Conclusion

Outplanting evidence in Arboretum Borová Hora of Technical university in Zvolen was realized in form of „Evidence cards“ for many years. Main disadvantages of these paper file were toilsome and slow searching and almost impossible sorting by various aspects. It was also necessary and self-evidence multiple recording of repeated data, e.g. genus and form name.

Updated information databases system is user-oriented system designed for common users – Arboretum Borová hora workers, teachers and students, without big knowledge of database systems area or SQL language requests.

This paper arisen within solution research project VEGA no.: 1/0587/09 (SK).

УДК 504.054

В. А. Алексеев, доктор технических наук, профессор
Н. В. Ковалева, соискатель
Ижевский государственный технический университет

К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Дается сравнительная характеристика методов, используемых для оценки загрязнения природной среды. Рассматриваются индикаторные возможности мхов в перспективных методах косвенной оценки загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами.

О проблеме загрязнения среды тяжелыми металлами в результате развития промышленного производства известно достаточно. В окружающую среду с выбросами предприятий поступают огромные количества токсичных соединений, значительную часть которых составляют тяжелые металлы. Понятие «тяжелые металлы» отождествляется с представлением о химических элементах, обладающих высокой токсичностью. К группе тяжелых металлов традиционно относятся элементы таблицы Д. И. Менделеева, имеющие плотность более 5 г/см^3, количество которых, по меньшей мере, около 40. Количество элементов, обладающих опасными с точки зрения воздействия на живые организмы свойствами – токсичностью, стойкостью и способностью к аккумуляции, обусловливающих канцерогенные свойства, значительно меньше. Наибольший интерес с этих позиций, а также с позиций применения в производстве представляют следующие химические элементы: свинец, ртуть, кадмий, цинк, висмут, кобальт, никель, медь, олово, сурьма, ванадий, марганец, хром, молибден и мышьяк.

Проблеме здоровья человека, связанной с загрязнением природной среды тяжелыми металлами, также уделяется немало внимания. Это проблема как медицинского, так и экологического характера. Роль тяжелых металлов двойственна: с одной стороны, они необходимы для нормального протекания физиологических процессов, являясь катализаторами многих реакций; с другой стороны, при повышенных концентрациях тяжелые металлы токсичны.

© Алексеев В. А., Ковалева Н. В., 2009

Нас интересует экологический характер проблемы, а именно возможности современной системы экологического контроля (экологического мониторинга) в оценке степени загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами.

В настоящее время для оценки уровня загрязнения окружающей среды, в том числе тяжелыми металлами, используется система химико-аналитического контроля. Основной депонирующей средой являются почвы, куда металлы поступают с выпадениями из атмосферы, лиственным опадом, отмершими частями растений и т. д. Металлы сравнительно быстро накапливаются в почве и крайне медленно из нее выводятся: период полуудаления цинка – до 500 лет; кадмия – до 1100 лет; меди – до 1500 лет; свинца – до нескольких тысяч лет. Поэтому почвы представляют интерес как интегральный показатель экологического состояния окружающей среды, и именно они чаще используются для оценки загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами.

Некоторые группы живых организмов являются лучшими аккумуляторами, нежели почва. Чаще всего для анализа содержания в окружающей среде тяжелых металлов используются растения.

Существует несколько методов анализа природных сред на содержание тяжелых металлов [1]. Сравнительная характеристика данных методов представлена в табл. 1.

Таблица 1. **Характеристика основных методов химического анализа на содержание тяжелых металлов**

№ п/п	Метод химического анализа	Достоинства	Недостатки
1	Молекулярная спектроскопия	Многоэлементный анализ Доступность	Невысокая чувствительность и селективность
2	Атомная спектроскопия	Многоэлементный анализ Высокая селективность Высокая чувствительность	Спектральные и физико-химические помехи
3	Масс-спектрометрия	Высокая чувствительность Универсальность Специфичность Селективность	Сложность оборудования, его обслуживания и дороговизна
4	Вольтамперометрический (инверсионный)	Очень высокая чувствительность Многоэлементный анализ	Анализ ограниченного спектра элементов
5	Нейтронный активационный	Высокая чувствительность Маленькая погрешность Высокая избирательность и специфичность Широкий спектр определяемых элементов Малое количество анализируемого вещества, часто неразрушаемость пробы	Малая доступность источников активирующих частиц Необходимость защиты от радиоизлучений Сложности при анализе образцов с сильно активирующейся матрицей

Система химико-аналитического контроля на сегодняшний день является довольно многообразной и альтернативной, но имеет свои недостатки. Используя химико-аналитический подход, необходимо определить содержание многочисленных компонентов загрязняющих веществ в анализируемом субстрате, а затем сравнить их концентрации с существующими нормативами (ПДК) и только тогда можно дать комплексную оценку состояния окружающей среды.

Как известно, прогнозировать результат долговременного воздействия вредного вещества на живые объекты и системы, основываясь на ПДК, невозможно. Тем более анализ на содержание загрязнителей не является интегральным показателем состояния среды и не характеризует в полной мере происходящие в ней изменения. Поэтому химико-аналитические методы должны использоваться в комплексе с другими показателями, например в сочетании с методами биомониторинга, в основе которых лежит биоиндикация.

Биоиндикация – это использование хорошо заметных и доступных для наблюдения биологических объектов с целью определения компонентов, сложнее наблюдаемых. В биоиндикации широко используются тест-организмы, с помощью которых выявляют различные стрессовые воздействия. Стресс – состояние критической нагрузки, которое проявляется в виде специфического синдрома, слагающегося из всех неспецифически вызванных изменений внутри биосистемы [2]. Под биотестированием или активным мониторингом понимают биологическую оценку качества воздуха, воды, почвы по реакции тест-организмов на стрессор. В последнее время под биотестированием понимают регистрацию изменений любых биологических показателей (тест-функций) в результате воздействия токсических веществ на выбранные тест-объекты в лабораторных и полевых условиях. Биоиндикаторы позволяют определять скорость происходящих изменений, пути и места скопления в экосистемах различных токсикантов, делать выводы о степени опасности для человека и биоты конкретных веществ или их сочетаний. Главным биоиндикатором выступает растительный покров.

Для объективной оценки состояния экосистем интерес представляют тест-организмы, реагирующие на комплекс загрязнителей. При проведении качественного мониторинга накопление загрязняющих веществ не должно приводить к гибели тест-организмов, их численность должна быть достаточной для отбора; предпочтительны долгоживущие, одновозрастные и генетически однородные организмы; необходимо обеспечение легкости взятия проб и быстроты проведения тестирования; биотесты должны обеспечивать получение достаточно точных и воспроизводимых результатов.

Тест-организмы в биомониторинге могут использоваться с позиций прямых и косвенных методов. Анализ биомассы на содержание загрязняющих веществ является прямым методом мониторинга и обладает теми же недостатками, что и система химико-аналитического контроля оценки загрязнения окружающей среды. Количественное измерение стресс-реакции у тест-организма является косвенным методом оценки загрязнения окружающей среды тем или иным поллютантом (стрессором).

Классический подход в биомониторинге заключается в определении состояния биоты, т. е. ее признаков, на исследуемой территории в определенное время. Используемые параметры описывают непосредственно само растение и являются признаками, по которым можно судить о воздействии на состояние окружающей среды комплекса каких-либо факторов. Применение классических методов биомониторинга не зависит от воздействующего фактора, этот подход не обладает избирательностью по отношению к какому-либо фактору.

Некоторые задачи экологического мониторинга невозможно решить с помощью классических подходов и прямых методов анализа природных сред.

1. Задача оперативной диагностики воздействия на окружающую среду. Эта задача связана с направленным поиском биоиндикаторов быстрого реагирования. В классическом биомониторинге не разработаны методы оперативной оценки, а ес-

ли известно об индикаторах оперативного реагирования, то методики их использования еще не разработаны.

2. Задача быстрой предварительной оценки экологической ситуации на территориях большой площадью. Методы классического подхода требуют много времени.

3. Задача оценки загрязнения природной среды тяжелыми металлами. Разнообразие тяжелых металлов велико, оценить загрязненность каждым металлом с помощью прямых методов очень трудоемко, часто невозможно из-за ограниченности существующих или освоенных методов анализа.

С позиций оценки загрязнения среды тяжелыми металлами биомониторинг активно развивается в направлении поиска биоаккумуляторов, в которых определяются качественные и количественные параметры тяжелых металлов (прямые методы). Однако остается проблема определения тяжелых металлов в микродозах, проблема установления критериев чистоты окружающей среды по содержанию целого комплекса тяжелых металлов и проблема экономических затрат на анализ всех известных тяжелых металлов. При решении этих проблем возможности методов биомониторинга являются перспективным. Те же признаки растений, что и используемые в классическом подходе, применяются для косвенного определения тяжелых металлов в среде. Чтобы использовать признаки растений для оценки содержания тяжелых металлов в окружающей среде (в качестве косвенных методов оценки загрязнения), необходимо владеть информацией об индикаторных видах. При этом сами индикаторы могут выступать как накопители загрязняющих веществ и анализируемая субстанция, т. е. использоваться в прямых методах оценки загрязнения среды, а также по каким-то признакам косвенно указывать на степень загрязнения среды тяжелыми металлами.

Таблица 2. **Сравнение прямых и косвенных методов оценки содержания тяжелых металлов**

№ п/п	Метод определения	Достоинства	Недостатки
1	Прямой анализ содержания тяжелых металлов	Разработанность (доступность) Универсальность	Опора на концепцию ПДК Необходимость определения многочисленных элементов, что не всегда возможно одним методом, следовательно, трудозатратно и требует априорных знаний о качественных и количественных характеристиках анализируемого субстрата Некоторые методы не позволяют обнаруживать следовое количество ТМ
2	Косвенный анализ содержания тяжелых металлов (использование физиолого-биохимических показателей и т. д.)	Определение одного вещества – быстрота и простота интерпретации результатов Инвариантный и интегральный показатель	Возникновение адаптационных механизмов и смещение нормы реакции биоиндикатора Влияние других экофакторов Низкая специфичность

Исходя из данных табл. 2 можно сделать следующие выводы:

• косвенные методы должны предшествовать прямому анализу содержания в среде различных загрязнителей, в том числе и тяжелых металлов;

• роль косвенных методов в экологическом мониторинге заключается в том, что с их помощью можно дать предварительную оценку состояния окружающей среды;

• в системе экологического мониторинга сочетание косвенных и прямых методов позволяет дать более точную оценку качества окружающей среды;

• так как косвенные методы менее трудозатратны, то целесообразно их использовать как самостоятельные методы при оперативном отслеживании изменений в экосистемах под влиянием антропогенных факторов в сочетании с естественными экологическими условиями.

Использование косвенных методов для оценки степени загрязнения урбаносреды известно для высших древесных растений – тополя бальзамического и черного, березы повислой и липы сердцевидной, а также хвойных деревьев. Для биоиндикации состояния санитарно-защитных насаждений в городской среде используются некоторые морфофизиологические показатели, такие как длина жилок, форма листьев, длина и масса корней, содержание пигментов: хлорофилла и каротиноидов, сроки и длительность прохождения фенофаз, накопление дубильных веществ и аскорбиновой кислоты, изменение уровня дыхания. В дополнение к этим показателям оценивают и анатомические признаки: количество устьиц и толщина слоев листовой пластинки. Так, для тополя бальзамического составлены ряды фитотоксичности по отношению к разным группам тяжелых металлов: высоко- (Ca, Cu, Pb), средне- (Na, Mg, Ba, Mn,Zn) и низкотоксичным (K). Установлено, что различные морфофизиологические показатели проявляют себя по-разному в отношении этих групп тяжелых металлов. Для древесных растений в большей степени характерно снижение содержания хлорофиллов и повышение содержания каротиноидов [3, 4]. Установлено, что возрастание концентрации поллютантов в атмосфере подавляет рост листьев, повышает количество и степень их некротических повреждений, что сопровождается снижением обводненности тканей и увеличением количества в них золы. Информативным биоиндикационным признаком является асимметрия листовой пластинки [5]. Таким образом, для городской среды разработаны биоиндикационные методы с морфофизиологическими показателями. Морфофизиологические показатели растений используются для биотестирования качества почв в агроландшафтах.

Из косвенных методов известны способы оценки состояния среды с использованием ценотических и флористических или фаунистических показателей. В отдельную группу можно выделить фитоценотические методы с использованием показателя жизненности, отражающего плотность популяции, иначе обилие видов. Так, применяется метод с использованием лишайников, при этом в качестве показателя состояния лишайников используется комплексный показатель жизненности биоиндикатора [6]. Широко используются методы, где совокупность присутствующих видов (растительных или животных организмов) отражает определенное качество среды. При данных способах оценки класс качества окружающей среды устанавливают по максимальному значению суммарной классовой значимости индикаторных видов [7].

К группе косвенных методов относится определение фитоантропогенного стресса. Фитоантропогеннный стресс – это стресс, испытываемый флорой и растительностью под разнообразным воздействием человека, влияющий на численность,

обилие и территориальное размещение растений и их группировок. Отношение степеней уникальности и антропофильности флоры, выраженное через коэффициент, свидетельствует о напряженности или нивелировании флоры территории. Для оценки влияния антропогенного стресса на растительность учитываются два подхода: геоботанический и структурно-антропогенный [8].

Основные косвенные методы охарактеризованы с точки зрения их достоинств и недостатков в табл. 3.

Таблица 3. **Косвенные методы оценки качества среды с использованием растительных организмов**

№ п/п	Метод	Достоинства	Недостатки
1	Анализ изменения анатомических признаков – толщины клеточных стенок, количества устьиц и др.	Минимум материально-технических затрат	Признаки слишком мелкие, плохо различимые для неспециалиста
2	Анализ изменения морфологических признаков, отражающих нарушение ростовых процессов, т. е. морфометрических признаков – длины корней, жилки, площади листовой пластинки, годичного прироста и др.	Простые, видимые признаки, легко измеряемые	Достоверность только при большом количестве материала и учете экологических условий
3	Анализ изменения морфологических признаков – визуальных повреждений, таких как хлорозы и некрозы	Не требуется специального оборудования	Достоверность зависит от индивидуальных особенностей исследователя; низкая информативность
4	Анализ изменения физиолого-биохимических показателей – содержание хлорофилла, изменение уровня дыхания, время прохождения фенофаз	Может использоваться как самостоятельный показатель	Зависят от достоверности методов химико-аналитического контроля
5	Анализ изменения физиолого-биохимических показателей – веществ, повышенная выработка которых является стресс-реакцией	Может использоваться как самостоятельный показатель	Зависят от достоверности методов химико-аналитического контроля
6	Использование фитоценотических показателей: биомассы, продуктивности, проективного покрытия	Минимум материально-технических затрат	Оказывает антропогенное воздействие
7	Использование флористических показателей: совокупности видов или присутствия-отсутствия индикаторных видов	Минимум материально-технических затрат	Долговременный Трудоемкий Может использовать только специалист

Методы 4 и 5 основаны на химическом анализе биомассы растений, но являются косвенными методами, т. к. химический анализ сводится к определению веществ, указывающих на присутствие комплекса загрязнителей. Определение одного вещества-стрессора является удобным с точки зрения трудозатрат, а также информативным, позволяющим не прибегать к дополнительному использованию

других методов. Поэтому данные методы перспективны и требуют разработки для применения в мониторинге.

Возможности использования косвенных методов связаны с выбором индикаторов. Одной из групп индикаторов являются мохообразные.

Данная группа растений обладает некоторыми особенностями организации, которые обусловливают индикаторные свойства и определяют возможности использования в биомониторинге. Важными особенностями мхов с данных позиций являются:

- относительно большая поверхность по отношению к объему;
- отсутствие корневой и развитой проводящей систем;
- недоразвитие защитного слоя при высокой способности тканей вмещать катионы.

Использование бриофитов в мониторинге основано:

1) на чувствительности некоторых видов к газовому составу атмосферы;
2) аккумулирующей способности к загрязнителям.

Классический подход биомониторинга с использованием мохообразных заключается в определении морфологических, фитоценотических и флористических признаков во времени. Изменение этих показателей в сторону уменьшения количества и ухудшения качества указывает на деградацию растительного покрова и, следовательно, на нарастание негативных тенденций в изменении состояния окружающей среды.

Практика показала, что в силу своего биологического строения мох является эффективным сорбентом металлов и других микроэлементов, присутствующих в осадках и аэрозольных частицах [9, 10]. В отличие от других высших растений бриофиты накапливают загрязняющие вещества в несравненно больших количествах. Обильно произрастая в некоторых биоценозах в напочвенном покрове, они аккумулируют поллютанты, депонируют их внутри своего организма, долгое время защищая почву от загрязнения. Биоаккумуляторная функция бриофитов доказана многочисленными исследованиями и не требует дополнительного подтверждения.

Биомасса мхов используется для прямого анализа содержания тяжелых металлов, но может использоваться и в косвенных подходах. Так как мхи способны к долговременному депонированию тяжелых металлов, то в их организме должны срабатывать защитные механизмы. Известным механизмом защиты в организме растений является синтез веществ, указывающих на стресс-реакцию, таких как фенольные вещества. По количеству фенольных соединений во мхах можно установить степень воздействия тяжелых металлов [11], т. е. определить факт загрязнения данной территории тяжелыми металлами. Поэтому способность мхов к выработке фенольных соединений является косвенным методом биомониторинга для определения наличия в среде тяжелых металлов.

Применение метода косвенной оценки загрязнения среды тяжелыми металлами в вопросе накопления фенольных соединений мхами требует решения различных задач, одними из которых являются:

1) изучение качественного состава фенольных соединений мхов, разработка методов определения;
2) определение зависимости появления фенольных соединений от воздействия какого-то тяжелого металла на растение;
3) определение различных концентраций тяжелых металлов, обусловливающих выработку достаточного для определения количества фенольных соединений;

4) установление зависимости между длительностью воздействия того или иного металла и количеством фенольных соединений;

5) установление зависимости между биоаккумуляцией и количеством фенольных соединений;

6) определение зависимости между путями поступления металлов, типами металлов и количеством фенольных соединений в растениях;

7) исследование видоспецифичности в выработке фенольных соединений;

8) изучение возможности экстраполяции полученных результатов в целом для оценки состояния среды обитания живых организмов, в том числе и человека;

9) изучение сопоставимости полученных результатов с другими видами мониторинга;

10) изучение временного аспекта индикатора: оперативность, быстрота реакции;

11) изучение зависимости местообитания и достоверности полученных результатов, насколько степень распространения влияет на результативность этого метода;

12) построение системы биомониторинга;

13) создание базы данных «мхи – тяжелые металлы»;

14) создание ГИС на основе данных этого метода.

Наличие большого количества задач, которые необходимо решить, объясняется неизученностью проблемы применения мохообразных как индикаторов в косвенных методах оценки загрязненности среды тяжелыми металлами и тем самым определяет наш интерес к проведению исследований в данном направлении.

Список литературы

1. Основы аналитической химии. В 2 кн. Кн. 2. Методы химического анализа : учебник для вузов / под ред. Ю. А. Золотова. – М., 2002. – 494 с.

2. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем. – М., 1988.

3. *Кулагин, А. А*. Особенности развития тополя бальзамического в условиях загрязнения окружающей среды металлами // Известия Самарского научного центра РАН. – 2003. – Т. 5, № 2. – С. 334–341.

4. *Федорова, А. И.* Ландшафтная биоиндикация городской экосистемы / А. И. Федорова, В. И. Федотов, Е. В. Шунелько // Информационный бюллетень РФФИ. – 1999. – Т. 7, № 5. – С. 279.

5. *Маракаев, О. А*. Техногенный стресс и его влияние на лиственные древесные растения (на примере парков г. Ярославля) / О. А. Маракаев, Н. С. Смирнова, Н. В. Загоскина // Экология. – 2006. – № 6. – С. 410–415.

6. RU 2218753 C2. Способ лихеноиндикации загрязнения атмосферного воздуха. 2001.

7. RU 2213350 C2. Способ биоиндикации среды. 2001.

8. *Дмитриев, А. В*. О фитоантропогенном стрессе / А. В. Дмитриев, М. В. Гусаров // Адвентивная и синантропная флора России и стран ближнего зарубежья: состояние и перспективы : материалы III Междунар. конф., 2006. – С. 37–38.

9. *Смирнов, Л. И*. Многомерный статистический анализ концентрации тяжелых металлов и радионуклидов во мхах и почве Южного Урала / Л. И. Смирнов и др. // Атомная энергия. – 2004. – Т. 97, вып. 1.

10. *Стейнес, Э.* Изучение атмосферных выпадений соединений металлов в районе металлургического предприятия в Северной Норвегии при различной ориентации производства / Э. Стейнес, М. В. Фронтасьева, Т. Эйдхаммер-Шобакк, Варског // Экологическая химия. – 2004. – № 13. – С. 101–112.

11. *Кобилецька, М.* Вплив іонів кадмію на вміст фенольних сполук та вільного проліну в рослинах кукурудзи / М. Кобилецька, О. Терек // Вісник Львів Ун-ту. Серія біологічна. – 2002. – Вип. 28. – С. 311–316.