



УДК 630.181: 581.9: 631.48(571.53)

## **Оценка антропогенной нарушенности лесных биогеоценозов в городской среде (на примере г. Братска)**

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

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН*

**Аннотация.** Нарушенность лесных биогеоценозов в городской среде оценивалась по комплексу визуальных и морфоструктурных параметров древесных растений, состоянию травяного покрова, морфологическим и физическим свойствам почв, содержанию химических элементов в хвое деревьев и горизонтах почвенного профиля. Полевые работы проводились в 2013–2015 гг. на 14 пробных площадях (ПП), заложенных вблизи промышленной зоны г. Братска и на территории административных округов города. Наиболее сильная нарушенность лесных биогеоценозов выявлена в окрестностях промышленной зоны и в Центральном округе. В меньшей степени нарушенность лесных биогеоценозов выражена на территории Падунского округа, минимальные изменения обнаружены на территории Правобережного округа, наиболее удаленного от источников техногенных выбросов. Показано, что в городской среде основными факторами, негативно влияющими на рост растений и состояние почв, служат техногенное загрязнение и высокий уровень рекреационной нагрузки. Антропогенная трансформация древесных растений, травянистого яруса и горизонтов почв характерна для всех ПП. В лесных биогеоценозах наблюдаются нарушение кислотно-щелочного баланса почв, изменение состава почвенно-поглощительного комплекса (ППК) и возрастание аккумуляции поллютантов в растениях и почве, а также существенные изменения визуальных и морфоструктурных параметров растений, морфологических и физических характеристик почв. Выбранный комплекс параметров растений и почв позволяет достоверно оценить степень их нарушенности и может быть использован при обосновании уровней антропогенных нагрузок на лесные биогеоценозы.

**Ключевые слова:** городские леса, техногенное загрязнение, рекреационная нагрузка, нарушенность лесных биогеоценозов.

### **Постановка проблемы**

В настоящий период проблемы, связанные с экологическим состоянием городской среды, вызывают возрастающий интерес отечественных и зарубежных исследователей. Одним из регионов России, где на небольшом расстоянии друг от друга располагаются несколько промышленных городов, является Восточная Сибирь. В этом регионе очень напряженная экологическая обстановка складывается в г. Братске и на прилегающих к нему территориях, где ежегодный объем выбросов от стационарных источников составляет 119 тыс. т. Уже на протяжении более двух десятилетий г. Братск занимает прочную позицию в Приоритетном списке городов России с очень

высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха [18]. На его территории сосредоточено более 40 промышленных предприятий, в том числе один из крупнейших в стране и мире алюминиевый завод, теплоэлектростанции, деревообрабатывающие и деревоперерабатывающие предприятия. Существенный вклад в загрязнение окружающей среды вносит и автомобильный транспорт. По данным Братского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в атмосферный воздух города поступает 109 наименований загрязняющих веществ, среди них высокотоксичные фторсодержащие соединения, оксиды серы, углерода, неорганическая пыль, а также стойкие органические соединения, в которых велика доля полициклических ароматических углеводородов [18]. Результаты научных исследований и прогнозные математические расчеты А. В. Аргучинцевой и О. В. Сташок позволили провести оценку загрязнения воздушного бассейна г. Братска основными промышленными предприятиями, выявить наиболее опасные зоны загрязнения местности и представить сведения по заболеваемости населения [2; 24]. Исследовалось также накопление неорганических элементов-поллютантов в аэрозольных выпадениях, снеговом и почвенном покровах, растениях [4; 8; 22; 23]. Составлены карты-схемы, характеризующие распределение загрязняющих веществ в снежном покрове на селитебной территории г. Братска [9]. Установлено, что за 40-летний период поступления токсических эмиссий на расстоянии до 10 км от завода сформировалась техногенная геохимическая аномалия с высоким содержанием фтора в разных компонентах экосистемы [7].

Необходимо отметить, что высокая степень загрязнения атмосферного воздуха на территории г. Братска обусловлена также сложными орографическими и климатическими особенностями (холмисто-увалистый и горный рельеф, длительные периоды слабых ветров, частые застои и температурные инверсии воздуха, пониженное среднегодовое количество осадков, малая годовая сумма положительных температур и высокая амплитуда их колебания), препятствующими самоочищению приземного слоя атмосферы. В районе г. Братска преобладают западные, южные и юго-западные ветры [3], поэтому нет четко выраженного направления рассеивания аэровыбросов, они распространяются по разным векторам.

Техногенные эмиссии оказывают неблагоприятное воздействие на все компоненты природной среды, что в конечном счете сказывается на состоянии здоровья населения [2; 19; 17; 25; 29; 31; 36; 37]. Естественным барьером на пути распространения промышленных эмиссий в пределах городской черты являются лесные биогеоценозы (городские леса) [15; 28]. Согласно Лесному кодексу РФ (2006, № 200-ФЗ), к категории городских лесов относятся территории, расположенные на землях городских поселений, предназначенные для сохранения благоприятной экологической обстановки для населения. В условиях городской среды древесные растения ослабляют действие ударной волны токсикантов, снижая их скорость и концентрацию за пределами леса, изменяют направление воздушных потоков [14; 16; 20; 27]. Древесные растения и почвы являются основными аккумулялирующими природными средами, поглощающими пылевидные и газообразные токсические

вещества из атмосферы. Следовательно, изучение состояния лесных биогеоценозов, их нарушенности в пределах городской среды актуально для выявления наиболее неблагоприятных территорий, на которых необходимо проводить природоохранные мероприятия. Цель работы – оценить антропогенную нарушенность лесных биогеоценозов в городской среде (на примере г. Братска).

### **Объекты и методы исследования**

Исследования проводились в городских лесах г. Братска, расположенного на северо-западе Иркутской области в центральной части Восточной Сибири. Город Братск размещен на площади около 55 тыс. га и состоит из селитебных зон, территориально разобщенных крупными лесными массивами и водными объектами. Административно город разделен на три округа. Центральный округ представлен непосредственно центральной частью города, поселками Порожский, Сосновый, Стениха, Чекановский; Падунский округ – поселками Падун, Энергетик и Бикей; Правобережный округ – поселками Гидростроитель, Осиновка, Сухой. Численность населения в округах составляет 154, 55 и 40 тыс. чел., соответственно. Жилые районы различаются по размеру и степени благоустройства, часть из них – это поселки, которые возникали вблизи строившихся промышленных предприятий. Следует отметить, что их расположение проектировалось без учета смены направления преобладающих ветров в результате создания Братского водохранилища при строительстве Братской ГЭС. Таким образом, жилые районы Центрального округа города оказались в непосредственной близости (около 8 км) от алюминиевого завода и лесопромышленного комплекса, а пос. Чекановский располагается в 2 км от алюминиевого завода и прилегает к санитарно-защитной зоне. Кроме того, обследовались лесные насаждения в окрестностях города, в том числе произрастающие в промышленной зоне.

Для оценки нарушенности лесных биогеоценозов исследовался комплекс визуальных и морфоструктурных параметров древесных растений, состояние травяного покрова, морфологические и физические свойства почв, содержание химических элементов в хвое деревьев и горизонтах почв. Объектами исследования служила сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – широко распространенная и наиболее чувствительная к атмосферным токсикантам древесная порода [38; 39], дерново-карбонатные, преимущественно среднемощные оподзоленные почвы и травяной покров. Натурные обследования лесных биогеоценозов проводились в 2013–2015 гг. на 14 ПП, заложенных в наиболее распространенном типе леса – разнотравном, во всех административных округах, а также вблизи промзоны г. Братска (рис. 1). Изучаемые параметры лесных биогеоценозов в городских лесах сравнивались с соответствующими показателями на фоновых участках, удаленных от техногенных источников на 60 км и более. Закладку ПП осуществляли по общепринятым методикам [13; 35] с учетом географического расположения источников загрязнения, регионального ветрового режима, специфики локальной циркуляции воздушных масс, особенностей рельефа и гидросети в древостоях, сходных по возрасту и бонитету. Размер каждой из них 0,1 га.



Рис. 1. Расположение пробных площадей

Почвы исследовались методом почвенных разрезов с изучением морфологических особенностей всех генетических горизонтов. Название почв давалось в соответствии с общепринятой классификацией [10] и классификацией почв Иркутской области [6]. В середине вегетационного периода на ПП определяли основные лесотаксационные характеристики древостоев, проводили геоботанические описания [26; 30], изучались особенности почвообразовательного процесса. В древостоях оценивали уровень дефолиации крон деревьев, устанавливали степень дехромации хвои, измеряли длину побегов, количество хвоинок на побегах второго года жизни, продолжительность жизни хвои, ее длину и массу. Рассчитывали также объем стволов деревьев на каждой ПП [11]. Определение морфометрических параметров хвои *P. sylvestris* производили с точностью до 1 мм. Выборка хвои составляла более 100 хвоинок для каждой ПП. На каждой ПП с 5–6 деревьев сосны 40-летнего возраста отбирали пробы хвои второго года жизни как наиболее физиологически активной [21], а также образцы лесной подстилки и почвы для последующего определения содержания элементов.

В лабораторных условиях элементный химический состав в растительных и почвенных образцах определяли методами пламенной фотометрии, атомно-абсорбционной спектрофотометрии, фотоколориметрирования по сертифицированным методикам с использованием приборного парка Байкальского аналитического центра (ЦКП) ИНЦ СО РАН – в частности, AAS Vario 6 (Германия), ИК-спектрофотометра FT-IR Apectrum One, Perkin Elmer, AAA 400 (Чехия). Содержание фтора в хвое сосны определяли спектрофотометрически (на ПЭ-5400ВИ) с ксиленоловым оранжевым индикатором после сухого озоления и дистилляции с водяным паром в хлорной кислоте при длине волны 540 нм. Для удаления ионов хлора в растворе использовали сернистое серебро. Определение полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в хвое проводили по методике, изложенной в работе А. Г. Горшкова [33]. Кроме того, в почвенных образцах измеряли актуаль-

ную ( $pH_{H_2O}$ ) и обменную ( $pH_{KCl}$ ) кислотность потенциометрическим методом, гидролитическую ( $H_g$ ) кислотность методом Каппена, содержание гумуса, общего азота – методом Тюрина, состав обменных катионов в ППК – методом Шолленбергера [1]. Изучение физических параметров почв выполнялось по традиционным методикам [5]. Для статистической обработки полученных данных использовали компьютерные программы «Среда статистических вычислений R», версия 3.1.1 (2014 г.).

### Результаты исследования и обсуждение

Для оценки уровня загрязнения древостоев выбросами промышленных предприятий, располагающихся в г. Братске и его окрестностях, было изучено содержание в ассимиляционных органах сосны неорганических элементов-поллютантов, а также полициклических ароматических углеводородов. Установлено, что во всех районах города происходят значительные изменения элементного состава хвои сосны, при этом в ней увеличивается количество элементов, преобладающих в составе промышленных эмиссий (рис. 2).



Рис. 2. Коэффициенты концентраций ( $K_c$ ) элементов-поллютантов в хвое деревьев сосны, произрастающих вблизи промзоны и разных округах г. Братска

Максимальные концентрации элементов обнаруживаются в хвое сосны, произрастающей вблизи промзоны, а также в центральной части города, наименьшие отличия от фоновых значений характерны для деревьев городских лесов Правобережного округа. Помимо неорганических загрязнителей, с выбросами промышленных предприятий в атмосферу поступают органические поллютанты, в частности ПАУ. Данный класс веществ относится к приоритетным техногенным загрязнителям, обладающим мутагенными, тератогенными и канцерогенными свойствами, а также способностью к

накоплению в объектах окружающей среды [12; 32; 34]. Максимальные концентрации ПАУ (более 6000 нг/г) в хвое сосны обнаруживаются на территории промзоны; в окрестностях ближайших жилых зон (пос. Чекановский, ст. Моргудон) концентрации ПАУ достигают 2100 нг/г, в центральной части города – 800, в Падунском округе – 500, в Правобережном – 300 нг/г, на фоновых территориях сумма ПАУ составляет 30 нг/г (см. рис. 2).

Негативное воздействие выбросов поллютантов привело к существенному нарушению лесных биогеоценозов, расположенных в пределах городской территории, о чем свидетельствует изменение целого ряда показателей, характеризующих их состояние. Результаты продемонстрировали, что на обследованной территории в составе древесного яруса преобладают сосна и береза, встречается лиственница (табл. 1). На расстоянии 0,5 км от промышленной зоны доминируют более устойчивые к воздействию аэрополлютантов лиственные породы деревьев, хвойные встречаются единично в сильно угнетенном состоянии. Вблизи промышленной зоны, а также в Центральном и Падунском округе древостои чаще всего средневозрастные (50–80 лет), одноярусные, негустые, горизонтальная сомкнутость крон составляет 0,2–0,4; в Правобережном округе древостои более густые, сомкнутость крон равна 0,4–0,5. В подросте преобладают мелколиственные породы – осина (*Populus tremula* L.) и береза (*Betula pendula* Roth) высотой от 1 до 4 м, встречаются единичные экземпляры сосны и лиственницы высотой от 1,5 до 3 м в сильно угнетенном состоянии. Возобновление хвойных пород вблизи промышленной зоны практически отсутствует, в городских лесах – слабое.

Выявлены существенные изменения визуальных и морфоструктурных параметров деревьев сосны на ПП в разных районах города, особенно вблизи промышленной зоны и в Центральном округе. Так, уровень дефолиации крон достигает 75–85 %, на фоновых территориях он составляет в среднем 20 %. Продолжительность жизни хвои сокращается до 2–3 лет, на фоновых территориях она составляет 5–6 лет. Количество некротизированной хвои в кронах достигает 60–80 % (рис. 3, а). Высокий уровень пожелтения хвои сосны в городских лесах обусловлен воздействием высокоагрессивных фторсодержащих соединений, поступающих в атмосферу с выбросами алюминиевого производства. У сосны некрозы хвои буровато-красного цвета локализуются чаще всего в верхней части хвоинок; вблизи промышленной зоны повреждения охватывают практически всю длину хвоинки. Наиболее чувствительна к воздействию фтористых соединений молодая растущая хвоя. Некротизация крон деревьев происходит преимущественно по верхушечному типу. Токсические выбросы вызывают частичный или полный «ожог» хвои в верхней части кроны, способствуют гибели апикальных почек роста, появлению большого количества голых ветвей и в конечном счете суховершинности (рис. 3, б). На всех обследованных территориях регистрируются также сосны с флагообразной формой кроны, образующейся в результате слабого развития и укорочения побегов со стороны мощного источника выбросов. Кроме того, у сосны во всех административных округах города наблюдается заболевание шютте, вызванное микромицетом *Lophodermium pinastri* (Schrad.) Rehm., что усиливает некротизацию хвои и отмирание побегов.

Таблица 1

## Краткая характеристика пробных площадей, заложенных в разных округах г. Братска

№ пп	Тип леса	Состав древостоя	Полнота древостоя	Сомкнутость крон	Уровень дефолиации крон, %	Уровень декромации крон, %	Продолжительность жизни хвой
Вблизи промышленной зоны							
1	Единичные деревья сосны	-	-	-	85	80	2
2	Единичные деревья сосны, березы	-	-	-	80	75	2
Центральный округ							
3	Сосняк осоково-разнотравный	10С	0,3	0,2	75	40	2
4	Сосняк осоково-разнотравный	9С1Б	0,3	0,2	65	20	3
5	Сосняк осоково-разнотравный	7С3Б	0,5	0,2	60	10	3
6	Сосняк разнотравный	8С2Б	0,4	0,3	70	20	2
7	Сосняк осоково-разнотравный	10С	0,5	0,3	50	10	4
Падунский округ							
8	Сосняк осоково-разнотравный	7С3Б	0,3	0,2	70	10	3
9	Сосняк осоково-разнотравный	7С3Л+Б	0,6	0,4	45	7	4
10	Сосняк разнотравный	8С2Б	0,6	0,4	75	35-40	3
Правобережный округ							
11	Сосняк осоково-разнотравный	10С	0,6	0,4	60	5	3
12	Сосняк кустарниково-разнотравный	10С	0,5	0,4	50	5	3
13	Сосняк разнотравный	10С	0,6	0,5	45	5	4
Фоновые территории							
14	Сосняк разнотравный	10С	0,8	0,7	20	0	5-6



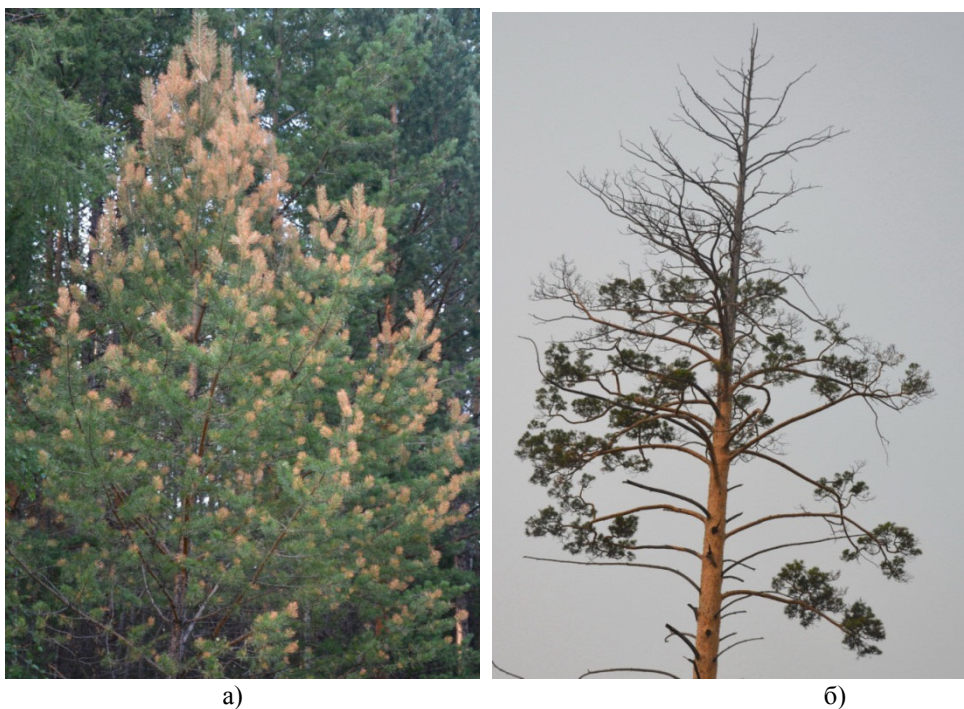


Рис. 3. Некротизированная хвоя (а) и сухвершинность деревьев (б) сосны, произрастающей в Центральном округе г. Братска



Рис. 4. Распространение эпифитных лишайников на стволах деревьев сосны в Падунском округе (а), на фоновой территории (б)



Анализ морфометрических показателей стволов, побегов и ассимиляционных органов сосны также свидетельствует о сильном их отличии от фоновых значений в Центральном округе города, в меньшей степени – в Падунском и Правобережном округах (табл. 2). Наименьшие размеры органов деревьев зафиксированы вблизи промышленной зоны. Как следует из табл. 2, самыми информативными из перечисленных параметров являются масса хвои на побеге, длина и охвоенность побегов, объем ствола; их значения в городской среде уменьшаются по сравнению с фоновыми от 1,5 до 5,6 раза.

Таблица 2

Морфометрические показатели стволов, побегов и хвои деревьев сосны, произрастающих в разных округах г. Братска

Показатели	Вблизи промзоны	Административные округа г. Братска			Фоновые территории
		Центральный	Падунский	Правобережный	
Высота ствола (h), м	12,24±3,45	14,20±1,45	20,21±4,36	15,26±1,95	18,70±1,41
Диаметр ствола (d), м	0,19±0,05	0,20±0,05	0,27±0,05	0,27±0,07	0,35±0,01
Объем ствола (v)*, м <sup>3</sup>	0,17±0,03	0,22±0,04	0,53±0,08	0,41±0,07	0,83±0,02
Длина побегов 2-го года жизни, см	7,35±2,44	10,95±3,16	13,55±3,94	14,44±1,31	20,88±3,47
Охвоенность побегов 2-го года жизни, шт.	94,40±25,97	142,46±29,35	169,67±22,24	194,44±24,21	231,14±94,52
Масса хвои на побегах, г	0,86±0,46	1,85±0,73	1,92±0,61	2,71±0,69	4,80±0,70
Масса одной хвоинки, мг	9,11±1,98	12,99±3,47	11,32±2,93	13,94±2,80	20,77±2,57
Длина хвои, мм	47,27±6,47	48,94±7,82	47,10±4,16	50,79±5,12	53,48±5,26

Подлесок в лесных биогеоценозах г. Братска средне развит. В его составе часто встречаются шиповник (*Posa acicularis* Lindl.), высота которого варьирует от 0,4 до 1,5 м, таволга средняя (*Spiraea media* Franz Schmidt) – 0,7–1,8 м, черемуха уединенная (*Padus avium* Mill.) – 0,8–2,0 м, рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.) – 0,6–1,8 м, ольха кустарниковая (*Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar) – 1,3–2,5 м, реже волчник обыкновенный (*Daphne mezereum* L.) – 0,2–0,7 м, сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.) – 1,0–1,7 м, багульник болотный (*Ledum palustre* L.) – 0,3–0,7 м. Кустарничковый ярус на обследованной территории выражен слабо, как правило, он не образует сомкнутого яруса, представлен костяникой (*Rubus saxatilis* L.), реже брусникой (*Vaccinium vitis-idaea* L.).

Лишайниковый покров на обследованной территории не выражен, лишь на некоторых ПП, расположенных в Падунском и Правобережном округах, в нижней части стволов деревьев сосны встречаются единичные группировки относительно устойчивых к загрязнению видов *Parmelia sulcata*

и *Hypogymnia physodes* (рис. 4, а). На фоновых ПП лишайники обильно покрывают стволы разных пород деревьев на высоте до 2 м (рис. 4, б). На пробной площади, расположенной в непосредственной близости к алюминиевому заводу по направлению основной розы ветров (ПП 1), отмечается мощный наземный моховой покров, что, по-видимому, вызвано подкислением техногенными выбросами нарушенной почвы. В результате непрерывного негативного воздействия на почвы происходит изменение основных ценологических параметров наземного покрова и значительное увеличение биомассы эпигейных мхов. Травянистая растительность в городских лесах также претерпевает существенные изменения: значительно снижаются проективное покрытие надземной фитомассы, высота травяного яруса, общая численность видов и изменяется их видовой состав (табл. 3).

Таблица 3

Изменение некоторых параметров структуры травяного яруса в лесных биогеоценозах вблизи промзоны и в разных округах г. Братска

Параметры	Вблизи промзоны	Административные округа г. Братска			Фоновые территории
		Центральный	Падунский	Правобережный	
Общее проективное покрытие, %	40	50	60	65	85
Общая численность видов	18	20	23	28	34
Соотношение лесных/ рудеральных видов, %	42/58	48/52	53/47	63/27	95/5
Ярусность травяного покрова	I	II	II	II	III
Средняя высота травостоя, см	20	25	35	40	50

На всех обследованных ПП происходит значительная трансформация естественных биогеоценозов. Вследствие изменения лесной среды, снижения полноты насаждения, уничтожения подроста и подлеска создаются благоприятные условия для развития лесолуговых и луговых видов. Кроме того, в преобразованных человеком местообитаниях формируются условия, благоприятствующие существованию сорных растений, из-за чего снижается соотношение лесных и рудеральных видов (см. табл. 3). Они занимают экологические ниши, освободившиеся после исчезновения чувствительных лесных видов растений.

Наиболее сильно ценологическая значимость рудеральных видов возрастает в окрестностях промзоны и в Центральном округе Братска. Преобладающими видами травянистой растительности здесь являются: *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Ranunculus sceleratus* L., *Poa pratensis* L., *Trifolium pretense* L., *Trifolium lupinaster* L., *Poligonum aviculare* L., *Anemone sibirica* L., *Achillea asiatica* Serg., *Carex* sp, *Carum carvi* L., *Thalictrum minus* L., *Phleum pretense* L. Травянистая растительность в Падунском и Правобережном округах оказалась менее нарушенной, количество сорных видов здесь меньше. Из лесных видов часто встречаются *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Carex macroura* Meinsh., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn ex

Decken, Sanguisorba officinalis L., Vicia geminiflora Trautv. и V. unijuga A. Br., Lathyrus humilis (Ser.) Sprengel, Rubus saxatilis L., Heracleum dissectum Ledeb, Campanula glomerata L., Pulmonaria mollis Wulfen, более редко встречаются Geranium sp., Pyrola alchemilla vulgaris L., Melilotus albus Medik. На фоновых территориях видовое разнообразие травянистых растений гораздо большее, присутствует свыше 30 видов, луговые и сорные виды встречаются в основном по опушкам и вдоль лесных дорог и тропинок. Из лесных видов преобладающими являются Pyrola rotundifolia L., Viola uniflora L., V. gmeliniana Schultes, Primula sp, Galium verum L., C. glomerata L., Cypripedium macranthon Sw., Antennaria dioica Gaertn и др.

Установлено, что существенным фактором ухудшения условий произрастания растительности служит изменение эдафических условий. Как было сказано ранее, на обследованной территории преобладают дерново-карбонатные среднемошные оподзоленные почвы. Их нарушенность выражается в изменении морфологических и физических характеристик горизонтов. Исследования показали, что наибольшей трансформации подвержены почвы вблизи промзоны и в лесных биогеоценозах Центрального округа (табл. 4).

Таблица 4

Морфологические и физические параметры верхних горизонтов (0–20 см) дерново-карбонатных почв вблизи промзоны и в лесных биогеоценозах в разных округах г. Братска

Параметры	Вблизи промзоны	Административные округа г. Братска			Фоновые территории
		Центральный	Падунский	Правобережный	
Мощность подстилки, см	0–1	2–4	3–5	4–6	5–8
Мощность гумусово-аккумулятивной толщи, см	1–4	2–6	3–8	4–12	15–20
Физическая глина, %	60	45	40	30	25
Влажность от объема, %	21,30	30,40	35,65	38,45	48,55
Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	1,35	1,20	1,15	1,05	0,85
Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	2,75	2,55	2,45	2,30	1,90
Пористость, %	35,20	48,20	54,30	60,35	68,70
Аэрация, %	11,15	15,25	24,45	28,40	45,35
Нарушение органогенной толщи, %	70	60	40	20	5
Захламленность почвы, %	50	30	25	15	0
Каменистость, %	35	25	20	10	5
Антропогенные включения, %	40	30	15	10	0

В почвах наблюдаются уплотнение верхних горизонтов, в ряде случаев полное их уничтожение, изменение в расположении горизонтов в системе почвенного профиля. Исследования показали, что в Центральном округе с увеличением степени рекреационной нагрузки значительно снижается мощность лесной подстилки и гумусово-аккумулятивной толщи почв, увеличивается содержание физической глины (частицы < 0,01 мм), плотности верхних горизонтов почв (в 1,5–2 раза), уменьшается влажность (на 60 %), пори-

стость (на 50 %) и аэрация (на 75 %). О нарушении почвенного покрова во всех административных округах свидетельствуют также такие специфические показатели, как изменение органогенной толщи, возрастание процента каменистости в слое 0,2 м, а также количества антропогенных включений на поверхности и в горизонтах почвы (см. табл. 4). Оптический анализ почв продемонстрировал, что в образцах, отобранных вблизи промзоны и в Центральном округе, преобладают такие частицы антропогенного происхождения, как зола, кирпичная крошка, сажа, шлак, известь и уголь (рис. 5). В условиях интенсивного промышленного воздействия в почвенном профиле наблюдается также появление нехарактерных линз, потеков, прослоек и пятен (рис. 6, а). Кроме этого, в почвах усиливаются процессы оглеения и вторичного засоления, которые характеризуются осветлением (белесостью) горизонтов в верхней части почвенного профиля и утяжелением гранулометрического состава в нижних слоях (рис. 6, б).

Существенным следствием техногенного загрязнения почв на обследованной территории является изменение их кислотно-основного баланса. В почвах, распространенных вблизи промышленной зоны, в лесной подстилке и верхних горизонтах регистрируется изменение кислотности в сторону щелочных значений ( $pH_{H_2O}$  – до 7,5–8,1), исключение составляет ПП 1 вблизи алюминиевого завода ( $pH_{H_2O}$  – 5,2–5,5). Подщелачивание почвенного раствора в первую очередь вызвано оседанием грубодисперсных фракций промышленных аэрозолей на поверхности почвы. Кроме того, при загрязнении почв фторидами происходит изменение состава ППК, в почвенном растворе образуются фториды кальция, химическое преобразование которых до гидрокарбонатов и бикарбонатов способствует повышенной щелочности почв. В Центральном округе показатели кислотности для лесной подстилки и верхних горизонтов соответствуют слабокислым и нейтральным значениям ( $pH_{H_2O}$  – 5,6–6,5), в Падунском и Правобережном округах – слабо- и среднекислым ( $pH_{H_2O}$  – в среднем 5,1–6,1), на фоновых территориях кислотность находится в диапазоне 4,7–5,3. Изменение кислотности почв приводит к значительному изменению элементов питания в составе ППК: уровень обменных форм кальция в верхних горизонтах почв увеличивается по сравнению с фоновым в 2–6 раз, магния и калия – до 2 раз, натрия – до 10 раз. О поступлении этих элементов на поверхность почвы с техногенными выбросами свидетельствуют достоверные корреляционные связи ( $r = 0,75–0,90$ ) между их содержанием в органической подстилке и в нижележащих почвенных горизонтах. Установлено также, что при загрязнении почв, вызывающем сдвиг реакции почвенного раствора в слабощелочной диапазон, происходит увеличение концентрации подвижной серы, которая в дальнейшем с соединениями кальция активно входит в состав комплексных органических и минеральных соединений, а также химически связывается с образованием слаборастворимого гипса.

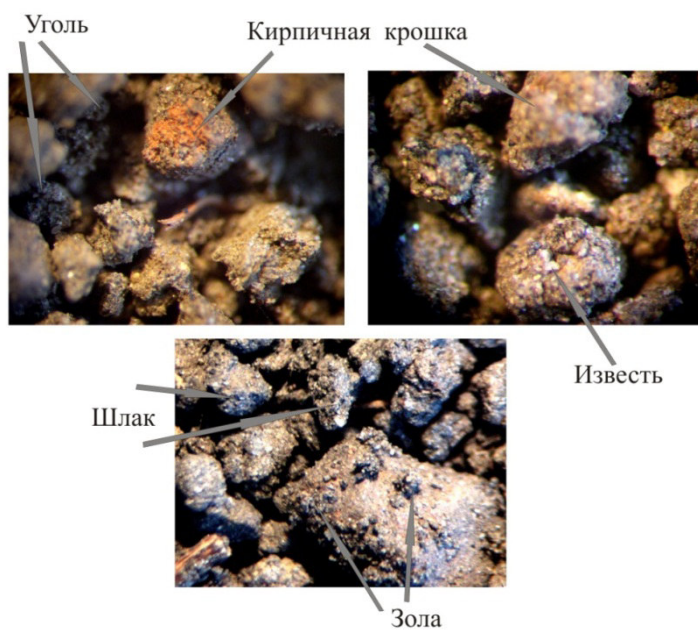


Рис. 5. Антропогенные частицы в образцах нарушенных почв (увеличение в 100 раз)

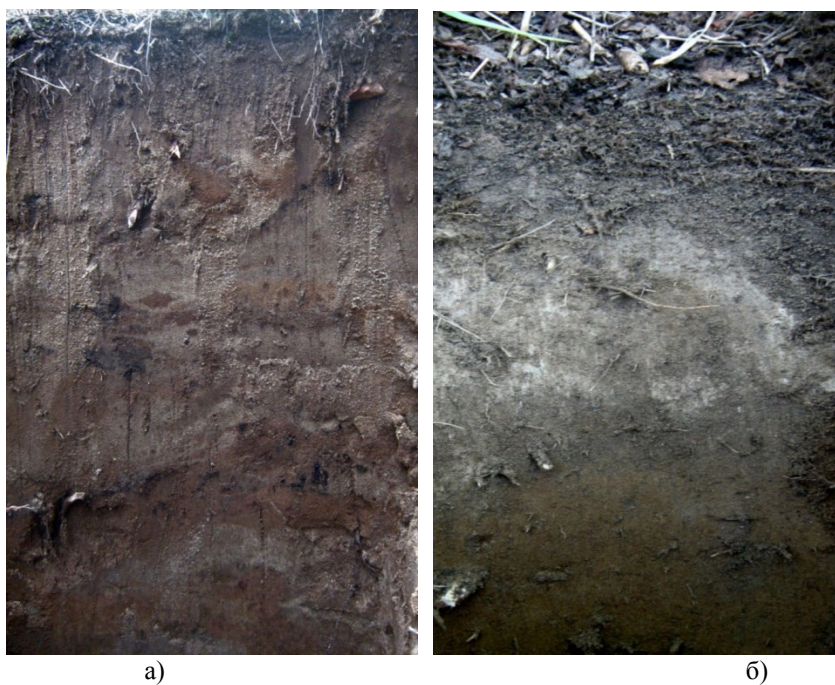


Рис. 6. Присутствие линз, потеков, прослоек, пятен (а) и белесости (б) в антропогенно нарушенных почвах вблизи промзоны

Выявлено, что на территориях вблизи промзоны в органической подстилке и верхних гумусовых горизонтах почв регистрируются высокие концентрации тяжелых металлов (превышение фонового уровня поллютантов достигает 8–25 раз). Ряд накопления тяжелых металлов, согласно коэффициентам концентраций, представлен следующей последовательностью:  $Sr > Mo > Cu > Pb > Cr > Cd > Zn > Ni > Li > Fe > Co > Mn$ . В городской зоне, особенно в Центральном округе, уровень загрязнения почв также повышен (до 4–15 раз), что является следствием загрязнения выбросами автотранспорта и переноса техногенных эмиссионных потоков от промышленных предприятий. По коэффициентам концентраций тяжелые металлы располагаются следующим образом:  $Pb > Cd > Cu > Sr > Mo > Cr > Zn > Ni > Fe > Mn > Li > Co$ . На менее загрязненных территориях (Правобережный округ) ряд накопления тяжелых металлов по коэффициентам их концентраций близок к фоновому и имеет следующий вид:  $Fe > Mn > Cu > Zn > Sr > Cr > Pb > Cd > Mo > Ni > Li > Co$ .

Исследования свидетельствуют, что, несмотря на высокую степень техногенного воздействия, почва как компонент лесных биогеоценозов сохраняет большую устойчивость к воздействию промышленных эмиссий, чем растительность. Обусловлено это тем, что почвенные свойства и процессы способны регулироваться на протяжении длительного периода буферной способностью, которая в большей степени обусловлена химическим составом почв, кислотнo-щелочными условиями, составом обменных катионов в ППК, содержанием органических веществ. Поскольку на обследованной территории наибольшее распространение имеют дерново-карбонатные почвы с хорошо развитой органической подстилкой и гумусовыми горизонтами, которые содержат основные запасы буферных компонентов и биогенных элементов, имеют функциональные связи с растительностью, то можно свидетельствовать об устойчивости биогеоценозов к воздействию антропогенных факторов в целом.

### **Заключение**

Проведена оценка нарушенности лесных биогеоценозов на территории крупного промышленного города (г. Братск) по комплексу визуальных и морфоструктурных параметров древесных растений, состоянию травяного покрова, морфологическим и физическим свойствам почв, содержанию химических элементов в хвое деревьев и горизонтах почвенного профиля. Наиболее сильная нарушенность лесных биогеоценозов выявляется в окрестностях промышленной зоны и в Центральном округе города, характеризующегося наибольшей численностью населения. В меньшей степени нарушенность лесных биогеоценозов выражена на территории Падунского округа, минимальные изменения биогеоценозы претерпели на территории Правобережного округа, наиболее удаленного от источников техногенных выбросов. Полученные данные свидетельствуют, что изменения качественных и количественных параметров лесных биогеоценозов в городской среде обусловлены рядом негативных факторов, наиболее значимыми из которых служат техногенное загрязнение и высокая рекреационная нагрузка на поч-



венный покров. При этом древесные растения, травянистый ярус и верхние почвенные горизонты наиболее сильно подвергаются антропогенной трансформации, вследствие чего изменение их параметров адекватно отражает состояние лесных биогеоценозов в целом. Результаты проведенных комплексных исследований представляют интерес для разработки рекомендаций по сохранению и восстановлению городских лесов как основного защитного барьера (фитофильтра) в промышленных городах.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект № 12-04-31036 мол\_а.*

### Список литературы

1. *Агрохимические* методы исследования почв / под ред. А. В. Соколова. – М. : Наука, 1975. – 656 с.
2. *Аргучинцева А. В.* Оценка антропогенного загрязнения атмосферы города (на примере г. Братска) / А. В. Аргучинцева, О. В. Сташок // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о земле. – 2009. – Т. 1, № 1. – С. 25–34.
3. *Атлас*. Иркутская область: экологические условия развития / под ред. А. Р. Батуева, А. В. Белова, Б. А. Богоявленского. – М. ; Иркутск, 2004. – 90 с.
4. *Баранов А. Н.* Состав атмосферных выпадений в районе города Братска / А. Н. Баранов, Н. И. Янченко // Системы. Методы. Технологии. – 2010. – № 2. – С. 128–132.
5. *Вадюнина А. Ф.* Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : МГУ, 1986. – 416 с.
6. *Воробьева Г. А.* Классификация и систематика почв южной (освоенной) части Иркутской области: методические указания / Г. А. Воробьева. – Иркутск : Облмашинформ, 1999. – Ч. 1. – 47 с.
7. *Давыдова Н. Д.* Трансформация геохимической среды в техногенной аномалии // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2012. – Т. 20, № 3. – С. 56–65.
8. *Давыдова Н. Д.* Эколого-геохимическая оценка техногенного воздействия поллютантов на таежные геосистемы при производстве алюминия / Н. Д. Давыдова, Т. И. Знаменская // Междунар. журн. приклад. и фундамент. исслед. – 2013. – № 8. – С. 43–45.
9. *Игнатенко О. В.* Зонирование селитебной территории г. Братска по уровню загрязнения снежного покрова / О. В. Игнатенко, М. В. Сенченко, Н. А. Мешерова // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – № 3. – С. 138–149.
10. *Классификация и диагностика почв России* / Л. Л. Шишов [и др.]. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.
11. *Костюк В. И.* Состояние ассимилирующих органов растений в условиях техногенного загрязнения / В. И. Костюк, Н. А. Мельник, Н. Ю. Шмакова. – Апатиты : Изд-во Кольск. науч. центра РАН, 2009. – 82 с.
12. *Метаболизм* антропогенных токсикантов в высших растениях / Г. И. Квеситадзе [и др.]. – М. : Наука, 2005. – 199 с.
13. *Методы* изучения лесных сообществ / под ред. В. Т. Ярмишко, И. В. Лянгузовой. – СПб. : НИИ химии СПбГУ, 2002. – 240 с.
14. *Михайлова Т. А.* Общая характеристика состояния древесных растений г. Иркутска и основные направления озеленения городской территории / Т. А. Михайлова, О. В. Шергина // Экологическая безопасность города Иркутска: географические аспекты. – Иркутск, 2013. – С. 37–46.

15. Михайлова Т. А. Экологические критерии для расчета площади зеленых насаждений в промышленных городах / Т. А. Михайлова, О. В. Шергина // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 6. – С. 123–128.
16. Молчанов А. А. Лес и климат / А. А. Молчанов. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 280 с.
17. Никифорова В. А. Оценка риска здоровью населения в период реализации программы «Экология г. Братска» // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. – 2005. – Т. 8, № 46. – С. 41–44.
18. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2014 г. : гос. докл. – Иркутск : Форвард, 2015. – 328 с.
19. Оценка воздействия фтора на детское население Иркутской области / Н. В. Ефимова [и др.] // Медицина труда и пром. экология. – 2009. – № 1. – С. 23–26.
20. Рожков А. С. Действие фторсодержащих эмиссий на хвойные деревья / А. С. Рожков, Т. А. Михайлова. – Новосибирск : Наука, 1989. – 159 с.
21. Рост и газообмен CO<sub>2</sub> у лесных деревьев / Ю. Л. Цельникер [и др.]. – М. : Наука, 1993. – 256 с.
22. Рунова Е. М. Некоторые особенности накопления загрязняющих веществ древесными насаждениями в урбоэкосистеме г. Братска / Е. М. Рунова, Ю. Н. Алпатов, И. И. Гаврилин // Системы. Методы. Технологии. – 2011. – № 10. – С. 144–148.
23. Рунова Е. М. Воздействие загрязняющих веществ на почву в районе города Братска / Е. М. Рунова, С. А. Чжан, О.А. Пузанова // Лес. вестн. – 2008. – № 1. – С. 148–151.
24. Сташюк О. В. Антропогенное загрязнение атмосферы города Братска // Системы. Методы. Технологии. – 2009. – № 3. – С. 113–115.
25. Шалина Т. И. Общие вопросы токсического действия фтора / Т. И. Шалина, Л. С. Васильева // Сиб. мед. журн. – 2009. – № 5. – С. 5–9.
26. Шенников А. П. Введение в геоботанику / А. П. Шенников. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1964. – 447 с.
27. Шергина О. В. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска / О. В. Шергина, Т. А. Михайлова. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. – 200 с.
28. Шергина О. В. Экологическое состояние городских лесов Восточной Сибири / О. В. Шергина, Т. А. Михайлова // Экологические проблемы промышленных городов : сб. науч. тр. / под ред. Е. И. Тихомировой. – Саратов : Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2011. – Ч. 1. – С. 333–336.
29. Шергина О. В. Экологическое состояние почв г. Иркутска / О. В. Шергина, Т. А. Михайлова // Экологическая безопасность города Иркутска: географические аспекты. – Иркутск, 2013. – С. 46–52.
30. Ярошенко П. Д. Геоботаника / П. Д. Ярошенко. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1961. – 474 с.
31. Aluminium-smelters and fluoride pollution of soil and soil solution in Norway / A. K. M. Arnesen [et al.] // Science of the Total Environment. – 1995. – Vol. 163, N 1–3. – P. 39–53.
32. Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air / C. E. Bostrom [et al.] // Environmental : Journal Health Perspectives. – 2002. – N 110. – P. 451–488.
33. Gorshkov A. G. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in the needles of a Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) a biomonitor of atmospheric pollution / A. G. Gorshkov // Zhurnal Analiticheskoi Khimii. – 2008. – Vol. 63, N 8. – P. 880–886.
34. Luch A. The carcinogenic effects of polycyclic aromatic hydrocarbons / A. Luch. – London : Imperial College Press, 2005. – 489 p.

35. *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests* // ICP Forests Programme Coordinating Centre. – Hamburg : UNECE, 2010. – 492 p.

36. *Martin S. C.* Community health risk assessment of primary aluminum smelter emissions / S. C. Martin, C. Larivière // *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. – 2014. – Vol. 56, N 5S. – P. 18–22.

37. *Mikhailova T. A.* Phytomonitoring of air pollution in the Baikal region / T. A. Mikhailova, O. V. Kalugina, O. V. Shergina // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2013. – Vol. 6, N 5. – P. 549–554.

38. *Mikhailova T. A.* The physiological condition of pine trees in the Prebaikalia (East Siberia) // *Forest Pathology*. – 2000. – Vol. 30, N 6. – P. 345–359.

39. *Rozhkov A. S.* The effects of fluorine-containing emissions on conifers / A. S. Rozhkov, T. A. Mikhailova. – Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 1993. – 143 p.

## Assessment of Forest Biogeocenosis Anthropogenic Decline Within Urban Territories (the Bratsk city as Model)

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

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RA*

**Abstract.** Studies in the urban territories have been carried out in 2013–2015 using monitoring net-work with 14 plots. Systemic character of biogeocenosis disturbance was detected. The forest bio-geocenosis decline have been assessed by survey of complex morphostructural and visual parameters for trees, herbage, soil, as well as by content of chemical elements in tree needles and in soil horizons. The plots were situated near the Bratsk industrial zone, and within the area of all the city administrative district. The most heavy decline in the biogeocenosis was revealed in the vicinity of industrial zone and within the Central district. Less decline was found on the area of Padun district, and minimal decline was revealed in Pravoberezhniy district which located in the large distance from industrial sources. The processes in the disturbance of soils were changes in acid-alkaline balance, increase of accumulation of pollutants in soil, alteration in proportions biogenic elements in soil solution. It was shown that within industrial and urban territories main factors affecting negatively on soils are a high level of air pollution and a heavy recreation load resulting to deterioration of morphological and physical soil parameters. Pronounced anthropogenic transformation was shown in trees, herbage, upper soil horizons. Indices can use as a basis for elaboration a scale assessment of state forests disturbed by technogenic pollution.

**Keywords:** urban forests, air pollution, recreation load, biogeocenosis decline.

### References

1. *Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical research methods of soil]. M., 1975. 656 p.

2. Arguchintseva A.V., Stashok O.V. The estimation of the anthropogenic pollution of city atmosphere (by the example of Bratsk). *Izvestija Irkutskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Serija "Nauki O Zemle"* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"], 2009, vol. 1, no. 1, pp. 25–34 (in Russian).

3. *Atlas. Irkutskaja oblast': jekologicheskie uslovija razvitiya* [Atlas: The Irkutsk region. Ecological conditions of development]. Moscow, Irkutsk, 2004. 90 p.

4. Baranov A.N., Yanchenko N.I. Structure of atmospheric fallouts in a city district of Bratsk]. *Sistemy. Metody. Tehnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2010, no. 2, pp. 128-132 (in Russian).
5. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for researching soils physical properties]. M., 1986. 416 p.
6. Vorobyova G.A. *Klassifikacija i sistematika pochv juzhnoj (osvoennoj) chasti Irkutskoj oblasti: metodicheskie ukazaniya* [Classification and taxonomy of soils in the south (development) part of the Irkutsk region: methodical instructions]. Irkutsk, 1999. 47 p.
7. Davydova N.D. Transformation of geochemical environment caused by technogenous anomalies. *Problemy Biogeohimii I Geohimicheskoy Jekologii* [Probl. Biogeokhim. Geokhim. Ekol], 2012, vol. 20, no. 3, pp. 56-65 (in Russian).
8. Davydova N.D., Znamenskaya T.I. Environmental geochemical assessment of anthropogenous impact of various pollutants on the taiga geosystems by aluminium production. *Mezhdunarodnyj Zhurnal Prikladnyh I Fundamental'nyh Issledovanij* [International journal of applied and fundamental research], 2013, no. 8, pp. 43-45 (in Russian).
9. Ignatenko O.V., Senchenko M.V., Meshcherova N.A. Zoning of Bratsk settlement are-as according to snow mantle pollution level. *Sistemy. Metody. Tehnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2015, no. 3, pp. 138-149 (in Russian).
10. *Klassifikacija i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnosis of soil Russia]. Smolensk, 2004. 342 p.
11. Kostiuk V.I., Melnik N.A., Shmakova N.Y. *Sostojanie assimilirujushhh organov ras-tenij v uslovijah tehnogenogo zagryaznenija* [Condition of plants assimilating phytomass under the condition of technogenic pollution]. Apatity, 2009. 82 p.
12. Kvesitadze G.I., Hatisashvili G.A., Sadunishvili T.A., Yevstigneyeva Z.G. *Metabolizm antropogennyh toksikantov v vysshih rastenijah* [Metabolism of anthropogenic toxicants in higher plants]. Moscow, 2005. 199 p.
13. *Metody izuchenija lesnyh soobshhestv* [Methods for forest society study]. St. Petersburg, 2002. 240 p.
14. Mikhailova T.A., Shergina O.V. General characteristic of condition trees in the Irkutsk city and main directions on urban area gardening. *Jekologicheskaja bezopasnost' goroda Irkutsk: geograficheskie aspekty* [Ecological safety of the town of Irkutsk: geo-graphical aspects]. Irkutsk, 2013. pp. 37-46 (in Russian).
15. Mikhailova T.A., Shergina O.V. Ecological criteria for calculation green plantations area within industrial cities. *Uspehi Sovremennogo Estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2015, no. 6, pp. 123-128 (in Russian).
16. Molchanov A.A. *Les i klimat* [Forest and climate]. Moscow, 1961. 280 p.
17. Nikiforova V.A. Risk assessment to health of the population during implementation of the ecology of Bratsk program. *Bjulleten' VSNC SO RAMN* [Bulletin VSNTs from the Russian Academy of Medical Science], 2005, vol. 8, no. 46, pp. 41-44 (in Russian).
18. *O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Irkutskoj oblasti v 2014 godu : gos. dokl.* [State report: on the state and environmental protection of the Irkutsk region in the 2014 year]. Irkutsk, 2015. 328 p.
19. Yefimova N.V., Dorogov V.B., Zhurba O.M., Nikiforov V.B. Assessment of impact of fluorine on the children's population of the Irkutsk region. *Medicina Truda I Promyshlennaja Jekologija* [Occupational medicine and industrial ecology], 2009, no. 1, pp. 23-26 (in Russian).
20. Rozhkov A.S., Mikhaylova T.A. *Dejstvie flosoderzhashhh jemissij na hvoynye derev'ja* [Action of fluorine-containing emissions on coniferous trees]. Novosibirsk, 1989. 159 p.
21. Tsel'niker Y.L., Malkina I.S., Kovalev A.G., Chmora S.N., Mamaev V.V., Molchanov A.G. *Rost i gazoobmen CO2-u lesnyh derev'ev* [Growth and CO2 Exchange in Woody Plants]. Moscow, 1993. 256 p.

22. Runova E.M., Alpatov Yu.N., Gavrilin I.I. Some features of wood plantings pollutants accumulation in the Bratsk urban ecosystem. *Sistemy. Metody. Tehnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2011, no. 10, pp. 144-148 (in Russian).
23. Runova E.M., Zhang, S.A., Puzanova O.A. Impact of polluting substances on the soil near the city of Bratsk. *Lesnoj Vestnik* [Forest messenger], 2008, no. 1, pp. 148-150 (in Russian).
24. Stashok O.V. Anthropogenic pollution of the atmosphere on the Bratsk city. *Sistemy. Metody. Tehnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2009, no. 3, pp. 113-115 (in Russian).
25. Shalina T.I., Wasilyeva L.S. General questions of toxic effect on fluorine. *Sibirskij Medicinskij Zhurnal* [Siberian medical journal], 2009, no. 5, pp. 5-9 (in Russian).
26. Shennikov A.P. *Vvedenie v geobotaniku* [Introduction to geobotany]. Leningrad, 1964. 447 p.
27. Shergina O.V., Mikhailova T.A. *Sostojanie drevesnyh rastenij i pochvennogo pokrova parkovyh i lesoparkovyh zon g. Irkutsk* [Condition of trees and soil cover in the parks and forest parks of Irkutsk]. Irkutsk, 2007. 200 p.
28. Shergina O.V., Mikhailova T.A. Jekologicheskoe sostojanie gorodskih lesov Vostochnoj Sibiri. *Jekologicheskie problemy promyshlennyh gorodov* [Environmental problems of the industrial cities]. Saratov, 2011, pp. 333-336 (in Russian).
29. Shergina O.V., Mikhailova T.A. Jekologicheskoe sostojanie pochv g. Irkutsk. *Jekologicheskaja bezopasnost' goroda Irkutsk: geograficheskie aspekty* [Ecological safety of the town of Irkutsk: geographical aspects]. Irkutsk, 2013, pp. 46-52 (in Russian).
30. Yaroshenko P.D. *Geobotanika* [Geobotany]. Moscow, Leningrad, 1961. 474 p.
31. Arnesen A.K.M., Abrahamsen G., Sandvik G., Krogstad T. Aluminium-smelters and fluoride pollution of soil and soil solution in Norway. *Science of the Total Environment*, 1995, vol. 163, no. 1-3, pp. 39-53. doi:10.1016/0048-9697(95)04479-K.
32. Bostrom C.E., Gerde P., Hanberg A., Jernstrom B., Johansson C., Kyrklund T., Ranug A., Tornqvist M., Victorin K., Westerholm R. Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air. *Environmental: Journal Health Perspectives*, 2002, no. 110, pp. 451-488.
33. Gorshkov A.G. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in the needles of a Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) a biomonitor of atmospheric pollution. *Zhurnal Analiticheskoi Khimii*, 2008, vol. 63, no. 8, pp. 880-886. doi: 10.1134/S1061934808080169.
34. Luch A. The carcinogenic effects of polycyclic aromatic hydrocarbons. London, 2005. 489 p.
35. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. In: ICP Forests Programme Coordinating Centre. Hamburg, 2010. 492 p.
36. Martin S.C., Larivière C. Community health risk assessment of primary aluminum smelter emissions. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2014, vol. 56, no. 5S, pp. 18-22.
37. Mikhailova T.A., Kalugina O.V., Shergina O.V. Phytomonitoring of air pollution in the Baikal region. *Contemporary Problems of Ecology*, 2013, vol. 6, no. 5, pp. 549-554. doi: 10.1134/S1995425513050119.
38. Mikhailova T. A. The physiological condition of pine trees in the Prebaikalia (East Siberia). *Forest Pathology*, 2000, vol. 30, no. 6, pp. 345-359. doi: 10.1046/j.1439-0329.2000.00221.x.
39. Rozhkov A. S., Mikhailova T. A. The effects of fluorine-containing emissions on conifers. Berlin Heidelberg, 1993, 143 p.

*Калугина Ольга Владимировна*  
кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник  
Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132  
тел.: (3952) 42-45-95  
e-mail: [olignat32@inbox.ru](mailto:olignat32@inbox.ru)

*Kalugina Olga Vladimirovna*  
Candidate of Sciences (Biology),  
Senior Research Scientist  
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS  
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033  
tel.: (3952) 42-45-95  
e-mail: [olignat32@inbox.ru](mailto:olignat32@inbox.ru)

*Шергина Ольга Владимировна*  
кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник  
Сибирский институт физиологии  
и биохимии растений СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132  
тел.: (3952) 42-45-95  
e-mail: [sherolga80@mail.ru](mailto:sherolga80@mail.ru)

*Shergina Olga Vladimirovna*  
Candidate of Sciences (Biology),  
Senior Research Scientist  
Siberian Institute of Plant Physiology  
and Biochemistry SB RAS  
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033  
tel.: (3952) 42-45-95  
e-mail: [sherolga80@mail.ru](mailto:sherolga80@mail.ru)

*Михайлова Татьяна Алексеевна*  
доктор биологических наук,  
главный научный сотрудник,  
заведующая лабораторией  
Сибирский институт физиологии  
и биохимии растений СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132  
тел.: (3952) 42-45-95  
e-mail: [mikh@sifibr.irk.ru](mailto:mikh@sifibr.irk.ru)

*Mikhailova Tatiana Alekseevna*  
Doctor of Sciences (Biology),  
Chief Research Scientist, Head  
of the Laboratory  
Siberian Institute of Plant Physiology  
and Biochemistry SB RAS  
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033  
tel.: (3952) 42-45-95  
e-mail: [mikh@sifibr.irk.ru](mailto:mikh@sifibr.irk.ru)