

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-244-260

УДК 574.24

МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЛЕСНЫЕ БИОГЕОЦЕНОЗЫ ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ

Т.А. Михайлова, О.В. Шергина, О.В. Калугина

Цель. Исследовать современное состояние лесных биогеоценозов в рекреационных зонах южного побережья Байкала по комплексу параметров древостоев и почвенного покрова, выявить участки, где необходимы безотлагательные меры по снижению рекреационной нагрузки.

Материалы и методы. В рекреационных зонах, характеризующихся высокими туристическими потоками, были заложены пробные площади (ПП) для обследования состояния лесных биогеоценозов по отечественным и международным методикам. Определяли изменение морфоструктурных параметров деревьев сосны обыкновенной (вида-индикатора), в образцах хвои – содержание биогенных элементов, белкового азота, фотосинтетических пигментов, некоторых поллютантов. Для исследования состояния почвы на ПП закладывали разрезы до глубины подстилающей породы. Определяли морфологические и физико-химические параметры верхних почвенных горизонтов, уровень обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе (ППК), содержание подвижных форм ряда тяжелых металлов.

Результаты. При исследовании основных компонентов лесных биогеоценозов показано, что пресс рекреации является основным фактором, инициирующим процесс деградации почвы и древостоев. Системный характер этого процесса обусловлен биогеохимическими изменениями, вызванными нарушением физико-химических характеристик почвы, что приводит к дисбалансу биогенных элементов в ППК и ухудшению питательного режима почвы, соответственно, проявляется дисбаланс элементов в ассимиляционных органах деревьев и, как следствие, угнетение их ростовых параметров.

Применение результатов. Полученные данные служат информационной базой для региональных природоохранных органов при разработке мер, направленных на оптимизацию рекреационной нагрузки.

Заключение. Необходим постоянный мониторинг состояния лесов, окружающих Байкал и имеющих большую значимость в формировании стока воды в озеро.

Ключевые слова: лесные биогеоценозы; сосна обыкновенная; почвенный покров; антропогенные факторы; южное побережье Байкала

Для цитирования. Михайлова Т.А., Шергина О.В., Калугина О.В. Мониторинг влияния антропогенных факторов на лесные биогеоценозы южного побережья оз. Байкал // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 244-260. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-244-260

MONITORING OF ANTHROPOGENIC FACTORS INFLUENCE ON FOREST BIOGEOCENOSIS IN THE SOUTH COAST OF LAKE BAIKAL

T.A. Mikhailova, O.V. Shergina, O.V. Kalugina

Purpose is to investigate the current state of forest biogeocenoses in the recreational zones of the southern coast of Lake Baikal in terms of a set of parameters forest stands and soil cover, to identify areas where urgent measures are needed to reduce the recreational load.

Materials and methods. Test plots (TP) were laid to examine the state of forest biogeocenoses in the recreational zones characterized by high tourist flows, using domestic and international methods. The changes in the morphostructural parameters of Scots pine trees (indicator species) were determined, in the samples of needles – the content of biogenic elements, protein nitrogen, photosynthetic pigments, and some pollutants. To study the state of the soil on the TP, cuts were laid down to the depth of the underlying rock. The morphological and physical-chemical parameters of the upper soil horizons, the level of exchangeable cations in the soil absorbing complex (SAC), and the content of mobile forms a number of heavy metals were determined.

Results. The study of the main components of forest biogeocenoses showed that the pressure of recreation is the main factor initiating the degradation process of soil and tree-stands. The systemic nature of this process is due to biogeochemical changes caused by a violation in the soil physical-chemical characteristics, which leads to an imbalance biogenic elements in the SAC and a deterioration in the soil nutrient regime. Respectively, an elements imbalance in the assimilation organs of trees is manifested and, as a consequence, there is inhibition of their growth parameters.

Application of results. The data obtained serve as an information base for regional environmental authorities in the development of measures aimed at optimizing the recreational load.

Conclusion. *It is necessary to constantly monitor the condition of the forests surrounding Lake Baikal and are of great importance in the formation of water flow into the lake.*

Keywords: *forest biogeocenoses; Scots pine; soil cover; anthropogenic factors; southern coast of the Lake Baikal*

For citation. *Mikhailova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V. Monitoring of Anthropogenic Factors Influence on Forest Biogeocenosis in the South Coast of Lake Baikal. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 244-260. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-244-260*

Введение

Леса, выполняя климаторегулирующие, водоохраные, противоэрозийные и другие экологически значимые функции, являются важнейшим средообразующим ресурсом как регионального масштаба, так и биосферы в целом [17]. Что касается сохранения такого уникального природного объекта, как озеро Байкал, то тут необходим постоянный мониторинг состояния не только непосредственно его водной экосистемы, но и окружающих его лесных биогеоценозов, формирующих более половины стока воды в озеро [2]. Леса побережий Байкала характеризуются преобладанием в своём составе ценных хвойных видов – сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, кедра (сосны сибирской), ели сибирской и пихты сибирской, из мелколиственных пород распространены береза повислая, осина, кустарники. Экологическое состояние лесных экосистем, окружающего озеро, стало вызывать особую тревогу в последние два десятилетия, что во многом связано с резким возрастанием туристического потока и, соответственно, со значительным усилением рекреационной нагрузки на эти территории [6, 8, 18]. По данным Агентства по туризму Иркутской области [16], объем турпотока в Южное Прибайкалье составляет более 15% от общего числа туристов области. Так, в 2019 г. общее число туристов составило 1 млн 830 тыс. чел., а число отдыхающих на южном побережье Байкала (г. Байкальск, КБЖД, Утулик, Хамар-Дабан) достигало 270 тыс. чел. Особо высокий турпоток характерен для пос. Листвянка, по экспертным оценкам, он превышает 400 тыс. чел. в год. Приведенные данные свидетельствуют, что значительный рост числа туристов, то есть нерегулируемое рекреационное лесопользование, является одним из наиболее значимых факторов прогрессирующей высокой нарушенности лесов побережья Байкала. Другой антропогенный фактор, оказывающий негативное влияние на состояние байкальских лесов на локальных участках – техно-

генное загрязнение, источниками которого являются аэровыбросы Южно-Байкальского промузла (г. Слюдянка, г. Байкальск, пос. Култук), а также достигающие побережья эмиссионные потоки от предприятий крупной Иркутско-Черемховской промышленной зоны [12, 14]. В пос. Листвянка загрязнение окружающей среды обусловлено, помимо переноса региональных техногенных эмиссий, также и местными источниками, включая выбросы автотранспорта [5].

Исследователями неоднократно предлагались меры по оптимизации состояния природных рекреационных объектов побережья. Так, предложено принципиально изменить подход к оценке допустимости видов деятельности, установив запрет на применение технологий, сопровождающихся образованием отходов и вредных веществ для экосистемы озера [4], обосновывается необходимость планировать рекреационные нагрузки исходя из устойчивости ландшафтов к воздействию туристической деятельности [7], разработаны правила организации туризма и отдыха на Байкале [9], намечены пути решения проблемы лесовосстановления, в том числе силами волонтеров и школьных лесничеств. При рассмотрении зарубежного опыта исследований лесов, подвергающихся высокой рекреационной нагрузке, обнаруживается, что подобная проблема характерна для многих стран. При этом, рекреационное воздействие на леса изучается по нескольким направлениям, включая экологическое, социальное, экономическое, влияние на экосистемные функции [21, 24, 25]. Многие авторы считают, что рекреация является одной из наиболее важных услуг экосистем, для эффективного выполнения которой необходимы: разработка рекреационного менеджмента, обоснование оценочных индикаторов, перспективное планирование работ по оптимизации состояния лесов [20, 22].

Целью нашей работы было исследовать современное состояние лесных биогеоценозов в рекреационных зонах южного побережья Байкала по комплексу параметров древостоев и почвенного покрова, выявить участки, где необходимы безотлагательные меры по снижению рекреационной нагрузки.

Материал и методы исследований

Исследования проводились на южном побережье оз. Байкал в рекреационных зонах, характеризующихся высоким туристическим потоком – в окрестностях с. Большое Голоустное (Б. Голоустное), пос. Листвянка, вдоль Кругобайкальской железной дороги (КБЖД) от порта Байкал, урочища Шарыжалгай до г. Слюдянка, в окрестностях г. Байкальска, а также на

берегах рек, впадающих в Байкал: Утулик, Солзан, Хара-Мурин, Снежная, Выдриная, Переёмная. На этих рекреационных территориях закладывали пробные площади (ПП), на которых обследовалось состояние лесных биогеоценозов по параметрам основных их компонентов – древостоя и почвенного покрова (рис. 1). В качестве фоновой служила пробная площадь в ненарушенном биогеоценозе в окрестностях с. Нижний Кочергат (ПП Ф). Параметры ПП Ф свидетельствовали об отсутствии рекреационной дигрессии леса – имела место ненарушенная лесная подстилка, повреждение не более 5% подроста и подлеска, напочвенный живой покров сложен из типичных лесных видов растений, тропиночная сеть отсутствует [3].



Рис. 1. Расположение пробных площадей (ПП) на южном побережье оз. Байкал: ПП I – с. Б. Голоустное, ПП II – пос. Листвянка, ПП III – порт Байкал, ПП IV – урочище Шарьжалгай, ПП V – г. Слюдянка, ПП VI – берег р. Утулик, ПП VII – г. Байкальск, ПП VIII – берег р. Солзан, ПП IX – берег р. Хара-Мурин, ПП X – берег р. Снежной, ПП XI – берег р. Выдриной, ПП XII – берег р. Переёмной. Ф – фоновая ПП.

Общая протяженность обследованной береговой полосы составила около 250 км. Для этой территории характерны горный рельеф, резко континентальный климат, антициклональный тип погоды, продолжительный период низких температур воздуха, однако, сезонные колебания температуры смягчает огромная водная масса озера [1]. По ряду орографических, гидрологических, атмосферных и ландшафтных особенностей юго-западное побережье (от Б. Голоустное до пос. Култук) отличается от юго-восточного (от г. Слюдянка до р. Переёмная). Первое характеризует-

ся меньшим количеством осадков и большей годовой величиной суммарной радиации. На западном побережье хребты подступают к озеру почти вплотную, а на восточном они отделены от береговой линии прибрежными равнинами или невысокими предгорьями [2]. Растительность побережья представлена лесами из сосны с примесью березы, лиственницы, кедра, осины. В качестве растения-индикатора служила сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) как основной лесообразующий вид. Ранее нами было дано подробное обоснование использования именно этого вида в индикационных целях при оценке состояния лесов Байкальского региона [11]. Сосновые леса занимают обширные территории на равнинах и в нижних поясах гор, характеризуются разнообразным травяно-кустарниковым ярусом. Почвенный покров неоднороден, на юго-западном побережье наиболее распространены серые лесные и дерново-карбонатные почвы, на юго-восточном – подбуры и буроземы [2].

На заложенных пробных площадях обследовали состояние лесных биогеоценозов по принятым отечественным и зарубежным методикам [10, 15, 23]. Жизненное состояние древостоев оценивали по комплексу морфометрических параметров, в том числе: по уровню дефолиации крон деревьев, длине и массе побегов, диаметру ствола. Кроме того, в хвое определялось содержание основных биогенных элементов. Почвы исследовались методом почвенных разрезов с изучением всех генетических горизонтов по морфологическим и физико-химическим характеристикам. Отбор почвенных образцов производился из верхних (0-20 см) горизонтов квадратно-конвертным способом в пятикратной повторности с последующим определением в них содержания макро- и микроэлементов [13]. Количественное определение элементного химического состава в растительных и почвенных образцах проводили с использованием приборного парка Байкальского аналитического центра коллективного пользования (ЦКП) ИНЦ СО РАН. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета программ MS Excel 2010, STATISTICA 8.0. В таблицах приведены средние величины каждого параметра и их стандартные отклонения при уровне значимости $P \leq 0.05$.

Результаты и обсуждение

Практически на всех ПП выявлены негативные изменения параметров древесных растений и почвенного покрова вследствие повышенного и высокого уровня рекреационной нагрузки. Лесные почвы, как правило, первыми испытывают рекреационное влияние, что приводит к значительному

их нарушению и деградации. Помимо явно выраженных признаков антропогенного воздействия (рытвины, ямы, следы от кострищ, неупорядоченная прокладка дорог, многочисленные стихийные свалки), имеют место и негативные изменения, определяемые инструментально и проявляющиеся в существенном нарушении морфоструктурных и физических параметров почвы (табл. 1).

Таблица 1.

Морфоструктурные и физические параметры почвы на пробных площадях на южном побережье оз. Байкал ($P=0,05$, $n=64$)

№ ПП	Мощность подстилки см	Мощность гумусовых горизонтов см	Влажность от объема %	Плотность (объемный вес) г/см ³	Пористость %	Аэрация %
I	4,5±0,4	10,3±2,1	27,2±2,3	1,15±0,06	48,3±2,4	20,5±1,6
II	1,5±0,5	4,7±1,0	20,2±1,8	1,35±0,05	36,3±3,0	11,3±1,3
III	2,2±0,7	6,8±1,4	24,1±1,7	1,25±0,02	43,3±3,6	24,8±2,1
IV	3,1±0,6	7,3±1,8	30,5±2,1	1,10±0,03	51,3±4,2	19,3±1,7
V	1,7±0,3	5,2±1,2	21,4±1,8	1,30±0,03	38,3±2,6	16,3±1,3
VI	2,7±0,4	6,2±1,3	26,7±2,0	1,12±0,02	47,5±3,1	18,4±1,6
VII	2,0±0,5	4,8±1,1	20,5±1,5	1,28±0,03	40,1±2,0	20,1±1,1
VIII	3,7±0,6	8,1±2,0	30,5±2,3	1,05±0,04	56,3±4,2	21,4±1,4
IX	3,8±0,6	8,8±1,3	35,2±3,0	1,02±0,03	58,4±4,6	22,4±2,0
X	4,2±0,4	9,2±1,1	37,1±2,6	0,98±0,02	60,5±4,8	24,1±1,6
XI	4,4±0,5	10,2±2,1	38,5±2,8	0,95±0,03	63,6±4,1	28,6±1,5
XII	4,3±0,3	10,1±1,9	36,4±2,7	0,97±0,02	62,3±3,6	26,5±1,3
ППФ	6,7±0,5	15,17±2,4	41,2±1,6	0,75±0,03	68,6±2,1	32,3±1,2

Как свидетельствуют данные, мощность лесной подстилки уменьшена на разных ПП от 1,5 до 4,5 раз в сравнении с фоновым значением, что указывает на замедление процесса разложения дернины из-за угнетения деятельности микрокомплекса. О сильной уплотненности горизонтов, следовательно, о нарушении их структуры, можно судить по негативным изменениям их физических параметров: плотность увеличена в 1,5–2,0 раза, влажность и пористость снижены в 1,3–2,5 раза, уровень аэрации – до 3 раз. Как следствие, гумусовые горизонты имеют существенно сниженную, от 1,5 до 3,2 раза, мощность. О том, как нарушение физических параметров отражается на питательном режиме почвы на обследованных ПП, свидетельствуют данные табл. 2, показывающей уровень обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе (ППК).

Таблица 2.

Содержание обменных катионов ППК в верхних почвенных горизонтах на пробных площадях на южном побережье оз. Байкал ($P=0,05$, $n=76$)

№ ПП	[K ⁺], мг/кг×10 ²	[Na ⁺], мг/кг	[Ca ²⁺], мг/кг×10 ²	[Mg ²⁺], мг/кг×10 ²	Сумма [K ⁺ ,Na ⁺ ,Ca ²⁺ ,Mg ²⁺], мг/ кг×10 ²
I	8,24±1,32	22,10±2,12	32,67±3,81	10,89±2,31	52,02±3,35
II	18,79±3,31	55,35±5,24	99,85±6,28	24,71±4,42	143,90±7,32
III	15,41±3,32	38,70±3,27	74,52±6,41	18,33±3,85	108,64±5,21
IV	14,32±2,12	28,10±2,21	71,33±4,82	17,22±3,71	103,15±4,29
V	17,37±3,23	37,57±3,28	97,65±7,31	23,51±5,12	138,91±5,61
VI	12,26±4,61	35,14±2,11	57,23±3,87	15,38±2,42	85,22±3,23
VII	18,11±3,52	41,22±3,34	81,32±8,33	24,32±4,41	124,16±5,89
VIII	12,61±2,32	33,13±3,17	46,81±3,44	21,17±2,11	80,92±2,12
IX	10,12±2,51	29,12±2,03	38,85±3,28	13,70±1,22	62,96±1,08
X	10,05±1,04	27,78±1,01	31,21±3,48	11,22±2,36	52,76±1,11
XI	9,55±1,31	22,45±1,07	28,45±2,22	8,28±2,31	46,50±1,32
XII	8,79±1,22	23,06±1,14	30,12±1,29	5,87±0,77	45,01±1,27
ПП Ф	8,12±1,16	21,89±1,27	27,56±1,38	5,21±0,72	42,12±1,12

Обнаружено, что на большинстве ПП уровень отдельных элементов и их сумма в ППК значительно выше в сравнении с фоновой ПП, при этом особо выделяются ПП II (пос. Листвянка), ПП V (г. Слюдянка), ПП VII (г. Байкальск), где суммарное количество элементов превышает фоновое более, чем в 2 раза. Однако, это не имеет позитивного значения, поскольку нарушение физических характеристик почвы привело к значительному увеличению ее минеральной части над органической, что вызвало возрастание доли гидроксокатионов кальция, магния, калия, натрия в составе коллоидных соединений ППК.

Коллоидные соединения обладают высокой удерживающей способностью к обменно поглощенным ионам K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, которые становятся плохо растворимыми в почвенном растворе, а значит менее доступными для корневой системы растений. Вдобавок, увеличение уровня обменных катионов щелочного состава привело к повышению содержания подвижных форм ряда тяжелых металлов (табл. 3). Как было показано ранее [19], это происходит за счет образования в почвах органо-минеральных комплексов, например, таких K₂[Zn(OH)₄], Na₂[Pb(OH)₄], Na₂[Cd(OH)₄].

Таблица 3.

Содержание подвижных форм тяжёлых металлов в верхних почвенных горизонтах на пробных площадях на южном побережье оз. Байкал ($P=0,05$, $n=76$)

№ ПП	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Fe, мг/кг×10 ²
I	9,32±1,18	0,08±0,02	5,23±1,45	23,71±8,72	50,23±5,32
II	18,45±2,34	0,23±0,07	16,74±1,13	78,36±7,41	97,36±9,52
III	12,47±2,12	0,11±0,03	9,85±2,47	53,41±6,35	84,45±8,62
IV	8,31±1,10	0,10±0,04	7,35±2,89	47,56±4,75	78,35±7,56
V	16,27±2,47	0,17±0,08	13,55±2,78	68,51±6,11	91,23±5,42
VI	13,25±3,42	0,14±0,05	7,10±2,49	56,45±5,42	79,33±6,12
VII	17,88±4,56	0,19±0,09	15,52±3,38	95,65±8,72	99,85±9,17
VIII	12,33±3,87	0,13±0,02	6,89±2,28	51,17±3,85	76,65±7,28
IX	11,22±1,59	0,10±0,03	6,78±1,13	48,70±3,22	65,79±7,41
X	10,95±1,35	0,09±0,01	6,33±1,10	46,52±2,28	51,33±6,64
XI	10,15±1,28	0,08±0,01	5,87±1,45	32,47±4,41	53,23±5,31
XII	10,25±1,36	0,09±0,01	5,93±1,85	34,89±5,23	56,17±6,28
ПП Ф	6,02±1,01	0,05±0,01	4,10±1,02	21,41±2,31	48,28±3,41

Полученные данные указывают, что воздействие рекреационной нагрузки вызвало выраженное изменение питательного режима почвы, что можно считать одним из проявлений нарушения природных биогеохимических циклов элементов. Последующее развитие этого процесса ведёт к негативным изменениям в питательном статусе растений, что подтверждается результатами исследований содержания биогенных элементов в хвое сосны на всех ПП. Был выявлен существенный уровень дисбаланса биогенных элементов и ряда соединений в хвое (рис. 2). Обнаружено возрастание содержания азота общего за счет азота небелкового, в то время как уровень азота белкового, как правило, снижался, скорее всего, из-за общего подавления синтеза высокомолекулярных соединений. Значимо уменьшалось содержание фосфора общего, особенно это было характерно для ПП II, где наиболее выражен пресс рекреации. Недостаток калия был меньшим и составлял в среднем 9%. Что касается магния – элемента, необходимого для синтеза хлорофилла, его содержание было существенно сниженным в хвое сосны на всех ПП на 30-34%. Соответственно этому, проведенный анализ хвои на содержание хлорофилла показал падение его уровня на разных ПП от 18 до 36% в сравнении с фоновым значением.

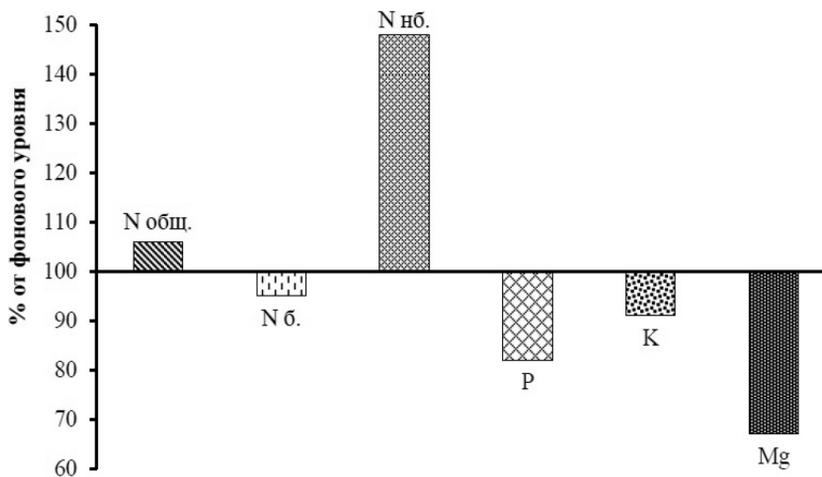


Рис. 2. Изменение среднего содержания (в %) биогенных элементов и соединений в хвое сосны на южном побережье оз. Байкал в условиях рекреационной нагрузки. Обозначения: N общ. – азот общий, N б. – азот белковый, N нб. – азот небелковый, P – фосфор, K – калий, Mg – магний

Следствием дисбаланса элементов-биогенов явилось замедление ростовых процессов деревьев, о чем можно судить по состоянию морфометрических параметров хвои, побегов, стволов. Практически на всех ПП обнаруживается снижение большинства параметров и увеличение уровня дефолиации крон деревьев сосны (табл. 4). Особенно высокий уровень дефолиации зарегистрирован на ПП II (пос. Листвянка), ПП IV (г. Слюдянка), ПП V (КБЖД), ПП VII (г. Байкальск). Следует упомянуть, что на ПП II, IV, VII определенный «вклад» в ослабление древостоев ранее был обусловлен также и воздействием техногенных эмиссий [12]. В начале 2000-х годов в окрестностях пос. Листвянка, г. Слюдянка и г. Байкальска выявлялся слабый уровень загрязнения лесов вследствие повышенного содержания поллютантов, прежде всего серы, в хвое деревьев. В настоящее время в пробах хвои, отобранных на всех ПП, содержание серы было повышенным в 2 раза только на двух ПП – вблизи пос. Листвянка и г. Байкальска. Из этого можно заключить, что главным фактором ухудшения состояния древостоев на южном побережье Байкала является высокий уровень рекреационной нагрузки, вызванный резко возросшим туристическим потоком, по существу – нерациональным рекреационным лесопользованием.

Таблица 4.

Морфометрические параметры деревьев сосны на пробных площадях на южном побережье оз. Байкал ($P=0,05$, $n=62$)

№ ПП	Диаметр ствола, см	Длина побега*, см	Число пар хвоек на побеге, шт.	Масса хвои побега, г	Продолжительность жизни хвои, лет	Уровень дефолиации крон, %
I	31,3±8,2	9,4±3,4	85,9±7,9	2,07±0,54	5	25
II	23,4±2,1	8,8±2,9	60,8±16,4	1,01±0,20	3	45
III	30,8±3,7	16,9±2,6	90,9±10,6	3,29±0,79	4–5	25
IV	24,8±1,7	9,7±2,3	71,7±17,9	1,97±0,63	4	35
V	27,4±2,8	12,2±1,8	69,5±10,3	2,14±0,22	4	40
VI	39,9±9,1	12,3±1,6	68,6±7,2	2,23±0,46	4	25
VII	32,5±1,8	6,6±2,9	54,8±8,9	1,38±0,49	4	40
VIII	25,4±3,7	15,7±2,5	90,2±16,1	2,31±0,71	4	25
IX	37,6±5,6	16,7±1,6	74,1±16,2	2,21±0,86	4	25
X	23,6±4,9	11,9±3,4	69,8±20,1	1,67±0,62	4	35
XI	29,6±4,8	13,3±2,3	61,0±12,6	1,83±0,51	4	25
XII	23,1±5,8	12,5±0,8	63,2±8,8	1,20±0,42	4	30
ПП Ф	37,9±2,4	17,8±1,6	115,7±13,9	4,13±0,89	6–7	15

*Исследовались побеги 2-го года жизни как наиболее физиологически активные.

Вместе с тем, отрицательное воздействие обоих антропогенных факторов имеет схожесть, поскольку и в том, и в другом случае в лесной экосистеме происходит существенное нарушение биогеохимических процессов, при техногенном загрязнении – из-за нерегулируемого привноса элементов-поллютантов, при рекреационной нагрузке – как следствие искажения морфоструктурных и физико-химических свойств почвенных горизонтов. В обоих случаях выявляется экосистемный дисбаланс элементов-биогеоценозов, вызывающий ухудшение питательного статуса лесов, их структурно-функциональную трансформацию, что может привести к распаду биогеоценозов.

Заключение

Показано нарушение состояния лесных биогеоценозов на южном побережье оз. Байкал вследствие высокого уровня рекреационной нагрузки, вызванного резко возросшим в последние десятилетия туристическим потоком. Пресс рекреации инициирует негативный процесс, имеющий системный характер, что установлено при исследовании основных ком-

понентов лесных биогеоценозов – древостоя и почвы. Существенное нарушение физико-химических характеристик почвы повлекло искажение биогеохимических процессов, что привело к дисбалансу биогенных элементов в ППК и ухудшению питательного режима почвы, соответственно, это вызвало дисбаланс элементов в ассимиляционных органах деревьев. Последующее ухудшение питательного статуса древостоев проявилось в угнетении их ростовых параметров. Таким образом, нерациональное рекреационное лесопользование может привести к выраженной дигрессии лесных экосистем, поэтому необходимы безотлагательные меры по снижению рекреационной нагрузки на южном побережье оз. Байкал. В этом плане особого внимания требуют зоны рекреации, прилегающие к пос. Листвянка, г. Байкальску, а также к Кругобайкальской железной дороге.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области (проекты № 20-44-380009 и № 20-44-380016).

Список литературы

1. Байкал. Атлас. М.: Роскартография. 1993. 160 с.
2. Байкаловедение: в 2-х кн. Новосибирск: Наука, 2012. Кн. 1. 468 с.
3. Большаков Н.М. Рекреационное лесопользование СЛИ: Сыктывкар. 2006. 312 с.
4. Бычков И.В., Максимова И.И., Кузнецова А.Н. Институциональное обеспечение реализации системного подхода к мониторингу уникальной экосистемы озера Байкал // География и природные ресурсы. 2015. № 4. С. 43-52.
5. Воложнина С.Ж., Новикова С.А., Ясько Ф.М. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта на территории туристско-рекреационной зоны побережья озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2017. Т. 22. С. 15–29. <https://izvestiageo.isu.ru/ru/article/file?id=155>
6. Гунин П.Д., Бажа С.Н., Балданов Б.Ц., Басхаева Т.Г., Дробышев Ю.И., Дугаржав Ч., Концов С.В., Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Хадбаатар С., Цыремпилов Э.Г. Обезлесение – одна из важнейших экологических проблем бассейна озера Байкал // Экосистемы: Экология и динамика. 2017. Т. 1, № 3. С. 38-99.
7. Истомина Е.А., Цыганкова М.В., Евстропьева О.В. Ландшафтно-рекреационный потенциал центральной экологической зоны Байкальской природной территории (в границах Иркутской области) // Современные проблемы

- сервиса и туризма. 2018. Т. 12, № 3. С. 97–109. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10309>
8. Козлов В.В., Хромешкин В.М., Шагдуров А.А. Ландшафтно-эстетическая оценка прибрежных территорий отдыха в котловине озера Байкал // Вестник ИРГТУ. 2014. №2 (85). С. 134-143. http://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2014/02/articles/20
 9. Корытный Л.М., Евстропьева О.В. О разработке правил организации туризма и отдыха в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Современные проблемы сервиса и туризма. 2018. Т. 12, № 3. С. 31–42. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10303>
 10. Методы изучения лесных сообществ. СПб: НИИХимии Санкт-Петербургского гос. ун-та. 2002. 240 с.
 11. Михайлова Т.А., Калугина О.В., Шергина О.В., Афанасьева Л.В. Создание баз данных о состоянии сосновых лесов Байкальского региона // Сибирский лесной журнал. 2020. № 3. С. 3-11. <https://doi.org/10.15372/SJFS20200301>
 12. Михайлова Т.А., Плешанов А.С., Афанасьева Л.В. Картографическая оценка загрязнения лесных экосистем Байкальской природной территории техногенными эмиссиями // География и природные ресурсы. 2008. №4. С. 18-23. <http://www.izdatgeo.ru/pdf/gipr/2008-4/18.pdf>
 13. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. М.: Изд-во Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 168 с.
 14. Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Макухин В.Л., Ходжер Т.В., Чипанина Е.В. Дальний перенос шлейфов атмосферных выбросов региональных угольных ТЭЦ на акваторию Южного Байкала // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 1. С. 60–65. <https://doi.org/10.15372/AOO20170108>
 15. ОСТ измерение рекреационных нагрузок. ВНИИЛМ. 1995. С. 113.
 16. Отчет Агентства по туризму Иркутской области о проделанной работе за 2018 год [Электронный ресурс]. <https://irkobl.ru/sites/tour/report> (дата обращения 08.04.2021).
 17. Состояние лесов мира – 2020. Леса, биоразнообразие и люди. [Пер. с англ.] Рим: ФАО и ЮНЕП. 2020. 228 с. <https://doi.org/10.4060/ca8642ru>
 18. Удалых С.К., Жиленко В.Ю. Проблемы и перспективы развития экологического туризма в Байкальском регионе // Научный результат. Сер. Технологии бизнеса и сервиса. 2016. Т. 2, №2(8). С. 15-21. <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2016-2-2-15-21>
 19. Шергина О.В., Михайлова Т.А. Биогеохимическое перераспределение свинца в урбоэкосистеме (на примере Иркутска) // Химия в интересах

- устойчивого развития. 2011. Т. 19, № 2. С. 203-209. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/c0f/c0f54c11fb81d088b410deec158134ca.pdf>
20. Gundersen V., Köhler B. and Myrvold K.M. Seeing the Forest for the Trees: A Review-Based Framework for Better Harmonization of Timber Production, Biodiversity, and Recreation in Boreal Urban Forests // *Urban Science*. 2019. Vol. 3. No 4, 113. <https://doi.org/10.3390/urbansci3040113>
 21. Gundersen V. and Vistad O.I. Public Opinions and Use of Various Types of Recreational Infrastructure in Boreal Forest Settings // *Forests*. 2016. Vol. 7, No 6, 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>
 22. Horal L., Khvostina I., Shyiko V., Radin M., Korol S., Panevnyk T. Sustainable development of forest recreation management as a basis for environmental safety // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 628. 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/628/1/012013>
 23. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, ICP Forests Programme Coordinating Centre. Hamburg, 2010. <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>
 24. Pohjanmies T., Triviño M., Le Tortoreca E., Mazziottab A., Snäll T., Mönkkönen M. Impacts of forestry on boreal forests: An ecosystem services perspective // *AMBIO*. 2017. Vol. 46. P. 743-755. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0919-5>
 25. Rulleau B., Dehez J., Point P. The tourist recreational demand for coastal forests: Do forests really matter? // *Review of Agricultural and Environmental Studies*. Vol. 92, No 3. P. 291-310. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01201228>

References

1. *Baykal. Atlas* [Baikal. Atlas]. M.: Roskartografiya, 1993, 160 p.
2. *Baikalovedeniye: v 2-kh kn.* [Baikal Studies in 2 books]. Novosibirsk: Nauka, 2012, Book 1, 468 p.
3. Bolshakov N.M. *Rekreatsionnoye lesopol'zovaniye* [Recreational forest management]. SLI: Syktyvkar, 2006, 312 p.
4. Bychkov I.V., Maksimova I.I., Kuznetsova A.N. *Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and Natural Resources], 2015, no. 11, pp. 43-52.
5. Vologzhina S.Zh., Novikova S.A., Yasko F.M. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [Irkutsk State University Bulletin. Earth Science Series], 2017, Vol. 22, pp. 15-29. <https://izvestiageo.isu.ru/ru/article/file?id=155>
6. Gunin P.D., Bazha S.N., Baldanov B.Ts., Baskhaeva T.G., Drobyshev Yu.I., Dugarzhav Ch., Kontsov S.V., Ubugunov V.L., Ubugunova V.I. , Khadbaatar

- S., Tsyrempilov E.G. *Ekosistemy: Ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], 2017, Vol. 1, no. 3, pp. 38-99.
7. Istomina Ye.A., Tsygankova M.V., Yevstrop'yeva O.V. *Sovremennyye problemy servisa i turizma* [Modern Problems of Service and Tourism], 2018, no. 3, pp. 97-109. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10309>
 8. Kozlov V.V., Khromeshkin V.M., Shagdurov A.A. *Vestnik IRGTU* [Bulletin of ISTU], 2014, no. 2 (85), pp. 134-143. http://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2014/02/articles/20
 9. Korytnyy L.M., Yevstrop'yeva O.V. *Sovremennyye problemy servisa i turizma* [Modern Problems of Service and Tourism], 2018, no. 3, pp. 31-42. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10303>
 10. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods for Studying Forest Communities]. SPb: Research Institute of Chemistry of the St. Petersburg university, 2002, 240 p.
 11. Mikhaylova T.A., Kalugina O.V., Shergina O.V., Afanas'yeva L.V. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2020, no. 3, pp. 3-11. <https://doi.org/10.15372/SJFS20200301>
 12. Mikhaylova T.A., Pleshanov A.S., Afanas'yeva L.V. *Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and Natural Resources], 2008, no. 4, pp. 18-23. <http://www.izdatgeo.ru/pdf/gipr/2008-4/18.pdf>
 13. Motuzova G.V. *Soyedineniya mikroelementov v pochvakh: sistemnaya organizatsiya, ekologicheskoye znachenije, monitoring* [Compounds of Trace Elements in Soils: Systemic Organization, Ecological Significance, Monitoring]. M.: Publishing House «LIBROKOM», 2012, 168 p.
 14. Obolkin V.A., Potemkin V.L., Makukhin V.L., Khodzher T.V., Chipanina Ye.V. *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the Atmosphere and Ocean], 2017, Vol. 30, no.1, pp. 60-65. <https://doi.org/10.15372/AOO20170108>
 15. *OST izmereniye rekreatsionnykh nagruzok* [OST Measurement of Recreational Loads]. VNIILM, 1995, 113 p.
 16. *Otchet Agentstva po turizmu Irkutskoy oblasti o prodelannoy rabote za 2018 god* [Report of the Agency for Tourism of the Irkutsk Region on the Work Done for 2018]. URL: <https://irkobl.ru/sites/tour/report> (accessed April, 8, 2021).
 17. *Sostoyaniye lesov mira – 2020. Lesa, bioraznoobraziye i lyudi* [State of the World's Forests – 2020. Forests, Biodiversity and People]. Translation from English. Rome: FAO and UNEP, 2020, 228 p. <https://doi.org/10.4060/ca8642ru>
 18. Udalykh S.K., Zhilenko V.Yu. *Nauchnyy rezul'tat. Ser. Tekhnologii biznesa i servisa* [Scientific Result. Ser. Business and Service Technologies], 2016, Vol. 2, no. 2 (8), pp. 15-21. <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2016-2-2-15-21>

19. Shergina O.V., Mikhaylova T.A. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2011, vol. 19, no. 2, pp. 203-209. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/c0f/c0f54c11fb81d088b410deec158134ca.pdf>
20. Gundersen V., Köhler B. and Myrvold K.M. Seeing the Forest for the Trees: A Review-Based Framework for Better Harmonization of Timber Production, Biodiversity, and Recreation in Boreal Urban Forests. *Urban Science*, 2019, vol. 3, no. 4, 113. <https://doi.org/10.3390/urbansci3040113>
21. Gundersen V. and Vistad O.I. Public Opinions and Use of Various Types of Recreational Infrastructure in Boreal Forest Settings. *Forests*, 2016, vol. 7, no. 6, 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>
22. Horal L., Khvostina I., Shyiko V., Radin M., Korol S., Panevnyk T. Sustainable development of forest recreation management as a basis for environmental safety. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 628, 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/628/1/012013>
23. *Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests*. UNECE, ICP Forests Programme Coordinating Centre, Hamburg, 2010. <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>
24. Pohjanmies T., Triviño M., Le Tortoreca E., Mazziotto A., Snäll T., Mönkkönen M. Impacts of forestry on boreal forests: An ecosystem services perspective. *AMBIO*, 2017, vol. 46, pp. 743-755. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0919-5>
25. Rulleau B., Dehez J., Point P. The tourist recreational demand for coastal forests: Do forests really matter? *Review of Agricultural and Environmental Studies*, 2011, vol. 92, no. 3. pp. 291-310. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01201228>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Михайлова Татьяна Алексеевна, д.б.н., заведующая лабораторией природных и антропогенных экосистем
Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
mikh@sifibr.irk.ru

Шергина Ольга Владимировна, к.б.н. старший научный сотрудник лаборатории природных и антропогенных экосистем
Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
sherolga80@mail.ru

Калугина Ольга Владимировна, к.б.н. старший научный сотрудник лаборатории природных и антропогенных экосистем
Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
olignat32@inbox.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatiana A. Mikhailova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory Natural and Anthropogenic Ecosystems
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
mikh@sifibr.irk.ru
SPIN-code: 5185-4361
ORCID: 0000-0003-2214-8690
ResearcherID: I-9715-2018
Scopus Author: 15725975200

Olga V. Shergina, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory Natural and Anthropogenic Ecosystems
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
sherolga80@mail.ru
SPIN-code: 8646-5549
ORCID: 0000-0002-6333-8821
ResearcherID: I-9646-2018
Scopus Author ID: 55902360500

Olga V. Kalugina, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory Natural and Anthropogenic Ecosystems
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
olignat32@inbox.ru
SPIN-code: 5805-2159
ORCID: 0000-0001-6500-748X
ResearcherID: I-9669-2018
Scopus Author ID: 36190781000