

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 630.161.16: 502/504

DOI: 10.18324/2077-5415-2017-1-152-156

Оценка приоритетного экологического состояния городской территории

Р.А. Степень^a, С.В. Соболева^b

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева, пр. Мира 82, Красноярск, Россия

^astepen.rob@yandex.ru, ^bswet.soboleva2011@yandex.ru

Статья поступила 27.12.2016, принята 30.01.2017

Целью исследования является оценка экологического состояния воздушной среды Красноярска и отдельных городских участков с выбором их приоритетности для проживания населения. Проведен комплекс биоиндикационных (визуальных, морфометрических, биохимических) исследований загрязнения воздушной среды на 13–15 участках в каждом из семи районов города, а также внутри пяти наиболее крупных массивов насаждений Красноярска. Сравнение показателей, полученных на городских и фоновых участках произрастания ели, позволяет оценить узкотерриториальное и общее для районов краевого центра экологическое состояние. Показано, что надежная количественная оценка загрязнения достигается при использовании эфирного масла хвои в качестве индикатора содержания и состава. Установлено, что наряду с общей относительно благополучной ситуацией в городе аэрогенная нагрузка во многих его зонах является весьма серьезной. Результаты биоиндикационных исследований свидетельствуют о существенном загрязнении воздушной среды краевого центра. Визуальные, морфометрические и биохимические данные подтверждают, что наиболее неблагоприятное положение складывается в Ленинском, Советском и Центральном районах. При этом крупные массивы насаждений существенно улучшают экологическую обстановку благодаря их способности частично адсорбировать и поглощать поллютанты, особенно на низком, важном для человека уровне. В определенном приближении это позволяет рассматривать экологическое состояние внутри парка как усредненное для района его расположения. В узкотерриториальном масштабе лидирует Центральный район с его автотранспортными выбросами, в общегородском — промышленный Советский район. Результаты проведенных анализов позволяют оценить действительное экологическое состояние воздушной среды, что сложно сделать другими методами.

Ключевые слова: загрязнение; воздушная среда; оценка; хвоя; размеры; эфирное масло.

Assessment of priority environmental status of urban areas

R.A. Stepen^a, S.V. Soboleva^b

Siberian State Aerospace University under name of M.F. Reshetnev, 82, Mira Ave., Krasnoyarsk, Russia

^astepen.rob@yandex.ru, ^bswet.soboleva2011@yandex.ru

Received 27.12.2016, accepted 30.01.2017

The aim of the study is to assess ecological status of the air environment of Krasnoyarsk and its certain urban areas and choose the most preferable district for human habitation. The complex of bioindicative (visual, morphometric, biochemical) studies of air pollution of 13-15 sites in each of 7 urban districts and in 5 of Krasnoyarsk largest forest stands have been carried out. The factor comparison of urban and background areas with the spruce allows us to evaluate territorial and common for the regional center ecological state. It is shown that a reliable quantitative evaluation of pollution is achieved by using an essential oil of pine needles as an indicator of content and composition. It is established that along with a general, relatively prosperous situation in the city, aerogenic load is very high in many of urban areas. The results of bioindicative studies show significant air pollution of the regional center environment. Visual, morphometric and biochemical data indicate that the most unfavorable situation is in Leninsky District, Sovetsky District and Central District. But, massive forest stands significantly improve the environmental situation due to their ability of partial absorption of pollutants at a low, but a very important for humans, level. This allows us to consider the environmental condition inside the park as an average one for such kind of area. In the city-wide scale, the most polluted area is Central District, but, in the territorial scale, it is Central District with the highest amount of transport exhausts. Unlike some other, the results of the tests made it possible to evaluate the ecological status of air environment.

Keywords: pollution; air environment; evaluation; needles; size; essential oil.

Введение

Проживание в экологически чистом районе является естественным желанием городских жителей. Официальная информация об экологической обстановке (ИЗА₅ и

подобное) касается небольшого числа главных загрязнителей, относится к большой территории и не учитывает ретроспективные данные, например, о недавно функционирующих химических предприятиях. Объективные све-

дения о сложившейся ситуации могут быть получены биоиндикационными методами. В настоящее время разработан их значительный комплекс, с помощью которого успешно оценивается аэрогенная обстановка конкретных участков крупных городов [1; 2 и др.]. Индикаторами могут служить различные организмы. Удобно использовать для этого применяемые для озеленения хвойные древесные растения, прежде всего их ассимиляционные органы. Изменение структуры насаждений, отдельных деревьев, морфометрических, биохимических и других показателей их элементов коррелируется с интенсивностью в них загрязнения [2; 3].

Методы исследования. Целью исследования является оценка экологического состояния воздушной среды Красноярска и отдельных городских участков с выбором их приоритетности для проживания населения.

Достоинством биоиндикационных методов является доступная экспресс-оценка воздействия всей суммы примесей, находящихся в атмосфере узкого конкретного участка. С использованием этих методов проведены успешные мониторинговые исследования городов, промышленных зон, лесных территорий [3–5]. Полученные сведения используются для экологического картирования городов и других территорий. Их недостатком является то, что визуальные, морфометрические, гравиметрические способы обеспечивают получение качественных и полуколичественных данных. Количественные результаты получают при использовании биохимических способов. При этом основными объектами анализа из первичных метаболитов являются пигменты, из вторичных — эфирные масла и их компоненты. Так, по содержанию α -пинена в масле хвой сосны можно ранжировать интенсивность загрязнения атмосферы на отдельных участках [6], а по соотношению его четырех основных монотерпеновых углеводородов — установить хемотипы формирующихся под их влиянием насаждений [7; 8]. Более обоснованным представляется положение о корреляции между интенсивностью загрязнения и содержанием в масле суммы монотерпеновых углеводородов, что отчетливо фиксируется при его анализе методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ), например при использовании фазы SE-30 [9]. Время их удерживания существенно меньше по сравнению с этими показателями у других компонентов, в том числе изменяющихся под влиянием поллютантов воздуха.

Экологическое состояние атмосферы краевого центра исследовали в узкотерриториальных и укрупнен-

ных масштабах с использованием в качестве индикатора ели сибирской, весьма чувствительной к загрязнению. В первом случае визуально, по пятибалльной шкале (1 — чистая), на 13–15 участках каждого из семи районов оценивали состояние и проводили морфометрические анализы хвои деревьев, произрастающих небольшими группами внутри селитебных зон. Полученные показатели усредняли по районам города. При визуальных наблюдениях отмечали изменения в скелетной части деревьев, структуре кроны, охвоении, продолжительности жизни, цвете и заболеваниях хвои. Морфометрические анализы включали определение длины и объема хвои второго года жизни. Среднюю длину находили по результатам двукратного измерения массива хвои по 100 шт., объем определяли волюмометрическим путем [10].

При проведении биоиндикационных исследований в крупных насаждениях (парки, аллеи) наиболее загрязненных районов дополнительно определяли жизненное состояние древостоев и содержание эфирного масла в хвое, а также анализировали его состав [11]. Полученные при этом данные характеризуют экологическое состояние в районе, не испытывающем воздействие специфических факторов, свойственных для узкотерриториальных участков [12]. В Ленинском районе, с его разнообразными, существенно отличающимися экологическими нагрузками, исследована ситуация в двух массивах насаждений. Показатели наиболее загрязненных районов сравнивались с данными экологически благоприятной части Октябрьского района и лесных массивов, расположенных в 20–30 км от Красноярска.

Обсуждение результатов. Эфирное масло хвои отгоняли в аппаратах Клевенджера в двукратной повторности. Его выход определяли волюмометрически и пересчитывали на абс. сухую массу. Компонентный состав масла анализировали методом ГЖХ с набивной колонкой (3 000 x 4 мм). Неподвижная фаза состояла из SE-30 (5 %) на хроматоне А (0,20–0,25 мм). Анализ проводили при 140°C с пламенно-ионизационным детектором.

Отношение находящихся в эфирном масле монотерпеновых углеводородов к сумме остальных компонентов определяло уровень загрязнения воздушной среды участка.

Усредненные по районам Красноярска и лесным участкам значения длины и объема хвои ели и их визуальные показатели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Усредненные биоиндикационные показатели экологического состояния воздушной среды районов Красноярска

Районы города	Длина хвои, мм	Объем хвои, мм ³	Визуальные показатели
Ленинский	15,5±0,3	10,5±0,6	3,46±0,11
Кировский	16,5±0,3	17,2±0,6	3,29±0,03
Свердловский	16,6±0,2	15,7±0,7	3,19±0,12
Советский	15,5±0,3	11,4±0,6	3,39±0,08
Центральный	15,0±0,3	9,9±0,6	3,52±0,14
Железнодорожный	17,1±0,2	18,8±0,5	3,11±0,07
Октябрьский	18,7±0,2	23,6±0,4	2,67±0,03

Данные исследований указывают на значительное загрязнение атмосферы города, особенно его Центрального, Советского и Ленинского районов. Их визуальные параметры по сравнению с фоновыми ухудшаются с 1.1 до 3.4-3.5, продолжительность жизни хвои — с 5 до 2-3 лет, ее морфометрические показатели — с 20 до 50 %. Несколько лучше ситуация в правобережных Кировском и Свердловском районах. За исключением Центрального, который характеризуется высокой автотранспортной загруженностью, все они считаются промышленными центрами. Более благоприятными для проживания являются Железнодорожный, основным источником загрязнения которого служит Транссибирская железнодорожная магистраль, и, особенно, Октябрьский районы. Показатели последнего приближаются к параметрам контрольных участков. Так, его визуальный показатель уменьшается до 2.7, продолжительность жизни хвои возрастает до 4-5 лет, ее длина — до 90 % и объем — до 85 % фоновых. В Октябрьском районе наименее загрязнена селитебная зона Академгородка (средняя длина хвои — 19,3 мм, объем — 21,9 мм³, визуальный показатель — 1,6), практически полностью окруженная лесными массивами. Зоны с благоприятными условиями для проживания есть и в других районах города, однако они меньше по территории, больше подвержены воздействию выбросов, по ним проходит железная дорога или, как Свердловский район, значительно удалены от центра.

Наиболее загрязнена воздушная среда в Центральном районе, прежде относительно чистом, что обусловлено возросшей численностью автотранспорта. Если учесть, что выбрасываемый автомобилями второй по значимости в ИЗА₅ Красноярска формальдегид практически не учитывается, загрязнение здесь выше приво-

димого официально. Однако и в этом районе, на прилегающей к Енисею территории атмосфера благоприятна для проживания.

В Ленинском районе, после ликвидации многих химических предприятий, экологическое положение остается напряженным и распространяется на прилегающий лесной массив. Можно предположить, что помимо действующей мощной ТЭЦ-1 это связано с переносом приоритетными западными ветрами выбросов алюминиевых производств, автомобильного и железнодорожного транспорта, а также испарением оставшихся химикатов.

Основные источники загрязнения атмосферы Советского района — это выбросы алюминиевого комплекса и энергоустановок, содержащие оксиды азота, формальдегид и бенз(а)пирен — основные составляющие ИЗА₅. Безусловно, благодаря совершенствованию производства, наличию высоких труб и санитарно-защитной зоны шириной 3 км концентрация вредных веществ в приземном слое существенно уменьшается, хотя и остается высокой.

Крупные массивы насаждений существенно улучшают экологическую обстановку в районах. Частично, особенно на низком, важном для человека уровне они адсорбируют и поглощают поллютанты. В определенном приближении это позволяет рассматривать экологическое состояние внутри парка как усредненное для района его расположения.

Визуальная оценка состояния и структуры таких насаждений в наиболее загрязненных районах города и расчет показателей жизненного состояния древостоев (L), проведенный по соотношению в них здоровых (n₁), ослабленных (n₂), сильно ослабленных (n₃) и отмирающих (n₄) деревьев [13], приведены в табл. 2.

Таблица 2

Структура и жизненное состояние древостоев крупных насаждений в некоторых районах Красноярска

Районы города	Визуальный показатель	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	L	Категория
Ленинский ТЭЦ-1 парк 1 Мая	2,91±0,10 1,96±0,07	45 51	34 39	13 13	8 7	7440 8355	ослабленный здоровый
Советский Гвардейский парк	2,62±0,08	52	22	20	6	7670	ослабленный
Центральный парк Горького	2,17±0,07	55	31	10	4	8090	здоровый
Октябрьский Академгородок	1,63±0,05	86	11	2	1	9455	здоровый
Контроль	1,14±0,03	89	9	1	1	9575	здоровый

По сравнению с усредненным узкотерриториальным уровнем ситуация в парковом пространстве существенно смещается в благоприятном направлении. Аэроген-

ная обстановка в парках всех районов лучше среднего визуального показателя участков относительно чистого Октябрьского района. Более загрязнена воздушная среда аллеи в районе ТЭЦ-1 (Ленинский район) и Гвардейского парка (Советский район). В первом случае нега-

тивную роль играют близость к электростанции, направление преобладающего ветра и «ретроспективное» действие бывших химических производств. В другой части Ленинского района (парк им. 1 Мая) атмосфера значительно чище. Высокая экологическая напряженность в Гвардейском парке, помимо загрязнения действующим промышленно-энергетическим комплексом, по-видимому, связана с интенсивными ночными выбросами предприятий. Показатели древостоя в Центральном парке лучше, чем у деревьев, растущих в промышленных районах. Этому способствуют относительно большие размеры парка и расположение на берегу Енисея. Экологическая обстановка в массиве Академгородка приближается к контролю. В целом, судя по структуре крупных насаждений, основная часть зеленых массивов краевого центра относится к здоровым.

Ослабленными являются древостои в аллее вблизи ТЭЦ-1 и в Гвардейском парке.

Биохимические превращения как результат обмена веществ в ассимиляционном органе растений предшествуют морфометрическим изменениям. При проведении биоиндикационных исследований хвойных древесных растений многие авторы [6–9; 14] отдают предпочтение эфирному маслу — смеси терпеноидных соединений хвои, важную функцию которых составляет защита организма человека от неблагоприятных воздействий, в том числе от загрязнения воздушной среды. Динамика содержания масла в хвое ели, соотношение в нем суммы монотерпеновых углеводородов к остальной массе компонентов, а также приведенные для сравнения показатели загрязнения атмосферы в районах Красноярска представлены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели экологического состояния атмосферы крупных насаждений

Районы города	Показатели		
	Содержание эфирного масла, %	Отношение фракций	Визуальный показатель
Ленинский	0,70±0,02	0,77±0,08	2,91±0,10
Советский	0,84±0,03	0,82±0,06	2,62±0,04
Центральный	0,98±0,02	0,92±0,10	2,17±0,07
Октябрьский	0,80±0,02	1,31±0,09	1,63±0,05
Контроль	0,86±0,02	1,62±0,06	1,14±0,03

Характер изменения визуальных показателей древостоев и выхода эфирного масла, за исключением Центрального парка, одинаков — содержание эфирного масла снижается по мере усиления загрязнения воздуха, что отмечается и для других древесных растений [15]. Небольшое сокращение содержания масла в хвое ели в Академгородке связано с ухудшением условий произрастания по сравнению с фоновыми, что свойственно также для разных участков леса. Противоположный характер сравниваемых показателей в Центральном парке представляется как мобилизация защитных средств организма в ответ на усиление агрессивности среды. Их превышение ведет к деградации процессов метаболизма и снижению содержания его продуктов, включая терпеноиды, как это происходит в хвое насаждений Советского и Ленинского районов.

Нагляднее и без исключения присутствие примесей в атмосфере, наличие в ее составе кислотных и других катализаторов отражается на содержании компонентов и фракций эфирного масла, что отчетливо фиксируется хроматографическим путем. Под их влиянием низкомолекулярные монотерпеновые углеводороды превращаются в более сложные окисленные и полимерные соединения. О протекании таких процессов свидетельствует наличие в хлоропластах загрязненной хвои суперактивных радикалов [14; 16]. Происходящие превращения, скорость которых пропорциональна интенсивности загрязнения, адекватно отражаются на соотношении в масле «легкой» монотерпеновой фракции и суммы остальных компонентов. Его величина изменяется от 0,77 в аллее вблизи ТЭЦ-1 до 1,31 в наиболее чистом

городском массиве и 1,62 — в лесу. Сходные данные получены и при проведении более ранних исследований — значения этого показателя изменяются от 0,8–1,1 в сильно загрязненных зонах до 1,6–1,8 в атмосфере лесных древостоев [2; 17; 18]. Результаты таких анализов позволяют оценить действительное экологическое состояние воздушной среды, что сложно сделать другими методами.

Заключение

Результаты биоиндикационных исследований свидетельствуют о существенном загрязнении воздушной среды краевого центра. Визуальные, морфометрические и биохимические данные указывают, что наиболее неблагоприятное положение складывается в Ленинском, Советском и Центральном районах. В узкотерриториальном масштабе лидирует Центральный район с его автотранспортными выбросами, в общегородском — промышленный Советский район.

Литература

1. Чернышенко О.В. Древесные растения как аккумуляторы и показатели загрязнения атмосферы // Мониторинг состояния лесных и городских экосистем. МГУЛ, 2004. С. 229-230.
2. Есякова О.А., Степень Р.А. Зонирование загрязнения атмосферы г. Красноярска биоиндикационными методами. Красноярск: СибГТУ, 2011. 124 с.
3. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды: обзор существующих подходов // Успехи соврем. Биологии. 2002. Т. 122, № 2. С. 219-230.

4. Степень Р.А., Есякова О.А. Влияние антропогенного загрязнения среды на содержание и состав эфирного масла хвои ели // Хвойные бореальной зоны. 2007. № 1. С.121-127.
5. Сунцова Л.Н., Иншаков Е.М., Козик Е.В. Оценка состояния городской среды методом фитоиндикации // Лесной журнал. 2011. № 4. С. 29-32.
6. Фуксман И.Л., Пойколайнен Я.М., Шредере С.М. Физиолого-биохимическая индикация состояния сосны обыкновенной в связи с воздействием промышленных поллютантов // Экология, 1997. № 3. С. 213-217.
7. Сотникова О.В., Степень Р.А. Эфирное масло сосны как индикатор загрязнения среды // Химия раст. сырья. 2001. № 3. С. 79-84.
8. Юмадилов Н.К. Хемотипные популяции сосны обыкновенной в Башкирии // Раст. ресурсы. 1991. Т. 25, Вып. 2. С. 67-73.
9. Есякова О.А., Степень Р.А. Индикация загрязнения атмосферы Красноярска по морфометрическим и химическим показателям хвои ели сибирской // Химия растительного сырья. 2008. № 1. С. 143-148.
10. Степень Р.А., Есякова О.А. Прибор для измерения объема хвои пат. 2009124953 Рос. Федерация. № 89222; заявл. 29.06.09; опубл. 27.11.09, Бюл. № 33.
11. Darral N.M. The effect of air pollutants on physiological processes in plants // Plant, Cell and Envir. 1989. Vol. 12. P. 1-30.
12. Weinstein L.N. Nature plant species suitable as biomonitors of airborne fluoride // Environ Pollution. 2003. Vol. 125. P. 3-11.
13. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51-57.
14. Маслаков С.Е., Андреева М.Е., Григорьев С.О. Содержание терпеновых соединений в хвое сосны и ели как индикатор хвойных насаждений при мониторинге лесных экосистем // Охрана лесных систем и рациональное использование лесных ресурсов. М.: МГУЛ, 1994. Т. 4. С. 49-51.
15. Акимов Ю.А., Пушкарев В.В., Кузнецов С.И. Содержание и состав летучих терпеноидов древесных растений в условиях загрязнения воздушной среды // Труды государственного. Никитского ботанического сада, 1989. Т. 109. С. 70-79.
16. Кирпичников Т.В., Шавнин С.А., Кривошеев А.А. Состояние фотосинтетического аппарата хвои сосны и ели в зонах промышленного загрязнения при разных микроклиматических условиях // Физиология растений. 1995. Т. 49, № 1. С. 107-111.
17. Есякова О.А., Воронин В.М., Степень Р.А. Ассимиляционный аппарат ели сибирской как индикатор загрязнения городской атмосферы // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1-2. С. 109-113.
18. Степень Р.А., Соболева С.В. Оздоровление городской атмосферы летучими выделениями леса // Хвойные бореальные зоны. 2016. Т. 34, № 1-2. С. 76-79.
2. Esyakova O.A., Stepen' R.A. Bio-indicator assessment of air pollution in Krasnoyarsk. Krasnoyarsk: SibGTU, 2011. 124 p.
3. Bulgakov N.G. Indication of the state of natural ecosystems and rationing of environmental factors // Biology Bulletin Reviews. 2002. T. 122, № 2. P. 219-230.
4. Stepen' R.A., Esyakova O.A. The influence of anthropogenic pollution on the content and composition of essential oil of spruce needles // Conifers of the boreal area. 2007. № 1. P. 121-127.
5. Sunstova L.N., Inshakov E.M., Kozik E.V. Assessment of Urban Environment State by Phytoindication Method (based on example of Krasnoyarsk) // Forest Journal. 2011. № 4. P. 29-32.
6. Fuksman I.L., Poikolainen Ya.M., Shredere S.M. Physiological and biochemical indication of the status of Scots pine in connection with exposure to industrial pollutants // Russian Journal of Ecology. 1997. № 3. P. 213-217.
7. Sotnikova O.V., Stepen' R.A. Essential oil of pine as an indicator of pollution // Khimiya rast. syr'ya (Chemistry of plant raw material). 2001. № 3. P. 79-84.
8. Yumadilov N.K. Chemotypes populations of Scots pine in Bashkiria // Rastitelnye Resursy. 1991. T. 25, Vyp. 2. P. 67-73.
9. Esyakova O.A., Stepen' R.A. Indication of air pollution in Krasnoyarsk on morphometric and chemical indicators of Siberian spruce needles // Khimiya rastitel'nogo syr'ya (Chemistry of plant raw material). 2008. № 1. P. 143-148.
10. Stepen' R.A., Esyakova O.A. The device for measuring the amount of needles: pat. 2009124953 Ros. Federatsiya. № 89222; zayavl. 29.06.09; opubl. 27.11.09, Byul. № 33.
11. Darral N.M. The effect of air pollutants on physiological processes in plants // Plant, Cell and Envir. 1989. Vol. 12. P. 1-30.
12. Weinstein L.N. Nature plant species suitable as biomonitors of airborne fluoride // Environ Pollution. 2003. Vol. 125. P. 3-11.
13. Alekseev V.A. Diagnosis of the state of life of trees and forest stands // Russian Journal of Forest Science. 1989. № 4. P. 51-57.
14. Maslakov S.E., Andreeva M.E., Grigor'ev S.O. The content of terpene compounds in the needles of pine and spruce as an indicator of coniferous plantations in forest ecosystems monitoring // Okhrana lesnykh sistem i ratsional'noe ispol'zovanie lesnykh resursov. M.: MGUL, 1994. T. 4. P. 49-51.
15. Akimov Yu.A., Pushkarev V.V., Kuznetsov S.I. The content and composition of volatile terpenoids of woody plants in the conditions of air pollution // Trudy gosudarstvennogo. Nikitskogo botanicheskogo sada, 1989. T. 109. P. 70-79.
16. Kirpichnikov T.V., Shavnin S.A., Krivosheev A.A. Status of the photosynthetic apparatus of pine needles and spruce in the areas of industrial pollution at different microclimate conditions // Russian Journal of Plant Physiology. 1995. T. 49, № 1. P. 107-111.
17. Esyakova O.A., Voronin V.M., Stepen' R.A. Assimilative apparatus of Siberian spruce as an urban air pollution indicator // Conifers of the boreal area. 2008. T. 25, № 1-2. P. 109-113.
18. Stepen' R.A., Soboлева S.V. Improvement of the urban atmosphere of volatile forest secretions // Conifers of the boreal area. 2016. T. 34, № 1-2. P. 76-79.

References

1. Chernyshenko O.V. Woody plants as accumulators and air pollution indicators // Monitoring sostoyaniya lesnykh i gorodskikh ekosistem. MGUL, 2004. P. 229-230.