

УДК 630*182.47:581.5

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-75-87

ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ НИЖНИХ ЯРУСОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ БЕРЕЗНЯКАХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

И.А. Гончарова^{1, 2}, канд. биол. наук, науч. сотр.; *ResearcherID*: [AAF-6890-2019](#),
ORCID: [0000-0002-3495-9979](#)

*Л.Н. Скрипальщикова*¹, канд. биол. наук, доц., ст. науч. сотр.;
ResearcherID: [AAF-7714-2019](#), *ORCID*: [0000-0003-2294-497X](#)

*А.П. Барченков*¹, канд. биол. наук, науч. сотр.; *ORCID*: [0000-0003-3964-480X](#)

А.С. Шущпанов^{1, 3}, канд. биол. наук, науч. сотр.; *ResearcherID*: [P-9468-2016](#),
ORCID: [0000-0003-3833-5730](#)

¹Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН, Академгородок, 50/28, г. Красноярск, Россия, 660036; e-mail: iagoncharova007@mail.ru, lara@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru, shushpanov.as@ksc.krasn.ru

²КГБУК «Красноярский краевой краеведческий музей», ул. Дубровинского, д. 84, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: iagoncharova007@mail.ru

³Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, проп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия, 660037; e-mail: shushpanov.as@ksc.krasn.ru

Изучены характеристики современного состояния нижних ярусов растительного покрова в антропогенно нарушенных березняках Красноярской лесостепи, длительное время подвергающихся рекреационному и техногенному воздействиям, а также степени и характера его изменения за 12-летний период, прошедший с момента последних исследований. Объекты расположены на мониторинговых пробных площадях, заложенных в разнотравных березняках V-VI классов возраста, II-IV классов бонитета, полнотой 0,6–0,9, произрастающих в зоне Красноярской лесостепи в направлении основного переноса промышленных выбросов г. Красноярск. Фитоценозы длительное время подвергались значительным техногенным и рекреационным нагрузкам. На каждом объекте было заложено по 30 учетных площадок размером 1 м², где проведена оценка видового состава, горизонтальной и вертикальной структуры, проективного покрытия и встречаемости видов подлеска и живого напочвенного покрова. Для сравнительного анализа флористических списков применен коэффициент Серенсена–Чекановского. Степень видового разнообразия оценена с помощью индекса Шеннона, степень рекреационной трансформации – индекса синантропизации. Для учета запаса фитомассы живого напочвенного покрова на каждой пробной площадке взяты укосы с 10 учетных площадок размером 20 × 25 см. Влияние рекреационных нагрузок изучали с применением оценочных шкал дигрессии, степень техногенной нагрузки – по содержанию токсичных ингредиентов в растениях живого напочвенного покрова. Установлено, что на момент исследований концентрации токсичных элементов в растениях не достигали избыточных значений, при которых происходит нарушение гомеостаза. Сделан вывод, что изменения в растительном покрове, отмеченные в 2017 г. по отношению к состоянию на 2005 г., в большей мере обусловлены рекреационной, нежели техногенной, нагрузкой, изменившейся в связи с внедрением на АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод» новой технологии, позволившей снизить объемы токсичных промышленных выбросов. По итогам исследования определен видовой состав подлеска и живого напочвенного покрова, выявлены особенности его изменения за 12-летний период. На всех объектах отмечены снижение видового разнообразия и увеличение доли синантропных видов. Для каждого объекта определены общие запасы фитомассы

живого напочвенного покрова и запасы фитомассы отдельных видов. Установлены закономерности изменения вклада различных видов в общий запас фитомассы в зависимости от изменения рекреационной нагрузки. На основе анализа изменения видового разнообразия, количественного соотношения эколого-ценотических групп, структуры и абсолютного значения запаса фитомассы установлены стадии рекреационной дигрессии напочвенного покрова.

Для цитирования: Гончарова И.А., Скрипальщикова Л.Н., Барченков А.П., Шушпанов А.С. Оценка компонентов нижних ярусов растительного покрова в антропогенно нарушенных березняках Красноярской лесостепи // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 1. С. 75–87. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-75-87

Финансирование: Работа выполнена в рамках базовых проектов фундаментальных исследований Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН «Биоразнообразие коренных хвойных и производных лесных экосистем» (№ 0356-2016-0301), «Динамика лесов Сибири в меняющемся климате. Мониторинг жизненного состояния, продуктивности и ареалов основных лесобразующих видов древесных растений» (№ 0356-2018-0739).

Ключевые слова: Красноярская лесостепь, березняки, травяно-кустарничковый ярус, видовой состав, антропогенные факторы, запас фитомассы.

Введение

Березняки являются зональным элементом растительного покрова Красноярской лесостепи. Они образуют небольшие массивы (колки) в условиях повышенного увлажнения на склонах северной экспозиции, в западинах, ложках, долинах рек и других понижениях рельефа [1]. Значение березняков многообразно: средозащитное, водорегулирующее, мелиоративное, санитарно-гигиеническое, рекреационное и др. Находясь в зоне влияния крупных городов, все ярусы фитоценоза подвержены сильному антропогенному воздействию, наибольшую роль в котором играют техногенное загрязнение и интенсивная рекреационная нагрузка [16–19, 23]. Отмечено [20–22], что из-за своих небольших размеров березовые фитоценозы лесостепных зон могут утратить способность адаптироваться к изменениям окружающей среды, вызванным антропогенными факторами.

В связи с этим возникает необходимость мониторинга состояния березовых фитоценозов и, в частности, растительного покрова, как одного из наиболее уязвимых их компонентов, что обуславливает актуальность исследования.

Цель данной работы – изучить современное состояние нижних ярусов растительного покрова нарушенных березняков Красноярской лесостепи, длительное время подвергающихся рекреационному и техногенному воздействию, а также оценить степень и характер его изменения за 12-летний период, прошедший с момента последних исследований.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на мониторинговых пробных площадях (ПП), заложенных в березняках (*Betula pendula* Roth) разнотравных V-VI классов возраста, II-IV классов бонитета, полнотой 0,6–0,9 (табл. 1), произрастающих в зоне Красноярской лесостепи.

Таблица 1

Лесоводственно-таксационные характеристики березовых насаждений

ПП	Состав древостоя, тип леса	Средние		Класс бонитета	Класс возраста	Полнота древос- стоя
		высота, м	диаметр, см			
1	10Б, злаково- разнотравный	16,1	15,4	IV	V	0,8
2	10Б+С, разнотравно- злаковый	23,4	14,2	III	V	0,7
3	10Б, разнотравно- злаковый	23,1	17,0	III	VI	0,6
4	10Б+С разнотравно- осоковый	20,5	17,0	II	V	0,9

ПП заложены по общепринятым методикам [2, 10] в 10...30 км от г. Красноярска (рис. 1) в направлении основного переноса промышленных выбросов города. Фитоценозы длительное время подвергались значительным техногенным и рекреационным нагрузкам. По данным [6], в 2016–2017 гг. в атмосферу г. Красноярска и прилегающих территорий от стационарных источников поступило 196,9 тыс. т загрязняющих веществ, от передвижных – 127,3 тыс. т. В загрязняющих атмосферу выбросах преобладают твердые (тяжелые металлы, фториды) и газообразные (оксиды серы, азота и углерода) вещества.

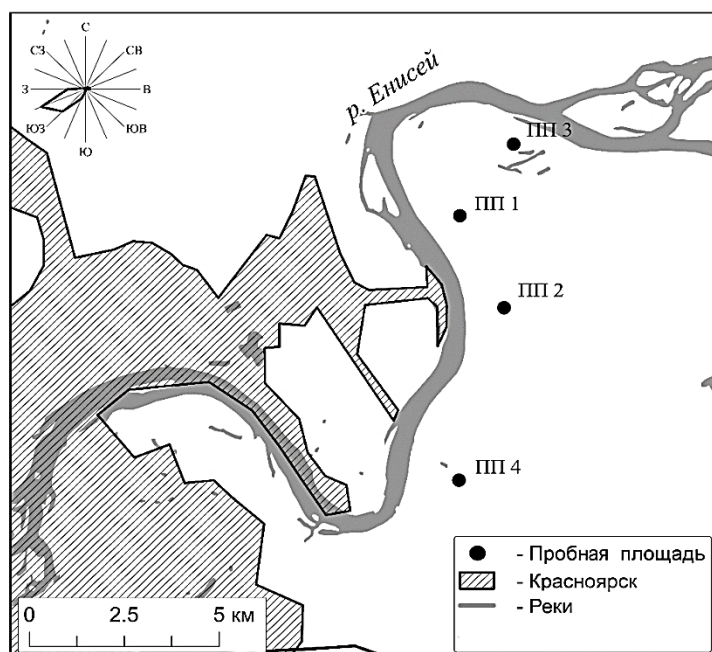


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадей

Fig. 1. Map layout of the sample plots

Для изучения напочвенного покрова (август 2017 г.) в березовых фитоценозах в пределах каждой ПП было заложено по 30 учетных площадок размером 1 м², где проводили оценку видового состава, проективного покрытия и встречаемости видов подлеска и живого напочвенного покрова по общепринятым методикам. Классификация эколого-ценотических групп (ЭЦГ) видов осуществлена по Д.И. Назимовой и др. [9] и Т.Н. Буториной [3]. Для сравнительной оценки флористических списков применен коэффициент Серенсена–Чекановского (K_{sc}). Степень видового разнообразия определена с помощью индекса Шеннона, степень рекреационной трансформации – индекса синантропизации [5]. 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 изучали с применением оценочных шкал дигрессии [14].

Степень техногенной нагрузки устанавливали по содержанию токсичных элементов (цинк, свинец, кадмий, фтор) в растениях живого напочвенного покрова (средний образец), которое определяли в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Красноярский» с использованием сертифицированных методик. Статистический анализ данных проводили в программе Excel.

ПП 1 (березняк злаково-разнотравный) расположена на надпойменной террасе р. Енисей и примыкает к автомобильной дороге. Участок подвержен сильному антропогенному воздействию. Отмечены следы рекреационного влияния, сенокоса. Характер произрастания древостоя куртинный. Подлесок как ярус не выражен, единично отмечены: *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt (высота 50...60 см), *Rosa majalis* Herzm. (30...50 см), *Spiraea chamaedryfolia* L. (30...40 см). Общее проективное покрытие напочвенного покрова составляет 95 %. Доминантами и содоминантами являются *Vicia unijuga* A. Braun, *V. amoena* Fisch., *Lathyrus pratensis* L., *Artemisia tanacetifolia* L. Травяно-кустарничковый ярус разделен на 2 подъяруса: первый (высота 70...90 см) представлен *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *C. arundinacea* (L.) Roth, *Saussurea controversa* DC.; второй (высота 30...50 см) – *Artemisia incana* (L.) Druce, *A. tanacetifolia*, *Vicia unijuga*. Структура фитоценоза относительно однородная, микроассоциации не выделяются. Мохово-лишайниковый ярус отсутствует.

ПП 2 (березняк с сосной разнотравно-злаковый) расположена на выровненной поверхности. Нанорельеф не выражен. Участок подвержен рекреационному воздействию, развита тропинопочная сеть. Подлесок (проективное покрытие 30 %) равномерно размещен по ПП, разделен на 2 подъяруса: первый (высота 1,2...2,0 м) представлен *Cotoneaster melanocarpus*, *Crataegus sanguinea* Pall., *Malus baccata* (L.) Borkh., *Viburnum opulus* L.; второй (высотой 0,5...0,7 м) – *Rosa acicularis* Lindl. Общее проективное покрытие напочвенного покрова составляет 80 %. Степень задерненности 50 %. Доминируют и содоминируют *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Thalictrum minus* L., *Vicia unijuga*. Травяно-кустарничковый ярус разделен на 2 подъяруса: первый, образованный *Elytrigia repens*, *Thalictrum minus*, *Agrimonia pilosa* Ledeb., достигает высоты 100 см, второй (высота 20...30 см) представлен *Fragaria viridis* (Duchesne) Weston, *Rubus saxatilis* L., *Lathyrus pratensis*. Горизонтальная структура фитоценоза не выражена. Мохово-лишайниковый покров отсутствует.

ПП 3 (березняк разнотравно-злаковый). Микрорельеф бугристо-западинный. На ПП отмечены следы рекреационного воздействия. Характер произрастания древостоя куртинный. Подлесок с проективным покрытием 10...20 % по ПП размещен неравномерно (куртинами) и разделен на 2 подъяруса: первый (высота 2,5...3,0 м) имеет следующий видовой состав: *Salix caprea* L., *Padus avium* Mill., *Swida alba* (L.) Opiz, *Viburnum opulus*; второй (высота 0,8...1,0 м) представлен одним видом: *Rosa acicularis*. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса 90 %. Степень задерненности почвы 70 %. Структура фитоценоза неоднородная, выделяются 3 микроассоциации:

высокотравная (доминанты: *Urtica dioica* L., *Cannabis sativa* L., *Centaurea scabiosa* L.) высотой 110...150 см; отмечена вдоль дорог и в западинах с избыточным увлажнением; занимает 10 % ПП;

разнотравная (доминанты: *Geranium sylvaticum* L., *G. pratense* L., *Phlomis tuberosa* (L.) Moench) высотой 50...70 см; занимает 40 % ПП;

злаково-осоковая (доминанты: *Elytrigia repens*, *Carex obtusata* Lilj., *C. macroura* Meinsh.) высотой 50...90 см; занимает 50 % ПП.

Мохово-лишайниковый ярус отсутствует.

ПП 4 (березняк с сосной разнотравно-осоковый). Первый ярус – 10Б+С, второй – 10С. Участок расположен на выровненной поверхности, примыкает к сельскохозяйственным полям, подвержен высокой рекреационной нагрузке. Сильно развита дорожно-тропиночная сеть. Подлесок как ярус не выражен, представлен отдельными экземплярами *Rosa acicularis*, *Spiraea chamaedryfolia*, *Padus avium*, *Crataegus sanguinea*, *Malus baccata*, *Syringa josikaea* J. Jacq. ex Reichenb., *Cotoneaster melanocarpus*, *Swida alba*. Общее проективное покрытие напочвенного покрова достигает 80 %. Степень задерненности почвы 60 %. Травяно-кустарничковый ярус разделен на 2 подъяруса: первый (высота 50...70 см) состоит из *Vicia unijuga*, *Calamagrostis arundinacea*, *Cimicifuga foetida* L., *Geranium sylvaticum*; второй (высота 15...25 см) – из *Lathyrus humilis* (Ser.) Spreng., *Carex macroura* и др. Структура фитоценоза относительно неоднородная, выделяются 2 микроассоциации:

разнотравно-злаковая, занимающая 10 % ПП в виде узкой полосы вдоль сельскохозяйственных полей;

разнотравно-осоковая, занимающая 90 % ПП.

Мохово-лишайниковый ярус представлен в виде отдельных пятен *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt с проективным покрытием не более 3 %.

На ПП отмечены 2 клона *Cypripedium calceolus* L., занесенного в Красную книгу Красноярского края [8].

Результаты исследования и их обсуждение

В 2005 г. в изучаемых березовых ценозах было зафиксировано: 2 вида древесных растений, 9 видов кустарников, 92 вида травяно-кустарничкового яруса, 1 вид мха. В 2017 г. исследования показали наличие в видовом составе 2 видов растений древесного яруса, 11 видов кустарников, 95 видов травяно-кустарничкового яруса, 1 вида мха. Наибольшие изменения в флористическом составе за истекшие 12 лет произошли на ПП 3 ($K_{sc} = 0,79$), наименьшие – на ПП 4 ($K_{sc} = 0,86$) (табл. 2).

Таблица 2

**Характеристика напочвенного покрова
в 2005 г. (числитель) и 2017 г. (знаменатель)**

Показатель	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 4
Коэффициент Серенсена–Чекановского*	0,81	0,81	0,79	0,86
Индекс Шеннона	$\frac{3,33}{2,93}$	$\frac{3,82}{2,96}$	$\frac{3,37}{3,34}$	$\frac{3,36}{2,60}$
Индекс синантропизации	$\frac{9,8}{11,9}$	$\frac{12,3}{16,7}$	$\frac{21,4}{32,7}$	$\frac{5,0}{6,9}$
Стадия дигрессии	$\frac{II}{III}$	$\frac{II}{II}$	$\frac{III}{III}$	$\frac{IV}{III}$

*Коэффициент Серенсена–Чекановского показывает сходство видового состава между 2005 и 2017 г.

Сравнительный анализ данных на ПП 1 показал снижение индекса Шеннона (с 3,33 до 2,93) при одновременном увеличении индекса синантропизации (с 9,8 до 11,9) за 12 лет, прошедшие со времени предыдущего исследования. В видовом составе напочвенного покрова произошли следующие изменения: снизили свое проективное покрытие и встречаемость (вплоть до исчезновения) виды, относящиеся к эколого-ценотической группе лугового и лугово-лесного разнотравья (*Lathyrus pratensis*, *Vicia amoena*, *Campanula glomerata* L., *Iris ruthenica* Ker Gawl.) и к лесостепной группе (*Fragaria viridis*, *Adenophora liliifolia* (L.) A. DC., *Anemone sylvestris* L.), одновременно увеличились проективное покрытие и встречаемость злаков (*Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia repens*). Это свидетельствует о том, что малоустойчивые к уплотнению почвы и имеющие хрупкие надземные органы и поверхностную корневую систему лесные и луговые виды сменяются относительно устойчивыми к уплотнению почвы злаками. Согласно шкале рекреационной трансформации растительных сообществ [11], данный фитоценоз, находившийся в 2005 г. на начальной фазе стадии слабой рекреационной трансформации, на момент исследований в 2017 г. относится уже к заключительной фазе той же стадии.

Одним из ведущих показателей, характеризующих фитоценоз, является продуктивность напочвенного покрова. Изучение количественных и качественных характеристик фитомассы – составная часть исследований биологической продуктивности как в биогеоценотическом, так и в ресурсоведческом аспектах [15]. Запасы фитомассы живого напочвенного покрова в исследуемом березовом ценозе достоверно не изменились ($p > 0,05$), составляя в 2005 и 2017 г. соответственно $200,78 \pm 70,90$ и $360,70 \pm 104,13$ г/м² (рис. 2).

Однако структура фитомассы подверглась изменению за истекший период времени (табл. 3). Доля устойчивых и относительно устойчивых к уплотнению почвы видов (*Calamagrostis arundinacea*, *Geum rivale* L., *Carex macroura*, *Artemisia tanacetifolia*, *Elytrigia repens*) увеличилась ($p < 0,05$), при этом доля малоустойчивых к уплотнению почвы видов (*Vicia unijuga*, *Geranium sylvaticum*) сократилась.

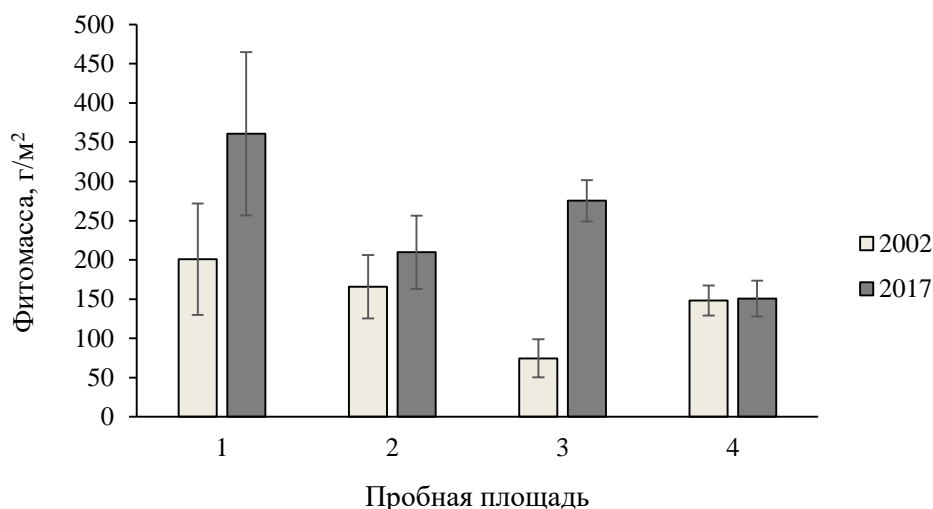


Рис. 2. Общий запас фитомассы напочвенного покрова в березовых ценозах

Fig. 2. The total stock of soil cover phytomass in birch cenoses

Все перечисленное выше позволяет предположить, что на изучаемой территории происходит дальнейшая деградация напочвенного покрова под влиянием возросшей рекреационной нагрузки. Степень рекреационной дигрессии на ПП 1 за 12 лет, прошедших со времени предыдущего исследования в 2005 г., изменилась со II на III.

На ПП 2 проективное покрытие и встречаемость основных доминантных видов не изменились, хотя индекс Шеннона сократился (с 3,82 до 2,96), а индекс синантропизации возрос (с 12,3 до 16,7). Зафиксировано наличие некоторых второстепенных видов, не отмеченных ранее и относящихся к лугово-лесным видам (*Trifolium pratense* L., *Thalictrum foetidum* L.), одновременно выявлено снижение проективного покрытия и встречаемости (до полного исчезновения) других лугово-лесных видов (*Potentilla bifurca* L., *Medicago falcata* L., *Euphorbia pilosa* L.). Данный фитоценоз продолжает находиться на заключительной фазе стадии слабой рекреационной трансформации.

Запасы фитомассы на ПП 2 за исследуемый период изменились не существенно (с $165,68 \pm 40,3$ до $209,7 \pm 46,78$ г/м²). В структуре запасов фитомассы доля синантропных видов (*Achillea millefolium* L., *Agrimonia pilosa*) не изменилась. Вклад таких видов, как *Calamagrostis arundinacea*, *Thalictrum minus*, *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv., относительно устойчивых к уплотнению почвы, увеличился, тогда как вклад других относительно устойчивых к уплотнению почвы видов (*Carex macroura*, *Artemisia glauca* Pall. ex Willd.) сократился, что может свидетельствовать об адаптации фитоценоза к антропогенной нагрузке. ПП 2 в 2017 г., как и в 2005 г., имеет II стадию рекреационной дигрессии.

На ПП 3 в 2017 г. по сравнению с 2005 г. отмечено существенное изменение видового состава травяно-кустарничкового яруса в основном за счет внедрения синантропных видов (индекс синантропизации возрос с 21,4 до 32,7). Снизил свое проективное покрытие виды группы лугового и лугово-лесного разнотравья (*Rubus saxatilis*, *Fragaria viridis*, *Galium boreale* и др.).

Таблица 3

Фитомасса наиболее продуктивных видов растений напочвенного покрова (г/м²) и их доля (%) от общей фитомассы напочвенного покрова в 2002 (числитель) и 2017 гг. (знаменатель)

Вид	ПП 1		ПП 2		ПП 3		ПП 4	
	Фитомасса	Доля	Фитомасса	Доля	Фитомасса	Доля	Фитомасса	Доля
<i>Achillea millefolium</i>	–	–	1,78 6,20	1,1 1,0	0,06 35,00	0,1 3,5	–	–
<i>Agrimonia pilosa</i>	0,40 6,80	0,2 0,6	4,32 17,90	2,7 2,9	0,32 33,60	0,4 3,7	0,96 46,40	0,7 13,0
<i>Artemisia glauca</i>	–	–	15,46 12,40	9,7 2,0	–	–	–	–
<i>Artemisia tanacetifolia</i>	3,84 88,00	1,9 7,6	–	–	0,28 82,20	0,4 8,2	–	–
<i>Brachypodium pinnatum</i>	27,80 157,60	13,8 13,6	1,76 75,60	1,1 12,1	–	–	2,26 3,00	1,5 0,8
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	24,18 227,00	12,0 19,6	0,74 109,60	0,5 17,5	1,08 162,60	1,5 16,3	27,58 70,00	18,7 19,6
<i>Carex macrogoua</i>	1,52 59,20	0,8 5,1	46,10 20,80	28,8 3,3	0,28 87,50	0,4 8,8	57,74 82,80	39,1 23,2
<i>Elytrigia repens</i>	19,12 234,80	9,5 20,2	18,96 34,80	11,8 5,6	6,62 107,46	9,0 10,8	14,62 10,20	9,9 2,9
<i>Geranium sylvaticum</i>	8,78 3,20	4,4 0,3	0,32 13,80	0,2 2,2	1,40 1,80	1,9 0,2	–	–
<i>Geum rivale</i>	0,36 96,80	0,2 8,3	–	–	7,42 85,20	10,1 8,5	–	–
<i>Polygonatum odoratum</i>	–	–	–	–	–	–	1,08 10,40	0,7 2,9
<i>Thalictrum minus</i>	1,54 20,00	0,8 1,7	5,12 17,30	3,2 27,7	0,10 86,20	0,1 8,6	4,32 10,00	2,9 20,8
<i>Urtica dioica</i>	–	–	–	–	0,14 111,40	0,2 11,2	–	–
<i>Vicia unijuga</i>	34,08 135,80	17,0 11,6	12,58 76,90	7,9 12,3	–	–	1,56 11,40	1,1 5,2
<i>Viola mirabilis</i>	–	–	0,10 0,60	0,1 0,1	6,16 1,80	8,4 0,2	1,42 8,80	0,9 2,9

Одновременно с этим увеличилось проективное покрытие *Festuca pratensis* Huds. и *Achillea millefolium*, т. е. видов, относительно устойчивых к уплотнению почвы. В напочвенном покрове появились виды, не отмеченные ранее: *Cannabis sativa*, *Convolvulus arvensis* L., *Linaria vulgaris* Mill., *Arctium tomentosum* Mill., *Berteroa incana* (L.) DC., *Cirsium setosum* (Willd.) Besser. Все они относятся к представителям синантропной растительности. Фитоценоз на ПП 3, находившийся в 2005 г. на начальной фазе стадии умеренной рекреационной трансформации, в 2017 г. относится уже к заключительной фазе стадии умеренной трансформации.

Запасы фитомассы на ПП 3 за 12-летний период возросли в 3 раза ($p < 0,05$). В структуре запасов фитомассы увеличили свой вклад виды, относительно устойчивые к уплотнению почвы (*Calamagrostis arundinacea*, *Urtica dioica*, *Carex macrourea*, *Thalictrum minus*, *Agrimonia pilosa*, *Artemisia tanacetifolia*). Ослабление конкуренции со стороны других видов привело к тому, что многие экземпляры вышеперечисленных видов отличались увеличенными размерами. Одновременно с этим снизилась доля малоустойчивых к уплотнению почвы видов (*Viola mirabilis*, *Geranium sylvaticum*).

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что рекреационная нагрузка за последние 12 лет значительно возросла. Известно [12], что при длительном воздействии антропогенного фактора в фитоценозе наступает фаза адаптации, когда растения могут увеличивать биомассу, интенсивность роста и размножения, что и наблюдается на ПП 3. Несмотря на это, данный фитоценоз находится на III стадии дигрессии, как и в 2005 г., чему, вероятно, способствовало снижение техногенного воздействия.

На ПП 4 по сравнению с предыдущими исследованиями 2005 г. отмечено снижение видового разнообразия (индекс Шеннона сократился с 3,36 до 2,60) при одновременном увеличении индекса синантропизации (с 5,0 до 6,9). Исходя из количества синантропных видов, в 2017 г. фитоценоз находится на начальной фазе стадии слабой рекреационной трансформации (как и в 2005 г.). Проективное покрытие и встречаемость основных доминантных видов не изменились, зафиксировано появление видов, относящихся к различным ЭЦГ и не отмеченных ранее (*Cypripedium calceolus*, *Centaurea scabiosa*, *Rubus saxatilis*, *Allium ramosum* L., *Medicago sativa*, *Lupinaster pentaphyllus* Moench, *Adenophora liliifolia* (L.) A. DC.).

Запасы фитомассы за исследуемый 12-летний период на ПП 4 не изменились. В структуре запасов фитомассы отмечены следующие изменения: доля видов, малоустойчивых к уплотнению почвы (*Viola mirabilis*, *Polygonatum odoratum*) увеличилась, доля ряда видов, относительно устойчивых к уплотнению почвы, сократилась (*Elytrigia repens*, *Carex macrourea*), тогда как другие виды, относящиеся к той же группе (*Calamagrostis arundinacea*, *Thalictrum minus*), сохранили свой вклад.

Все вышеизложенное свидетельствует о снижении рекреационной нагрузки. Данный факт объясняется закрытием пионерлагерей, организацией обустроенных мест отдыха горожан и выделением отдельных участков для свалки бытового и строительного мусора, вследствие чего рекреационная нагрузка стала меньше. Степень рекреационной дигрессии за исследуемый период изменилась с IV на III.

С начала 2000-х гг. на АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод» (основное металлургическое предприятие г. Красноярск) начался переход на новую технологию («Экологический Содерберг»), позволившую снизить

количество вредных для окружающей среды выбросов [4]. Результаты анализа смешанного образца растений напочвенного покрова в 2017 г. (табл. 4) и их сравнение с литературными данными показали, что на момент исследований концентрации токсичных элементов в растениях не достигают избыточных значений, при которых происходит нарушение стабильности их развития [13].

Таблица 4

Содержание элементов в растительном материале (мг/кг сухой массы)

Элемент	Определенное в ходе исследования				По литературным данным [7]	
	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 4	Достаточное	Избыточное
Zn	9,6±1,9	12,8±2,6	24,5±4,9	21,2±4,2	27...150	100...400
Pb	<0,10	<0,10	<0,10	0,87±0,22	5...10	30...300
Cd	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05...0,20	5...30
F	17,3±1,7	11,4±1,1	22,8±2,3	29,5±2,9	5...30	50...500

Это позволяет предположить, что изменения в растительном покрове, отмеченные в 2017 г., в большей мере обусловлены рекреационной, нежели техногенной нагрузкой.

Заключение

Установлено, что изменения в напочвенном покрове, отмеченные в 2017 г. по отношению к состоянию напочвенного покрова в 2005 г., в большей мере обусловлены рекреационной, нежели техногенной, нагрузкой (изменившейся в связи с внедрением на АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод» новой технологии, позволившей снизить количество токсичных промышленных выбросов).

Анализ изменений видового разнообразия, количественного соотношения эколого-ценотических групп, структуры и абсолютного значения запаса фитомассы показал, что на ПП 1 вследствие возросшей рекреационной нагрузки изменилась стадия рекреационной дигрессии напочвенного покрова со II на III. В результате снижения рекреационного и техногенного воздействия на ПП 4 стадия дигрессии изменилась с IV на III, тогда как на ПП 2 и 3 сохранились отмеченные в 2005 г. стадии дигрессии напочвенного покрова (II и III соответственно).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Антипова Е.М. Сорная растительность северных лесостепей Средней Сибири // Вестн. КрасГАУ. 2008. № 2. С. 80–84. [Antipova E.M. Weed Vegetation of the Northern Forest Steppes of Central Siberia. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2008, no. 2, pp. 80–84].
2. Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с. [Anuchin N.P. *Forest Inventory*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552 p.].
3. Буторина Т.Н. Эколого-ценотический анализ кустарничково-травяного яруса лесных ассоциаций // Типы лесов Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 31–52. [Butorina T.N. Ecological and Cenotic Analysis of the Shrub-Grass Layer of Forest Communities. *Forest Types of Siberia*. Moscow, AN SSSR Publ., 1963, pp. 31–52].
4. Внедрение проекта «Экологически приемлемая технология Содерберга» АО «РУСАЛ Красноярск». Режим доступа: <http://tehne.com/assets/i/upload/event/RUSAL-Krasnoarsk.pdf> (дата обращения: 02.04.19). [Implementation of the Project "Environmentally friendly technology of Soderberg" AO "RUSAL Krasnoyarsk".

tally Sound Technology of Soderberg” JSC “RUSAL Krasnoyarsk”. Moscow, RUSAL, 2017. 11 p.].

5. Горчаковский П.Л. Антропогенные изменения растительности: мониторинг, оценка, прогнозирование // Экология. 1984. № 5. С. 3–16. [Gorchakovskiy P.L. Anthropogenic Changes in Vegetation: Monitoring, Estimation, Prognostication. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 1984, no. 5, pp. 3–16].

6. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2016 году». Красноярск: М-во природ. ресурсов и экологии Красноярского края, 2017. 301 с. [State Report on the State and Protection of the Environment in the Krasnoyarsk Krai in 2016. Krasnoyarsk, Ministry of Natural Resources and Environment, 2017. 301 p.].

7. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с. [Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*. Moscow, Mir Publ., 1989. 439 p.].

8. Красная книга Красноярского края: Растения и грибы. Красноярск: Поликом, 2005. 368 с. [Red Book of the Krasnoyarsk Krai: Plants and Mushrooms. Krasnoyarsk, Polikom Publ., 2005. 368 p.].

9. Назимова Д.И., Дробушевская О.В., Данилина Д.М., Коновалова М.Е., Кофман Г.Б., Бугаева К.С. Биоразнообразие и динамика низкогорных лесов Саян: региональный и локальный уровни // Разнообразие и динамика лесных экосистем России: в 2 кн. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2012. Кн. 1. С. 131–172. [Nazimova D.I., Drobushhevskaya O.V., Danilina D.M., Konovalova M.E., Kofman G.B., Bugayeva K.S. Biodiversity and Dynamics of Low-Mountain Sayan Forests: Regional and Local Levels. *Diversity and Dynamics of Forest Ecosystems in Russia*. In 2 books. Moscow, KMK Publ., 2012, book 1, pp. 131–172].

10. Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1974. 403 с. [Program and Method of Biogeocenological Studies. Moscow, Nauka Publ., 1974. 403 p.].

11. Прокопьев Е.П., Рыбина Т.А. Опыт мониторинга синантропизации и антропогенной трансформации растительного покрова особо охраняемых природных территорий г. Томска // Вестн. Томск. гос. ун-та. Сер.: Биология. 2010. № 3(11). С. 109–118. [Prokopiev E.P., Rybina T.A. Experience of Monitoring Synanthropization and Anthropogenic Transformation of Vegetation of Specially Protected Areas in Tomsk. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Journal of Biology], 2010, no. 3(11), pp. 109–118].

12. Рысин Л.П., Рысин С.Л. Урболесоведение. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2012. 240 с. [Rysin L.P., Rysin S.L. *Urban Forest Science*. Moscow, KMK Publ., 2012. 240 p.].

13. Скрипальщикова Л.Н., Пономарева Т.В., Бажина Е.В., Барченков А.П., Белянин А.В. Техногенные нагрузки на березняки Красноярской лесостепи // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 130–135. [Skrival'shchikova L.N., Ponomareva T.V., Bazhina E.V., Barchenkov A.P., Belyanin A.V. Technogenic Loads on Birch Stands in Krasnoyarsk Forest-Steppe. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2017, no. 6, pp. 130–135]. DOI: [10.15372/SJFS20170611](https://doi.org/10.15372/SJFS20170611)

14. Таран И.В. Рекреационные леса Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1985. 230 с. [Taran I.V. *Recreational Forests of Western Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. 230 p.].

15. Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 366 с. [Usoltsev V.A., Vorobeichik E.L., Bergman I.E. *Biological Productivity of Ural Forests under Conditions of Air Pollutions: An Investigation of a System of Regularities*. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2012. 366 p.].

16. Brown J.H., Kallsz S.P., Wright W.R. Effects of Recreational Use on Forested Sites. *Environmental Management*, 1977, vol. 1, iss. 5, pp. 425–431. DOI: [10.1007/BF01866999](https://doi.org/10.1007/BF01866999)
17. Chandrashekara U.M., Muraleedharan P.K., Sibichan V. Anthropogenic Pressure on Structure and Composition of a Shola Forest in Kerala, India. *Journal of Mountain Science*, 2006, vol. 3, iss. 1, pp. 58–70. DOI: [10.1007/s11629-006-0058-0](https://doi.org/10.1007/s11629-006-0058-0)
18. Chernen'kova T.V. Biodiversity of Forest Vegetation under Industrial Pollution. *Russian Journal of Ecology*, 2014, vol. 45, iss. 1, pp. 1–10. DOI: [10.1134/S1067413614010044](https://doi.org/10.1134/S1067413614010044)
19. Dulamsuren C., Hauck M., Mühlenberg M. Vegetation at the Taiga Forest-Steppe Borderline in the Western Khentey Mountains, Northern Mongolia. *Annales Botanici Fennici*, 2005, vol. 42, no. 6, pp. 411–426.
20. Hytönen J., Issakainen J. Effect of Repeated Harvesting on Biomass Production and Sprouting of *Betula pubescens*. *Biomass and Bioenergy*, 2001, vol. 20, iss. 4, pp. 237–245. DOI: [10.1016/S0961-9534\(00\)00083-0](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00083-0)
21. Osumi K. Reciprocal Distribution of Two Congeneric Trees, *Betula platyphylla* var. *japonica* and *Betula maximowicziana*, in a Landscape Dominated by Anthropogenic Disturbances in Northeastern Japan. *Journal of Biogeography*, 2005, vol. 32, iss. 12, pp. 2057–2068. DOI: [10.1111/j.1365-2699.2005.01368.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01368.x)
22. Otoda T., Sakamoto K., Hirobe M., Undarmaa J., Yoshikawa K. Influences of Anthropogenic Disturbances on the Dynamics of White Birch (*Betula platyphylla*) Forests at the Southern Boundary of the Mongolian Forest-Steppe. *Journal of Forest Research*, 2013, vol. 18, iss. 1, pp. 82–92. DOI: [10.1007/s10310-011-0324-z](https://doi.org/10.1007/s10310-011-0324-z)
23. Vorobeichik E.L., Kozlov M.V. Impact of Point Polluters on Terrestrial Ecosystems: Methodology of Research, Experimental Design, and Typical Errors. *Russian Journal of Ecology*, 2012, vol. 43, iss. 2, pp. 89–96. DOI: [10.1134/S1067413612020166](https://doi.org/10.1134/S1067413612020166)
23. Zvereva E.L., Toivonen E., Kozlov M.V. Changes in Species Richness of Vascular Plants under the Impact of Air Pollution: A Global Perspective. *Global Ecology and Biogeography*, 2008, vol. 17, iss. 3, pp. 305–319. DOI: [10.1111/j.1466-8238.2007.00366.x](https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00366.x)

UNDERSTORY VEGETATION COVER COMPONENTS ASSESSMENT IN ANTHROPOGENICALLY DISTURBED BIRCH STANDS OF KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

I.A. Goncharova^{1, 2}, Candidate of Biology, Research Scientist;

ResearcherID: [AAF-6890-2019](https://orcid.org/0000-0002-3495-9979), ORCID: [0000-0002-3495-9979](https://orcid.org/0000-0002-3495-9979)

L.N. Skripal'shchikova¹, Candidate of Biology, Assoc. Prof., Senior Research Scientist;

ResearcherID: [AAF-7714-2019](https://orcid.org/0000-0003-2294-497X), ORCID: [0000-0003-2294-497X](https://orcid.org/0000-0003-2294-497X)

A.P. Barchenkov¹, Candidate of Biology, Research Scientist; ORCID: [0000-0003-3964-480X](https://orcid.org/0000-0003-3964-480X)

A.S. Shushpanov^{1, 3}, Candidate of Biology, Research Scientist; ResearcherID: [P-9468-2016](https://orcid.org/0000-0003-3833-5730), ORCID: [0000-0003-3833-5730](https://orcid.org/0000-0003-3833-5730)

¹Sukachev Institute of Forest SB RAS, Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation; e-mail: iagoncharova007@mail.ru, lara@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru, shushpanov.as@ksc.krasn.ru

²Krasnoyarsk Museum of Regional Studies, Krasnoyarsk, ul. Dubrovinskogo, 84, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: iagoncharova007@mail.ru

³Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prosp. im. gazety «Krasnoyarskiy rabochiy», 31, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation; e-mail: shushpanov.as@ksc.krasn.ru

The vegetation cover characteristics of anthropogenically disturbed birch stands of Krasnoyarsk forest-steppe are studied. The research purpose is to study the current state of under-

story vegetation cover of the birch stands, which have been exposed to recreational and anthropogenic impacts for a long time, as well as to assess the degree and nature of its change over the 12-year period since the last research. The studies were carried out on the sample plots laid out in mixed herbs birch stands. Cenoses are characterized by V–VI age classes, II–IV quality classes, and 0.6–0.9 density of stocking. The birch stands are located in the main transfer of Krasnoyarsk industrial emissions. Phytocenoses were under significant anthropogenic and recreational impact for a long time. At each facility, 30 sites (1 m² each) were laid, where species composition, horizontal and vertical structure, projective cover and occurrence of undergrowth and forest live cover species were assessed. The comparative analysis of floristic lists was performed using the Sørensen-Czekanowski coefficient (K_{sc}). The degree of species diversity was estimated by using the Shannon index; the degree of recreational transformation – synanthropization index. Cuttings were taken from 10 sites (20 × 25 cm each) for recording the phytomass stock of forest live cover on each sample area. Plants were cut off at the litter level, sorted by species, dried and weighed. Rating scales of digression were used to study the recreation influence. The degree of anthropogenic impact was determined by the content of toxic ingredients in plants of living ground cover. It is found that the toxic elements concentration in plants does not reach excessive values at which homeostasis disturbance happens. It was concluded that the changes in vegetation cover observed in 2017 in relation to the state of 2005 are more due to recreational than anthropogenic impact; which changed due to the introduction of a new technology at the JSC “RUSAL Krasnoyarsk Aluminum Plant”, which made it possible to reduce toxic industrial emissions. According to the study results, the species composition of the undergrowth and forest live cover was determined, the features of its change over a 12-year period were revealed. It is noted that species diversity has decreased and the proportion of synanthropic species has increased across all plots. Total forest live cover phytomass and individual species phytomass are determined at each plot. The regularities of change in different species contribution to the total stock of phytomass, depending on recreational impact changes, were identified. The ground cover recreational digression stages are determined by analyzing the changes in species diversity, the quantitative ratio of ecological-cenotic groups, the structure and the absolute value of phytomass.

For citation: Goncharova I.A., Skripal'shchikova L.N., Barchenkov A.P., Shushpanov A.S. Understory Vegetation Cover Components Assessment in Anthropogenically Disturbed Birch Stands of Krasnoyarsk Forest-Steppe. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 1, pp. 75–87. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-75-87

Funding: The study was carried out within the framework of the basic research projects of the Sukachev Institute of Forest SB RAS “Biodiversity of Indigenous Coniferous and Derivative Forest Ecosystems” (No. 0356-2016-0301) and “Dynamics of Siberian Forests in a Changing Climate. Monitoring of the Living State, Productivity and Ranges of the Main Forest-Forming Species of Woody Plants” (No. 0356-2018-0739).

Keywords: Krasnoyarsk forest-steppe, birch stands, ground layer, species composition, anthropogenic factors, phytomass stock.

Поступила 02.04.19 / Received on April 2, 2019
