

УДК 574.24

## ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ПРЕДБАЙКАЛЬЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

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

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132

E-mail: mikh@sifibr.irk.ru, olignat32@inbox.ru, sherolga80@mail.ru

Поступила в редакцию 25.04.2016 г.

Обобщены и проанализированы результаты долговременного (10–25 лет) мониторинга состояния сосновых лесов Южного Предбайкалья, подвергающихся влиянию техногенного загрязнения и высокой рекреационной нагрузки. Показано сходство стрессового воздействия обоих факторов на древостои, о чем свидетельствуют изменения морфометрических параметров ассимилирующей фитомассы, падение уровня фотосинтетических пигментов, а также нарушение элементного химического состава хвои: уровень дефолиации крон деревьев достигает 65–70 %, морфометрические параметры побегов и хвои уменьшаются в 1.3–4.5 раза в сравнении с фоновыми, сумма хлорофиллов при воздействии аэровыбросов снижается в 2.8–3.5 раза, уровень каротиноидов – максимально до 3.9 раза, при высокой рекреационной нагрузке содержание зеленых пигментов уменьшается в 1.9–5.7 раза, каротиноидов – до 5.5 раза по сравнению с фоновыми значениями. О нарушении баланса биогенных элементов в хвое деревьев сосны, произрастающих в стрессовых условиях, свидетельствуют увеличение доли азота и уменьшение – фосфора и калия в соотношении N : P : K. Динамика индекса жизненного состояния древостоев, рассчитанного на основе репрезентативных показателей, свидетельствует о его значительном снижении и выраженной тенденции к ухудшению состояния сосновых лесов на территориях, загрязняемых аэровыбросами Иркутского, Шелеховского и Усольско-Ангарского промцентров. Вблизи Черемховского и Саянско-Зиминского промцентров резких изменений в состоянии лесов не выявлено, преобладает средняя степень угнетения, на удалении 20 км – слабая. На территории с высокой рекреационной нагрузкой обнаружен четкий тренд в сторону ухудшения жизненного состояния древостоев сосны, наиболее явно выраженный в пос. Хужир (о-в Ольхон) и пос. Листвянка, где нарушенность почвенного покрова особенно высока. По полученным результатам составлена карта-схема, отражающая выявленные проблемные территории, на которых в современный период обнаружена достоверная тенденция к ухудшению жизненного состояния древостоев.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L., техногенное загрязнение, рекреационная нагрузка, индекс жизненного состояния древостоев, Южное Предбайкалье.

DOI: 10.15372/SJFS20170105

### ВВЕДЕНИЕ

Современные подходы к оценке состояния лесов, подвергающихся воздействию антропогенных факторов, предполагают использование помимо интегральных визуально определяемых параметров, например уровня дефолиации крон деревьев, большой спектр показателей, характеризующих жизненное (физиологическое) состояние деревьев (Smidt, 1996; Liira et al., 2007; Ковылина и др., 2008; Соболева, 2009; Эколо-

гическое состояние..., 2009; Lukac et al., 2011; Бикмуллин, 2012; Зарубина и др., 2015; Loehle et al., 2016). Достоверность и информативность оценки в результате значительно повышаются. Ранее подобный подход применялся нами для исследования состояния техногенно загрязняемых лесов Байкальской природной территории. По полученным результатам разработаны среднemasштабные карты, отражающие как уровень загрязнения, так и жизненное состояние древостоев сосны обыкновенной (Mikhailova et al.,

2008). В основу оценки заложены показатели накопления элементов-поллютантов в ассимилирующей фитомассе деревьев и параметры, характеризующие их физиологическое состояние.

За прошедший период в Байкальском регионе произошли значительные изменения уровня и интенсивности техногенной нагрузки на леса, в большинстве случаев в сторону увеличения, что существенно отразилось на ослаблении жизненного состояния деревьев и древостоев. Кроме того, в последние 10 лет особую остроту приобрела проблема растущей рекреационной нагрузки, особенно на побережье оз. Байкал, вследствие большого потока туристов и строительства многочисленных баз отдыха. Особенно это характерно для юго-западного и западного побережий, относящихся к территории Прибайкальского национального парка (ПНП). Экологическое состояние его рекреационных зон в настоящее время оценивается как критическое (Заборцева, Евстропьева, 2009). Нарушенность лесных экосистем региона резко возрастает также в результате пожаров и несанкционированных рубок деревьев, сокращающих малонарушенные лесные территории, леса высокой природоохранной ценности и защитные леса (Ващук, 2015).

Сложившаяся ситуация требует исследования состояния сосновых лесов Предбайкалья не только в связи со снижением качества лесных ресурсов региона, но и для разработки рекомендаций по оптимизации антропогенного воздействия на леса. Результаты наших исследований являются одной из составляющих, необходимых для такой оценки и разработки научно обоснованных лесозащитных мероприятий. Кроме того, данные о ретроспективной динамике состояния лесов, подвергающихся долговременному воздействию доминирующих негативных факторов, могут использоваться для создания геоинформационной реляционной базы данных и прогнозирования ситуации на проблемных территориях. Совместное использование такой базы данных с другими, например по хвоегрызущим насекомым, древесно-кольцевым хронологиям, позволяет выявить древостои с пониженной резистентностью и определить предполагаемые места вспышек массового размножения насекомых (Антонов, Осколков, 2013).

Цель данной работы – исследовать современное состояние сосновых лесов, подвергающихся влиянию техногенных эмиссий и высокой рекреационной нагрузки, используя комплекс фитотоксикологических, биохимических, мор-

фометрических, таксационных параметров, проанализировать временную динамику их состояния, выявить наиболее проблемные территории и составить карту-схему их расположения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования сосновых *Pinus sylvestris* L. лесов проводили в Южном Предбайкалье на территориях, прилегающих к крупным промышленным центрам – Шелеховскому, Иркутскому, Усольско-Ангарскому, Черемховскому, Саянско-Зиминскому, характеризующимся высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферы (индекс загрязнения – от 7 до 20). Соответствующие города включены в список наиболее загрязненных в стране (Государственный доклад..., 2015; Обзор..., 2015). Доминирующим негативным фактором, определяющим состояние лесов вблизи этих промцентров, является воздействие техногенных эмиссий. Обследовали также основные рекреационные зоны ПНП, созданного для сохранения природного разнообразия на юго-западном и западном побережье оз. Байкал. Степень рекреационной нагрузки в этих зонах оценивали по комплексу морфоструктурных, физических и оптических характеристик почв (Почва..., 1997), а также по соотношению над- и подземной биомассы (Титлянова, Шибарева, 2012). В качестве фоновых (контрольных) выбрали древостои, произрастающие на расстоянии 100–250 км от промышленных центров вне зоны рассеивания выбросов.

Обследованная территория отличается специфическими природными условиями (горный рельеф, наличие многолетней мерзлоты, антициклональный тип погоды, продолжительный период низких температур воздуха, частая повторяемость мощных приземных инверсий, интенсивные речные туманы и др.), крайне неблагоприятными для рассеивания техногенных выбросов и, следовательно, для процессов самоочищения приземного слоя воздуха. Преобладают западное и северо-западное направления ветров. Вдобавок на этой территории распространены небогатые средне- и маломощные почвы на глубокопромерзающих почвообразующих породах, характеризующиеся низкой буферной способностью, что существенно снижает потенциальную устойчивость лесных экосистем к воздействию антропогенных факторов.

Преобладающая часть лесопокрытой территории занята хвойными формациями, наиболее

распространены светлохвойные лиственничные и сосновые древостои. В районе работ преобладают сосняки разнотравные и осоково-разнотравные, реже рододендроновые, II–III класса бонитета, полнота варьирует от 0.4 до 0.6. Сосновые древостои занимают самые разнообразные местообитания: хорошо прогреваемые равнинные участки с серыми лесными почвами, а также горные склоны с каменистыми, грубыми по гранулометрическому составу, часто неполнопрофильными почвами.

Обследование лесов проводили путем закладки пробных площадей (ПП) по принятым в лесном хозяйстве методикам, а также с использованием рекомендаций международного руководства ICP Forests (Методические рекомендации..., 1981; Площади..., 1983; Manual..., 2010). Почвы исследовали методом почвенных разрезов с изучением особенностей всех генетических горизонтов. Отбор почвенных образцов производили методом полнопрофильного исследования разрезов и посредством анализа средних (объединенных) проб из верхних (0–20 см) горизонтов квадратно-конвертным способом в пятикратной повторности. Название почв давалось в соответствии с общепринятой классификацией (Классификация..., 2004) и классификацией почв Иркутской области (Воробьева, 1999). На каждой ПП определили пулы макроэлементов в ассимиляционных органах деревьев сосны, а также уровень элементов, входящих в состав почвенного поглощающего комплекса, морфологические, физические и физико-химические характеристики почв (Агрохимические методы..., 1975; Вадюнина, Корчагина, 1986). Элементный химический состав в растительных и почвенных образцах определяли с использованием приборного парка Байкальского аналитического центра коллективного пользования ИИЦ СО РАН по сертифицированным методикам. Концентрации азота, фосфора, калия, магния, кальция, натрия, серы, фтора, алюминия, железа, марганца, цинка, меди, свинца, кадмия, ртути, мышьяка, никеля, лития, вольфрама, ванадия, тория, урана определены методами атомно-адсорбционной спектроскопии, пламенной фотометрии и фотоколориметрирования (Пройдакова и др., 1986; Методы..., 1987; Пройдакова, Васильева, 2009).

Жизненное состояние древостоев сосны обыкновенной оценивали по комплексу параметров, в том числе по уровню дефолиации крон деревьев, состоянию побегов, содержанию в хвое пигментов, углерода, азота, фосфора, ка-

лия. Всего определяли 19 показателей. Для расчета индекса жизненного состояния древостоев из всего набора измеренных параметров выбрали репрезентативные, обнаруживающие наиболее высокий уровень достоверных связей с показателями загрязнения, т. е. с накоплением в хвое приоритетных поллютантов – серы, фтора, свинца и ртути (Mikhailova et al., 2013). К таким параметрам относятся: доля зеленой хвои в кроне, объем ствола дерева, масса хвои побегов 2-го года жизни, суммарная концентрация зеленых пигментов, соотношение белкового и небелкового азота в хвое. Эти показатели имеют сходную динамику, зависящую от уровня аккумуляции поллютантов и выражающуюся в нелинейном снижении их величин с возрастанием содержания элементов-поллютантов в хвое (Михайлова и др., 2006). Индекс жизненного состояния деревьев рассчитывали как средний балл от суммы пяти репрезентативных показателей, выраженных в единицах, нормированных относительно фоновых значений, которые принимали за 10 баллов. Подобная формализация позволяет снизить субъективность проводимых оценок и сопоставить несоизмеримые по размерности параметры. Следует отметить, что выбранные репрезентативные показатели пригодны также для расчета индекса жизненного состояния древостоев, подвергающихся влиянию других негативных факторов, в частности рекреационной нагрузки (Михайлова и др., 2015). Для статистической обработки полученных данных использовали компьютерные программы «Среды статистических вычислений R», версия 3.1.1. (2014 г.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

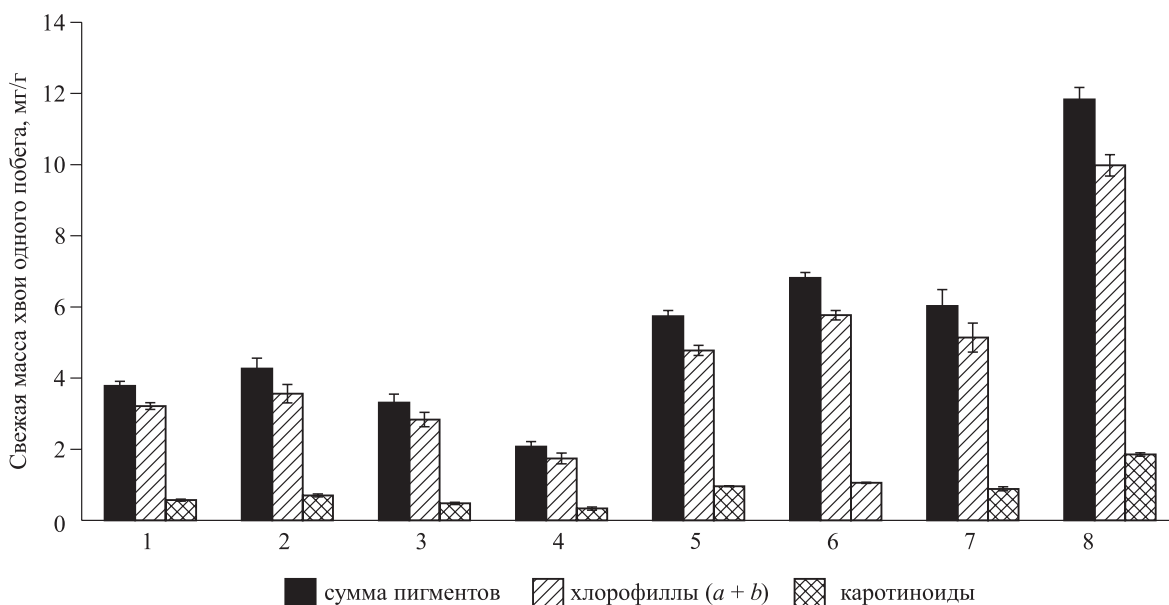
Сравнительный анализ состояния сосновых древостоев, подвергающихся воздействию техногенного загрязнения (окрестности промцентров) и высокой рекреационной нагрузки (рекреационные зоны ПНП), установил сходство в ухудшении параметров древесных растений. В обоих случаях происходит резкое падение количества ассимилирующей фитомассы, о чем свидетельствует целый ряд показателей (табл. 1), выявлены значительные нарушения в пигментном комплексе хвои сосны (рис. 1), а также дисбаланс биогенных элементов (рис. 2).

*Шелеховский промцентр.* Анализ динамики выбросов Шелеховского промцентра за последние 25 лет показал, что с 1990 до 1999 г. количество эмиссий снизилось с 54 до 30 тыс. т/год и

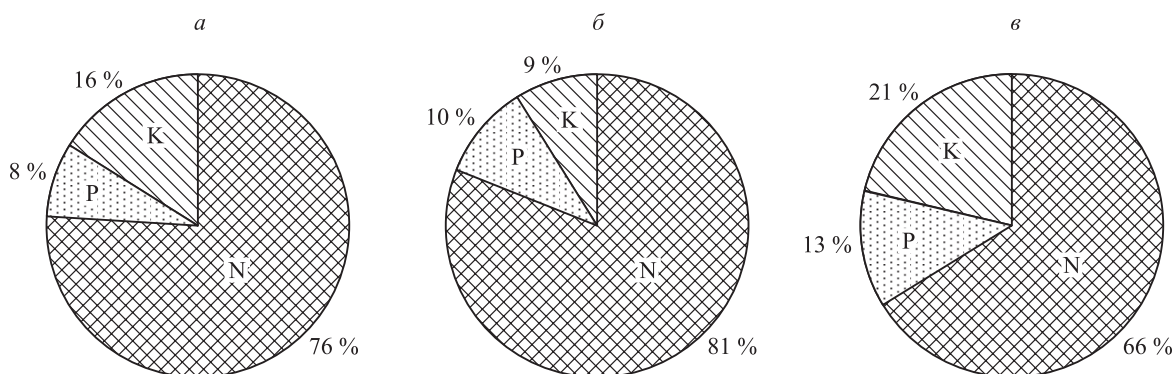
**Таблица 1.** Изменение морфоструктурных параметров деревьев сосны обыкновенной на обследованных территориях Предбайкалья

Обследованная территория	Уровень дефолиации крон, %	Охвоенность побегов*, шт.	Масса хвои на побеге, г	Длина побега, см	Длина хвои, мм
<i>Промышленные центры</i>					
Шелеховский	60–70	87.20 ± 27.70	1.37 ± 0.52	8.68 ± 3.23	52.28 ± 0.12
Усольско-Ангарский	60–65	83.60 ± 23.04	1.10 ± 0.37	8.69 ± 2.40	46.59 ± 6.07
Иркутский	60–65	96.08 ± 18.28	1.40 ± 0.30	5.24 ± 1.57	52.30 ± 3.75
<i>Рекреационные зоны</i>					
Пос. Хужир	60–65	121.64 ± 32.88	1.01 ± 0.20	4.97 ± 1.75	33.45 ± 4.27
Пос. Листвянка	50–55	125.10 ± 43.52	1.83 ± 0.70	8.84 ± 2.89	40.43 ± 5.73
КБЖД**	45–50	143.46 ± 35.84	1.97 ± 0.63	9.69 ± 2.37	45.51 ± 5.64
Пос. Нижний Кочергат	35–40	132.30 ± 15.08	1.85 ± 0.32	11.39 ± 2.04	51.09 ± 5.86
Фоновые территории	20	192.80 ± 24.62	4.18 ± 0.65	19.60 ± 2.79	53.50 ± 5.11

Примечание. \* – исследовали побеги второго года жизни; \*\* – Кругобайкальская железная дорога.

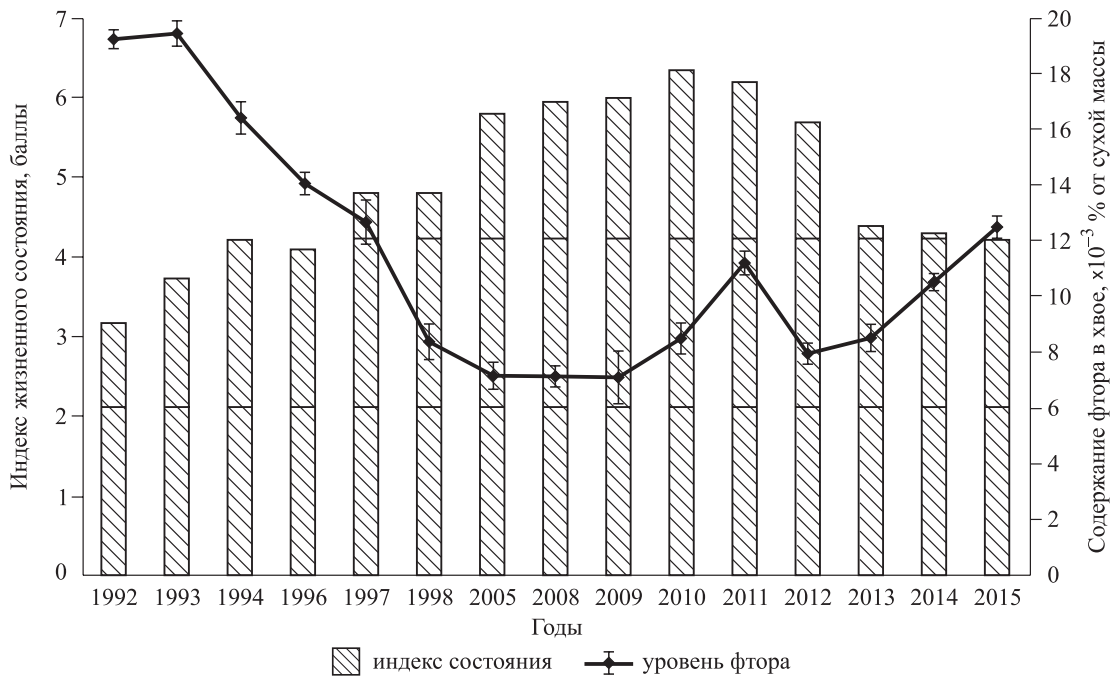


**Рис. 1.** Содержание пигментов в хвое сосны на обследованных территориях в расчете на массу хвои одного побега. Промцентры: 1 – Шелеховский, 2 – Усольско-Ангарский, 3 – Иркутский. Рекреационные зоны: 4 – пос. Хужир, 5 – пос. Листвянка, 6 – КБЖД, 7 – пос. Нижний Кочергат; 8 – фоновые зоны.



**Рис. 2.** Изменение соотношения N : P : K в хвое сосны на обследованных территориях Предбайкалья: а – подвергающихся воздействию техногенного загрязнения; б – с высокой рекреационной нагрузкой; в – фоновых.





**Рис. 3.** Многолетняя динамика жизненного состояния сосны обыкновенной и содержания фтора в ее хвое вблизи Шелеховского промцентра.

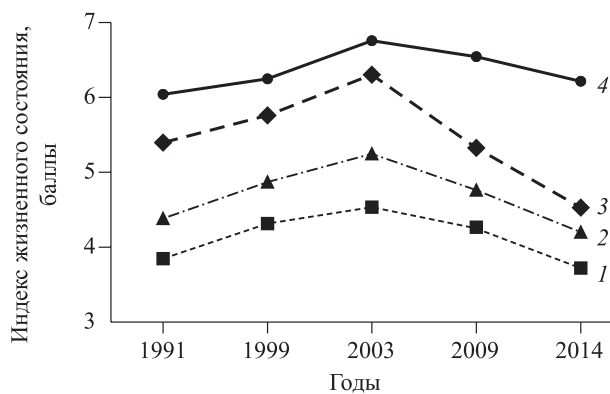
оставалось на этом уровне в 2000–2009 гг., затем объем выбросов увеличился на 5–6 тыс. т/год, и с 2011 г. по настоящее время его уровень примерно одинаков и составляет около 35 тыс. т/год. Вместе с тем в отдельные годы происходило усиление частоты ненормированных (залповых) выбросов, приводящих к поражению побегов и хвои деревьев. Анализ временной динамики состояния сосновых лесов вблизи Шелеховского промцентра показывает ее соответствие изменению объемов выбросов (с учетом инерционности реакции древостоев). Так, на протяжении периода с конца 1990-х по 2011 г. регистрировались явно выраженное снижение уровня фторидов в хвое и возрастание индекса жизненного состояния деревьев. Затем появился тренд к возрастанию наиболее токсичного поллютанта в хвое (фтора) и ухудшению параметров древостоев, особенно в южном и юго-западном направлении от этого промцентра. Явное снижение индекса жизненного состояния древостоев прослеживается с 2013 г. по настоящее время (рис. 3). В целом можно заключить, что на территории, подвергающейся воздействию эмиссий Шелеховского промцентра, не выявлена устойчивая тенденция к улучшению состояния лесов.

*Иркутский промцентр.* Анализ динамики выбросов Иркутского промцентра за 25-летний период показал, что с 1990 по 1999 г. общее количество загрязняющих веществ сократилось почти в 3 раза – со 149 до 50 тыс. т/год и на

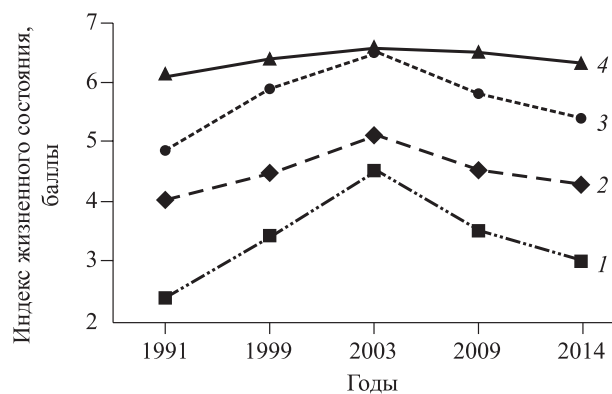
этом уровне оставалось в 2000–2004 гг., с 2005 г. общий объем эмиссий вновь стал возрастать и в настоящее время равен 185 тыс. т/год. Резкое увеличение валовых выбросов в последние 10 лет обуславливается возрастанием эмиссий, поступающих в атмосферу от передвижных источников, в частности от автомобильного транспорта. В современный период на его долю приходится около 60 % от суммарного содержания выбросов, в то время как в 1990-е гг. их доле участие составляло 30–40 % (Воложжина и др., 2014).

Индекс жизненного состояния сосновых лесов вблизи Иркутского промцентра в начале 1990-х гг. составлял 4–5 баллов, что свидетельствовало о сильном ухудшении параметров древостоев. В последующие 10 лет в связи со снижением объема выбросов индекс жизненного состояния стал возрастать, и этот процесс наблюдался до 2003 г. Затем началось снижение репрезентативных параметров сосновых древостоев и соответственно регистрировалось падение индекса их жизненного состояния (рис. 4).

*Усольско-Ангарский промцентр.* Оценка уровня загрязнения территории выбросами городов Ангарск и Усолье-Сибирское показала, что потоки загрязняющих веществ этих промцентров перекрываются, образуя единое поле загрязнения (Mikhailova et al., 2008). Наиболее четко это было выражено в начале 1990-х гг. – в момент максимального количества аэропром-



**Рис. 4.** Динамика индекса жизненного состояния древостоев сосны вблизи Иркутского промцентра. 1 – городские насаждения; 2 – на удалении 1 км на северо-запад от промцентра; 3 – на удалении 3 км на юго-восток от промцентра; 4 – на удалении 7 км на север от промцентра.



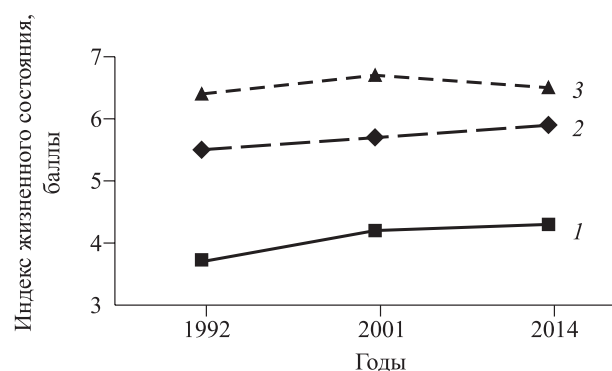
**Рис. 5.** Динамика индекса жизненного состояния древостоев сосны вблизи Усольско-Ангарского промцентра. 1 – лесной массив в промзоне г. Усолье-Сибирское, 2 – на удалении 2 км от г. Ангарска, 3 – на удалении 3 км в южном направлении от г. Ангарска, 4 – на удалении 10 км на юго-запад от г. Ангарска.

выбросов (550–600 тыс. т/год). На протяжении 1991–2005 гг. объем выбросов сокращался и к 2005 г. упал до 194 тыс. т/год. С 2006 г. уровень токсикантов вновь стал возрастать и в настоящее время составляет 250 тыс. т/год.

Временная динамика состояния сосновых древостоев на загрязняемой территории с учетом запаздывания их ответной реакции соответствует изменению объемов выбросов. Так, с 1990 по 2003 г. наблюдался выраженный тренд в сторону улучшения и соответственно увеличения в 1.3–1.9 раза индекса жизненного состояния древостоев (рис. 5).

С 2004 г. по настоящее время выявляется обратная тенденция – снижение репрезентативных параметров деревьев и падение индекса их жизненного состояния (см. рис. 5). В целом можно заключить, что на территории, прилегающей к Усольско-Ангарскому промцентру, устойчивого улучшения состояния сосняков не наблюдается.

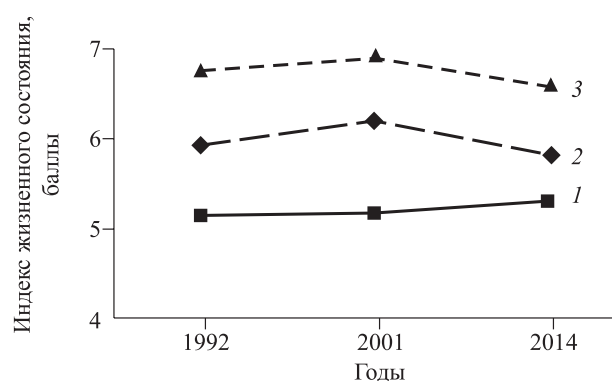
**Черемховский промцентр.** Анализ динамики выбросов за последние 25 лет показал их снижение с 27 (начало 1990-х гг.) до 6 тыс. т/год (современный период), однако общий фон загрязнения атмосферы остается высоким (Государственный доклад..., 2015). Это обусловлено переносом выбросов от соседних промцентров. На протяжении длительного периода наблюдений резких изменений в состоянии лесов, прилегающих к Черемховскому промцентру, не выявляется, преобладает средняя степень угнетения древостоев, а на удалении более 20 км – слабая. Об отсутствии выраженной тенденции в изменении параметров деревьев сосны свидетельствуют



**Рис. 6.** Динамика индекса жизненного состояния древостоев сосны вблизи Черемховского промцентра. 1 – лес на окраине г. Черемхово; 2 – на удалении 25 км на восток от г. Черемхово; 3 – на удалении 35 км на северо-восток от г. Черемхово.

также незначительные колебания индекса их жизненного состояния (рис. 6).

**Саянско-Зиминский промцентр.** Исследования показали, что выбросы городов Саянск и Зима перекрываются, образуя единое поле загрязнения (Mikhailova et al., 2008). Анализ динамики выбросов за 25-летний период свидетельствует, что в начале 1990-х гг. в результате активного развития производства в г. Саянске количество эмиссий возрастало, в 1992 г. достигло 56.5 тыс. т/год, затем на протяжении 15 лет в результате спада производственных мощностей объем выбросов постепенно снижался и к 2008 г. сократился в 2.5 раза, с 2009 г. наметилась тенденция к увеличению количества эмиссий на 7–8 тыс. т, и с 2012 г. по настоящее время их уровень примерно одинаков – около 33 тыс. т/год. При изучении временной динамики



**Рис. 7.** Динамика индекса жизненного состояния древостоев сосны вблизи Саянско-Зиминского промцентра. 1 – лесной массив, прилегающий к промзоне Саянска; 2 – окрестности Зимы; 3 – на удалении 25 км на юго-восток от промышленной зоны городов.

ки состояния сосновых древостоев на территории, прилегающей к Саянско-Зиминскому промцентру, установлено, что индекс их жизненного состояния на протяжении 25 лет варьировал в незначительных пределах и соответствовал преимущественно средней степени угнетения, что наблюдается и в настоящий период (рис. 7).

**Рекреационные зоны ПНП.** Показано, что наиболее проблемными участками на территории ПНП являются поселки Листвянка и Хужир (на о-ве Ольхон), где выявлен очень высокий уровень рекреационной нагрузки. Кроме того, в Листвянке регистрируется несколько повышенный уровень техногенного загрязнения, обусловленный переносом эмиссий от Иркутско-Черемховской промзоны. Высокий уровень рекреационной нагрузки в ПНП во многом обусловлен стремительным ростом туристического потока в последнее десятилетие. Официальные статистические данные о количестве и годичной динамике числа отдыхающих на берегах Байкала отсутствуют, тем не менее имеющиеся экспертные оценки ряда организаций (<http://baikal-info.ru>; <http://russiatourism.ru>; <http://expert.ru/siberia/2015>) предоставляют такую информацию. Так, за последние 5 лет количество отдыхающих в пос. Листвянка увеличилось в 2.5 раза и более, в 2015 г. их число составило 400 тыс. чел. На о-ве Ольхон число туристов в 2013–2015 гг. составляло 500–800 тыс. чел.

Проблемной является также территория КБЖД. В последние годы здесь активно развивается туристический бизнес, сопровождающийся резким возрастанием рекреационной нарушенности природных комплексов, что в сочетании с экстремальными природными условиями привело к угнетению сосновых древостоев на участке от г. Слюдянка до ст. Половинная. Особого внимания заслуживает территория, расположенная в нижнем течении р. Голоустная, в окрестностях пос. Нижний Кочергат. До 2000-х гг. эта территория считалась фоновой и по результатам мониторинговых исследований характеризовалась отсутствием техногенного загрязнения и других видов антропогенного влияния (Михайлова и др., 2006), но в связи с начавшейся интенсивной жилой застройкой поселка в последние 5–7 лет состояние древостоев здесь ухудшилось, и в настоящее время эта тенденция сохраняется.

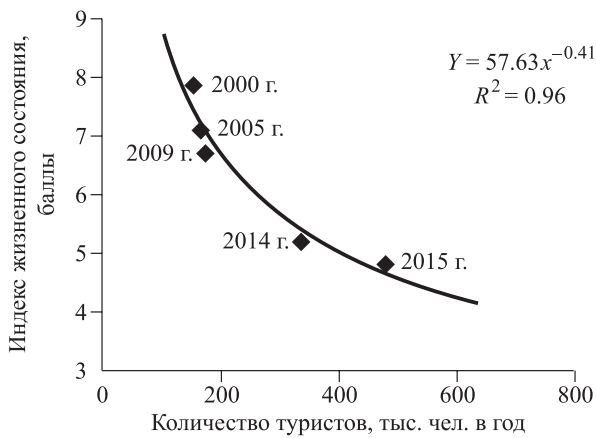
Наши исследования выявили высокую нарушенность почвенного покрова на этих территориях, особенно в поселках Хужир и Листвянка (табл. 2). Установлено, что при рекреационной нагрузке в 400 тыс. чел./год резко ухудшаются морфологические и физические показатели состояния почв, особенно их верхних горизонтов. Так, во всех рекреационных зонах при нарушении органической толщи и увеличении плотности сложения верхних горизонтов на 31–80 % наблюдается выраженное снижение влажности, пористости и аэрации. В составе почвенного поглощающего комплекса происходит увеличение на 32–45 % содержания обменных форм натрия и кальция при одновременном уменьшении обменных форм калия и магния.

Наша задача – оценить состояние почв в рекреационной зоне и на фоновой территории Предбайкалья.

**Таблица 2.** Характеристика верхних горизонтов серых лесных почв в обследованной рекреационной зоне и на фоновой территории Предбайкалья

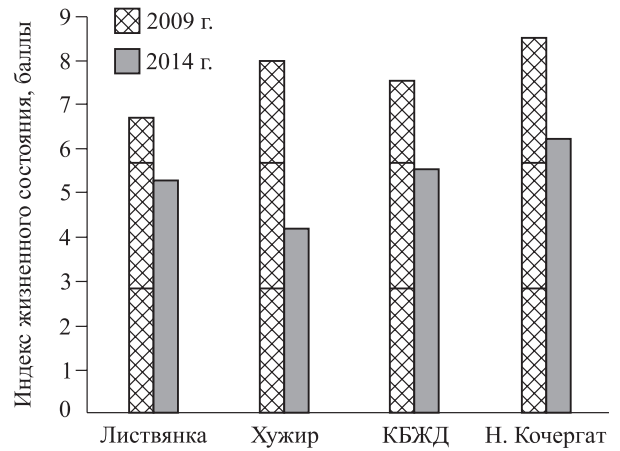
Параметр	Рекреационная зона				Фоновая территория
	Хужир	Листвянка	КБЖД	Нижний Кочергат	
Нарушение органической толщи горизонтов $A_d$ и $A$ , %	60.00	55.00	40.00	15.00	5.00
Плотность сложения горизонта $A_d$ , г/см <sup>3</sup>	1.15	1.28	0.96	0.93	0.71
Плотность твердой фазы горизонта $A_d$ , г/см <sup>3</sup>	2.73	2.71	2.36	1.96	1.91
Естественная влажность горизонта $A_d$ , %	28.70	25.40	28.30	41.20	48.90
Пористость горизонта $A_d$ , %	44.50	48.20	53.60	68.60	70.30
Аэрация горизонта $A_d$ , %	12.50	15.80	44.60	41.50	48.30





**Рис. 8.** Зависимость индекса жизненного состояния древостоев сосны от рекреационной нагрузки (оценивалась по годовому туристическому потоку) в пос. Листвянка.

Буферность наиболее нарушенных почв в поселках Хужир и Листвянка ниже фоновых значений на 45–60 %, показатель фитотоксичности почв по отношению к растениям достигает 35–40 % (для фоновых почв не превышает 5 %), эмиссия CO<sub>2</sub> из верхних гумусовых горизонтов увеличена в 2.5 раза, что свидетельствует о значительном нарушении формирования органического вещества почв. При анализе динамики состояния сосновых лесов на этих территориях выявляется четкий тренд в сторону его ухудшения. Например, в Листвянке индекс жизненного состояния древостоев с 2000 по 2014 г. снизился в 1.5 раза (рис. 8). За последние 5 лет существенное падение этого показателя зафиксировано и в



**Рис. 9.** Динамика индекса жизненного состояния древостоев в рекреационных зонах на территории Прибайкальского национального парка.

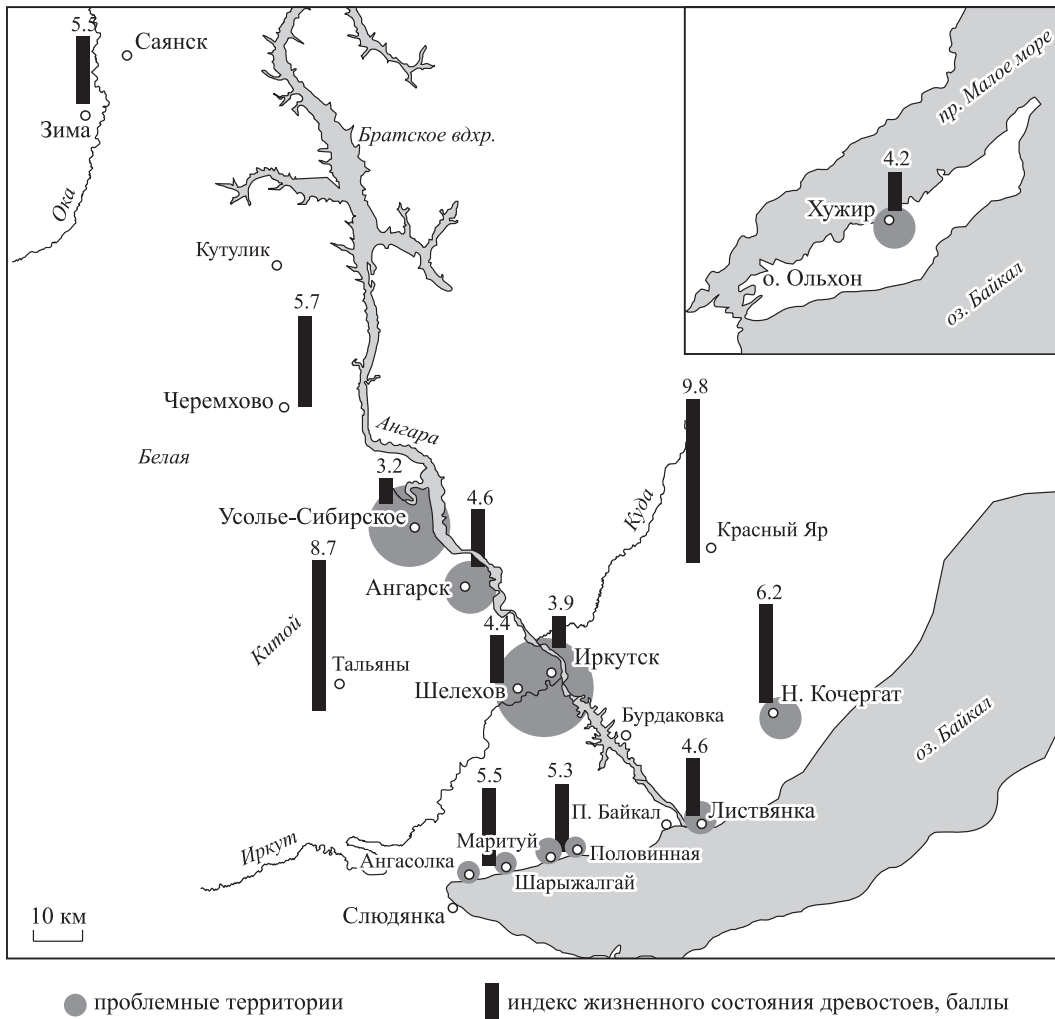
других рекреационных зонах ПНП (рис. 9). Полученные данные позволяют говорить о том, что относительно оптимальными для обследованных территорий являются показатели рекреационной нагрузки, которые имели место до 2005 г., когда индекс жизненного состояния древостоев сосны был на уровне фонового или близкого к нему и составлял от 7 до 9 баллов.

Таким образом, сопоставимое снижение параметров, характеризующих жизненное состояние деревьев, выявлено как на территории вблизи промцентров, так и на участках с высокой рекреационной нагрузкой, древостои сходны и по визуальным признакам (рис. 10). На основании комплекса полученных данных построена



**Рис. 10.** Древостои сосны обыкновенной: а – вблизи Шелеховского промцентра; б – в зоне высокой рекреационной нагрузки (пос. Хужир).





**Рис. 11.** Карта-схема территории Южного Предбайкалья, проблемной по жизненному состоянию древостоев сосны обыкновенной (2014 г.).

карта-схема проблемных территорий Предбайкалья (рис. 11). На ней показаны участки, на которых в современный период выявляется тренд к явному ухудшению жизненного состояния древостоев.

Для предотвращения усиления деградации сосновых лесов в окрестностях промцентров и в местах с высокой рекреационной нагрузкой мы рекомендуем существенно снизить антропогенное воздействие за счет уменьшения техногенного загрязнения и оптимизации рекреационного лесопользования, особенно в Прибайкальском национальном парке. Полученные данные могут использоваться природоохранными и лесохозяйственными органами при планировании лесовосстановительных работ, организации разного типа рубок, для разработки других защитных мероприятий по снижению антропогенного воздействия на природные комплексы Южного Предбайкалья.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты долговременного мониторинга состояния сосновых лесов на территории Южного Предбайкалья, подвергающейся воздействию техногенного загрязнения и высокой рекреационной нагрузки, показали сходство обоих факторов по стрессовому воздействию на древостои. Об этом свидетельствуют ухудшение морфоструктурных параметров деревьев сосны обыкновенной, снижение уровня фотосинтетических пигментов, а также дисбаланс элементов-биогенов в хвое. В современный период наиболее сильное снижение индекса жизненного состояния древостоев выявляется вблизи Шелеховского, Иркутского и Усольско-Ангарского промцентров. На территориях, подвергающихся воздействию выбросов Черемховского и Саянско-Зиминского промцентров, на протяжении длительного периода наблюдений

резких изменений в состоянии лесов не выявлено, преобладает средняя степень угнетения древостоев. Анализ динамики состояния сосновых лесов на территориях с высокой рекреационной нагрузкой показал наличие выраженного тренда в сторону ухудшения жизненного состояния древостоев, особенно в пос. Листвянка и на о-ве Ольхон в пос. Хужир.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ и правительства Иркутской области (проект р сибирь\_а № 14-44-04067).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агрохимические методы исследования почв / под ред. А. В. Соколова. М.: Наука, 1975. 656 с.
- Антонов И. А., Осколков В. А. Совместное использование баз данных по хвоегрызущим насекомым и дендрохронологическим шкалам для Байкальской Сибири в среде геопортала // Вестн. Иркутск. гос. техн. ун-та. 2013. Т. 83. № 12. С. 12–17.
- Бикмуллин Р. Ч. Оценка состояния древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth) на территории Казанского промышленного центра Республики Татарстан: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.01, 03.02.08. Оренбург: Оренбургск. гос. пед. ун-т, 2012. 21 с.
- Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М., 1986. 416 с.
- Ващук Л. Н. В Иркутской области необходимо инвентаризировать леса, усилить их охрану и масштабнее заниматься лесовосстановлением. Иркутская область, ИА «Телеинформ», 21.05.2015. <http://irkutsk.bezformata.ru/listnews/lesa-usilit-ih-ohranu-i-masshtabnee/33245263/>
- Воложжина С. Ж., Новикова С. А., Винокурова Т. С. Современное состояние автомобильного парка г. Иркутска и его влияние на экологическую ситуацию города // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2014. Т. 7. С. 65–74.
- Воробьева Г. А. Классификация и систематика почв южной (освоенной) части Иркутской области. Методические указания. Ч. 1. Иркутск, 1999. 47 с.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2014 году». Иркутск: Форвард, 2015. 328 с.
- Заборцева Т. И., Евстропьева О. В. Современные социально-экологические проблемы рекреационного освоения Прибайкальского национального парка // География и природ. ресурсы. 2009. № 4. С. 72–81.
- Зарубина Л. В., Коновалов В. Н., Феклистов П. А., Клевцов Д. Н., Копытков В. В. Оценка состояния хвойных деревьев на вырубках в условиях Европейского Севера // Вестн. Северного (Аркт.) Фед. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2015. № 1. С. 85–94.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск, 2004. 342 с.
- Ковылина О. П., Зарубина И. А., Ковылин А. Н. Оценка жизненного состояния сосны обыкновенной в зоне техногенного загрязнения // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV. № 3–4. С. 284–289.
- Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М., 1981. 108 с.
- Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
- Михайлова Т. А., Бережная Н. С., Игнатьева О. В. Элементный состав хвои и морфологические параметры сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения / под ред. А. С. Плешанова. Иркутск: Ин-т географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2006. 134 с.
- Михайлова Т. А., Калугина О. В., Шергина О. В., Тараненко Е. Н., Афанасьева Л. В., Полякова М. С., Пройдакова О. А., Макарова Л. Е. Изменение характеристик питательного статуса сосновых лесов при воздействии антропогенных факторов // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. Вып. 1 / под ред. И. В. Бычкова А. Л. Казакова. Иркутск: Ин-т географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. С. 166–170.
- Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2014 год. М.: Росгидромет, 2015. 199 с.
- Площади пробные лесоустроительные: методы закладки. ОСТ 56-69-83. М., 1983. 11 с.
- Почва, город, экология / под ред. Г. В. Добровольского. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. 320 с.
- Пройдакова О. А., Васильева И. Е. Способ совершенствования схем пробоподготовки и атомно-абсорбционного анализа геохимических проб // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. Т. 75. № 4. С. 6–15.
- Пройдакова О. А., Цыханский В. Д., Матвеева Л. Н., Гормашева Г. С., Халтуева В. К. Физико-химические методы при определении макро- и микроэлементов в объектах окружающей среды // Геохимия техногенеза: Сб. статей / Под ред. Е. В. Пиннекера. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. С. 124–130.
- Соболева О. М. Эколого-физиологическая адаптация сосны обыкновенной на урбанизиро-

- ванных территориях Кемеровской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Барнаул: Алтайск. гос. ун-т, 2009. 21 с.
- Тутлянова А. Ф., Шибарева С. В.* Подстилки в лесных и травяных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 135 с.
- Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска / Отв. ред. Л. И. Милютин. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. 179 с.
- Liira J., Sepp T., Parrest O.* The forest structure and ecosystem quality in conditions of anthropogenic disturbance along productivity gradient // *For. Ecol. Manag.* 2007. V. 250. P. 34–46.
- Loehle C., Idso C., Wigley T. B.* Physiological and ecological factors influencing recent trends in United States forest health responses to climate change // *For. Ecol. Manag.* 2016. V. 363. P. 179–189.
- Lukas M., Pensa M., Schiller G.* Tree species' tolerance to water stress, salinity and fire / M. Bredemeier, S. Cohen, D. L. Godbold, E. Lode, V. Pichler, P. Schleppi (Eds.). *Forest management and the water cycle: an ecosystem-based approach.* *Ecol. Stud.* Springer, 2011. P. 247–262. <http://centaur.reading.ac.uk/21824/>
- 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>
- Mikhailova T. A., Kalugina O. V., Shergina O. V.* Phytomonitoring of air pollution in the Baikal region // *Contemp. Probl. Ecol.* 2013. V. 6. N. 5. P. 549–554.
- Mikhailova T. A., Pleshanov A. S., Afanasieva L. V.* Cartographic assessment of pollution of forest ecosystems on the Baikal natural territory by technogenic emissions // *Geogr. Nat. Res.* 2008. V. 29. Iss. 4. P. 317–320.
- Smidt S.* Assessment of air pollution stress on forest ecosystems by the example of the Northern Tyrolean limestone Alps // *J. Plant. Physiol.* 1996. V. 148. P. 287–295.

## THE DYNAMICS OF PINE FORESTS IN PREBAIKALIA UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

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

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Science, Siberian Branch  
Lermontov str., 132, Irkutsk, 664033 Russian Federation*

---

E-mail: mikh@sifibr.irk.ru, olignat32@inbox.ru, sherolga80@mail.ru

Analyzed and generalized were the results of prolonged (10–25 years) monitoring of condition pine *Pinus sylvestris* L. forests affected by technogenic pollution and high recreation load in the South Prebaikalia. The results show that both factors have similarity in the stress effect on pine tree-stands, as confirmed by alteration in morphometric parameters of tree assimilating phytomass, decrease in photosynthetic pigments level, as well as by disturbance the nutrient elements proportions in the needles. As tree crown defoliation level reaches 65–70 %, the morphometric parameters for shoots and needles are found to decrease the background level by in 1.3–4.5 times. Under technogenic pollution, the needles' chlorophylls sum was reduced 2.8–3.5 times, level of carotenoides – to 3.9 times maximum in comparison with the background needles while under high recreation load the green pigments content was reduced 1.9–5.7 times, carotenoids content – to 5.5 times. There is a imbalance in quantitative proportions between nutritional elements under any type of stress, N : P : K proportion changes due to increase of nitrogen level and reduction of phosphorus and potassium level. Index of tree-stand vital condition was calculated on the basis of the representative parameters to analyze the long forest dynamics. Significant reduction was shown in the index in the present time and correspondingly the obvious tendency to pine forest decline in the territories polluted by Irkutsk, Shelekhov, and Angarsk-Ussolie industrial centers. At the same time near Cheremkhovo and Sayansk-Zima centers there are not heavy changes in the forest's condition; during long time a middle level of weakening is registered but in the distance 20 km – a low level of weakening. In the territories characterized by a high recreation load, a sharp trend to declining pine tree-stands vital condition was found, and most clearly it is expressed in the towns of Khuzhir (Olkhon island) and Listvyanka, where there is a particularly high soil disturbance. Based on these results a schematic map has been developed to show the identified problem areas with revealed significant tendency to decline of the vital condition the pine tree-stands in the contemporary period.

**Keywords:** Scots pine *Pinus sylvestris* L., technogenic pollution, recreational impact, index of tree-stand vital condition, South Prebaikalia.

**How to cite:** Mikhailova T. A., Kalugina O. V., Shergina O. V. The dynamics of pine forests in Prebaikalia under anthropogenic impact // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Siberian Journal of Forest Science). 2017. N. 1: 44–55 (in Russian with English abstract).