

## ОЦЕНКА АЭРОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*Pinussylvestris* L.) И ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*Piceaobovata*)

С. В. Соболева, О. А. Есякова, В. М. Воронин

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева  
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31  
E-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru

*В работе исследована возможность использования сосны обыкновенной (Pinussylvestris) и ели сибирской (Piceaobovata) в качестве биоиндикатора загрязнения атмосферного воздуха. Индикация проводилась с использованием в качестве индикаторов ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной и ели сибирской, произрастающих на загрязненных и условно чистых участках. Отбор проб проводили в трех пригородных районах г. Красноярска, в качестве фона использовали пробы, отобранные в районе ст. Кача (38 км от города) в весенне-осенний период 2019 года с молодняка массива деревьев в количестве не менее 10 шт. на высоте 1,3 м от поверхности земли. Пробы анализировались на показатели средней арифметической длины хвои, влажности, зольности. Золу исследовали на наличие тяжелых металлов спектрометрическим методом на приборе «Спектроскан». По интенсивности аналитических линий и сравнения их с эталоном определяли концентрацию тяжелых металлов в пробе.*

*Анализ исследований показал, что хвоя сосны обыкновенной повреждена сильнее, чем хвоя ели сибирской, такая тенденция выявлена вблизи урбанизированной территории. При удалении от города наблюдается обратная картина. Степень усыхания хвои имеет примерно такую же зависимость, как и ее повреждение, за исключением фонового участка. Установлено, что хвоя сосны обыкновенной и ели сибирской накапливает тяжелые металлы, аккумулируя их значительное количество своей биомассой. Предложено использовать биоиндикационные методы для оценки загрязнения атмосферного воздуха и экологической ситуации на исследуемой территории, а ассимиляционный аппарат сосны обыкновенной – в качестве биоиндикатора загрязнения воздушной среды. Полученные данные могут служить для оценки состояния загрязнения атмосферы и зонирования территорий. Их внедрение в систему мониторинга позволит достаточно надежно и без дополнительных инвестиций дополнить официальную информацию об аэрогенном загрязнении пригородных зон г. Красноярска и позволит проводить альтернативные инструментальными методами контроля за уровнем загрязнения атмосферного воздуха.*

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, ель сибирская, биоиндикация, загрязнение атмосферы.

*Conifers of the boreal area. 2020, Vol. XXXVIII, No. 3-4, P. 115–122*

## ASSESSMENT OF AEROGENIC POLLUTION USING COMMON PINE (*Pinussylvestris* L.) AND SIBERIAN SPRUCE (*Piceaobovata*)

S. V. Soboleva, O. A. Esiakova, V. M. Voronin

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology  
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation  
E-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru

*The paper investigates the possibility of using common pine (Pinussylvestris) and Siberian spruce (Piceaobovata) as a bioindicator of atmospheric pollution. The indication was carried out using as an indicator the of assimilation apparatus trees from polluted and conditionally clean areas. Sampling was carried out in three suburban areas of Krasnoyarsk, the background used samples taken in Kacha station in the spring and autumn period of 2019 from young trees in an array of at least 10 pieces at a height of 1.3 m from the ground. Samples were analyzed for the average arithmetic length of needles, humidity, ash content. The ash was examined for the presence of heavy metals using the spectrometric method on the "SPECTROSCAN" device. The concentration of heavy metals in the sample was determined by the intensity of the analytical lines and their comparison with the reference standard.*

*Analysis of the studies showed, that the needles of the common pine are damaged more than the needles of the Siberian spruce, this trend is observed near an urbanized area. When moving away from the city line, the opposite pattern is observed. The degree of drying of needles has about the same regularity as the damage except for the background area. Installed that the woody greens of common pine and Siberian spruce absorb heavy metals, accumulating a significant amount of their biomass. Proposed to use bioindication methods to assess air pollution and the environmental situation in the study area, and the assimilation apparatus of the common pine tree as a bioindicator of atmospheric pollution. The data obtained can be used to assess the state of air pollution and zoning of territories.*

*Their implementation in the monitoring system will allow reliable enough and without additional investment official information about aerogenic pollution in suburban areas of the city with sufficient reliability and low costs. Krasnoyarsk and provide the alternative instrumental methods monitoring the level of air pollution.*

**Keywords:** *common pine, Siberian spruce, bioindication, atmospheric pollution.*

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно Государственному докладу «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае» уровень загрязнения из года в год характеризуется как «очень высокий». Основными компонентами выбросов, приносящими вклад в общегородской уровень загрязненности, являются формальдегид, бенз(а)пирен, диоксид азота, взвешенные вещества и аммиак [1]. В настоящее время в условиях регулярного режима НМУ представляет практический интерес разработка методов оценки загрязнения воздушной среды пригородных территорий. Установлено, что на присутствие поллютантов в атмосферном воздухе более выражено реагируют хвойные породы по сравнению с лиственными. Повышенная чувствительность хвойных связана с продолжительным сроком жизни хвои и ее способностью адсорбировать своей биомассой вредные примеси из атмосферы [2]. При постоянном воздействии в ассимиляционном аппарате хвойных постепенно накапливаются токсичные соединения, что приводит к отмиранию хвои. Причем даже низкая концентрация загрязняющих веществ в воздухе, недоступная для восприятия человеком, выявляется в результате анализа хвои. Высокая чувствительность растений к загрязнению среды их произрастания свидетельствует об эффективности их применения для индикационных целей. Это обуславливает выбор насаждений сосны и ели как индикаторов воздействия антропогенных факторов. Кроме того, следует отметить возможность проведения исследований состояния хвоинок в течение всего календарного года, что позволит проследить сезонную динамику загрязнения атмосферного воздуха путем аккумуляции загрязнителей в хвое и других вегетативных органах деревьев. В качестве поллютантов городской

атмосферы чаще всего выступают как газообразные примеси, так и твердые частицы (пыль, сажа, тяжелые металлы и их соединения) [3].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования использовали ассимиляционный аппарат сосны обыкновенной и ели сибирской. Отбор проб проводили в пригородной зоне г. Красноярска (дер. Минино, пгт. Березовка, Национальный парк «Красноярские Столбы»), в качестве фона использовали пробы, отобранные в районе ст. Кача в 38 км от города. Схема отбора проб представлена на рис. 1.

Пробы хвои отбирали в весенне-осенний период 2019 г. с массива деревьев в количестве не менее 10 шт. на высоте 1,3 м от поверхности земли. В пробах анализировались влажность, зольность, показатели средней арифметической длины хвои по общепринятым методикам [4]. Зола исследовали на наличие тяжелых металлов спектрометрическим методом на приборе «Спектроскан». По интенсивностям аналитических линий и сравнения их с эталоном определяли концентрацию тяжелых металлов в пробах [5]. Результаты исследований обрабатывали статистически с помощью пакета программ Microsoft Excel с достоверностью  $P \leq 0,05$ .

Для определения продолжительности жизни хвои просматривали охвоенные побеги по мутовкам в средней части кроны сосны и ели и определяли возраст хвои согласно рис. 2.

Всю хвою делили на три категории (неповрежденная хвоя, хвоя с пятнами и хвоя с признаками усыхания) и подсчитывали число хвоинок в каждой группе. Затем выявляли степень повреждения хвои по наличию хлоротичных пятен, некротических точек, некрозов (рис. 3).

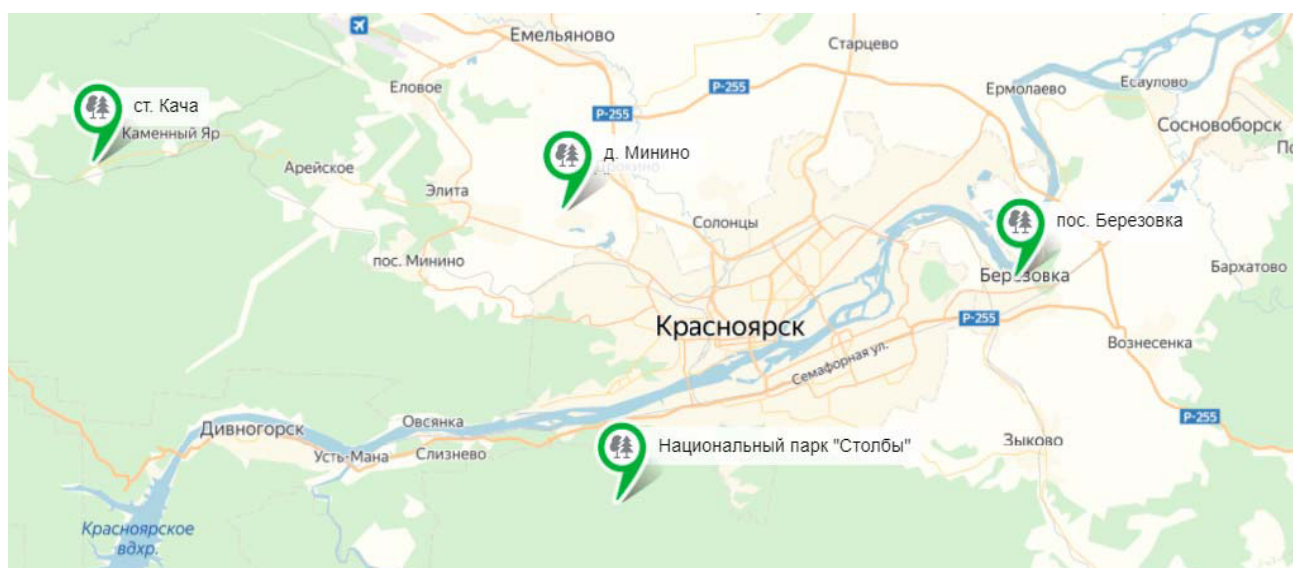


Рис. 1. Схема отбора проб

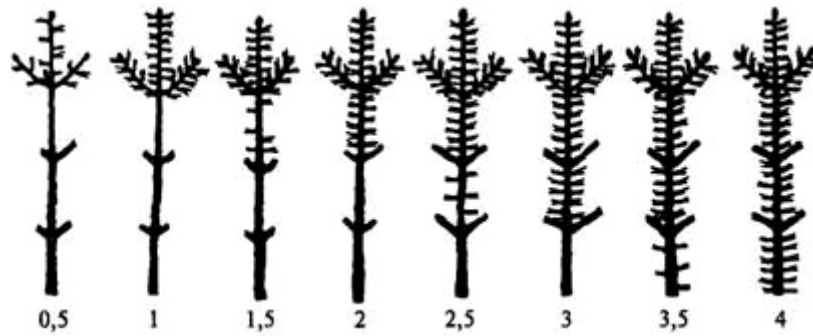


Рис. 2. Продолжительность жизни хвой в годах

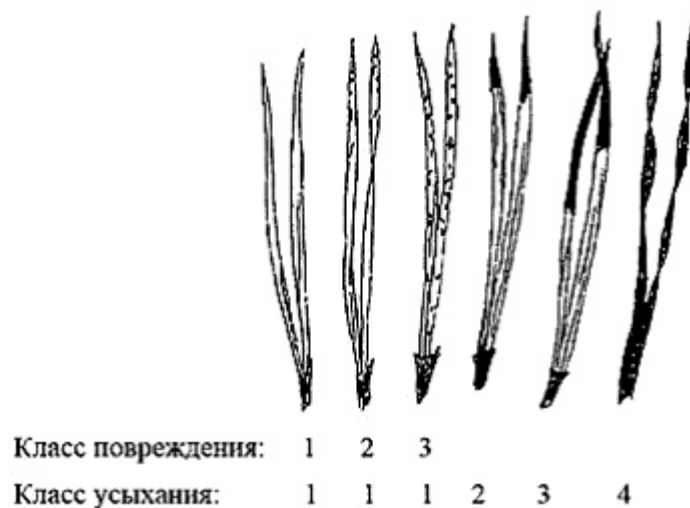


Рис. 3. Классы повреждения и усыхания хвой:

**Повреждения:** 1 – хвоя без пятен; 2 – с небольшим числом мелких пятнышек; 3 – с большим числом черных и желтых пятен, некоторые из них крупные, во всю ширину хвоинки.

**Усыхание:** 1 – нет сухих участков; 2 – усох кончик на 2–5 мм; 3 – усохла треть хвоинки; 4 – вся хвоинка желтая или более половины ее длины сухая

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Загрязнение атмосферного воздуха приводит к физиологическим изменениям и биохимическим превращениям в хвое древесных насаждений, в том числе на уровне метаболизма, что ведет к изменению внутренней структуры клеток. Под влиянием накопительного эффекта поллютантов в хвое начинают проявляться как внутренние, так и внешние отклонения. Они наблюдаются во всем растительном организме, но отчетливее – у его вегетативных органов, к которым относится хвоя. Следует учитывать, что воздействие токсикантов может носить аддитивный характер, т. е. влияние каждого компонента-загрязнителя воздушной среды суммируется для живой клетки насаждений. Кроме того, зачастую проявляются синергизм, доминирование или антагонизм загрязняющих веществ, действующих на растительный организм одновременно, но при этом специфически.

Получаемая доза аэрогенных загрязнителей может вызвать острые изменения метаболизма в ассимиляционном аппарате, что можно в течение непродолжительного времени наблюдать в появлении хлорозов, некрозов и преждевременного опада хвой. В то же время, низкие концентрации поллютантов при про-

лонгированном воздействии могут быть выявлены в ходе морфометрических измерений хвой, а также визуального анализа общего состояния древостоев и выявлении изреженности и суховершинности их крон и характеризуется кумулятивными повреждениями.

Наиболее информативные сведения получаются при анализе характеристик хвой, позволяющего быстро, сравнительно надежно и без дополнительного инструментария составить ориентировочное представление об экологическом положении в исследуемом районе. Данные морфометрических измерений хвой сосны и ели представлены в табл. 1.

Выявлено, что максимальное значение длины хвой и сосны, и ели характерно для фоновых насаждений. Согласно анализу полученных данных следует, что отклонение длины хвой ели сибирской от фоновой в пгт. Березовке составляет 42 % весной и 39 % осенью, в дер. Минино – 33 % весной и 32 % осенью, а в национальном парке – 8 % весной и 6 % осенью. Роза ветров, изображенная на рис. 4 подтверждает тот факт, что насаждения, произрастающие в пгт. Березовка подвержены воздействию поллютантов, выносимых с промышленных территорий г. Красноярск. Причем, если весной преобладают западные ветра, непосредственно направляя поток аэрогенного за-

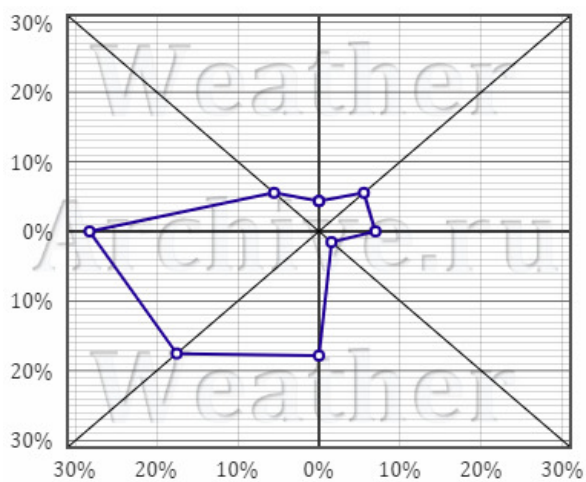
грязнения в сторону Березовки, то осенью преобладающие юго-западные ветра снижают аэрогенную нагрузку на древесные насаждения Березовки.

Аналогичные выводы сделаны при проведении морфометрических исследований хвои сосны обыкновенной.

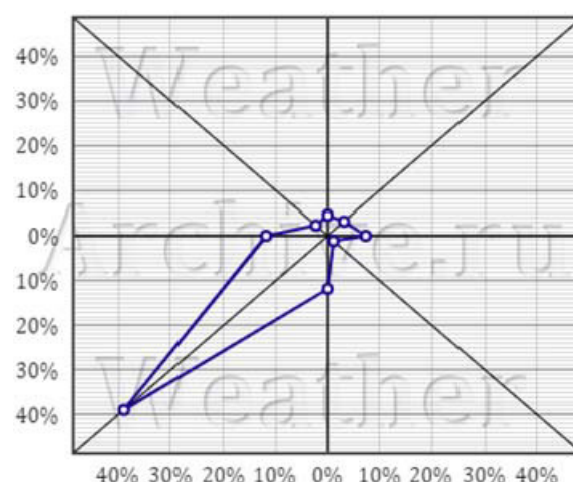
В целях установления степени усыхания и повреждения были проанализированы 100 хвоинок каждой породы дерева. Степень повреждения хвои определяли по наличию хлоротичных пятен, некротических точек, некрозов и т. д. Результаты наблюдений представлены в табл. 2.

**Таблица 1**  
**Показатели средней арифметической длины двухлетней хвои сосны обыкновенной и ели сибирской, см**

Район отбора проб	Ель сибирская		Сосна обыкновенная	
	весна	осень	весна	осень
дер. Митино	1,6+0,3	2,1+0,3	4,9+0,4	5,1+0,4
Национальный парк «Красноярские Столбы»	2,2+0,4	2,9+0,4	5,3+0,3	6,2+0,3
пгт. Березовка	1,4+0,1	1,9+0,3	4,7+0,45	4,9+0,4
ст. Кача (фон)	2,4+0,2	3,1+0,2	7,1+0,5	7,3+0,5



*a*



*б*

**Рис. 4. Роза ветров в апреле (а) и октябре (б) 2019 г. в г. Красноярске**

**Таблица 2**  
**Результаты исследований состояния хвои ели сибирской и сосны обыкновенной**

Район отбора проб	Критерий состояния хвои	Доля хвоинок от общего количества обследованных, %		
		сосна	ель	
дер. Митино	Повреждение хвои	1-й класс	88	90
		2-й класс	7	8
		3-й класс	5	2
	Усыхание хвои	1-й класс	98	100
		2-й класс	2	0
		3-й класс	0	0
		4-й класс	0	0
Национальный парк «Красноярские Столбы»	Повреждение хвои	1-й класс	89	91
		2-й класс	5	9
		3-й класс	6	0

Окончание таблицы 2

Район отбора проб	Критерий состояния хвои	Доля хвоинок от общего количества обследованных, %	
		сосна	ель
	Усыхание хвои		
	1-й класс	96	98
	2-й класс	3	1
	3-й класс	1	1
	4-й класс	0	0
пгт. Березовка	Повреждение хвои		
	1-й класс	30	29
	2-й класс	20	64
	3-й класс	50	3
	Усыхание хвои		
	1-й класс	96	97
	2-й класс	3	2
	3-й класс	1	1
ст. Кача (фон)	Повреждение хвои		
	1-й класс	97	99
	2-й класс	2	1
	3-й класс	1	0
	Усыхание хвои		
	1-й класс	100	100
	2-й класс	0	0
	3-й класс	0	0
	4-й класс	0	0

Таблица 3  
Влажность хвои сосны обыкновенной и ели сибирской, %

Район отбора проб	Ель сибирская		Сосна обыкновенная	
	весна	осень	весна	осень
пгт. Березовка	48,0±0,1	51,9±0,5	42,0±0,6	48,4±0,1
дер. Минино	49,0±0,4	54,2±0,2	43,8±0,5	53,1±0,4
Национальный парк «Красноярские Столбы»	49,8±0,5	55,1±0,4	45,0±0,3	54,9±0,7
ст. Кача (фон)	53,0±0,6	55,9±0,3	49,2±0,5	55,1±0,5

Согласно проведенным исследованиям хвоя сосны обыкновенной повреждена сильнее, чем хвоя ели сибирской, что наглядно представлено на образцах из Березовки. При удалении от пригородной черты к фоновым насаждениям наблюдается обратная картина. Степень усыхания хвои изменяется по тому же принципу, как и ее повреждение за исключением фонового участка. Он более представительен, все образцы хвои отнесены к 1-му классу.

Не менее важным показателем при оценке загрязнения атмосферы биоиндикационным методом является влажность хвои. Анализу подвергали хвою с массивов древостоев в возрасте 20–25 лет. Нагляднее о реальной возможности зонирования загрязнения воздушной среды участков по значениям влажности хвои можно судить по табл. 3.

По мере увеличения техногенной нагрузки (запыленности и загазованности воздуха) влажность хвои исследуемых участков незначительно уменьшается, что связано с закупоркой устьиц хвоинок и уменьшением процесса газообмена с атмосферой и транспирации в целом. Анализируя сезонное изменение влажности отобранных проб, можно свидетельствовать, что весной влажность хвои значительно меньше, чем осенью. Данный факт объясняется активными метаболическими процессами в летний период и максимальным содержанием в хвое влаги, смол, эфирных масел, аскорбиновой кислоты и прочих компонентов жизнедеятельности хвои в постактивный период. Выявлено, что хвоя сосны обыкновенной более чувствительна к способности терять влагу под воздействием эмиссии. Полученные данные хорошо согласуются

с результатами других авторов [6–8], что свидетельствует о прямой зависимости между содержанием влаги в хвое и загрязнением среды, что позволяет успешно использовать показатель влажности ассимиляционного аппарата как индикатор экологической нагрузки на определенной территории.

Одним из ключевых факторов, характеризующих экологическую напряженность местности, является содержание тяжелых металлов в экосистеме, в том числе и их накопление в растительном организме. Известно, что минеральные вещества активно участвуют во многих обменных процессах [9], в связи с этим, изменение их состава сказывается на росте и развитии растений, что отражается на состоянии ассимиляционного аппарата в целом. Загрязнение воздушной среды, заключающееся в привнесении несвойственных для нее минеральных компонентов, ухудшает функционирование и устойчивость насаждений. При проведении данной серии опытов образцы суммарной хвои отбирали на всех исследуемых участках, результаты определения зольности проб представлены на рис. 5.

Согласно полученным данным наблюдается уменьшение содержания золы в хвое обеих пород при удалении от пригородной зоны к лесным массивам, а значит снижение вклада минеральных компонентов, в том числе, тяжелых металлов.

Немаловажное значение при оценке загрязнения территории имеет динамика содержания компонентов в хвое древесных насаждений исследуемых участков. Загрязнение атмосферного воздуха и почвенной среды, заключающееся в привнесении повышенных концентраций минеральных компонентов, наряду с естественными неблагоприятными условиями произрастания, ухудшают функционирование и устойчивость хвойных насаждений. Одновременно с этим, минеральные вещества активно участвуют в обменных процессах растительной клетки, что накладывает необходимость учитывать природу накопления минеральных элементов ассимиляционном аппарате растений. Тяжелые металлы и их соединения оказывают токсическое воздействие на растительный организм, как только их концентрация превышает пороговые значения, что может привести к нарушениям внутриклеточного гомеостаза и визуализации результатов таких изменений в снижении метрических показателей хвоинок и их массы. В ходе анализа древесных насаждений сосны и ели пригородных зон г. Красноярска в хвое были обнаружены железо, цинк, медь, марганец и в следовых количествах никель. В табл. 5 и 6 представлено содержание валовых форм тяжелых металлов в хвое сосны обыкновенной и ели сибирской соответственно.

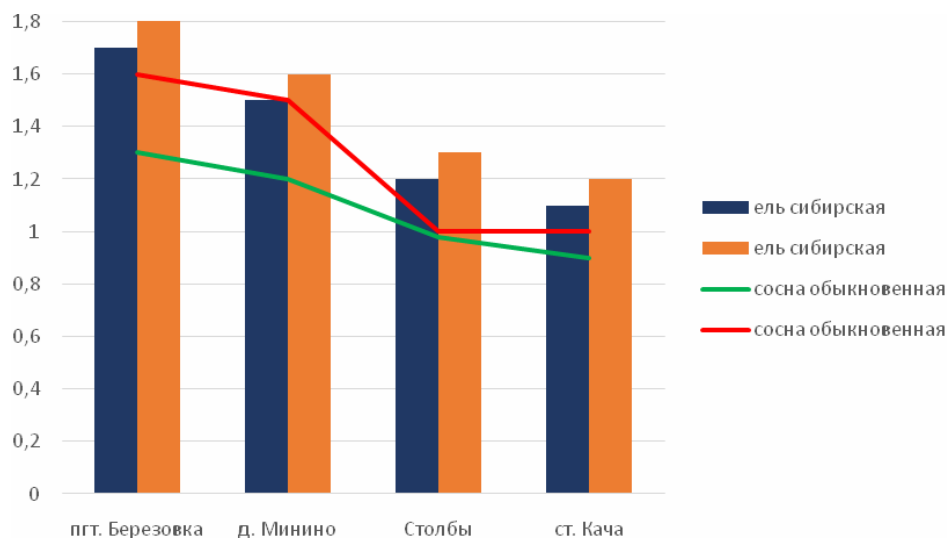


Рис. 5. Зольность хвои сосны обыкновенной и ели сибирской, весенне-осенний период, %

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в хвое сосны обыкновенной, весна/ осень 2019, мг/кг

Металлы, мг/кг хвои	Место отбора пробы			
	пгт. Березовка	Национальный парк «Красноярские Столбы»	дер. Минино	ст. Кача
Железо	40,29±0,2 29,67±0,1	35,89±0,5 23,77±0,2	37,29±0,1 25,69±0,2	34,65±0,3 20,15±0,6
Цинк	21,88±0,2 13,45±0,3	20,56±0,2 13,60±0,5	18,02±0,3 11,14±0,5	9,45±0,5 7,18±0,6
Медь	1,82±0,3 2,12±0,5	0,77±0,2 0,75±0,4	1,56±0,5 0,76±0,2	0,62±0,3 0,29±0,4
Марганец	2,45±0,3 1,08±0,4	0,19±0,5 0,11±0,3	0,34±0,2 0,19±0,3	0,09±0,3 0,09±0,4
Никель	следы	следы	следы	следы

**Таблица 6**  
**Содержание тяжелых металлов в хвое ели сибирской, весна/ осень 2019, мг/кг**

Металлы, мг/кг хвои	Место отбора пробы			
	пгт. Березовка	Национальный парк «Красноярские Столбы»	дер. Минино	ст. Кача
Железо	38,04±0,2 25,97±0,1	25,85±0,5 22,74±0,2	37,29±0,1 25,69±0,2	22,45±0,3 18,85±0,6
Цинк	20,78±0,2 12,23±0,3	17,16±0,2 10,65±0,5	14,02±0,3 11,64±0,5	7,85±0,5 5,78±0,6
Медь	1,53±0,3 1,12±0,5	0,667±0,2 0,650±0,4	1,46±0,5 0,76±0,12	0,53±0,3 0,20±0,4
Марганец	2,15±0,3 1,54±0,4	0,15±0,5 0,11±0,25	0,57±0,2 0,36±0,3	0,08±0,3 0,06±0,4
Никель	следы	следы	следы	следы

Полученные данные свидетельствуют, что используемые методы оценки аэрогенного загрязнения атмосферы выбросами промышленных и автотранспортных загрязнителей с использованием хвои ели сибирской и сосны обыкновенной с учетом условий произрастания объективно характеризуют состояние атмосферы. Их внедрение в систему мониторинга состояния окружающей среды позволит достаточно надежно и с небольшими затратами дополнять официальную информацию об аэрогенном загрязнении пригородных зон г. Красноярска и обеспечит дополнительные методы контроля за загрязнением атмосферы городской агломерации.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена сравнительная оценка биоиндикационной способности сосны обыкновенной и ели сибирской по отношению к аэрогенному загрязнению пригородных территорий промышленного центра. Установлено, что ассимиляционный аппарат сосны обыкновенной наиболее чувствителен к наличию в атмосферном воздухе превышающих допустимую концентрацию поллютантов. В качестве отклика на неблагоприятные условия произрастания наблюдаются изменения метрических характеристик хвои, ее влажности, а также увеличение содержания минеральных компонентов.

Рекомендуется к внедрению в систему мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и проведению картографической оценки экологической ситуации на исследуемой территории с применением биоиндикационных методов, а ассимиляционный аппарат сосны обыкновенной – как биоиндикатора происходящих в окружающей среде изменений.

Следует отметить, что предложенный способ оценки уровня загрязнения территории с использованием маркерных показателей хвойных пород очень прост в использовании и не требует дорогостоящего оборудования, его можно осуществлять в полевых условиях при отсутствии специального приборного оформления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2018 году : Гос. докл. Красноярск, 2019. 302 с.

2. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

3. Степень Р. А., Есякова О. А., Соболева С. В. Оценка загрязнения атмосферы биоиндикационными методами ; Сиб. гос. технологич. ун-т. Красноярск, 2013. 142 с.

4. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы : учеб. пособие для вузов. М. : Экология, 1991. 320 с.

5. Методика выполнения измерений массовой концентрации тяжелых металлов в биологических объектах на рентгено-флуоресцентном спектрометре «Спектроскан». СПб. : ГП ВНИИФТРИ, 1994. 102 с.

6. Сотникова О. В. Влияние аэрогенного загрязнения на рост и химический состав вегетативных органов сосны обыкновенной : автореф. дис. ... канд. хим. наук ; Сиб. гос. технологич. ун-т. Красноярск, 2004. 19 с.

7. Петункина Л. О., Ковригина Л. Н., Тарасова Л. П. Сосна обыкновенная как средство мониторинга состояния среды // Проблемы сохранения биологического разнообразия Южной Сибири. Кемерово, 1997. С. 234–235.

8. Степень Р. А., Соболева С. В. Оценка приоритетного экологического состояния городской территории // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 1. С. 152–156.

9. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 151 с.

#### REFERENCE

1. About condition and protection of the environment in the Krasnoyarsk territory in 2018 : State report. Krasnoyarsk, 2019, 302 p.

2. Alekseev V. A. Diagnostics of the life state of trees and stands // Forest science. 1989, № 4, P. 51–57.

3. Stepen R. A., Esyakova O. A., Soboleva S. V. Assessment of atmospheric pollution by bioindication methods ; Sib. State Technologist. Un-t. Krasnoyarsk, 2013, 142 p.

4. Obolenskaya A. V., Elnitskaya Z. P., Leonovich A. A. Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose: A textbook for universities. Moscow, Ecology, 1991, 320 p.

5. Method of performing measurements of the mass concentration of heavy metals in biological objects on the x-ray fluorescence spectrometer "SPECTROSCAN". Sankt-Petersburg, GP VNIIFTRI, 1994, 102 p.

6. Sotnikova O. V. Influence of aerogenic pollution on the growth and chemical composition of vegetative organs of the common pine : autoref. dis. Cand. ... chem. Sciences ; Sib. State Technologist. Un-t. Krasnoyarsk, 2004, 19 p.

7. Petunkina L. O., Kovrigina L. N., Tarasova L. P. Ordinary pine as a means of monitoring the state of the

environment // Problems of conservation of biological diversity in southern Siberia. Kemerovo, 1997, P. 234–235.

8. Stepen R. A., Soboleva S. V. Assessment of the priority ecological state of the city territory // Systems. Methods. Technologies, 2017, № 1, P. 152–156.

9. Ilyin V. B. Heavy metals in the soil – plant system. Novosibirsk, Nauka. Siberian Department, 1991, 151 p.

© Соболева С. В., Есякова О. А.,  
Воронин В. М., 2020

---

Поступила в редакцию 21.01.2020  
Принята к печати 05.10.2020