

УДК 616-541.123

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА МОДЕЛИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Н. Н. КРАСНОГОРСКАЯ

Факультет экономики, менеджмента и финансов УГАТУ
Тел: (3472) 22 36 33 E-mail: bjd@ugatu.rb.ru

В работе рассмотрены возможности использования растительных объектов с различным хронологическим циклом, возрастными особенностями, способные кумулировать антропогенные токсиканты различного происхождения и, в первую очередь, химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий. Выделены растительные объекты, характерные для флоры Республики Башкортостан и способные кумулировать токсиканты, которые позволяют оценить интегральные потоки выбросов и загрязненность различных районов региона, в том числе и за прошлые годы

Биотестирование; кристаллограмма; фрактал; биосубстрат; растение; летучие органические соединения; полиароматические углеводороды

В настоящее время экологический мониторинг окружающей среды осуществляется или предполагается осуществлять различными правительственными и неправительственными, а также международными организациями.

Загрязнению окружающей среды посвящена значительная часть отчетов ЮНЕП [1, 2], в которых в качестве ключевых аспектов, отражающих состояние атмосферы, рассмотрены парниковый эффект и загрязнение в городах.

Поступающие в атмосферу загрязняющие вещества как из природных, так и из антропогенных источников приводят не только к локальному, но и крупномасштабному загрязнению природы. Отравление промышленными выбросами органического мира, в частности лесов, приобретает катастрофические масштабы: среди стран, на территории которых хвойные леса оказались наиболее деградированными, Польша (34,5% лесов), Болгария (32,9%), Дания (24%). Наименее деградировали хвойные леса в Испании (3,5%), Австрии (4,1%); относительно более пораженными были леса в Швеции (12,9%), Норвегии (14,6%), Финляндии (18,7%). Особенно быстрое увеличение доли пораженных широколиственных пород наблюдается в Дании, Польше, Греции и Нидерландах.

Растительные объекты, получая питательные вещества из воздуха и атмосферных осадков, накапливают загрязняющие вещества, что дает возможность использовать их при мониторинге загрязнения атмосферы.

Площадь поверхности надземных частей растений (листьев) обычно во много раз превышает площадь занимаемой ими земли. Как у трав, так и у деревьев и кустарников основная часть площади поверхности приходится на листья: индекс листовой поверхности достигает 20 [3] (индекс листовой поверхности — это отношение площади проекции листьев к площади земли). Так как листья имеют нижнюю и верхнюю поверхности, на каждый квадратный метр земли может приходиться до 40 м² листовой поверхности. Это геометрическое соотношение показывает, что основная часть переносимых по воздуху загрязняющих веществ перехватывается листьями и не попадает на землю. Растительные объекты, получая питательные вещества из воздуха и атмосферных осадков, накапливают загрязняющие вещества, что дает возможность использовать их при мониторинге загрязнения атмосферы.

Захват происходит на кутикуле, образующей поверхность раздела между листом и воздухом. Все другие главные надземные части высших растений (на суше): цветы, стебли,

плоды и др. — тоже покрыты кутикулой. Газообразным загрязняющим веществам не требуется проникать через кутикулу, они могут достигать межклеточной воздушной среды сразу через открытые устьица. Если устьица закрыты или их вообще нет на данной части растения, то и газам приходится проникать через кутикулу [4, 5].

В ряде работ [6–8, 13] было показано, что хвоя кедра и пихты хорошо отражает поле концентраций загрязняющих веществ, выпадающих вокруг источника загрязнения. Выражена зависимость содержания в биообъекте вредных веществ от возраста хвои. Например, содержание редкоземельных элементов скандия и сурьмы значительно повышено в образцах более старой хвои вблизи источника и имеет явную тенденцию увеличиваться с возрастом. Содержание натрия, кальция, железа, кобальта и бария увеличивается с возрастом побега, а для калия и меди наблюдается обратная зависимость.

Содержание цинка в хвое пихты на площадках, ближайших к источнику (1 км), выше в более старых побегах. При удалении (3,5–6 км) разница уменьшается и затем снова возрастает для фоновой площадки. В работе, проведенной Институтом леса УрО РАН [9], исследована сезонная динамика рН гомогената листьев березы, осины и тополя в условиях загрязнения воздуха кислыми газами. При этом показано, что в случае использования рН гомогената листьев в качестве биотеста лучше использовать взрослые и стареющие листья.

Широко используется для мониторинга загрязнения атмосферы метод лишеноиндикации (от латинского названия лишайников — *Lichenes*) [10–12, 18–20]. Обладая высокой чувствительностью ко многим из известных загрязнителей, они своим исчезновением сигнализируют об экологическом неблагополучии окружающей их среды. Поэтому в качестве традиционного методического подхода при проведении лишеноиндикационной диагностики какой-либо территории чаще всего используют показатели видового состава произрастающих лишайников и их количества [13, 14].

На кафедре «Безопасность производства и промышленная экология» в течение ряда лет проводится работа по разработке методик идентификации различных экотоксикантов (тяжелых металлов, полиароматических углеводородов) в растительных объектах так называемым методом биоиндикации.

Биоиндикация не отменяет системы аналитических и аппаратурных методов контроля, а лишь дополняет ее качественно новыми биологическими показателями и считается в настоящее время необходимым условием получения интегральных оценок загрязнения окружающей среды поллютантами, поскольку нормируются и могут быть определены химическим экспериментом далеко не все загрязняющие вещества. Кроме того, необходима разработка экспрессных методов установления самого факта загрязненности, особенно в аварийных ситуациях. В использовании метода биоиндикации при решении экологических проблем накоплен большой положительный опыт.

В качестве объекта изучения были выбраны березовый сок, экстракт листьев подорожника, липовый цвет, используемые в обычной практике как лекарственные продукты.

Для сравнения влияния различной антропогенной деятельности на природные объекты пробы растительных объектов отбирались в различных районах Уфы: вдоль проезжей части, в промышленной зоне, возле железной дороги и предприятия «Стекловолокно», а также в парковой зоне. В качестве фоновых использовались цветы липы, собранные за чертой города: в лесном массиве Кармаскалинского района. Перечень объектов изучения и места отбора приведены в табл. 1.

В биосубстратах проводился количественный анализ содержания летучих органических соединений (ЛОС) методом парофазного анализа в сочетании с газовой хроматографией и масс-спектрометрией.

В табл. 2 приведен перечень летучих органических соединений, обнаруженных в цветах липы в результате наших исследований, и список летучих выделений растений, типичных для лесов среднеширотного пояса [15].

Приведенный перечень летучих органических соединений включает соединения с числом атомов углерода от 1 до 15. Качественный состав выделяемых этими растениями веществ разнообразен: среди них алканы, алкены, диеновые и ароматические углеводороды, спирты, альдегиды и кетоны, терпены, алкилбензолы и др. Большую часть этих соединений зачастую причисляют к антропогенным загрязнителям, так как они постоянно обнаруживаются в высоких концентрациях в городском воздухе, выбросах промышленных предприятий и отработавших газах автотранспорта. Однако данные показывают, что вышеуказанные компоненты выделяются

Таблица 1

№ п/п	Объект изучения	Место отбора	Примечания
1	Цвет липы	Лесной массив, Кармаскалинский район	Цветы светло-желтого цвета с характерным запахом без видимых загрязнений
2	Цвет липы	Парк им. М.Гафури	Цветы светло-желтого цвета с характерным запахом без видимых загрязнений
3	Цвет липы	Ул. 50 лет Октября	Цветы светло-желтого цвета с характерным запахом, покрыты частицами пыли и сажи
4	Цвет липы	Ул. Трамвайная, в р-не предприятия «Стекловолокно»	Цветы светло-желтого цвета с характерным запахом, покрыты небольшим слоем пыли
5	Цвет липы	10 м от железнодорожного полотна, ст. Парковая	Цветы светло-желтого цвета с характерным запахом без видимых загрязнений
6	Сок березы	Парк им. Гафури	Сок светлого цвета без видимых загрязнений
7	Сок березы	Ул. 50 лет Октября	Сок светлого цвета, через час окраска стала коричневой
8	Сок березы	Ул. Трамвайная, в р-не предприятия «Стекловолокно»	Сок светлого цвета без видимых загрязнений
9	Сок березы	10 м от железнодорожного полотна, ст. Парковая	Сок светлого цвета без видимых загрязнений

Таблица 2

Перечень ЛОС, обнаруженных в пробах (экспериментальные данные)	Качественный состав ЛОС лесообразующих пород растений (литературные данные)
Октан	Гексан, гептан
Бутанол-2	Этанол, пропанол, бутанол
Бутанон-2, Гидроксидбутанон-2	Бутанон-2
Бутаноль 3-метилбутаналь Гептаналь	Пропаналь, бутаналь, гексаналь
Гексадиен (диметилбутадиен)	Диметилбутадиен
1-метил-4(1-метилэтил)циклогексадиен 1-метил-4(1-метилэтилен)циклогексен	(γ -терпинен)терпинолен
1-метил-3-метилэтилбензол	1-метил-3-метилэтилбензол
• Пинен Лимонен Карен-3	α -пинен, β -пинен Лимонен Карен-3
Этилацетат	Этилацетат
Диметилсульфид	Диметилсульфид

также природными источниками и, следовательно, относятся к естественным компонентам атмосферы.

Сопоставляя полученные данные с данными работы [15], можно сделать вывод, что обнаруженные летучие органические соединения являются продуктами выделения растений.

Проведенный эксперимент с березовым соком показал отсутствие летучих органических соединений.

Результаты определения содержания полиароматических углеводородов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что номенклатура загрязняющих соединений и их содержание разнообразны. Видно, что наиболее загрязненными

Таблица 3

№ п/п	Определяемые компоненты	Содержание, мг/кг				
		лес	парк им. Гафури	ул. 50 лет Октября	«Стекловолокно»	железная дорога
1	2	3	4	5	6	7
1	Нафталин	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
2	Аценафтилен	не обн.	не обн.	96,68	653,76	не обн.
3	Аценафтен	не обн.	36,48	не обн.	не обн.	не обн.
4	Флуорен	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
5	Фенантрен	197,2	не обн.	17,44	517,92	33,12
6	Антрацен	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
7	Флуорантен	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
8	Пирен	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
9	Бенз(а)антрацен	не обн.	не обн.	76,84	87,52	16,80
10	Хризен	не обн.	60,16	не обн.	185,08	108,04
11	Бенз(в)флуорантен	не обн.	357,96	223,44	не обн.	не обн.
12	Бенз(к)флуорантен	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
13	Бенз(а)пирен	198,8	253	122,76	33,04	не обн.
14	Дибенз(а, h)антрацен	45,72	32,64	50,16	28,32	90,8
15	Бензо(g, h, i)перилен	не обн.	не обн.	46,52	не обн.	не обн.
16	Индено(1,2,3с, d)пирен	79,48	128,4	123,52	85,96	156,08

полиароматическими углеводородами (ПАУ) являются растения, отобранные по ул. 50 лет Октября и ул. Трамвайной, где развито интенсивное движение автотранспорта.

Источниками загрязнения воздушной среды, а следовательно, и растений бенз(а)пиреном, дибенз(а, h)антраценом, индено(1,2,3с, d)пиреном, обнаруженными во всех точках отбора, по-видимому, являются выхлопные газы автомобильного транспорта.

Наличие бенз(а)пирена в растениях, отобранных за чертой города, согласуется с литературными данными [16], где говорится о том, что бенз(а)пирен попадает во внешнюю среду абсорбированным на частицах сажи и пыли, которые могут переноситься на большие расстояния. Трудно судить о степени токсичности найденных концентраций, так как нормативы содержания полиароматических углеводородов в растениях не разработаны. Сопоставление полученных результатов возможно только с литературными данными. Так, концентрация бенз(а)пирена в опадающих листьях липы г. С.-Петербурга равна 0,01345 мг/кг сухого вещества [21], что значительно меньше, чем в исследуемых образцах. Помимо антропогенных полиароматических углеводородов, могут образовываться полиароматические углеводороды, прежде всего, фенантрен, который рассматривается как индикатор природного вклада полиароматических углеводородов, если его содержание составляет 50–70 % от суммы всех обнаруженных полиароматических углеводородов [17]. Из табл. 3 видно, что содержание фенантрена не превышает 40 % от суммы всех обнаруженных полиароматических углеводородов, а доля бенз(а)пирена в лесу, в парке и по ул.

50 лет Октября превышает долю фенантрена. Это говорит о том, что вклад природной составляющей невелик и растения испытывают техногенную нагрузку.

Анализ проб березового сока на содержание полиароматических углеводородов показал отсутствие таковых. Это можно объяснить тем, что полиароматические углеводороды не растворимы в воде, а на качество березового сока могут влиять только те ингредиенты, которые попадают в сок из почвенного раствора.

Мало в настоящее время еще известно о действии одних фитотоксикантов при наличии в окружающей среде других.

Однако и фактические концентрации загрязняющих веществ малоинформативны. Важнее биологический эффект многовариантного воздействия различных фитотоксикантов, интегрируемый в кристаллограммах биосубстратов. С целью получения интегральной характеристики загрязнения атмосферы в настоящей работе использован метод тезиграфии, при этом проведены исследования экстрактов и вытяжек растений, обязательных для сельского и городского районов Республики Башкортостан.

Были получены кристаллограммы дихлорида меди с биосубстратом, где в качестве биосубстрата использованы экстракты листьев и корней подорожника, одуванчика и сок березы. На рис. 1 представлены кристаллограммы дихлорида меди, полученные в присутствии экстракта листьев подорожника, собранного в городе и в сельской местности, а на рис. 2 — кристаллограммы, полученные в присутствии сока березы, собранного в двух местах города Уфы.

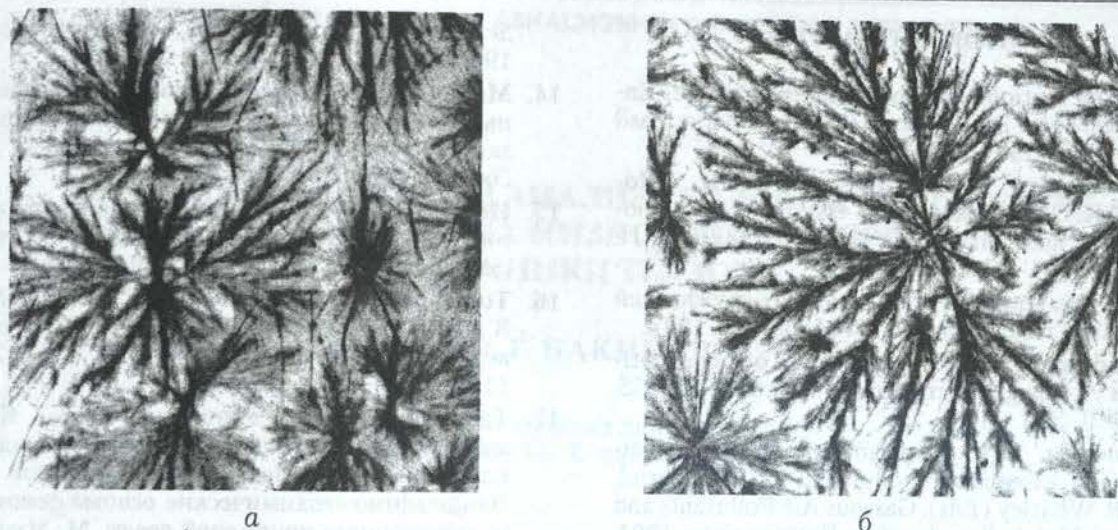


Рис. 1. Кристаллограммы дихлорида меди, выращенные в присутствии экстракта листьев подорожника, собранного в городе (а, $D = 1,88 \pm 0,06$) и в сельской местности (б, $D = 1,80 \pm 0,06$)

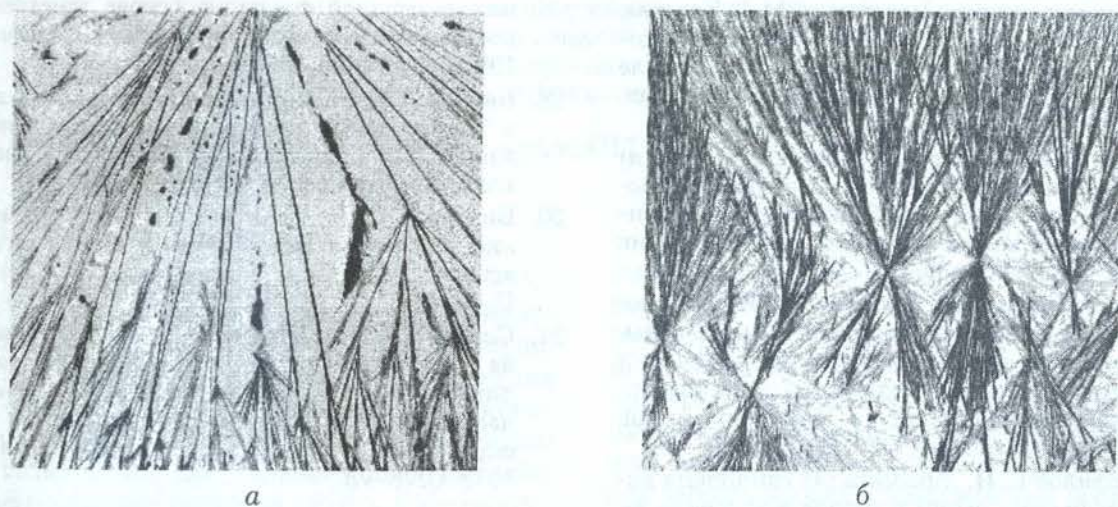


Рис. 2. Кристаллограммы дихлорида меди, выращенные в присутствии сока березы из района Парка Победы (а, $D = 1,55 \pm 0,05$) и Южного автовокзала г. Уфы (б, $D = 1,65 \pm 0,05$)

Анализ рис. 1 и 2 и сравнение фрактальной размерности кристаллограмм показывает, что кристаллограммы экстракта и сока растений, собранного в городе с развитой нефтехимической промышленностью и в сельской местности, отличаются как по структурно-морфологическим признакам, так и по среднему значению их фрактальной размерности.

Таким образом, показана возможность использования метода тезиграфии с последующим фрактальным расчетом в дифференциальном экспресс-анализе растительных объектов.

Представленные результаты исследований отражают загрязнения атмосферы на момент сбора материала. Кроме того, для полу-

чения более полной информации и создания картосхем экологической ситуации в городе целесообразно проводить наблюдения через каждые 3–5 лет на нескольких сплошных перпендикулярно ориентированных трансектах, через каждые 10 лет — на всей территории. Обследуемые каждые 3–5 лет участки города должны быть постоянными и репрезентативными по площади, представлять все административные районы города.

Результаты картирования могут быть полезны при планировании мероприятий по оздоровлению среды, а также для адресного обследования состояния здоровья населения города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **United Nations Environment Programme.** Environmental Data Report. 3rd Ed. London: Basil Blackwell, 1991. 408 P.
2. **Кондратьев К. Я., Донченко В. К., Лосев К. С., Фролов А. К.** Экология – экономика – политика. СПб.: Научный центр РАН, 1996. С. 11–37.
3. **Уэр Дж.** Проблемы загрязнения окружающей среды и токсикологии. М.: Мир, 1993. 192 с.
4. **Lendzian K. J.** Gas permeability of plant cuticles // Oxygen permeability. Planta, 1982. 155. P. 310–315.
5. **Lendzian K. J.** Permeability of plant cuticles to gaseous air pollutants // M. J. Koziol, F. R. Whatley (Eds). Gaseous Air Pollutants and Plant Metabolism. London: Butterworths, 1984. P. 77–81.
6. **Инструментальный нейтронно-активационный анализ растительного материала по короткоживущим изотопам / М. В. Козлова, И. В. Меднис, Л. Л. Пелекис // Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 156.**
7. **Пяри А. И., Трасс Х. Х., Цобель Н. Р.** Лишеиндикация степени загрязненности атмосферного воздуха в Прибайкалье // Биогеохимические аспекты криптоиндикации. Таллин: ТГУ, 1982. С. 37–39.
8. **Рехколайнен Г. И., Гульнева Н. Ф.** Рентгенофлуоресцентный анализ хвои сосны и ели как метод контроля техногенных загрязнений // Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды: Тр. II Всесоюз. совещ. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 221–230.
9. **Васфилов С. П.** Динамика рН гомогената листьев березы, осины и тополя в условиях загрязнения // Экология. 1997. № 1. С. 14–18.
10. **Андерсон Ф. К., Трешоу М.** Реакция лишайников на атмосферное загрязнение // Загрязнение воздуха и жизнь растений. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 295–326.
11. **Инсарова И. Д., Инсаров Г. Э.** Сравнительные оценки чувствительности эпифитных лишайников различных видов к загрязнению воздуха // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1989. Т. 12. С. 113–175.
12. **Шапиро И. А.** Физиолого-биохимические изменения у лишайников под влиянием атмосферного загрязнения // Усп. совр. биол. 1996. Т. 116, № 2. С. 158–171.
13. **Трасс Х. Х.** Классы палеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1984. Т. 7. С. 144–159.
14. **Михайлова И. Н., Воробейчик Е. Л.** Эпифитные лишайносинусии в условиях химического загрязнения: зависимости доза – эффект // Экология. 1995. № 6. С. 455–460.
15. **Исидоров В. А.** Летучие выделения растений: состав, скорость эмиссии и экологическая роль. СПб.: Алга-фонд, 1994. 188 с.
16. **Тонкопий Н. И., Розанова В. Я., Минц И. М.** К вопросу о накоплении бенз(а)пирена в почве // Гигиена и санитария. 1973. № 4. С. 112–113.
17. **Теплицкая Т. А., Алексеева Т. А., Кузин Н. С.** Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов // Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. М.: Наука, 1989. С. 87–95.
18. **Григорьев Ю. С., Бугельников М. А.** Трансплантационная лишайиндикация загрязнения воздушной среды на основе замедленной флуоресценции хлорофилла // Экология. 1997. № 6. С. 465–467.
19. **Бязров Л. Г.** Биоиндикация качества воздуха в Москве по картированию распространения эпифитных лишайников // Экология и промышленность России. 1998. № 7. С. 27–31.
20. **Бязров Л. Г.** Видовой состав и распространение эпифитных лишайников в лесных насаждениях Москвы // Лесоведение. 1994. № 1. С. 45–54.
21. **Слепян Э. И., Шейнерман Д. А., Сирина Н. П.** Бенз(а)пирен в опадающих листьях липы, тополя и ясеня городских зеленых насаждений // Канцерогенные вещества в окружающей среде. М.: Ассоциация «Алга», 1979. С. 76–78.

ОБ АВТОРЕ

Красногорская Наталья Николаевна, профессор, зав. кафедрой безопасности производства и промышленной экологии УГАТУ. Дипл. химик-технолог (УНИ, 1972), д-р техн. наук по нефтехимии (УНИ, 1990), Исследования в области анализа загрязнения окружающей среды, использования фрактальных систем, экологического менеджмента и аудита, экономики природопользования, малоотходных технологий в нефтепереработке и нефтехимии.

