлениям, считаются нелихенизированными, но традиционно входят в определители лишайников и региональные лихенологические сводки.

Для характеристики разнообразия лишайников в каждом обследованном сообществе использован индекс Шеннона–Уивера [11]. Уровень сходства лихенофлоры г. Барнаула с лихенофлорами других крупных городов Западной Сибири оценен с помощью асимметричных мер сходства (мер включения), позволяющих сравнивать таксономические списки различных размеров [12]. Помимо учета лишайников, оценивались показатели, характеризующие их местообитания и не требующие для измерения трудоемких методов или специального оборудования: диаметр ствола форوفита, высота, на которой заложена площадка (расстояние от комля), сомкнутость крон деревьев первого яруса, высота и проективное покрытие травянистого покрова, трафик автотранспорта в непосредственной близости каждого местообитания, площадь зеленой зоны и общее число видов древесных растений в ее пределах. Трафик автотранспорта является одной из ключевых характеристик местообитаний лишайников на городской территории. Если выбросы от стационарных источников загрязнения поступают в атмосферу на значительной высоте и поллютанты воздействуют на живые организмы после частичного преобразования и рассеивания, то выбросы от автотранспорта характеризуются максимальной концентрацией в приземном слое атмосферы и воздействуют на живые системы локально, в местах своего образования. От передвижных источников в приземный слой атмосферы поступают продукты высокотемпературного сгорания углеводов, в том числе сернистый газ и оксиды азота [13], являющиеся наиболее опасными для лишайников компонентами атмосферного загрязнения [14]. Для оценки трафика выбирались пятнадцатиминутные интервалы в периоды максимальной загрузки автомагистралей города (утренние и вечерние «часы пик»), на протяжении которых учитывались все единицы автотранспорта, пересекающие учетную точку (наиболее типичный участок дороги вне зоны пешеходного перехода и перекрестка). В случае если зеленая зона была окружена несколькими автодорогами, в расчётах использовался их суммарный трафик. Статистическая обработка полученных данных, характеризующих местообитания лишайников, осуществлялась в программе StatSoft STATISTICA for Windows 6.1.

Результаты исследования и обсуждение

Всего на территории г. Барнаула найден 151 вид лишайников из 24 семейств и 58 родов. Из 23 видов, опубликованных ранее для городских парков [3], два (*Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber и *Physcia tribacia* (Ach.) Nyl.) не найдены на обследованной городской территории и один (*Lecanora carpinea* (L.) Vain.) не выявлен в парках, но однократно отмечен в искусственных насаждениях на площади Октября («Зеленый сквер») на стволе клена ясенелистного (координаты местообитания 53°21'27.9" с. ш., 83°46'05.5" в. д.).

Лихенофлора г. Барнаула демонстрирует высокое сходство с обследованными ранее городскими территориями Западной Сибири: меры включения таксономического списка лишайников г. Барнаула в списки г. Новосибирска и г. Кемерово составляют 80 и 70% соответственно [15, 16].

Наибольшее видовое разнообразие лишайников зафиксировано для городских парков и соснового бора, расположенного в пределах административных границ города, а наименьшее – для искусственных насаждений в жилых кварталах (табл. 1). Наибольшие встречаемость, видовое богатство и обилие лишайников на учетных площадках выявлены в естественных фитоценозах. Древесные стволы, на которых лишайники не найдены даже в виде фрагментов слоевищ, выявлены на всех обследованных участках, включая естественные растительные сообщества, расположенные на удалении от источников загрязнения, хотя в этих местообитаниях их процент наименьший. При этом индекс Шеннона–Уивера, показывающий выравнированность сообщества и косвенно учитывающий долю редких видов в анализируемых лишайниковых группировках, одинаково невысокий как для естественных фитоценозов, так и для искусственных насаждений на городской и пригородной территориях – это дает основания заключить, что эпифитные лишайники претерпели существенные негативные изменения под действием антропогенных факторов во всех обследованных растительных сообществах.

Практически все виды кустистых лишайников отмечены в сосновом бору (рис. 2), только два найдены в пойменных сообществах (*Evernia mesomorpha* Nyl. и *Ramalina sinensis* Jatta) и один (*Evernia mesomorpha*) – в довольно крупных парках (Юбилейный, парк Целинников, «Лесная сказка»), где отмечен редко, в виде фрагментов слоевищ. В остальных искусственных насаждениях на территории города кустистые лишайники отсутствовали, а преобладающей группой являлись накипные. На территории г. Барнаула встречены лишайники, относящиеся к трем экологическим группам по отношению к влажности. Во всех изученных растительных сообществах преобладали мезофиты (рис. 3), но доля ксеромезофитов увеличивалась в искусственных насаждениях по сравнению с естественными. Наличие ксерофитов в том или ином местообитании определялось присутствием заселенных лишайниками искусственных субстратов, таких как бетон и штукатурка.

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

**Характеристики лишайниковых группировок в различных
растительных сообществах на территории г. Барнаула**
[Characteristics of lichen communities in different plant formations in Barnaul]

Характеристики лишайниковых группировок [Characteristics of lichen communities]	Сосновый бор [Pine forest]	Пойменные сообщества [Floodplain plant formations]	Парки [Parks]	Скверы [Squares]	Внутрикварталь- ные насаждения [Plantings in living areas]	Лесополосы [Tree belt areas]	Насаждения вдоль дорог [Plantings along roads]
Общее число видов лишайников в сообществе [Total number of lichen species in the plant formation]	85	58	92	60	16	30	30
Среднее число видов на площадке 20×20 см (мин-макс) [Average number of species on the 20×20 cm plot (min-max)]	5,4 (0–25)	5,8 (0–17)	3,1 (0–21)	1,9 (0–16)	2 (0–6)	2,4 (0–14)	1,4 (0–10)
Среднее проективное покрытие (мин-макс) [Average projective cover (min-max)]	26 (0–88)	25,7 (0–94)	8,8 (0–84,5)	2,9 (0–41)	3,4 (0–12,3)	4,2 (0–34,5)	2 (0–25)
Доля деревьев без лишайников, % [Proportion of lichen-free trees, %]	8,7	23	39,1	55,2	47,1	47,8	72,1
Индекс Шеннона [The Shannon entropy]	1,39	1,76	1,44	1,3	1,24	1,3	1,13

Среди обследованных субстратов, пригодных для поселения лишайников, наибольшее число видов во всех фитоценозах отмечено на коре лиственных древесных растений (табл. 2, 3). Видовое богатство и обилие лишайников на коре хвойных деревьев резко снижалось в парках и скверах по сравнению с сосновым бором, а в других искусственных насаждениях лишайники на этом субстрате отсутствовали. Сходные закономерности распределения лишайников по форофитам в пригородных сосновых борах и городских насаждениях известны и для других территорий Западной Сибири [15, 16]. Что касается смешанных лесных массивов других регионов, наибольшее видовое богатство лишайников отмечается как на листопадных древесных растениях [17, 18], так и на хвойных [19].

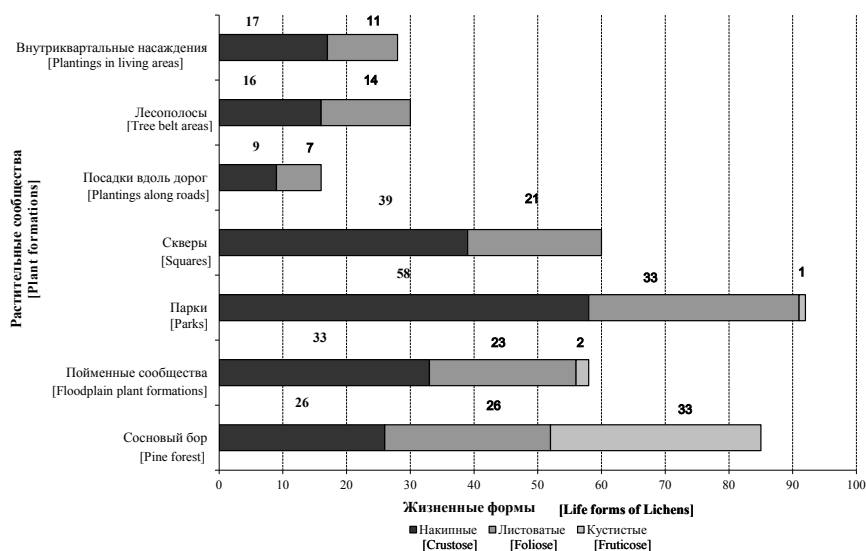


Рис. 2. Спектр жизненных форм лишайников в естественных и искусственных насаждениях г. Барнаула
 [Fig. 2. Range of lichen life-forms in native and artificial plantings in Barnaul]

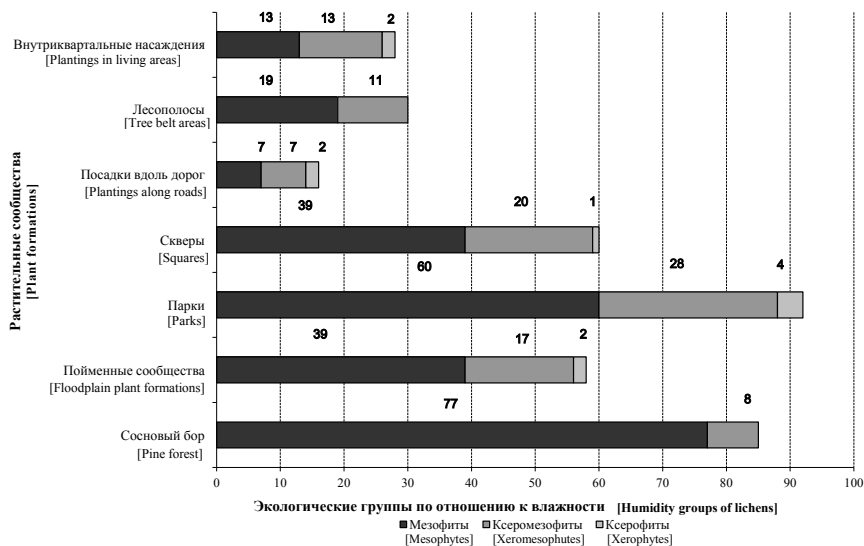


Рис. 3. Экологические группы лишайников по отношению к влажности в естественных и искусственных насаждениях г. Барнаула
 [Fig. 3. Humidity groups of lichens in native and artificial plantings in Barnaul]

Анализ распределения эпифитных видов по форофитам показал, что наиболее предпочитаемым субстратом в городских условиях является кора березы (*Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh.) и тополя бальзамического

(*Populus balsamifera* L.). Напочвенные лишайники выявлены только в одном местообитании – на крутом песчаном склоне надпойменной террасы р. Барнаулка неподалеку от бывшей парковой зоны «Лесной пруд», где сохранились фрагменты сосняка-беломошника (координаты местообитания: 53°18'19.6" с. ш., 83°43'13" в. д.). На других обследованных участках соснового бора эпигейные виды не обнаружены.

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

**Распределение лишайников по субстратам
в растительных сообществах на территории г. Барнаула**
[Distribution of lichens according to substrates within plant formations in Barnaul]

Субстрат [Substrate]	Число видов [Number of species]						
	Сосновый бор [Pine forest]	Пойменные сообщества [Floodplain plant formations]	Парки [Parks]	Скверы [Squares]	Внутриквартальные насаждения [Plantings in living areas]	Лесополосы [Tree belt areas]	Насаждения вдоль дорог [Plantings along roads]
Всего на коре лиственных древесных растений [Total on the bark of deciduous woody plants]	42	54	84	59	13	30	21
Всего на коре хвойных древесных растений [Total on the bark of coniferous woody plants]	38	–	27	20	0	0	9
Почва [Soil]	21	0	0	0	0	0	0
Валежник и пни [Fallen deadwood and stumps]	26	0	6	2	0	0	0
Плодовое тело трутовика [<i>Polyporus</i> fruit body]	0	0	0	2	0	0	0
Обработанная древесина [Manufactured wood]	–	–	13	0	1	0	0
Бетон [Concrete]	–	3	8	2	4	0	0
Штукатурка [Plaster]	–	–	2	0	0	–	2
Хлопчатобумажная ткань [Cotton fabric]	–	2	0	–	–	–	–

Примечание. «–» данный субстрат отсутствовал в растительном сообществе.

[Note. “–” the substrate wasn’t present in the plant formation].

Т а б л и ц а 3 [Table 3]

**Распределение лишайников по видам форофитов
в растительных сообществах на территории г. Барнаула**
[Distribution of lichens according to tree species within plant formations in Barnaul]

Форофит [Phorophyte]	Число видов [Number of species]						
	Сосновый бор [Pine forest]	Пойменные сообщества [Floodplain plant formations]	Парки [Parks]	Скверы [Squares]	Внутриквартальные насаждения [Plantings in living areas]	Лесополосы [Tree belt areas]	Насаждения вдоль дорог [Plantings along roads]
<i>Acer ginnala</i> Maxim.	–	–	29	28	0	–	0
<i>A. negundo</i> L.	–	36	44	39	5	–	4
<i>A. tataricum</i> L.	–	–	12	12	–	–	–
<i>Betula pendula</i> Roth + <i>B. pubescens</i> Ehrh.	25	–	54	41	0	30	18
<i>Elaeagnus argentea</i> Pursh	–	–	22	20	–	–	–
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	–	–	37	35	0	–	–
<i>Juglans mandshurica</i> Maxim.	–	–	35	32	–	–	0
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	–	–	12	12	0	–	1
<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.	–	28	34	28	0	0	0
<i>Padus maackii</i> (Rupr.) Kom.	–	–	10	0	0	–	0
<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	–	–	13		0	–	–
<i>P. sylvestris</i> L.	39	–	19	16	0	–	9
<i>Populus balsamifera</i> L.	42	43	57	44	12	0	14
<i>P. nigra</i> L.	–	35	34	32	–	8	–
<i>P. alba</i> L.	–	11	11	11	0	–	0
<i>P. laurifolia</i> Ledeb.	–	–	2	2	–	–	–
<i>Quercus robur</i> L.	–	–	17	17	–	–	–
<i>Salix alba</i> L.	–	42	41	35	0	–	0
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	0	–	17	17	0	–	0
<i>Syringa amurensis</i> Rupr.	–	–	7	–	–	–	–
<i>S. vulgaris</i> L.	–	–	0	5	0	–	0
<i>Tilia cordata</i> Mill.	–	–	34	31	0	–	0
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	–	27	29	28	0	0	3
<i>U. pumila</i> L.	–	–	29	27	0	–	0

Примечание. «–» данный субстрат отсутствовал в растительном сообществе.

[Note. “–” the substrate wasn’t present in the plant formation].

Вероятно, их отсутствие в сосновом бору на городской территории связано не с атмосферным загрязнением, а с интенсивной рекреационной нагрузкой, которой подвергается этот фитоценоз, – на обследованных участках обнаружена плотная тропиночная сеть, и травянистый покров частично вытоптан. Отмечены два интересных факта поселения лишайников на нехарактерных для них субстратах. В ивово-тополево сообществе в пойме р. Обь неподалеку от автомагистрали М52 два вида лишайников (*Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr. и *Lecanora hagenii* (Ach.) Ach.) найдены на ткани старых джинсовых брюк, лежащих на почве на открытом солнечном месте (координаты: 53°19'21,6" с. ш., 83°48'43" в. д.).

Данное местообитание сохранено в неизменном виде, в качестве гербарного образца взят лишь небольшой фрагмент субстрата. Второе необычное местообитание для лишайников зафиксировано на территории Нагорного парка: два эпилитных вида (*Verrucaria deversa* Vain. и *V. nigrescens* Pers.) отмечены на побеленной бетонной лестнице поверх слоя извести (координаты: 53°19'29" с. ш., 83°47'44,9" в. д.). В целом на искусственных субстратах зафиксировано довольно низкое видовое разнообразие: как правило, лишайники на бетоне и штукатурке поселялись под древесным пологом в парках и лесных массивах и практически отсутствовали на большей части городской территории в районах многоэтажной застройки. На металлических, стеклянных и пластиковых поверхностях лишайники не найдены ни в одном из обследованных местообитаний, а шиферные кровли жилых и административных зданий обследовать не удалось. Поскольку в городах с более мягким морским климатом искусственные субстраты заселяются лишайниками довольно активно даже в условиях интенсивной урбанизации [20, 21], можно предположить, что резко континентальный климат исследуемого региона является одной из основных причин низкого разнообразия лишайников на бетоне, штукатурке, стеклянных и металлических поверхностях.

Доминанты и верные виды лихеносинузий в различных фитоценозах на территории г. Барнаула приведены в табл. 4. Сведения о трансформации эпифитных лихеносинузий в естественных насаждениях и искусственных посадках на территории г. Барнаула вполне согласуются с данными, полученными для других городов [22, 23]: по мере усиления антропогенного воздействия происходит выпадение из лихеносинузий чувствительных видов семейства Parmeliaceae и их замещение сравнительно устойчивыми видами семейства Physciaceae. Другим механизмом трансформации лихеносинузий является смена лишайниками предпочитаемого субстрата в искусственных насаждениях по сравнению с естественными. В городских парках и скверах на коре сосны развивались лишайниковые группировки, характерные для коры лиственных древесных растений, с доминантами: *Physcia dubia* (Hoffm.) Lettau, *Ph. stellaris* (L.) Nyl. и сопутствующими видами: *Lecania cyrtellina* (Nyl.) Sandst., *Caloplaca cerina* (Ehrh. ex Hedw.) Th.Fr., *C. holocarpa* (Hoffm. ex Ach.) A.E. Wade и *Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau. В искусственных на-

саждениях вдоль ул. Исакова на коре сосны однократно найден лишайник *Naetrocymbe punctiformis* (Pers.) R.C. Harris, который не является обычным для данного субстрата (координаты местообитания: 53°22'03,6" с. ш., 83°40'18,1" в. д.). Замена типичных лишеносинузий на коре сосны нехарактерными для данного субстрата видами наблюдалась и в других городах Западной Сибири, где это явление выражено сильнее. Например, на территории Новосибирска на коре сосны замену видов из семейства Parmeliaceae лишайниками *Physcia stellaris*, *Ph. dubia* и *Lecania cyrtellina* можно наблюдать уже в искусственных сосновых массивах на значительном расстоянии от источников загрязнения, а в парках и скверах лишайники на этом субстрате отсутствовали [22].

Т а б л и ц а 4 [Table 4]

Доминанты и верные виды лишайниковых группировок в различных растительных сообществах на территории г. Барнаула
[Dominants and true species in lichen communities within different plant formations in Barnaul]

Таксон [Taxon]	Сосновый бор [Pine forest]	Пойменные сообщества [Floodplain plant formations]	Парки [Parks]	Скверы [Squares]	Внутриквартальные насаждения [Plantings in living areas]	Лесополосы [Tree belt areas]	Насаждения вдоль дорог [Plantings along roads]
<i>Caloplaca cerina</i> (Hedw.) Th. Fr.	+	T	T	T	+	+	+
<i>C. flavorubescens</i> (Huds.) J.R. Laundon	+	+	T	+	–	+	–
<i>C. holocarpa</i> (Hoffm.) A.E. Wade	+	T	T	T	+	+	+
<i>Candelariella aurella</i> (Hoffm.) Zahlbr.	–	+	T	T	+	+	+
<i>C. xanthostigma</i> (Pers. ex Ach.) Lettau	–	T	T	T	–	T	+
<i>Flavopunctelia</i> <i>soredica</i> (Nyl.) Hale	T,D	T	T	+	+	+	+
<i>Physciella chloantha</i> (Ach.) Essl.	+	+	T	T	–	–	+
<i>Hypocenomyce</i> <i>scalaris</i> (Ach. ex Lilj.) M. Choisy	T	–	–	–	–	–	–
<i>Hypogymnia</i> <i>physodes</i> (L.) Nyl.	T	–	+	–	–	–	–
<i>Lecania cyrtellina</i> (Nyl.) Sandst.	+	+	+	+	+	T	+
<i>Lecanora</i> <i>chlarotera</i> Nyl.	–	+	T	T	–	+	–
<i>L. symmicta</i> (Ach.) Ach.	T	–	T	+	–	+	–

Окончание табл. 4 [Table 4 end]

Таксон [Taxon]	Сосновый бор [Pine forest]	Пойменные сообщества [Floodplain plant formations]	Парки [Parks]	Скверы [Squares]	Внутриквартальные насаждения [Plantings in living areas]	Лесополосы [Tree belt areas]	Насаждения вдоль дорог [Plantings along roads]
<i>Opegrapha rufescens</i> Pers.	–	–	T	+	–	D	–
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	D	+	+	+	–	+	–
<i>Phaeophyscia hirsuta</i> (Mereschk.) Essl.	T	+	+	+	–	–	–
<i>Ph. nigricans</i> (Flörke) Moberg	T	T,D	T	T	+	+	+
<i>Ph. orbicularis</i> (Neck.) Moberg	–	T,D	T,D	T,D	+	+	T
<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Fűrnr.	+	T	+	+	–	+	–
<i>Ph. dubia</i> (Hoffm.) Lettau	+	T,D	T,D	+	–	T	+
<i>Ph. stellaris</i> (L.) Nyl.	+	T	T,D	T,D	+	D	+
<i>Ph. tenella</i> (Scop.) DC.	T	T	T	+	–	+	+
<i>Rinodina pyrina</i> (Ach.) Arnold	+	+	T	T	–	D	+
<i>R. sophodes</i> (Ach.) A. Massal.	–	+	+	+	–	+	+
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i> (Graewe ex Stenh.) Vezda	T	–	–	–	–	–	–
<i>Usnea hirta</i> (L.) Weber ex F.H. Wigg.	T	–	–	–	–	–	–
<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th. Fr.	–	T	T	+	–	–	–
<i>X. parietina</i> (L.) Beltr.	–	T	T	+	+	+	+

Примечание. D – доминант (встречаемость выше 50%, максимальное проективное покрытие); T – верный вид (встречаемость выше 50 %, проективное покрытие низкое); «+» – вид найден в сообществе, но имел низкие встречаемость и проективное покрытие; – вид не выявлен.

[Note. D - dominant (frequency of occurrence is more than 50%, projective cover is maximal), T - true species (frequency of occurrence is more than 50%, projective cover is low), + the species was present in the plant formation with low frequency of occurrence and projective cover, – the species wasn't found in the plant formation]

Анализ факторов, влияющих на разнообразие эпифитных лишайников, показал, что видовое богатство и проективное покрытие на пробной площадке зависели как от параметров форофита (высота уровня поселения лишайников на стволе, диаметр ствола), так и от свойств растительного со-

общества (сомкнутость крон, высота и проективное покрытие травянистого покрова, видовое разнообразие древесных растений в сообществе и его площадь), а также от трафика автотранспорта (табл. 5). При этом высота от основания ствола являлась наиболее значимым фактором, определяющим видовое разнообразие и обилие лишайников на пробной площадке, – оба этих показателя статистически значимо выше на площадках, заложенных на уровне 1,3 м, по сравнению с площадками, заложенными в нижней части ствола. Возможно, подобный результат есть следствие того, что почти во всех районах города практикуется побелка древесных стволов известью до высоты 0,7–1 м от комля, что препятствует развитию эпифитных лишайников в нижней части ствола.

Т а б л и ц а 5 [Table 5]

Коэффициент корреляции Спирмена
[Spearman correlation coefficient]

Показатель	Н	D	T	CD	HC	CC	N	S
Число видов лишайников на пробной площадке 20×20 см [Number of lichen species on the 20×20 cm sample plot]	0,44	0,15	–0,19	0,15	0,22	0,07	0,05	0,27
Общее проективное покрытие лишайников на пробной площадке 20×20 см [Total projective cover on the 20×20 cm sample plot]	0,42	0,19	–0,21	0,16	0,24	0,08	0,05	0,28
Доля древесных стволов без лишайников [Proportion of lichen-free tree stems]	<i>–0,001</i>	<i>–0,04</i>	0,35	<i>–0,24</i>	–0,47	<i>–0,18</i>	<i>–0,12</i>	–0,61

Примечание. Н – высота от комля; D – диаметр ствола; T – трафик автотранспорта; CD – сомкнутость крон; HC – высота травянистого покрова; CC – проективное покрытие травянистого покрова; N – число видов древесных растений; S – площадь зеленой зоны; статистически незначимые отличия ($p > 0,05$) выделены курсивом, максимальные значения – жирным шрифтом.

[Note. H - height from the stem-base, D - diameter of the stem, T - traffic of motor vehicles, CD - crown density, HC - height of carpet plants, CC - projective cover of carpet plants, N - number of woody plant species, S - dimension of the planting; insignificant values ($p > 0.05$) are italicized, maximal values are in bold].

Доля деревьев, не заселенных лишайниками, также зависит от всех перечисленных характеристик, за исключением высоты уровня поселения лишайников (достоверная корреляция не выявлена), а самыми значимыми факторами являются трафик (по мере увеличения трафика возрастает доля стволов без лишайников), высота травянистого покрова и площадь зеленой зоны (встречаемость лишайников возрастала по мере увеличения высоты травянистого покрова и размеров насаждения).

Заключение

Результаты исследования существенно дополняют литературные данные о лишайниках г. Барнаула и позволяют выявить закономерности их распространения. В городских условиях уменьшаются разнообразие и обилие лишайников, происходит смена доминантов и верных видов в лишеносинузиях, некоторые виды поселяются на несвойственном им субстрате. При этом негативные изменения лишайниковых группировок можно наблюдать не только в искусственных насаждениях, но и в естественных лесных массивах пригородной зоны. Показатели, характеризующие разнообразие лишайников, демонстрировали максимальные корреляции с уровнем поселения (расстоянием от комля), высотой травянистого покрова, площадью зеленой зоны и трафиком автотранспорта.

Автор выражает благодарность сотруднику лаборатории низших растений ЦСБС СО РАН Р.Е. Романову за помощь при полевых исследованиях, представителям администрации парков г. Барнаула за любезное разрешение на сбор лишенологических образцов, а также сотрудникам лаборатории лишенологии и биологии БИН РАН за консультации и замечания.

Литература

1. Стась Е.Ю., Терехина Т.А. Влияние города Барнаула на состояние эпифитных лишайниковых синузий // Флора и растительность Алтая: Труды Южно-Сибирского ботанического сада. Барнаул, 1999. Т. 4, вып. 1. С. 11–18.
2. Скачко Е.Ю. Лишайники степной и лесостепной зон Алтайского края и их использование для биоиндикации состояния окружающей среды : дис. ... канд. биол. наук. Барнаул : Алтайский государственный университет, 2003. 258 с.
3. Барнаул. Научно-справочный атлас / под ред. В.С. Ревякина. 2-е изд. Новосибирск : ПО Инжгеодезия, 2007. 112 с.
4. Алтайский край. Предварительная оценка численности населения на 1 января 2014 года и в среднем за 2013 год. URL: http://akstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/akstat/resources (архивировано из первоисточника: 10.01.2015).
5. Олькова О.А. Урбанофлора г. Барнаула и его окрестностей // Региональное природопользование и экологический мониторинг. Барнаул, 1996. С. 265–267.
6. О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году: Государственный доклад Федерального центра геоэкологических систем по заказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. С. 363. URL: <http://www.ecogosdoklad.ru/2013/Default.aspx> (архивировано из первоисточника: 10.01.2015).
7. Определитель лишайников СССР / под ред. И.И. Абрамова. Л., 1971. Вып. 1. 411 с.; 1974. Вып. 2. 283 с.; 1973. Вып. 3. 275 с.; 1977. Вып. 4. 343 с.; 1978. Вып. 5. 304 с.
8. Определитель лишайников России / под ред. Н.С. Голубковой. СПб. : Наука, 1996. Вып. 6. 202 с.; 1998. Вып. 7. 165 с.; 2003. Вып. 8. 275 с.; 2004. Вып. 9. 338 с.; 2008. Вып. 10. 515 с.
9. Naesborg R.R. Taxonomic revision of the *Lecania cyrtella* group based on molecular and morphological evidence // Mycologia. 2008. Vol. 100, № 3. P. 397–416.
10. Mycobank. URL: www.mycobank.org (дата обращения: 25.12.2014).

11. Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana, 1963. P. 53–54.
12. Сёмкин Б.И., Орешко А.П., Гориков М.В. Об использовании биоинформационных технологий в сравнительной флористике. II : Меры включения дескриптивных множеств и их использование // Бюллетень БСИ ДВО РАН. 2009. Вып. 4. С. 58–70.
13. Матерна Я. Воздействие атмосферного загрязнения на природные экосистемы // Загрязнение воздуха и жизнь растений / под ред. М. Трешоу. Л. : Гидрометеиздат, 1988. С. 436–459.
14. Van Dobben H.F., Wolterbeek H.Th., Wamelink G.W.W., Ter Braak C.J.F. Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants // Environmental Pollution. 2001. Vol. 112, iss. 2. P. 163–169.
15. Романова Е.В. Лишайники города Кемерово (Западная Сибирь) // Растительный мир Азиатской России. 2011. № 1. С. 9–16.
16. Романова Е.В., Седельникова Н.В. Лишайники – биоиндикаторы атмосферного загрязнения Новосибирской городской агломерации. Новосибирск : Гео, 2010. 99 с.
17. Евстигнеева А.С. Материалы к лишенофлоре Республики Татарстан // Фундаментальные исследования. Биологические науки. 2008. № 8. С. 18–24.
18. Шаяхметова З.М. Лишайники основных лесов Предуралья (Пермский край) // Живые и биокосные системы. Электронное периодическое издание ЮФУ. 2014. № 6. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-6/article-1> (архивировано из первоисточника: 20.06.2015).
19. Пауков А.Г., Михайлова И.Н. Лишайники природного парка «Самаровский Чугас» (Тюменская область) // Новости систематики низших растений. 2011. Т. 45. С. 202–212.
20. Малышева Н.В. Лишайники Санкт-Петербурга // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. Сер. 3. Т. 79. СПб., 2003. 97 с.
21. Nascimbene J., Salvadori O., Nimis P.L. Monitoring lichen recolonization on a restored calcareous statue // Science of the total environment. 2009. № 407. P. 2420–2426.
22. Romanova E.V. Lichen Synusiae in Forest and Park Communities of Novosibirsk // Contemporary Problems of Ecology. 2009. Vol. 2, № 6. P. 1–7.
23. Романова Е.В. Лишайники – биоиндикаторы атмосферного загрязнения г. Кемерово // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 203–204.

Поступила в редакцию 15.01.2015 г.; повторно 27.05.2015 г.; принята 15.10.2015 г.

Романова Екатерина Владимировна – канд. биол. наук, н.с. лаборатории низших растений Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск, Россия).
E-mail: korr@ngs.ru

Romanova E.V. Trends of lichen distribution in Barnaul (West Siberia, Russia). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2015;4(32):162–179. doi: 10.17223/19988591/32/9. In Russian, English summary

Ekaterina V. Romanova

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

Trends of lichen distribution in Barnaul (West Siberia, Russia)

The aim of this work was to update the published data on lichens and to assess trends of lichen distribution in Barnaul. We registered and collected lichens in all

plant formations within Barnaul city-line in 2013. All substrates were examined for the presence of lichens; epiphytic lichens were collected from 10 biggest trees of each species found within artificial planting or on 40×40m plot within native plant formation (a total of 7 native tree species and 18 introduced tree species were examined). We measured lichen species frequency and abundance (projective cover) for epiphytes only (including crustose) on 20×20 cm plots, which had been based on the side with maximal lichen covering on 2 steam levels: near the steam base (up to 0.3 m) and 1.2-1.3 m height. Statistical estimates were assessed with StatSoft STATISTICA for Windows 6.1. Lichen diversity was assessed with Shannon entropy and the measures of inclusion.

A total of 151 species of lichens and lichenicolous fungi of 24 families and 58 genera were found within the examined area. Lichen checklist of Barnaul was similar to checklists of other Siberian big cities (up to 80% of similarity). The most of lichen species diversity was found in pine forests and parks and the least lichen species richness and abundance were in artificial planting within living districts. Communities of epiphytic lichens degraded under human impact both in native planting located at a distance from emission sources and in artificial planting near factories and roads. Crustose lichens had the largest percentage in species lists of all plant formations. Fruticose lichens were found in pine forests, mainly. The proportion of mesophytes was maximal in all of localities and the presence of xerophytes depended on artificial substrates within a plant community (mainly concrete or plaster). Deciduous tree bark was the most lichen-covered substrate (up to 84 lichen species) in all studied localities. The most lichen species richness was noted on the bark of the birch (*Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh.) and the poplar (*Populus balsamifera* L.). Lichens on soil (21 species) were found only once within pine forest plot located on a stiff slope of the Barnaulka river normal flood plain terrace (53°18'19.6"N 83°43'13"E). Total of 10 lichen species was found on artificial substrates. Twice these were substrates unusual for lichens: 2 species were investigated on cotton dress material located on soil of the Ob' riverside (53°19'21,6"N 83°48'43"E) and 2 species were found on white-lime covered surface (53°19'29"N 83°47'44,9"E). Epiphytic lichen communities changed under human impact. Parmeliaceae species degraded and were replaced by Physciaceae species. Lichen communities usual for deciduous tree bark with dominating *Physcia dubia* (Hoffm.) Lettau, *Physcia stellaris* (L.) Nyl. and codominating *Lecania cyrtellina* (Nyl.) Sandst., *Caloplaca cerina* (Ehrh. ex Hedw.) Th.Fr., *Caloplaca holocarpa* (Hoffm. ex Ach.) A.E. Wade, *Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau replaced common for pine lichen communities with dominating *Flavopunctelia soledica* Hale, *Parmelia sulcata* Taylor, *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. and survived on pine stems (*Pinus sylvestris* L.) in artificial planting. *Naetrocymbe punctiformis* (Pers.) R.C. Harris was found on pine bark within a single locality in planting along Isakova avenue (53°22'03,6"N 83°40'18,1"E). Lichen species richness and projective cover on a plot had the maximal positive correlations with the height of habitation (from the stem base). The percentage of lichen-free stems had the maximal positive correlation with the traffic of motor vehicles and the maximal negative correlations with the height of carpet plants and dimension of the green zone.

Acknowledgments: The reported study was partially supported by the grant RFBR № 14-04-31597-mol_a.

The author thanks RE Romanov (the Laboratory of Cryptogamous Plants, Central Siberian Botanical Garden of the SB RAS Novosibirsk, Russia) for assistance in field studies, managers of city parks in Barnaul for permission to collect lichens and researchers of the Laboratory of Lichenology and Bryology (Komarov Botanical Institute of the RAS, Saint Petersburg) for consulting and comments.

The article contains 3 Figures, 5 Tables, 23 References.

Key words: lichens; lichen flora; taxonomical diversity; distribution; lichen sinusia; West Siberia.

References

1. Stas' EYu, Terekhina TA. Vliyanie goroda Barnaula na sostoyanie epifitnykh lishaynikovyykh sinuziy [Influence of Barnaul city on the condition of epiphytic lichen communities]. In: *Flora i rastitel'nost' Altaya*. Trudy yuzhno-sibirskogo botanicheskogo sada [Flora and vegetation of the Altai. Proc. of the South-Siberian Botanical Garden]. Barnaul. 1999;4(1):11-18. In Russian
2. Skachko EYu. Lishayniki stepnoy i lesostepnoy zon Altayskogo kraya i ikh ispol'zovanie dlya bioindikatsii sostoyaniya okruzhayushchey sredy [Lichens of steppe and forest-steppe zones of Altai Region and their applying for environmental bioindication. Cand. Sci. Dissertation, Botany]. Barnaul: Altai State University Publ.; 2003. 258 p. In Russian
3. Barnaul. Nauchno-spravochnyy atlas [Barnaul. Atlas of scientific information]. 2nd ed. Revyakin VS editor. Novosibirsk: PO Inzhgeodeziya; 2007. 112 p. In Russian
4. Altayskiy kray. Predvaritel'naya otsenka chislennosti naseleniya na 1 yanvarya 2014 goda i v srednem za 2013 god [Altai Region. Preliminary estimation of population as of 01.01.2014 and the average for 2013] [Electronic resource]. Available at: http://akstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/akstat/resources/ (accessed 10.01.2015).
5. Ol'kova OA. Urbanoflora g. Barnaula i ego okrestnostey [The urban flora of Barnaul and its suburbs]. In: *Regional'noe prirodopol'zovanie i ekologicheskii monitoring*. Materialy nauch. konf. [Regional environmental management and ecological monitoring. Proc. of the Sci. Conf.]. Barnaul. 1996. pp. 265-267. In Russian
6. O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2013 godu. Gosudarstvennyy doklad Federal'nogo tsentra geoekologicheskikh sistem po zakazu Ministerstva prirodnikh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii [On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2013. State Report of the Federal Center for geoenvironmental systems commissioned by the Ministry of Natural Resources and Environment] [Electronic resource]. Available at: <http://www.ecogosdoklad.ru/2013/Default.aspx> (accessed 10.01.2015) In Russian
7. Opredelitel' lishaynikov SSSR [Handbook of lichens of the USSR]. Vol. 1. Abramov II, editor. Leningrad: Nauka Publ.; 1971. 411 p.; Vol. 2. Abramov II, editor. Leningrad: Nauka Publ.; 1974. 283p.; Vol. 3. Abramov II, editor. Leningrad: Nauka Publ.; 1975. 275p.; Vol. 4. Abramov II, editor. Leningrad: Nauka Publ.; 1977. 343p. Vol. 5. Abramov II, editor. Leningrad: Nauka Publ.; 1978. 304 p. In Russian
8. Opredelitel' lishaynikov Rossii [Handbook of lichens of Russia]. Vol. 6. Golubkova NS, editor. St. Petersburg: Nauka Publ.; 1996. 202 p.; Vol. 7. Golubkova NS, editor. St. Petersburg: Nauka Publ.; 1998. 165 p.; Vol. 8. Golubkova NS, editor. St. Petersburg: Nauka Publ.; 2003. 275 p.; Vol. 9. Golubkova NS, editor. St. Petersburg: Nauka Publ.; 2004. 338 p.; Vol. 10. Golubkova NS, editor. St. Petersburg: Nauka Publ.; 2008. 515 p. In Russian
9. Naesborg RR. Taxonomic revision of the *Lecania cyrtella* group based on molecular and morphological evidence. *Mycologia*. 2008;100(3):397-416. PMID: 18751548
10. Mycobank [Electronic resource]. Available at: www.mycobank.org (accessed 25.12.2014).
11. Shannon CE, Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press; 1963. pp. 53-54.
12. Semkin BI, Oreshko AP, Gorshkov MV. On the use of bioinformation technologies in comparative floristic studies. II. Measures of inclusion of descriptive sets and their application. *Byulleten' botanicheskogo sada-institutu Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*. 2009;4:58-70. In Russian, English summary

13. Materna Ya. Impact of air pollution on natural ecosystems. Air pollution and plant life. Bell JNB, Treshow M, editors. Chichester: John Wiley&Sons Ltd; 1988 (reprinted April 2003). pp. 436-459. In Russian
14. Van Dobben HF, Wolterbeek HTH, Wamelink GWW, Ter Braak CJF. Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. *Environmental Pollution*. 2001;112(2):163-169. doi: [10.1016/S0269-7491\(00\)00121-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00121-4)
15. Romanova EV. Lichens of Kemerovo (West Siberia). *Rastitel'nyy mir Aziatskoj Rossii*. 2011;1(1):9-16. In Russian, English summary
16. Romanova EV, Sedel'nikova NV. Lishayniki - bioindikatory atmosfernogo zagryazneniya Novosibirskoy gorodskoy aglomeratsii [Lichens as bioindicators of atmospheric pollution of Novosibirsk city agglomeration]. Novosibirsk: Geo Publ.; 2010. 99 p. In Russian
17. Yevstigneyeva AS. Materialy k likhenoflore respubliki Tatarstan [Materies ad lichenofloram of Republic of Tatarstan]. *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental Research*. 2008;8:18-24. In Russian
18. Shayakhmetova Z.M. Lishayniki sosnovykh lesov Predural'ya (Permskiy kray) [Pine forests's lichens of Ural foothills (Perm region)]. *Zhivye i biokosnye sistemy*. 2014;6. Available at: <http://www.jbks.ru/archive/issue-6/article-1> (accessed 20.06.2015). In Russian
19. Paukov AG, Mikhailova IN. Lichens of “Samarovskiy Chugas” Nature Park (Tyumen Region). *Novosti sistematiki nizshih rastenii – Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium*. 2011;45:202-212. In Russian, English summary
20. Malysheva NV. Lishayniki Sankt-Peterburga [Lichens of Saint Petersburg]. Yurkovskaya TK, editor. *Trudy Sankt-Peterburgskogo obshchestva estestvoispytateley – Proceedings of the Society of Naturalists*. 2003;79(3):86-96. In Russian
21. Nascimbene J, Salvadori O, Nimis PL. Monitoring lichen recolonization on a restored calcareous statue. *Science of the Total Environment*. 2009;407:2420-2426. doi: [10.1016/j.scitotenv.2008.12.037](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.037)
22. Romanova EV. Lichen Synusiae in Forest and Park Communities of Novosibirsk. *Contemporary Problems of Ecology*. 2009;2(6):549-555. doi: [10.1134/S1995425509060101](https://doi.org/10.1134/S1995425509060101)
23. Romanova EV. Lichens as bioindicators of atmospheric pollution in Kemerovo. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2012;4(20):203-214. In Russian, English summary

Received 15 January, 2015;

Revised 27 May, 2015;

Accepted 15 October, 2015

Author info:

Romanova Ekaterina V, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Laboratory of Cryptogamous Plants, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya Str., Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: korr@ngs.ru