
**АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ
НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ**

УДК 630*182.47:581.5

**ВИДОВОЙ СОСТАВ И ЗАПАСЫ ФИТОМАССЫ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА
В АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ СОСНЯКАХ
КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ**© 2019 г. И. А. Гончарова¹, *, Л. Н. Скрипальщикова¹, А. П. Барченков¹¹*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, обособленное подразделение
Федерального исследовательского центра “Красноярский научный центр СО РАН”,
г. Красноярск, Россия***e-mail: iagoncharova007@mail.ru*

Поступила в редакцию 14.05.2018 г.

После доработки 10.10.2018 г.

Принята к публикации 17.04.2019 г.

Изучено современное состояние напочвенного покрова антропогенно нарушенных сосняков Красноярской лесостепи и дана оценка степени и характера его изменения за 15-летний период, прошедший с момента последних исследований. В настоящее время концентрации токсичных элементов в растениях не достигают избыточных значений, при которых происходит нарушение гомеостаза. В 2017 г. наибольший запас фитомассы живого напочвенного покрова был отмечен на контрольной пробной площади (357.88 ± 70.31 г/м²), и за исследуемый 15-летний период он существенно не изменился. На участках, подверженных антропогенной нагрузке, в настоящее время запас фитомассы в 1.4–3 раза ниже, чем в контрольном фитоценозе, однако за 15-летний период он увеличился. На основе анализа изменения видовой разнообразия, количественного соотношения эколого-ценотических групп, структуры и абсолютного значения запаса фитомассы определены стадии деградации напочвенного покрова.

Ключевые слова: травяно-кустарничковый ярус, моховой покров, видовой состав, запас фитомассы, антропогенные факторы

DOI: 10.1134/S0033994619030087

Проблема возрастающего антропогенного воздействия на экосистемы вызывает интерес во всем мире. Многочисленные исследования посвящены обсуждению различных аспектов данной проблемы [1–8]. Отмечено, что основными антропогенными факторами, воздействующими на лесные экосистемы в зоне влияния крупных городов, являются техногенное загрязнение и интенсивная рекреационная нагрузка.

Вопросу влияния антропогенных факторов на растительный покров посвящен целый ряд исследований и обзоров [9–14]. Отмечается [15, 16], что техногенные загрязнения в течение короткого времени (20–30 лет) приводят к уменьшению флористического богатства и преобразованию различных лесных сообществ в однотипные рудеральные. Под влиянием рекреационных нагрузок лесные экосистемы проходят несколько стадий деградации. Упрощается их структура, из состава нижних ярусов исчезают лесные виды, в результате чего формируется более устойчивый к вытаптыванию злаково-разнотравный покров [17].

Антропогенные факторы постоянно изменяются во времени как по источникам воздействия, так и по степени их влияния [18–20]. В связи с этим возникает необходи-

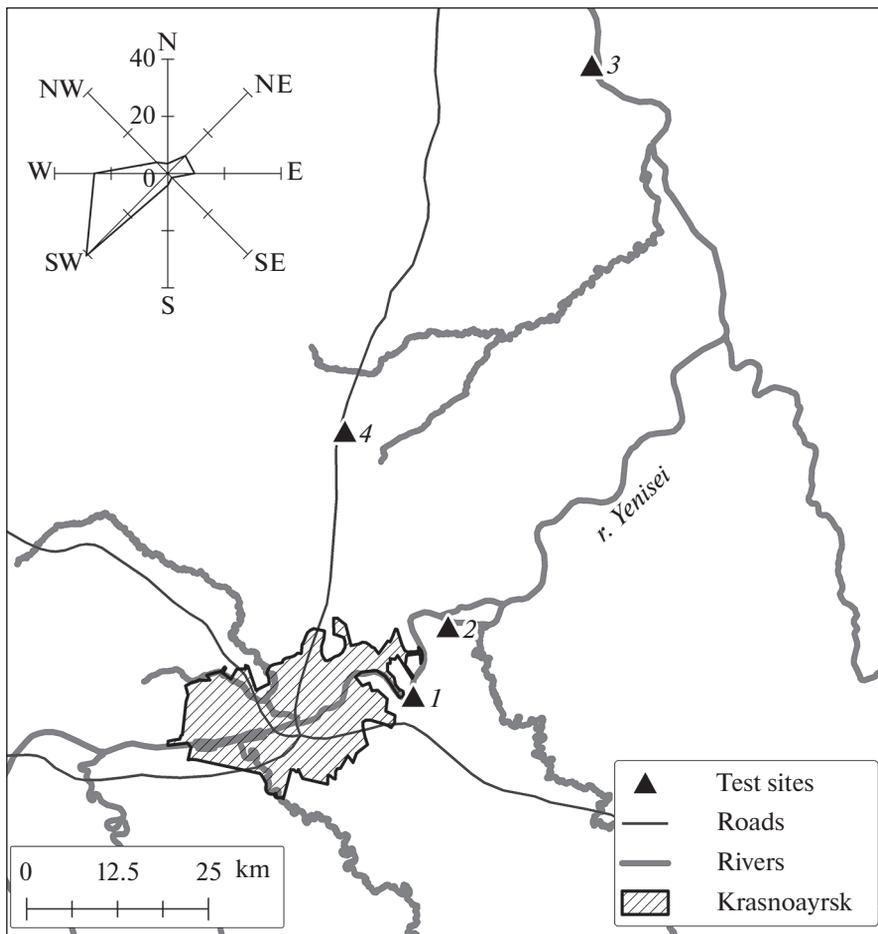


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадей.

Fig. 1. Location of sample plots.

мость мониторинга состояния напочвенного покрова, что определяет актуальность данного исследования.

Цель работы – изучить современное состояние напочвенного покрова антропогенно нарушенных сосняков Красноярской лесостепи, а также оценить степень и характер его изменения за 15-летний период, прошедший с момента последних исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на четырех мониторинговых пробных площадях (ПП), заложенных в типичных для Красноярской лесостепи сосновых насаждениях (*Pinus sylvestris* L.) (рис. 1). По данным Государственных докладов (2017, 2018), в 2016 и 2017 г. в г. Красноярске и на прилегающих территориях от стационарных источников в атмосферу поступило 196.9 тыс. т загрязняющих веществ, от передвижных источников – 127.3 тыс. т. В загрязняющих атмосферу выбросах преобладают твердые (тяжелые металлы, фториды) и газообразные вещества (оксиды серы, азота и углерода).

ПП 1 (Березовский бор) заложена в 10 км на юго-восток от г. Красноярска в сосняке осочково-разнотравном. Подлесок представлен как ярус с проективным покрытием 30% и образован *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex A. Blytt, *Rosa acicularis* Lindl., *Swida alba* (L.) Opiz, *Sorbus aucuparia* subsp. *sibirica* (Hedl.) Krylov. и др. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса 70%. Доминантами являются *Carex macroura* Meinsh., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Thalictrum minus* L., *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Vicia unijuga* A. Br. Моховой покров в виде отдельных пятен *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.

ПП 2 (Есаульский бор) располагается в 30 км от г. Красноярска в северо-восточном направлении в сосняке разнотравно-осочково-зеленомошном. Подлесок представлен как ярус (проективное покрытие 80%), равномерно распределен по площади, образован *Cotoneaster melanocarpus*, *Viburnum opulus* L., *Swida alba*, *Salix caprea* L., *Crataegus sanguinea* Pall., *Rosa acicularis* и др. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 60%. Доминантами и содоминантами являются *Carex macroura*, *Rubus saxatilis* L., *Geranium sylvaticum* L., *Thalictrum minus*, *Polygonatum odoratum*, *Phlomis tuberosa* (L.) Moench. Проективное покрытие мхов 70%. Доминантом является *Pleurozium schreberi*. Присутствуют *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst., *Helodium blandowii* (F. Weber & D. Mohr) Warnst.

Березовский и Есаульский боры (ПП 1, 2) располагаются в направлении основного переноса промышленных выбросов города. Фитоценозы длительное время подвергались значительным техногенным и рекреационным нагрузкам.

ПП 3 (Юксеевский бор) располагается в 100 км от г. Красноярска в сосняке мелко-травно-зеленомошном. Подлесок равномерно распределен, занимает 10–15% площади, представлен *Sorbus aucuparia* subsp. *sibirica*, *Padus avium*, *Rosa acicularis*, *Salix caprea* и др. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 90%. Доминанты и содоминанты травяно-кустарничкового яруса: *Carex macroura*, *Pyrola rotundifolia* L., *Rubus saxatilis*, *Linnaea borealis* L., *Poa annua* L., *Carum carvi* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Cimicifuga foetida* L. Общее проективное покрытие мхов составляет 60%: *Hylocomium splendens* (50%) и *Pleurozium schreberi* (10%).

ПП 4 (Погорельский бор) заложена в сосняке разнотравно-зеленомошном, находящемся на расстоянии 40 км от города (контроль). Подлесок как ярус не выражен, представлен отдельными экземплярами *Rosa acicularis*, *Padus avium*, *Sorbus aucuparia* subsp. *sibirica* и др. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 60%. Доминантами и содоминантами являются *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Vaccinium vitis-idaea* L., *Carex macroura*, *Rubus saxatilis*. Проективное покрытие мохового покрова 90%. Доминантом является *Pleurozium schreberi*. Присутствуют в примеси *Hylocomium splendens*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Ptilium crista-castrensis*, *Dicranum polysetum*.

Юксеевский и Погорельский боры (ПП 3 и 4) расположены вне основного направления переноса загрязняющих веществ. ПП 3 испытывает рекреационную и пастбищную нагрузки. На ПП 4 антропогенное воздействие носит спорадический характер.

Таксационная характеристика древесного яруса в изученных сообществах приведена в табл. 1.

Для изучения напочвенного покрова в августе 2017 г. в сосновых фитоценозах в пределах каждой ПП было заложено по 30 учетных площадок размером 1 м², где проводили оценку видового состава, проективного покрытия видов и общего проективного покрытия травяно-кустарничкового яруса и мохового покрова по общепринятым методикам [21]. Классификация эколого-ценотических групп (ЭЦГ) видов проведена по Д.И. Назимовой и др. [22] и Т.Н. Буториной [23]. Для сравнительной оценки флористических списков применен коэффициент Сёренсена–Чекановского (K_{sc}). Степень видового разнообразия оценена с помощью индекса Шеннона [24].

Таблица 1. Таксационные характеристики древостоев на пробных площадях
Table 1. Mensurational characteristics of forest stands on sample plots

Пробные площади Sample plots	Состав древостоя Stand composition	Средние Average		Класс бонитета Quality class	Класс возраста Age class	Полнота древостоя Stand density
		Высота, м Height, m	Диаметр, см Diameter, cm			
ПП 1 (Березовка) Sample plot 1 (Berezovka)	10С 10Р	16.1	19.8	IV	V–VI	0.6–0.8
ПП 2 (Есаулово) Sample plot 2 (Esaulovo)	10С 10Р	16.3	33.2	III	VI	0.8–1.0
ПП 3 (Юкseeво) Sample plot 3 (Yukseyevo)	10С 10Р	29.8	35.8	I-a	IV	0.8
ПП 4 (Погорелка) Sample plot 4 (Pogorelka)	10СедЛ,Б 10Р with sporadically larch and birch	27.3	35.8	I	VI	0.9

Степень рекреационной трансформации живого напочвенного покрова определялась с использованием индекса синантропизации (X), который рассчитывался по формуле:

$$X = S_{\text{вид}} / S_{\text{общ}} \times 100\%,$$

где $S_{\text{вид}}$ – количество синантропных видов, $S_{\text{общ}}$ – общее количество видов на пробной площади [3].

Для учета запаса фитомассы травяно-кустарничкового покрова на каждой пробной площади взяты укосы с 10 учетных площадок размером 20×25 см. Растения срезали на уровне подстилки, разбирали по видам, высушивали до абсолютно сухого состояния и взвешивали.

Влияние рекреационных нагрузок изучалось с применением оценочных шкал дигрессии [25, 26].

Степень техногенной нагрузки определялась по содержанию токсичных ингредиентов (цинк, свинец, кадмий, фтор) в хвое сосны и растениях живого напочвенного покрова (средний образец растений травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов) в аккредитованной лаборатории (Аккредитованная испытательная лаборатория ФГБУ ЦАС “Красноярский”) с использованием сертифицированных методик [27, 28].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные ранее исследования показали [29], что в зонах промышленного загрязнения в растениях напочвенного покрова накапливается в 10–100 раз больше микроэлементов, чем в фоновых районах. С начала 2000-х гг. на АО РусАЛ “Красноярский алюминиевый завод” начался переход на новую технологию (“Экологический Содерберг”), позволившую снизить объемы вредных для окружающей среды выбросов [30]. Исследования 2017 г. зафиксировали значительное снижение техногенных нагрузок (табл. 2). Превышение содержания свинца в растительном материале по сравнению с контрольными (ПП 4) значениями на ПП 1 в настоящее время составляет 4.8 крат, на

Таблица 2. Концентрации элементов в растительном материале (мг/кг сухой массы). (Данные анализа смешанного образца растений напочвенного покрова 2017 г.)**Table 2.** The elements content in plant matter (mg/kg of dry weight). Mixed plants sample of 2017

Элемент Element	Концентрация элементов в растительном материале в исследуемых ценозах The elements content in plant matter of the sample plots				Содержание элементов [35] The elements content [35]	
	ПП 1 Sample plot 1	ПП 2 Sample plot 2	ПП 3 Sample plot 3	ПП 4 Sample plot 4	Достаточное Sufficient	Избыточное Excessive
Zn	20.8 ± 4.2	48.5 ± 9.7	32.1 ± 6.4	34.8 ± 7.0	27–150	100–400
Pb	2.08 ± 0.52	11.7 ± 2.9	0.76 ± 0.19	0.43 ± 0.11	5–10	30–300
Cd	<0.05	0.22 ± 0.11	0.062 ± 0.031	0.073 ± 0.037	0.05–0.2	5–30
F	14.6 ± 1.5	12.6 ± 1.3	1.56 ± 0.23	4.83 ± 0.72	5–30	50–500

ПП 2 – 27 крат. Содержание фтора в растительном материале на ПП 1 и 2 превышено соответственно в 3 и 2.6 раза по сравнению с контрольными величинами. Сравнение с литературными данными показало, что на данный момент концентрации токсичных элементов в растениях не достигают избыточных значений, при которых происходит нарушение гомеостаза. Это позволяет предположить, что изменения в напочвенном покрове, отмеченные в 2017 г., в большей мере обусловлены рекреационной, нежели техногенной нагрузкой.

В 2017 г. в изучаемых ценозах зафиксировано 3 древесных вида, 13 видов кустарников, 82 вида травяно-кустарничкового яруса и 6 видов мхов. В 2002 г. было отмечено 3 древесных вида, 13 видов кустарников, 74 вида травяно-кустарничкового яруса и 6 видов мхов.

Месторасположение пробных площадей в лесостепной зоне определило эколого-ценотическую структуру флоры, в которой преобладают группы лугового и лугово-лесного разнотравья и злаков (33%), лугово-лесного крупнотравья (13%), лесостепные виды (12%). Подавляющее большинство видов относятся к светлохвойной (37.5–56.5%) и лесостепной (10.3–43.7%) поясно-зональным группам. Вклад синантропных (пасквальных, рудеральных, сегетальных) видов в флористический состав исследованных основных фитоценозов достаточно велик и составляет 13.8%.

В 2017 г. значение коэффициента сходства Сёренсена–Чекановского между флористическими списками всех изученных пробных площадей варьирует от 0.44 до 0.57. Наибольшие изменения в видовом составе живого напочвенного покрова за 15 лет отмечены на ПП 1 ($K_{sc} = 0.55$), наименьшие – на ПП 4, практически не подвергавшейся антропогенному воздействию ($K_{sc} = 0.91$). На ПП 2 и ПП 3 изменения видового состава живого напочвенного покрова носили умеренный характер ($K_{sc} = 0.72$ и $K_{sc} = 0.75$ соответственно) (табл. 3).

Установлено, что индекс видового разнообразия (индекс Шеннона) на ПП 3 и 4 на 17–37% выше, чем на ПП 1 и 2 (табл. 3). Следует отметить, что за 15 лет, прошедших с момента предыдущего исследования, индекс Шеннона возрос на всех пробных площадях. Однако на ПП 3 и 4 это увеличение было незначительным (на 7.6 и 3.5% соответственно), тогда как на ПП 2 индекс Шеннона возрос на 13.1%, а на ПП 1 увеличение индекса было наибольшим – в 1.8 раз.

На ПП 1 за 15 лет, прошедших со времени предыдущего исследования, значительно возросло ($P < 0.05$) видовое разнообразие подлеска (на 60%). Состав доминантов травяно-кустарничкового яруса и проективное покрытие доминантных видов, относительно устойчивых к вытаптыванию – *Calamagrostis arundinacea*, *Carex macroura* [31], не изменились, однако заметно возросло (с 10 до 25%) проективное покрытие видов, малоустойчивых к вытаптыванию – *Vicia unijuga* и *Polygonatum odoratum*. Снизилось на 4–7%

Таблица 3. Характеристика напочвенного покрова в 2002 г. (в числителе) и 2017 г. (в знаменателе)
Table 3. The characteristics of ground cover in 2002 (in the numerator) and 2017 (the denominator)

Показатель Index	Пробные площади Sample plots			
	ПП 1 Sample plot 1	ПП 2 Sample plot 2	ПП 3 Sample plot 3	ПП 4 Sample plot 4
Индекс Шеннона Shannon index	$\frac{1.41}{2.59}$	$\frac{1.79}{2.06}$	$\frac{3.02}{3.27}$	$\frac{3.0}{3.11}$
Коэффициент Сёренсена–Чекановского* Czekanowski–Sørensen index*	0.55	0.72	0.75	0.91
Индекс синантропизации Synantropization index	$\frac{33.3}{14.71}$	$\frac{9.5}{8.0}$	$\frac{9.09}{19.15}$	$\frac{2.27}{0}$
Стадия деградации напочвенного покрова Stage of ground cover degradation	$\frac{III}{II}$	$\frac{II}{II}$	$\frac{I}{II}$	$\frac{I}{I}$

Примечание. * Коэффициент Сёренсена–Чекановского показывает сходство видового состава между 2002 и 2017 гг.

Note. * Czekanowski–Sørensen index shows the similarity in species composition of 2002 and 2017.

проективное покрытие видов, относящихся к эколого-ценотической группе сорных: *Chenopodium album* L., *Atriplex sagittata* Borkh., *Geum rivale* L., полностью исчезли из видового состава такие синантропные виды, как *Urtica dioica* L., *Trifolium repens* L., *Glechoma hederacea* L., *Cirsium setosum* (Willd.) Besser ex M.Bieb. Наряду с этим появились виды следующих эколого-ценотических групп: лесостепные (*Origanum vulgare* L., *Adenophora liliifolia* (L.) A. DC.), бореальное мелкотравье (*Orthilia secunda* (L.) House, *Viola biflora* L.), луговое и лугово-лесное разнотравье и злаки (*Brachypodium pinnatum* (L.) P. Beauv., *Sanguisorba officinalis* L.) и лугово-лесное крупнотравье (*Cacalia hastata* L.).

На ПП 2 в 2017 г. по сравнению с 2002 г. состав доминантов травяно-кустарничкового яруса не изменился. Увеличение индекса видового разнообразия произошло за счет появления видов, относящихся к эколого-ценотическим группам лугового и лугово-лесного разнотравья и злаков (*Fragaria vesca* L., *Galium boreale* L., *Sanguisorba officinalis*), лугово-лесного крупнотравья (*Thalictrum minus*), бореального мелкотравья (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Neottianthe cucullata* (L.) Schltr.).

Отмеченные на ПП 1 и 2 изменения можно объяснить снижением техногенной (табл. 2) и рекреационной нагрузки. В настоящее время на этих территориях, хотя и наблюдаются следы рекреационного воздействия, оно стало заметно меньше, чем было 15 лет назад в связи с закрытием пионерлагерей, организацией обустроенных мест отдыха горожан.

На ПП 3 за истекший период сократилось (с 10–15 до 1–5%) проективное покрытие или произошло исчезновение видов, относящихся к водно-болотной эколого-ценотической группе (*Parnassia palustris* L.) и к группе лугово-лесного крупнотравья (*Heraclium dissectum* Ledeb., *Lilium martagon* L., *Pleurospermum uralense* Hoffm, *Angelica sylvestris* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. и др.). Наряду с этим появились виды, не отмеченные ранее: *Carum carvi*, *Achillea millefolium* L., *Glechoma hederacea*, *Poa annua* L. и др. и относящиеся в основном к группе синантропных [3]. Проективное покрытие *Trifolium repens* увеличилось с 1 до 7%. Известно [20], что клевер ползучий служит индикатором перевыпаса и повышение его проективного покрытия характерно для начальной стадии пастбищной дигрессии.

Наблюдаемые изменения видового состава напочвенного покрова на ПП 3 свидетельствуют об усилении рекреационной и пастбищной нагрузки, что, в частности, приводит к уплотнению и иссушению почвы [17].

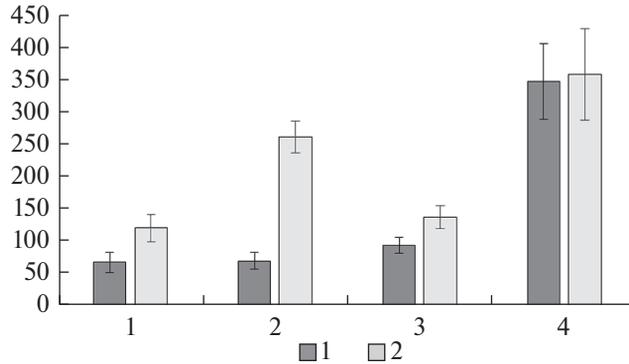


Рис. 2. Общий запас фитомассы напочвенного покрова в сосновых ценозах: 1 – 2002 г., 2 – 2017 г.

По горизонтали – пробные площади; по вертикали – фитомасса, г/м².

Fig. 2. Total ground layer phytomass in pine phytocenoses in: 1 – 2002, 2 – 2017.

X-axis – sample plots; y-axis – phytomass, g/m².

На ПП 4 состав доминантов напочвенного покрова не изменился. В настоящее время на данной пробной площади не произрастают адвентивные виды (табл. 3). Единственный синантропный вид (*Achillea millefolium*), произраставший ранее, в 2017 г. не отмечен.

Из изученных сосновых фитоценозов наибольший индекс синантропизации (19%) в настоящее время отмечен на ПП 3, где он за истекший период увеличился почти в 2 раза (табл. 3). На остальных пробных площадях зафиксировано снижение индекса синантропизации за 15 лет, причем на ПП 1 это снижение было наибольшим (в 2 раза).

Одним из ведущих показателей, характеризующих состояние лесного фитоценоза, является продуктивность напочвенного покрова. В 2017 г. наибольший запас фитомассы живого напочвенного покрова отмечен в контроле на ПП 4 (357.88 ± 70.31 г/м²), за 15-летний период он достоверно не изменился (рис. 2). Запасы фитомассы напочвенного покрова на ПП 1 составляют 121 ± 21 г/м², на ПП 3 138 ± 18 г/м², что в 2,6–3 раза ниже, чем соответствующие значения в контрольном фитоценозе. За истекший период на этих пробных площадях запасы фитомассы живого напочвенного покрова увеличились на 43.5 и 31.8% соответственно. На ПП 2 в 2017 г. запас фитомассы живого напочвенного покрова составил 261.4 ± 24.65 г/м², что в 1.4 раза ниже, чем в контроле. За 15-летний период запас фитомассы на ПП 2 увеличился наиболее значительно – в 3.7 раз.

В литературе нередко отмечается тенденция снижения запаса фитомассы живого напочвенного покрова при увеличении антропогенного воздействия [4]. Однако известно, что при длительном воздействии антропогенного фактора в фитоценозе наступает фаза адаптации, когда растения могут увеличивать биомассу, интенсивность роста и размножения [32], что, по-видимому, и наблюдается в нашем случае на ПП, подверженных антропогенной нагрузке.

Сопоставление данных по структуре фитомассы в исследованных фитоценозах показало наличие существенных различий. На контрольной ПП 4 более 80% общего запаса фитомассы составляют мхи. Вклад мхов в запас фитомассы напочвенного покрова на ПП 3, испытывающей рекреационную и пасквальную нагрузки, составляет 57%, тогда как на пробных площадях, подвергавшихся в прошлом техногенному воздействию и подвергающихся рекреационному воздействию в настоящее время, не превышает 1–3%.

Сравнительный анализ данных 2002 и 2017 гг. показал, что за 15-летний период структура фитомассы на всех ПП изменилась (табл. 4). При предыдущем исследова-

Таблица 4. Фитомасса наиболее продуктивных видов растений напочвенного покрова ($\text{г}/\text{м}^2$) и их доля (%) от общей фитомассы напочвенного покрова в 2002 г. (в числителе) и 2017 г. (в знаменателе)

Table 4. Phytomass of the most productive ground layer plant species (g/m^2) and their percentage of the total ground layer phytomass (%) in 2002 (in the numerator) and 2017 (in the denominator)

Вид Species	ПП 1 Sample plot 1		ПП 2 Sample plot 2		ПП 3 Sample plot 3		ПП 4 Sample plot 4	
	Фитомасса Phytomass	Доля Percentage	Фитомасса Phytomass	Доля Percentage	Фитомасса Phytomass	Доля Percentage	Фитомасса Phytomass	Доля Percentage
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	$\frac{4.99}{5.48}$	$\frac{7.3}{4.5}$	$\frac{4.1}{13.38}$	$\frac{5.8}{5.1}$	$\frac{3.98}{6.20}$	$\frac{4.2}{4.5}$	$\frac{3.47}{2.37}$	$\frac{1.0}{0.7}$
<i>Carex macroura</i>	$\frac{42.07}{56.91}$	$\frac{61.6}{47.0}$	$\frac{28.58}{40.92}$	$\frac{40.7}{15.7}$	$\frac{0.14}{7.02}$	$\frac{0.2}{5.1}$	$\frac{7.05}{5.32}$	$\frac{2.0}{1.5}$
<i>Fragaria vesca</i>	$\frac{0.53}{0.17}$	$\frac{0.8}{0.1}$	$\frac{1.56}{9.24}$	$\frac{2.2}{3.5}$	$\frac{3.87}{0.48}$	$\frac{4.1}{0.3}$	–	–
<i>Galium boreale</i>	$\frac{0.09}{3.48}$	$\frac{0.1}{2.9}$	$\frac{0.13}{1.95}$	$\frac{0.2}{0.7}$	$\frac{0.10}{0.17}$	$\frac{0.1}{0.1}$	$\frac{0.38}{0.21}$	$\frac{0.1}{0.1}$
<i>Geranium sylvaticum</i>	$\frac{0.35}{2.26}$	$\frac{0.5}{1.9}$	$\frac{0.39}{3.51}$	$\frac{0.6}{1.3}$	$\frac{3.86}{1.10}$	$\frac{4.1}{0.8}$	$\frac{7.46}{8.29}$	$\frac{2.1}{2.3}$
<i>Lathyrus humilis</i>	$\frac{0.01}{1.57}$	$\frac{0.01}{1.2}$	$\frac{1.23}{4.79}$	$\frac{1.8}{1.8}$	–	–	$\frac{5.22}{1.25}$	$\frac{1.5}{0.4}$
<i>Maianthemum bifolium</i>	–	–	$\frac{0.66}{0.45}$	$\frac{0.9}{0.2}$	$\frac{1.38}{1.12}$	$\frac{1.5}{0.8}$	$\frac{2.72}{0.53}$	$\frac{0.8}{0.1}$
<i>Orthilia secunda</i>	–	–	$\frac{0.12}{0.39}$	$\frac{0.2}{0.2}$	$\frac{1.13}{2.55}$	$\frac{1.2}{1.9}$	$\frac{3.54}{2.22}$	$\frac{1.0}{0.6}$
<i>Poa annua</i>	$\frac{6.10}{7.62}$	$\frac{8.9}{6.3}$	$\frac{0.81}{1.93}$	$\frac{1.1}{0.7}$	–	–	–	–
<i>Polygonatum odoratum</i>	$\frac{0.99}{12.26}$	$\frac{1.4}{10.1}$	$\frac{0.27}{5.15}$	$\frac{0.4}{1.9}$	–	–	–	–
<i>Pulmonaria mollis</i>	–	–	–	–	$\frac{7.35}{0.28}$	$\frac{7.8}{0.2}$	$\frac{0.53}{0.61}$	$\frac{0.2}{0.2}$
<i>Pyrola rotundifolia</i>	–	–	$\frac{7.68}{23.84}$	$\frac{10.9}{9.1}$	$\frac{5.63}{9.04}$	$\frac{6.0}{6.6}$	–	–
<i>Rubus saxatilis</i>	$\frac{3.00}{9.18}$	$\frac{4.4}{7.6}$	$\frac{3.53}{14.21}$	$\frac{5.0}{5.4}$	$\frac{4.85}{4.09}$	$\frac{5.2}{2.9}$	$\frac{4.86}{4.54}$	$\frac{1.4}{1.27}$
<i>Sanguisorba officinalis</i>	–	–	$\frac{1.16}{3.29}$	$\frac{1.7}{1.3}$	–	–	$\frac{3.47}{3.02}$	$\frac{1.0}{0.8}$
<i>Thalictrum minus</i>	$\frac{8.00}{9.92}$	$\frac{11.7}{8.2}$	$\frac{9.77}{20.86}$	$\frac{13.9}{7.9}$	–	–	$\frac{6.25}{8.50}$	$\frac{1.8}{2.4}$

Таблица 4. Окончание

Вид Species	ПП 1 Sample plot 1		ПП 2 Sample plot 2		ПП 3 Sample plot 3		ПП 4 Sample plot 4	
	Фитомасса Phytomass	Доля Percentage	Фитомасса Phytomass	Доля Percentage	Фитомасса Phytomass	Доля Percentage	Фитомасса Phytomass	Доля Percentage
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	–	–	–	–	$\frac{1.05}{1.81}$	$\frac{1.1}{1.3}$	$\frac{5.90}{6.81}$	$\frac{1.7}{1.9}$
<i>Viola biflora</i>	$\frac{0.12}{2.26}$	$\frac{0.2}{1.9}$	–	–	$\frac{4.98}{0.14}$	$\frac{5.3}{0.1}$	$\frac{0.35}{1.36}$	$\frac{0.1}{0.4}$
<i>Hylocomium splendens</i>	–	–	–	–	$\frac{34.82}{58.20}$	$\frac{37.1}{42.3}$	$\frac{63.18}{74.63}$	$\frac{18.2}{20.9}$
<i>Pleurozium schreberi</i>	$\frac{1.43}{1.45}$	$\frac{2.1}{1.2}$	$\frac{5.05}{5.75}$	$\frac{7.2}{2.2}$	$\frac{18.21}{19.01}$	$\frac{19.4}{13.8}$	$\frac{137.8}{143.9}$	$\frac{39.7}{40.2}$

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.
Note. Dash indicates no data is available.

нии на ПП 1 наибольший вклад (61.6%) в состав надземной фитомассы вносила осока большехвостая (*Carex macroura*), на данный момент ее доля снизилась до 47%, хотя абсолютные значения фитомассы увеличились с 42.07 ± 1.03 до 56.91 ± 2.01 г/м². Та же картина наблюдается в отношении других устойчивых и относительно устойчивых к уплотнению почвы видам (*Calamagrostis arundinacea*, *Poa annua*, *Thalictrum minus*): снижение процентного вклада при одновременном увеличении абсолютного значения запаса фитомассы. Аналогичные изменения отмечены и на ПП 2, где за 15-летний период уменьшился процентный вклад, но возросла фитомасса видов, устойчивых и относительно устойчивых к уплотнению почвы (*Carex macroura*, *Poa annua*, *Thalictrum minus*). Эти результаты согласуются с приведенным выше мнением [32] о возможности увеличения запаса фитомассы некоторых видов при хроническом умеренном антропогенном воздействии. Низкие значения фитомассы зеленых мхов и их доли в общем запасе растений напочвенного покрова на ПП 1 и 2 (табл. 4), возможно, являются остаточным следствием более высокого в прошлом уровня техногенного загрязнения на этих территориях.

На ПП 3 в оба срока наблюдений основной вклад в запас фитомассы живого напочвенного покрова вносят мхи (56–57%). Следует отметить, что за исследуемый период изменилась структура фитомассы травяно-кустарничкового яруса: достоверно снизился вклад видов, малостойчивых к уплотнению почвы (*Geranium sylvaticum*, *Fragaria vesca*, *Rubus saxatilis*, *Pulmonaria mollis*), при одновременном увеличении доли *Carex macroura* – вида, относительно устойчивого к уплотнению почвы. Это обстоятельство может быть объяснено возросшей рекреационной нагрузкой.

На ПП 4 за 15-летний период структура фитомассы достоверно не изменилась. Наибольший вклад в нее вносят мхи (более 80%). Из видов травяно-кустарничкового яруса помимо видов-доминантов (*Calamagrostis arundinacea*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Carex macroura*, *Rubus saxatilis*), на долю которых приходится 5–6% от общего запаса фитомассы, существенной является доля (5–5.5%) таких лугово-лесных и лесных видов, как *Thalictrum minus*, *Geranium sylvaticum*, *Sanguisorba officinalis*.

Согласно шкале рекреационной трансформации растительных сообществ [20], в настоящее время ПП 1, 2, 3 находятся на стадии слабой рекреационной трансформации.

ции (II стадия). В ходе исследований 2002 г. было установлено [33], что на ПП 3 рекреационные нагрузки были минимальны (I стадия деградации), ПП 2 находилась на II стадии деградации [34] и в большей степени подвергалась техногенным нагрузкам, а ПП 1 – на III стадии деградации из-за дополнительных рекреационных нагрузок. Таким образом, в настоящее время вследствие уменьшения объемов выбросов загрязняющих веществ и снижения рекреационной нагрузки состояние напочвенного покрова сосновых фитоценозов на ПП 1 улучшилось, на ПП 2 осталось без существенного изменения, а на ПП 3, напротив, ухудшилось в связи с усилением рекреационной нагрузки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнительной оценки состояния напочвенного покрова антропогенно нарушенных сосняков Красноярской лесостепи в 2002 и 2017 гг. установлено, что в связи с существенным снижением объемов промышленных выбросов изменения, произошедшие за 15-летний период, обусловлены преимущественно рекреационной, а не техногенной нагрузкой.

Анализ параметров видового разнообразия, соотношения эколого-ценотических групп видов, величины и структуры запаса фитомассы напочвенного покрова показал, что наиболее существенные изменения произошли на территории Березовского бора. В результате снижения рекреационной нагрузки в сосняке осочково-разнотравном повысилось видовое разнообразие, в 2 раза снизилось участие синантропных видов по числу, сократилась их доля в общем запасе фитомассы, стадия деградации изменилась с III на II. На территории Есаульского бора в сосняке разнотравно-осочково-зеленомошном изменения носили аналогичный характер, но проявились в значительно более слабой степени, в связи с чем сохраняется II стадия деградации напочвенного покрова. На территории Юксеевского бора в сосняке мелкотравно-зеленомошном вследствие возросшей рекреационной нагрузки, отмечено 2-кратное увеличение доли синантропных видов, существенное увеличение их фитомассы и доли в общем запасе фитомассы, снижение участия лугово-лесного крупнотравья; усиление деградации напочвенного покрова (произошла смена I стадии на II). На контрольной пробной площади (Погорельский бор) в сосняке разнотравно-зеленомошном за 15-летний период видовой состав живого напочвенного покрова, его структура и запас фитомассы существенно не изменились.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках базового проекта фундаментальных исследований Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (№ 0356-2016-0301) “Биоразнообразие коренных хвойных и производных лесных экосистем” и при финансовой поддержке НИР № 29.03.08/2016 “Изучение устойчивости антропогенно нарушенных лесных экосистем в зонах длительного воздействия техногенных факторов”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Brown J.H., Kalisz S.P., Wright W.R.* 1977. Effects of recreational use on forested sites. – *Environmental Management*. 1(5): 425–431. <https://doi.org/10.1007/BF01866999>
2. *Weaver T., Dale D.* 1978. Trampling effects of hikers, motorcycles and horses in meadows and forests. – *J. Appl. Ecol.* 15(2): 451–457. <https://doi.org/10.2307/2402604>
3. *Горчаковский П.Л.* 1999. Антропогенная трансформация и восстановление продуктивности луговых фитоценозов. Екатеринбург. 156 с.
4. *Полякова Г.А., Мальшева Т.В., Флеров В.А.* 1981. Антропогенное влияние на сосновые леса Подмоскovie. М. 144 с.
5. *Природные* аспекты рекреационного использования леса. 1987. М. 167 с.

6. Влияние рекреации на лесные экосистемы и их компоненты. 2004. Пушино. 302 с.
7. Динамика и устойчивость рекреационных лесов. 2006. М. 165 с.
8. Wittig R., König K., Schmidt M., Szarzynski J. 2007. A study of climate change and anthropogenic impacts in West Africa. — Environ. Sci. Pollut. R. 14(3): 182–189.
<https://doi.org/10.1065/espr2007.02.388>
9. Антропогенная трансформация растительного покрова Западной Сибири. 1992. Новосибирск. 152 с.
10. Rodenkirchen H. 1992. Effects of acidic precipitation, fertilization and liming on the ground vegetation in coniferous forests of southern Germany. — Water, Air, Soil Poll. 61(3–4): 279–294.
<https://doi.org/10.1007/BF00482611>
11. Blake L., Goulding K.W.T. 2002. Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. — Plant Soil. 240(2): 235–251.
<https://doi.org/10.1023/A:1015731530498>
12. Chandrashekar U.M., Muraleedharan P.K., Sibichan V. 2006. Anthropogenic pressure on structure and composition of a shola forest in Kerala, India. — J. Mt. Sci. 3(1): 58–70.
<https://doi.org/10.1007/s11629-006-0058-0>
13. Меланхолин П.Н. 2006. Изменение видового разнообразия травяно-кустарничкового яруса при различных антропогенных нагрузках на лесные экосистемы. — Лесоведение. 6: 52–58.
14. Gao W., Yongfen D., Gao S., Ingels J., Wang D. 2016. Heavy metal accumulation reflecting natural sedimentary processes and anthropogenic activities in two contrasting coastal wetland ecosystems, eastern China. — J. Soils Sediment. 16(3): 1093–1108.
<https://doi.org/10.1007/s11368-015-1314-0>
15. МакКленахен Дж.Р. 1982. Изменения в лесном сообществе в связи с загрязнением воздуха. — В кн.: Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. Таллин. Ч. 1. С. 38–42.
16. Кузьмина Г.П., Яновский В.М. 1999. Антропогенная трансформация лесных экосистем Средней Сибири. — В сб.: Леса и лесообразовательный процесс на Дальнем Востоке: Материалы Междунауч. конф. Владивосток. С. 239–240.
17. Мониторинг рекреационных лесов. 2003. М.; Пушино. 167 с.
18. Полякова Г.А., Меланхолин П.Н. 2007. Изменение антропогенной нарушенности лесопарков Москвы. — В сб.: Актуальные проблемы рекреационного лесопользования. Международ. науч. конф. М. С. 60–62.
19. Allen C.D. 2009. Monitoring environmental impact in the Upper Sonoran lifestyle: A new tool for rapid ecological assessment. — Environmental Management. 43(2): 346–356.
<https://doi.org/10.1007/s00267-008-9212-5>
20. Прокопьев Е.П., Рыбина Т.А. 2010. Опыт мониторинга синантропизации и антропогенной трансформации растительного покрова особо охраняемых природных территорий г. Томска. — Вестн. Томского гос. ун-та. Биология. 3(11): 109–118.
http://journals.tsu.ru/biology/&journal_page=archive&id=750&article_id=15984
21. Воронов А.Г. 1973. Геоботаника. М. 384 с.
22. Назимова Д.И., Дробушевская О.В., Данилина Д.М., Коновалова М.Е., Кофман Г.Б., Бугаева К.С. 2012. Биоразнообразие и динамика низкогорных лесов Саян: региональный и локальный уровни. — В кн.: Разнообразие и динамика лесных экосистем России. М. Кн. 1. С. 131–173.
23. Буторина Т.Н. 1963. Эколого-ценотический анализ кустарничково-травяного яруса лесных ассоциаций. — В кн.: Типы лесов Сибири. М. С. 31–52.
24. Шмидт В.М. 1984. Математические методы в ботанике. Л. 288 с.
25. Кузьмина Г.П. 1982. Влияние рекреации на новые леса зеленой зоны г. Красноярск: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск. 24 с.
26. Таран И.В. 1985. Рекреационные леса Западной Сибири. Новосибирск. 228 с.
27. Методические указания по ионометрическому определению содержания фтора в растительной продукции, кормах и комбикормах. 1995. МСК.
28. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.
29. Татаринцев А.И., Скрипальщикова Л.Н. 2003. Сосновые фитоценозы в зоне многолетнего воздействия антропогенных нагрузок. — География и природ. ресурсы. 3: 53–57.
30. Реализация проекта “Экологический Содеберг”.
<http://tehne.com/assets/i/upload/event/RUSAL-Krasnoirsk.pdf>
31. Таран И.В., Спиридонов В.Н. 1977. Устойчивость рекреационных лесов. Новосибирск. 179 с.
32. Рысин Л.П., Рысин С.Л. 2012. Урболесоведение. М. 240 с.
33. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярск. 2009. Новосибирск. 179 с.
34. Полякова Г.А. 1980. Деградиация сосняков Подмоскovieвья под влиянием рекреации. — Лесоведение. 5: 62–69.
35. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. М. 439 с.

Species Composition and Phytomass of the Ground Vegetation in Anthropogenically Disturbed Pine Forests of Krasnoyarsk Forest-Steppe

I. A. Goncharova^{a, *}, L. N. Skripalshikova^a, A. P. Barchenkov^a

^a*Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
Siberian Branch Solitary Unit V.N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences,
Siberian Branch, Krasnoyarsk, Russia*

^{*}*e-mail: iagoncharova007@mail.ru*

Abstract—The species composition and phytomass of ground vegetation have been studied in native and disturbed pine phytocenoses of the Krasnoyarsk forest-steppe. The current status of the ground vegetation in anthropogenically disturbed pine forests and the degree and character of its changes over the 15-year period were assessed. Currently, the concentration of toxic elements in plants does not reach excessive values leading to homeostasis disruption. In 2017 the maximum of the aboveground phytomass ($357.88 \pm 70.31 \text{ g/m}^2$) was found in undisturbed community (control) and has not much changed over 15 years of observation. The aboveground phytomass of anthropogenically disturbed plots was 1.4–3-fold lower than of control, however it has increased over 15-year period. The vegetation of ground layer cover was evaluated. The Shannon and synantropization indices were calculated. Changes in the species diversity, coverage, and aboveground phytomass in pine phytocenoses in response to anthropogenic impact were assessed. The stages of the ground cover degradation were determined based on the analysis of changes in species diversity, quantitative relationship of eco-coenotic groups, structure and absolute phytomass stock.

Keywords: grass-low shrub cover, moss layer, anthropogenic factors, species composition, phytomass

ACKNOWLEDGMENTS

The research was carried out within the framework of the research project of the Sukachev Institute of Forest SB RAS (0356–2016–0301) “Biodiversity of native coniferous and secondary forest ecosystems” and with the financial support from the research project No. 29.03.08 / 2016 “Studies on the sustainability of anthropogenically disturbed forest ecosystems in areas under long-term impact of technogenic factors”.

REFERENCES

1. Brown J.H., Kalisz S.P., Wright W.R. 1977. Effects of recreational use on forested sites. — *Environmental Management*. 1(5): 425–431. <https://doi.org/10.1007/BF01866999>
2. Weaver T., Dale D. 1978. Trampling effects of hikers, motorcycles and horses in meadows and forests. — *J. Appl. Ecol.* 15(2): 451–457. <https://doi.org/10.2307/2402604>
3. Gorchakovskiy P.L. 1999. Antropogennaya transformatsiya i vosstanovleniye produktivnosti lugovykh fitotsenozov [Anthropogenic transformation and restoration of meadow phytocenoses productivity]. Yekaterinburg. 156 p. (In Russian)
4. Polyakova G.A., Malysheva T.V., Flerov V.A. 1981. Antropogennoye vliyanie na sosnovye lesa Podmoskovyya [Anthropogenic effect on pine forests of the Moscow region]. Moscow. 144 p. (In Russian)
5. Prirodnye aspekty rekreatsiionnogo ispolzovaniya lesa. 1987. [Natural aspects of recreational forest use]. Moscow. 167 p. (In Russian)
6. Vliyanie rekreatsii na lesnye ekosistemy i ikh komponenty. 2004. [Effect of recreation on forest ecosystems and their components]. Pushchino. 302 p. (In Russian)
7. Dinamika i ustoychivost rekreatsiionnykh lesov. 2006. [Dynamics and sustainability of recreational forests.]. Moscow. 165 p. (In Russian)
8. Wittig R., König K., Schmidt M., Szarzynski J. 2007. A study of climate change and anthropogenic impacts in West Africa. — *Environ. Sci. Pollut. R.* 14(3): 182–189. <https://doi.org/10.1065/espr2007.02.388>
9. Antropogennaya transformatsiya rastitelnogo pokrova Zapadnoy Sibiri. 1992. [Anthropogenic transformation of the Western Siberia vegetation cover]. Novosibirsk. 152 p. (In Russian)
10. Rodenkirchen H. 1992. Effects of acidic precipitation, fertilization and liming on the ground vegetation in coniferous forests of southern Germany. — *Water, Air, Soil Poll.* 61(3–4): 279–294. <https://doi.org/10.1007/BF00482611>

11. *Blake L., Goulding K.W.T.* 2002. Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. – *Plant Soil*. 240(2): 235–251.
<https://doi.org/10.1023/A:1015731530498>
12. *Chandrashekhara U.M., Muraleedharan P.K., Sibichan V.* 2006. Anthropogenic pressure on structure and composition of a shola forest in Kerala, India. – *J. Mt. Sci.* 3(1): 58–70.
<https://doi.org/10.1007/s11629-006-0058-0>
13. *Melankholin P.N.* 2006. Changes in species diversity of the herb-shrub layer under different anthropogenic loads on forest ecosystems. – *Lesovedenie*. 6: 52–58. (In Russian)
14. *Gao W., Yongfen D., Gao S., Ingels J., Wang D.* 2016. Heavy metal accumulation reflecting natural sedimentary processes and anthropogenic activities in two contrasting coastal wetland ecosystems, eastern China. – *J. Soils Sediment.* 16(3): 1093–1108.
<https://doi.org/10.1007/s11368-015-1314-0>
15. *MakKlenakhen Dzh.R.* 1982. Izmeneniya v lesnom soobshchestve v svyazi s zagryazneniem vozdukh [Changes in the forest community due to air pollution]. In: *Vzaimodeystvie lesnykh ekosistem i atmosferykh zagryazniteley*. Tallin. P. 38–42. (In Russian)
16. *Kuzmina G.P., Yanovskiy V.M.* 1999. Antropogennaya transformatsiya lesnykh ekosistem Sredney Sibiri [Anthropogenic transformation of forest ecosystems in Central Siberia]. – In: *Lesa i lesobrazovatelnyy protsess na Dalnem Vostoke. Materialy mezhd. konf. Vladivostok*. P. 239–240. (In Russian)
17. *Monitoring rekreatsionnykh lesov.* 2003. [Monitoring recreational forests]. Moscow; Pushchino. 167 p. (In Russian)
18. *Polyakova G.A., Melankholin P.N.* 2007. Izmeneniye antropogennoy narushennosti lesoparkov Moskvy [Changes in anthropogenic disturbance of Moscow forest parks]. In: *Aktualnye problemy rekreatsionnogo lesopolzovaniya. Mezhdunarod. nauch. konf. Moscow*. P. 60–62. (In Russian)
19. *Allen C.D.* 2009. Monitoring environmental impact in the Upper Sonoran lifestyle: A new tool for rapid ecological assessment. – *Environmental Management*. 43(2): 346–356.
<https://doi.org/10.1007/s00267-008-9212-5>
20. *Prokopyev E.P., Rybina T.A.* 2010. Experience of monitoring synanthropization and anthropogenic transformation of vegetation of specially protected areas in Tomsk – *Vestnik Tomskogo gos. un-ta. Biologiya*. 3(11): 109–118. (In Russian)
http://journals.tsu.ru/biology/en/&journal_page=archive&id=750&article_id=15984
21. *Voronov A.G.* 1973. *Geobotanika [Geobotany]*. Moscow. 384 p. (In Russian)
22. *Nazimova D.I., Drobushhevskaya O.V., Danilina D.M., Konovalova M.E., Kofman G.B., Bugaeva K.S.* 2012. Bioraznoobrazie i dinamika nizkogornyykh lesov Sayan: regionalnyy i lokalnyy urovni [Biodiversity and dynamics of low-mountain Sayan forests: regional and local levels]. In: *Raznoobrazie i dinamika lesnykh ekosistem Rossii*. Moscow. Vol. 1. P. 131–173. (In Russian)
23. *Butorina T.N.* 1963. Ekologo-tsenoticheskiy analiz kustarnichkovo-travyanogo yarusa lesnykh asotsiatsiy [Eco-cenotic analysis of the shrub-grassy layer of forest associations]. In: *Tipy lesov Sibiri*. Moscow. P. 31–52. (In Russian)
24. *Shmidt V.M.* 1984. *Matematicheskiye metody v botanike [Mathematical methods in botany]*. Leningrad. 288 p. (In Russian)
25. *Kuzmina G.P.* 1982. Vliyaniye rekreatsii na osnovnyye lesa zelenoy zony g. Krasnoyarska: Avtoref. dis. ...kand. biol. nauk [Effect of recreation on urban pine forests of Krasnoyarsk: Abstr. Dis. ... Cand. (Biology) Sci.]. Krasnoyarsk. 24 p. (In Russian)
26. *Taran I.V.* 1985. *Rekreatsionnyye lesa Zapadnoy Sibiri [Recreational forests of Western Siberia]*. Novosibirsk. 228 p. (In Russian)
27. *Metodicheskiye ukazaniya po ionometricheskomu opredeleniyu sodержaniya ftora v rastitelnoy produktsii, kormakh i kombikormakh.* 1995. [Guidelines for ionometric determination of fluorine content in plant products, forage and combined feed]. 1995. MSC. (In Russian)
28. *16.1:2.3:3.11-98.* Kolichestvennyy khimicheskiy analiz pochv. Metodika vypolneniya izmereniy sodержaniya metallov v tverdykh obyektakh metodom spektrometrii s induktivno-sv'yazannoy plazmoy [Quantitative chemical analysis of soils. Method for performing measurements of the metal content in solid objects by inductively coupled plasma spectrometry]. (In Russian)
29. *Tatarintsev A.I., Skripalshchikova L.N.* 2003. Pine Phytocenoses in Areas Experiencing Long-Term Anthropogenic Pressure. – *Geography and Natural Resources*. 3: 53–57. (In Russian)
30. *Implementation of the project “Environmental Soderbergh”.*
<http://tehne.com/assets/i/upload/event/RUSAL-Krasnoyarsk.pdf> (in Russian)
31. *Taran I.V., Spiridonov V.N.* 1977. Ustoychivost rekreatsionnykh lesov [Sustainability of recreational forests]. Novosibirsk. 179 p. (In Russian)
32. *Rysin L.P., Rysin S.L.* 2012. *Urbolesovedenie [Urban forest science]*. Moscow. 240 p. (In Russian)
33. *Ekologicheskoye sostoyaniye prigorodnykh lesov Krasnoyarska.* 2009. [Environmental status of Krasnoyarsk suburban forests]. Novosibirsk. 179 p. (In Russian)
34. *Polyakova G.A.* 1980. Degradatsiya sosnyakov Podmoskovy pod vliyaniem rekreatsii [Degradation of the pine forest around Moscow under the recreational load]. – *Lesovedenie*. 5: 62–69. (In Russian)
35. *Kabata-Pendias A., Pendias X.* 1989. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh [Trace elements in soils and plants]*. Transl. from English. Moscow. 439 p. (In Russian)