

9. *Рябинина З. Н.* Флора и растительность степей Южного Урала и проблемы ботанического мониторинга : дис. ... д-ра биол. наук. Оренбург, 1996. 497 с.

10. *Тамплон Е. Ф.* К методике районирования Уральского региона по устойчивости природной среды к антропогенному воздействию // Системный наземно-аэрокосмоэкологический мониторинг природной среды : тез. докл. на науч.-практ. конф., Свердловск, 14–16 мая, 1991, С. 27–31.

11. *Шилова И. И., Лукьянец А. И.* Сукцессии степной растительности на территориях подверженных аэротехногенному воздействию предприятий цветной металлургии // Растительность в условиях техногенных ландшафтов Урала : сб. науч. тр. . Свердловск, 1989. С. 56–78.

12. *Matzner E., Murach D.* Soil changes induced by air pollutant deposition and their implication for forests in Central Europe: [Pap.] Acid Reign" 95 5th Int. Conf. Acid. Deposit. Sci and Policy, Goteborg, 26–30 June, 1995 / Water, Air and Soil Pollut. 1995. 85, № 1. S. 63–76.

М. Г. Опекунова

Санкт-Петербургский государственный
университет, Санкт-Петербург, Россия

Применение древесных растений в геоэкологическом мониторинге состояния техногенных экосистем

Цель и методика исследований. Ведущая роль в биоиндикации состояния окружающей среды принадлежит древесным растениям. Они способны поглощать часть атмосферных поллютантов, задерживать пылевые частицы, а также индицировать особенности загрязнения посредством разнообразных ответных реакций.

Биоиндикационные исследования проведены в различных регионах России (Кольский полуостров, Карелия, Ленинградская область и г. Санкт-Петербург, Южный Урал, север Западной Сибири) в экосистемах с различной интенсивностью антропогенного стресса. Для оценки интенсивности выпадения кислотных

дождей и загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) выбраны сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), отвечающие всем требованиям, предъявляемым к биоиндикаторам. В качестве биоиндикационных признаков использованы химический состав и морфологические характеристики деревьев (продолжительность жизни хвои, наличие некроза и хлороза, жизненное состояние древостоя и т. д.), позволяющие судить о состоянии природной среды. Основное внимание уделено изменению химического состава корки деревьев, обладающей безбарьерным типом аккумуляции поллютантов. Определение кислотности почв и корки тополя и сосны, содержание ТМ (Ni, Cu, Pb, Cd, Co, Mn, Zn, Fe) в пробах проведено в лаборатории геоэкологического мониторинга Санкт-Петербургского государственного университета. Лабораторные анализы выполнены по общепринятым методикам [1, 2].

Результаты исследований. Важной характеристикой состояния природных компонентов являются кислотно-щелочные условия. Большое влияние на их изменение имеет антропогенное загрязнение и, в частности, выпадение кислотных дождей, величина рН которых существенно ниже естественной величины — 5,5.

Хорошим индикатором интенсивности воздействия кислотных осадков служит корка древесных пород. В фоновых условиях ее химический состав зависит как от биологических особенностей дерева, так и от условий местообитания. Так, например, по результатам разных авторов, величина рН корки сосны обыкновенной на Кольском полуострове составляет 2,7–3,6, а северных районах Карелии — 3,4–4,1, в южных районах Карелии — 3,51–4,45, в Эстонии — 3,6–4,2, на Среднем Урале — 2,8–3,4. Проведенные исследования показали, что на территории Костомукшского заповедника (северная тайга, Карелия) среднее значение кислотности корки сосны составляет 3,83 и изменяется от 3,60 до 3,90, концентрация сульфатов при этом не превышает 300 мг/кг. В то же время на западных склонах холмов и в хорошо продуваемых местообитаниях наблюдается повышение содержания сульфатов до 700 мг/кг и снижение величины рН до 3,53. В зоне воздействия комбината

«Североникель» (Кольский полуостров)? на расстоянии 10–12 км к югу от источника аэротехногенного загрязнения? концентрация ионов SO_4^{2-} в корке сосны достигает 1570 мг/кг, а величина pH снижается до 3,00. На условно фоновой территории (40–50 км к югу от источника загрязнения) эти показатели равны соответственно 1415 мг/кг и 3,40. Средняя величина pH корки сосен в черте г. Мончегорска несколько выше (3,63), что обусловлено нейтрализующим влиянием городской застройки.

В пределах Ленинградской области величина pH корки сосны сильно варьирует. Минимальные значения характерны для разреженных сосняков на вершинах селыг (3,30–3,60) в районе Приладожской станции (пос. Кузнечное) с максимальным воздействием кислотных дождей (при проведении исследований было зарегистрировано pH дождевой воды, равное 3,53). Здесь же наблюдается наибольшее количество сульфатов в корке сосны — 700–1700 мг/кг, при фоновом уровне — 130 ± 40 мг/кг. В сомкнутых древостоях склонов селыг и межсельговых понижений значение pH возрастает до 4,10–4,24; при этом содержание сульфатов снижается до 100–160 мг/кг. В пригородной зоне г. Санкт-Петербурга величина pH корки сосны колеблется от 3,90 (Невский лесопарк) до 5,00 (пос. Шапки).

Содержание сульфатов в корке тополя бальзамического на фоновых участках Ленинградской области несколько выше (850 мг/кг), что обусловлено главным образом межвидовыми различиями минерального обмена растений. На территории Васильевского острова Санкт-Петербурга концентрация сульфатов в корке тополя характеризуется значительным разбросом значений от 300 до 1925 мг/кг со средним показателем по всему району 1162 мг/кг сухого вещества. Выпадение кислотных дождей приводит к накоплению в растительной биомассе сульфатов и снижению величины pH. Наиболее отчетливо эта закономерность проявляется, как отмечалось ранее, в слабонарушенных ПТК гумидной зоны с однородным антропогенным воздействием. В условиях поликомпонентного и многофакторного загрязнения в Санкт-Петербурге не наблюдается прямой корреляции между рассматриваемыми

показателями в корке тополя. Применение метода главных компонент факторного анализа позволило определить долю кислотных дождей в общем уровне загрязнения городской среды. На них приходится около 8 % всех корреляционных связей, что указывает на сравнительно небольшой вклад трансграничного поступления поллютантов. Подкисляющий эффект кислотных дождей отмечен и на территории г. Сибай (Башкортостан), в зоне воздействия Башкирского медно-серного комбината (БМСК). При среднем фоновом значении pH корки тополя, равном 7,37, обнаружено уменьшение этой величины до 4,60–5,80.

Специфическим индикатором антропогенного загрязнения окружающей среды служит накопление ТМ в биомассе живых организмов. В корке деревьев, обладающей безбарьерным типом аккумуляции химических элементов, отмечается максимальная концентрация загрязняющих веществ по сравнению с другими органами. При этом фоновое содержание большинства ТМ в корке сосны обыкновенной в пределах Северо-Запада РФ значительно ниже кларка по В. В. Добровольскому [3]. Как видно из приведенных данных (табл. 1), в пределах загрязненных территорий корка деревьев отличается повышенным уровнем содержания ТМ, типоморфных для источников антропогенного воздействия — в зоне воздействия комбината «Североникель» — Ni, Cu и Co, Костомукшского горно-обогатительного комбината «Карельский окатыш» — Fe, Mn, Ni, Учалинского ГОКа — Cu, Zn, Pb, Fe.

На урбанизированных территориях и в крупных городах, где основной вклад в общий уровень загрязнения вносит автомобильный транспорт, характерно увеличение содержания в корке деревьев всех изученных ТМ. Так, например, в корке тополя на территории Васильевского острова Санкт-Петербурга обнаружены аномально высокие концентрации Pb (162 мг/кг сух. в-ва), Zn (385 мг/кг сух. в-ва), Fe (2250 мг/кг сух. в-ва), Cd (4,4 мг/кг сух. в-ва), Ni (119 мг/кг сух. в-ва) и Cu (227 мг/кг сух. в-ва). В Московском районе уровень концентрации ТМ в корке тополя несколько ниже, но также значительно превышает кларк.

Таблица 1

Содержание ТМ в коре древесных пород, мг/кг сухого вещества

Растение, регион	n	Ni	Cu	Cd	Co	Mn	Pb	Zn	Fe
<i>Larix sibirica</i> Ledeb., Уренгойская лесотундра	42	1,8	4	0,08	0,2	110	5,2	16	н/о
<i>Pinus sylvestris</i> L., Кольский полуостров, в радиусе 30 км от ком- бината «Североникель»	55	62	393	0,1	3,1	22	6,1	10	61
<i>Pinus sylvestris</i> L., Кольский полуостров, 40–45 км к югу от комбината	16	35	132	< 0,05	1,3	16	2,9	11	28
<i>Pinus sylvestris</i> L., Кольский полуо- стров, г. Мончегорск	19	46	193	0,1	2,8	32	5,2	14	56
<i>Pinus sylvestris</i> L., госу- дарственный заповед- ник Костомукшский	230	0,4	2	0,02	< 0,02	19	1,3	9	18
<i>Pinus sylvestris</i> L., г. Костомукша и терри- тория вблизи КГОКа	140	5,8	7	0,48	0,02	100	6,6	46	352
<i>Pinus sylvestris</i> L., п. Кузнечное, Ленин- градская область	22	0,3	1	0,41	0,06	15	0,9	13	н/о
<i>Pinus sylvestris</i> L., г. Учалы, вблизи карьера Учалинского ГОКа	5	5,2	156	1,3	1,1	52	37	251	1199
<i>Populus balsamifera</i> L., г. Санкт-Петербург, Василеостровский район	30	28	40	0,8	1,3	37	22,4	221	878

Окончание табл. 1

Растение, регион	n	Ni	Cu	Cd	Co	Mn	Pb	Zn	Fe
<i>Populus balsamifera</i> L., г. Санкт-Петербург, Московский район	30	5,0	21	1,5	0,7	27	7,5	104	565
<i>Populus balsamifera</i> L., фон, п. Овсяное, Ленин- градская область	5	4,6	13	0,33	1	7	16	144	н/о
<i>Populus balsamifera</i> L., г. Сибай, в зоне воздействия БМСК	10	3,4	14	0,3	0,02	33	0,4	88	349
Кларк по В. В. Добро- вольскому, 1998		2	8	0,035	0,05	205	1,25	30	—

В городах с градообразующими предприятиями горнорудного производства в корке древесных пород отмечается резкое увеличение концентрации ТМ, типичных для разрабатываемых месторождений, в г. Мончегорске — Ni, Cu и Co, в г. Учалы — Zn, Cu, Fe и Pb, в г. Сибай — Zn и Fe.

Увеличение концентрации поллютантов в окружающей среде и накопление их в биомассе приводит к нарушению метаболизма растений. В большинстве случаев отмечается хлороз и некроз листьев древесных пород, уменьшение длины хвои сосны, сокращение ее возраста. У неадаптированных растений под влиянием высоких концентраций загрязняющих веществ развиваются уродливые формы. Значимое уменьшение длины хвои сосны обнаружено на территориях, подверженных прямому техногенному воздействию: около Центрального карьера Костомукшского ГОКа, вдоль Мончегорского градиента и др. Однако в условиях пересеченного рельефа реакция хвои на техногенное воздействие нивелируется комплексом факторов местообитания. Различия в освещенности, увлажнении, температурном режиме и минеральном питании оказывают как синергетический, так и антагонистический эффекты, поэтому зачастую прямой корреляции между длиной хвои и уровнем антропогенного загрязнения не наблюдается.

Выводы и рекомендации. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что древесные породы обладают высокой индикаторной значимостью и могут быть использованы в геоэкологическом мониторинге. Изучение корки древесных пород целесообразно для оценки интегрального уровня загрязнения городской среды. Морфологические изменения растений следует комплексировать с биогеохимическими показателями, поскольку они имеют неспецифический характер и определяются как естественными, так и антропогенными факторами.

Список использованной литературы

1. *Аринушкина Е. В.* Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
2. *Опекунова М. Г., Арестова И. Ю., Елсукова Е. Ю.* Методы физико-химического анализа почв и растений: методические указания. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2002. 68 с.
3. *Добровольский В. В.* Основы биогеохимии. М. : Высшая школа, 1998. 413 с.

В. Н. Пермитина

РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» КН МОН
Республики Казахстан, Алматы, Республика Казахстан

Закономерности трансформации почв в зоне нефтедобычи равнинного Мангышлака и потенциал их естественного восстановления

Проблема деградации пустынных экосистем, преобразованных в ходе промышленной добычи полезных ископаемых, актуальна для всех регионов Казахстана. Масштабы, длительность и повторяемость техногенного воздействия влияют на состояние компонентов природно-территориальных комплексов, одним из которых является почва. Исследование процессов, происходящих в почвах нарушенных территорий, позволяет оценить степень их