

УДК 502 175 (075)

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

А.С. Холоимова

(кафедра общей экологии; e-mail: holoimova_alex@mail.ru)

Существующие методы оценки качества среды уже не удовлетворяют современным требованиям, так как в их основе лежит сравнение количественных показателей загрязнения с ПДК, что существенно снижает достоверность получаемых результатов. Биологические методы экологической диагностики становятся приоритетными, так как они дают качественную оценку состояния окружающей среды, основываясь на изучении реакции живых организмов на загрязнение.

Ключевые слова: экологическая диагностика, биоиндикация, интегральная оценка качества окружающей среды.

В современной экологической практике диагностика состояния окружающей среды базируется, как показывают результаты поисковых и прикладных исследований, на методах дифференциальной диагностики загрязняющих веществ. Этот тип диагностики предполагает выборочный анализ состояния атмосферного воздуха, поверхностных вод и почвы, исходя из места, времени и перечня загрязняющих веществ. Но, несмотря на использование в данной деятельности достижений в области хроматографии, ядерно-магнитного резонанса, масс-спектрометрии и др., результаты подобного анализа не диагностируют в полной мере качество окружающей среды, ее пригодность для человека. При всем этом аналитические методы оказываются достаточно дороги, т.е. требуют больших затрат сил, средств и финансов.

Заключение о качестве среды требует интегральной характеристики ее состояния. Однако при всей значимости осуществления комплексной оценки состояния среды (включая физические, химические, социальные и др. аспекты) приоритетной остается именно биологическая. Причиной этого является тот факт, что именно состояние, самочувствие различных видов живых существ и самого человека оказывается ключевым для их жизнедеятельности.

Объекты и методы

Биологические методы, в отличие от аналитических, способствуют существенной экономии средств, так как не требуют специальной пробоподготовки, дорогостоящих реактивов, специальной приборной базы, высококвалифицированного персонала, а также в связи со специфическим свойством биологических систем способны проявлять обобщенную, или интегральную, реакцию на действие неблагоприятных

факторов, характеризуя направленность и скорость происходящих в среде обитания изменений.

Наиболее экономически выгодной из всех известных методов оценки качества окружающей среды биоиндикацию делает сохранение естественного жизненного процесса биоиндикатора, осуществление визуальной биоиндикации окружающей среды непосредственно в среде обитания биоиндикатора, а также малозатратные средства определения его внешних признаков (палетка, сачок, линейка и т.п.). Постоянное нахождение биоиндикатора в среде своего обитания способствует изменению его внешних признаков при изменении качества самой среды, однако происходит это не сразу, а через определенное время, в течение которого биоиндикатор аккумулирует загрязняющие вещества (ЗВ), автоматически объединяя неблагоприятное воздействие всех ЗВ, находящихся в среде его обитания.

Автотрофные организмы, как известно, синтезируют органические вещества из неорганических, а гетеротрофы их потребляют. Растворенные в воде органические вещества служат питательным субстратом для очень большой группы организмов-гетеротрофов. Гетеротрофная форма жизни основана на метаболизме живыми существами только готовых органических соединений, ранее синтезированных другими живыми организмами. По мнению В.И. Попченко, в загрязненных нитритным и аммонийным азотом малых и средних озерах уровень биомассы зообентоса достигал десятков граммов на 1 м² [1]. Исследования Л.В. Шишинашвили и Б.А. Флерова доказывают, что с повышением концентрации указанных веществ в поверхностных водах (р. Дема, Шатское водохранилище и др.) до 100 ПДК уровень биомассы бентоса сокращался, т.е. приводил к экологическому регрессу [2].

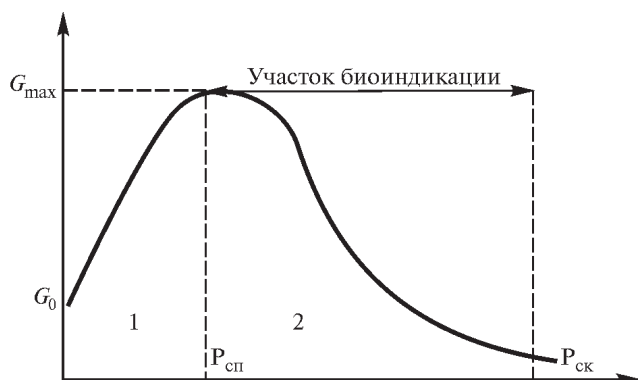
Значит, рост жизнеспособности биоиндикатора в загрязненной среде обитания ограничен толерантностью

(возможностью адаптироваться в загрязненной среде) биоиндикатора к индексу суммарного загрязнения среды обитания P_c . Справедливым оказывается утверждение, что при некотором пороговом значении индекса суммарного загрязнения среды $P_{сп}$ жизненность биоиндикатора достигает максимального значения G_{max} , уменьшаясь соответственно по мере возрастания загрязнения.

Максимальное значение жизненности биоиндикатора представляет собой норму, относительно которой можно оценивать степень регрессивной модификации (снижения жизненности) биоценоза как индикатора качества среды обитания.

Существуют два способа определения показателя максимальной жизненности биоиндикатора. Первый из них основан на экспериментальном анализе, осуществляемом на контрольном участке местности. Для этого на исследуемой территории выбирается участок, не подверженный воздействию экологически опасных факторов и максимально типичный по характеру ландшафта, растительности и почвы для выбранной изначально территории; этот участок местности и принимается в качестве контрольного. На нем определяются показатели качества окружающей среды, принимаемые за максимальные значения для данного района.

Второй способ опирается на известное в экологии правило А.В. Яблокова и Н.Ф. Реймерса [3] “11 процентов”: потеря экосистемой 11% своей структуры не влияет на ее жизнеспособность, потеря 50% структурных элементов существенно нарушает ее функционирование, а потеря 80% структурных элементов приводит к гибели. С учетом этого можно принять $G_{max} \geq 80\%$. В этом случае становится возможным соблюдение инвариантности математической модели биоиндикатора. Графическое изображение общей модели, отражающей функционирование биоиндикатора



Функционирование биоиндикатора в загрязненной среде обитания, $G = f(P_c)$

G — жизненность биоиндикатора; G_0 — начальное состояние, G_{max} — максимальная величина; P_c — суммарное загрязнение среды обитания; $P_{сп}$ — пороговое значение индекса суммарного загрязнения среды; участок 1 — прирост жизненности биоиндикатора, участок 2 — регрессивная модификация биоиндикатора; $P_{ск}$ — критическое значение индекса суммарного загрязнения среды

тора в загрязненной среде обитания, представлено на рисунке, на котором видно, что в условиях загрязненной среды жизненность G растет от начального состояния G_0 и достигает максимальной величины G_{max} при пороговом значении $P_{сп}$ на участке 1.

Это участок прироста жизненности биоиндикатора, описывающий прогрессивную модификацию биоиндикатора за счет включения механизмов, препятствующих воздействию загрязненной среды. Дальнейший рост P_c сопровождается регрессивной модификацией биоиндикатора (участок 2), вплоть до критического значения $P_{ск}$, при котором достигается предел жизненности биоиндикатора. Изменение жизненности осуществляется в соответствии с диалектическим законом перехода количества в качество: из экологической “ниши”, обеспечивающей гармонию биоиндикатора с индексом загрязнения среды обитания, при дальнейшем росте загрязнения среды происходит переход на низшую экологическую “нишу”.

Регрессивная модификация сопровождается структурными изменениями биоиндикатора, которые можно наблюдать по внешним признакам (визуальная биоиндикация) или измерять инструментальными методами (инструментальная биоиндикация, или биотестирование). Эти изменения показывают, что стабильность развития организмов под воздействием антропогенного фактора нарушается.

Существует и другой метод оценки качества окружающей среды, основанный на оценке имманентной изменчивости морфологических структур биоиндикатора (например, степени выраженности флуктуирующей асимметрии) и анализе степени отклонения его развития от оптимального. Он является опытным и проводится в природных условиях [4].

С каждым годом все более актуальным становится изучение жизнедеятельности древесных растений в городских условиях. Вызвано это тем, что древесные растения, выполняющие важнейшие средообразующие и средозащитные функции (выделение кислорода и фитонцидов, ионизация воздуха, формирование своеобразного микроклимата), находясь на урбанизированных территориях, испытывают на себе постоянное отрицательное влияние техногенного загрязнения.

С 1997 г. на территории Москвы получил распространение такой метод оценки состояния экосистем, как мониторинг зеленых насаждений. Целями этого мониторинга стали:

- получение исходных данных для многокомпонентного корреляционного анализа состояния растений с учетом специфики площадки и совокупности воздействующих факторов;
- создание банка данных о состоянии зеленых насаждений в городе с учетом многообразия растительности, факторов воздействия, многовариантности мер по сохранению и защите зеленых насаждений;

— разработка рекомендаций по подбору ассортимента древесных и кустарниковых пород в зависимости от условий среды и видов негативного воздействия.

Оценка состояния зеленых насаждений производится по ряду параметров, наиболее важным среди которых является степень усыхания деревьев; использование этого параметра становится возможным, когда нарушения, произошедшие под влиянием неблагоприятных факторов, достаточно серьезны, а зачастую имеют необратимый характер. Однако современная экологическая наука настойчиво ищет дополнительные показатели для более тонкого контроля над состоянием растений, стремясь своевременно отреагировать на ухудшение ситуации и по возможности исправить ее.

При этом главной мишенью является гомеостаз — базовая характеристика, обеспечивающая нормальное состояние организма. Любая стрессовая ситуация приводит к изменению гомеостаза, поэтому методы оценки здоровья среды, основанные на характеристике гомеостаза организма, позволяют выявлять даже начальные изменения в состоянии живых существ и выступают как система раннего предупреждения.

Изменения гомеостаза, которые возникают под влиянием стрессовой ситуации, могут быть оценены по нарушению морфогенетических процессов (стабильности развития).

При таком подходе главным оказывается анализ стабильности развития, предполагающий рассмотрение процессов, которые снижают фенотипическое разнообразие, происходящее от нарушений в индивидуальном развитии. Снижение эффективности гомеостаза приводит к появлению отклонений от нормального строения различных морфологических признаков, обусловленных нарушениями развития. Последствия этих нарушений (в дополнение к обычно используемой для подобного анализа фиксации частоты существенных морфологических отклонений (фенодевиантов) как явных аномалий) могут быть оценены по значению показателей флуктуирующей асимметрии, в том числе и по незначительным отклонениям от совершенной билатеральной симметрии. Уровень таких морфологических отклонений от нормы оказывается минимальным лишь при определенных условиях, рассматриваемых как оптимальные, и неспецифично возрастает при любых стрессовых воздействиях.

Выявление флуктуирующей асимметрии может осуществляться на основе анализа разницы между количественными признаками (числом пятен, жилок, члеников, шипиков и др.) на сторонах биоиндикатора. Также для оценки уровня стабильности развития по системе морфологических признаков требуется использование интегральных показателей, среди которых основным является средняя частота асимметричного проявления.

Получение данных по различным природным популяциям дает возможность разработки балльной шкалы для оценки степени отклонения от нормы. Базовыми принципами для построения пятибалльной системы становятся следующие:

— диапазон значения показателя, соответствующий условно-нормальному, фоновому состоянию, принимается как первый балл;

— диапазон значений, соответствующий критическому состоянию, принимается за пятый балл;

— весь диапазон значений между этими пороговыми уровнями ранжируется в порядке возрастания значений.

Суммирование данных по ряду независимых признаков в этом случае приводит к получению в действительности интегральной оценки ситуации для сравнения различных территорий и видов. Таким образом, подобный анализ изменений состояния организма дает возможность балльной оценки этого состояния по уровню развития.

И хотя данная система оценивания опирается на анализ различных видов растений, получаемые выводы применимы для характеристики благоприятности среды и для человека.

Кроме оценки степени отклонения от нормы исследуемого объекта принципиальное значение в этом отношении имеет также получение экспресс-информации о состоянии клеток организмов в результате различных внешних воздействий — информации, которая уже на ранних этапах позволила бы диагностировать изменение клеточного метаболизма под влиянием внешних факторов. Особенно важно владеть этой информацией задолго до того, как результат внешних воздействий на организмы проявится в видимых признаках, таких, как задержка роста и изменение формы клеток, уменьшение численности клеточной популяции и общей биомассы, характеризующих состояние и отдельных звеньев, и экосистемы в целом. Для оперативного получения информации о состоянии клеток организма используются различные современные биологические (в том числе и биофизические) методы экспресс-диагностики, основанные на регистрации начальных нарушений клеточного метаболизма, в первую очередь на молекулярном и мембранном уровнях организации клетки.

В последнее время все более популярными становятся различные спектральные и люминесцентные методы. Основой такого подхода является способность хлорофилла и ферментов типа пероксидаз, находящихся в клеточных мембранах или цитоплазме, служить своего рода природными датчиками состояния живых клеток водорослей и высших растений. Неблагоприятное состояние окружающей среды приводит к изменениям в процессе переноса электронов, что в свою очередь ведет к повреждению фотосинтетических мембран. В результате данного повреждения происходят изменения оптических свойств хлорофил-

ла, что и позволяет своевременно диагностировать состояние клеток [5].

Несомненно, эти методы экологического мониторинга будут широко использоваться в будущем, поскольку они обеспечивают раннюю экспресс-диагностику состояния клеток в природных условиях.

Спектральные методы в экологических исследованиях применяются уже давно. Известно, например, что изменение оптических свойств растительного покрова, фиксируемых с помощью искусственных спутников Земли, показывает состояние растительных массивов. В частности, длительная засоленность почв, засуха, обезвоживание приводят к характерным изменениям спектров поглощения хлорофилла листового покрова и позволяют сделать вывод о неблагоприятном состоянии растений. Но эти эффекты наблюдаются через значительные промежутки времени, когда нарушения уже произошли и стали, как правило, необратимыми.

Флуориметрические методы, напротив, отражают такие изменения в фотосинтетическом аппарате, которые происходят на самых начальных этапах внешнего воздействия. Дело в том, что первичные стадии фотосинтеза под воздействием внешней среды активно регулируются клеткой в соответствии с ее физиологическим состоянием. Целью этой регуляции является оптимальное сопряжение световых и темновых стадий фотосинтеза, необходимое для поддержания определенного уровня метаболизма в измененных внешних условиях.

Совокупность первичных процессов фотосинтеза (ППФ) — это целостная система, характеризующаяся структурно-функциональной автономией и обладающая собственными механизмами регуляции.

В основе молекулярных механизмов ППФ лежат электронно-конформационные взаимодействия, которые обеспечивают направленные изменения конфигурации переносчиков при приеме или отдаче электрона. Такого рода структурные изменения регулируют эффективность превращения энергии в фотосинтезе. Резкие изменения условий среды или другие неблагоприятные воздействия могут нарушить сопряжение последовательных стадий переноса электрона, в результате чего возникнет избыток электронов или энергии электронного возбуждения на отдельных участках цепи. Это в свою очередь может привести к появлению активных форм кислорода и как следствие — к окислительному повреждению мембраны.

Различные изменения характера ППФ влияют на спектральные свойства (поглощение, флуоресценция пигментов) взаимодействующих переносчиков. Таким образом, флуоресценция хлорофилла является обобщенным интегральным параметром, который позволяет оценить эффективность и динамику начальных стадий трансформации энергии.

Результаты фундаментальных исследований в этой области могут использоваться в области прикладной

биотехнологии и экологии, например при разработке флуориметрических индикаторов физиологического состояния растений.

Одними из наиболее распространенных методов, позволяющих контролировать состояние основных функциональных систем организмов, являются биoluminesцентные методы [6]. Их используют для оценки степени токсичности воды в полевых условиях, а также почвы и атмосферного воздуха в лабораторных условиях путем приготовления водных экстрактов.

Оценка биoluminesценции в большинстве случаев осуществляется с помощью тест-системы “Эколюм”, которая была разработана в лаборатории антибиотиков кафедры микробиологии биологического факультета МГУ. К достоинствам данного метода относят быстрое действие (одна проба анализируется в течение 1–5 мин) и хорошую воспроизводимость результатов (погрешность метода не более 5%). Тест-система “Эколюм” включает в себя комплект специальных реагентов (биосенсоров), которые создаются на основе морских гетеротрофных люминесцентных бактерий, культивируемых в лабораторных условиях, а также специально разработанные для этой системы люменометры. Люменометр подключается к компьютеру и сопровождается специальной программой, которая позволяет непрерывно обрабатывать и фиксировать измерения, выводить результаты на экран компьютера, печатать и сохранять их.

Принцип работы люменометра “Биотокс” основан на регистрации слабых световых потоков биосенсора “Эколюм” с помощью фотоэлектронного фотоумножителя, работающего в режиме счета анодных импульсов. Биосенсор “Эколюм” представляет собой лиофилизированные культуры люминесцентных бактерий, содержащиеся в среде инертных газов в специальных стеклянных флаконах.

Портативный прибор “Биотокс-10” может в автоматическом режиме осуществлять определение интенсивности биoluminesценции тест-объекта, индекса токсичности пробы, усредненной величины индекса токсичности, вычисление стандартного отклонения показателя токсичности, исследование динамики процесса взаимодействия токсикантов с тест-объектом, компьютерную обработку данных, а наличие звукового сигнала говорит о превышении пробой допустимого уровня токсичности.

Выводы

Анализ вышеперечисленных методов биодиагностики состояния окружающей среды показывает, что их сочетание и применение на практике дают наиболее достоверную оценку ее состояния, а также при проведении исследований в районах с разной антропогенной нагрузкой позволяют определить степень и характер воздействия ряда поллютантов на исследуемые объекты. Повышение эффективности системы экологического мониторинга возможно путем

рационального сочетания малозатратных методов биодиагностики качества окружающей среды, о которых

было сказано выше, с методами дифференциальной диагностики загрязняющих веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попченко В.И. Экологические модификации сообществ бентоса в условиях загрязнения водных экосистем // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: Тр. Междунар. симпоз. Л., 1991.
2. Шишинашвили Л.В., Флеров Б.А. Токсикологические аспекты экологических модификаций // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: Тр. междунар. симпоз. Л., 1991.
3. Реймерс Н.Ф., Яблоков А.В. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы. М.: Наука, 1982.
4. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000.
5. Рубин А.Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 4.
6. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / Под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Егоровой. М.: Академия, 2007.

Поступила в редакцию
23.01.13

BIOLOGICAL METHODS OF ECOLOGICAL DIAGNOSTICS AS THE QUALITATIVE ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENT POLLUTION

A.S. Kholoimova

Existing methods for environment quality assessment do not meet current requirements as comparison of the quantity indexes of pollution with maximum allowable concentration (MAC) lies in the basis. This degrades significantly the authenticity of the achieved results. Biological methods of ecological diagnostics become priority-oriented as they give the qualitative assessment of the environment and rely on examination of pollutant response of living organisms.

Key words: *ecological diagnostics, bioindication, integral criterion of environmental quality.*

Сведения об авторе

Холоимова Александра Сергеевна — инженер кафедры физического воспитания и спорта МГУ.
Тел.: 8-499-127-89-40; e-mail: holoimova_alex@mail.ru