

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 004.93.11:550.34:502.175

В. А. Алексеев, доктор технических наук, профессор
Ижевский государственный технический университет;
М. В. Телегина, кандидат технических наук, научный сотрудник
Физико-технический институт Уральского отделения РАН;
И. М. Янников, кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет

ПРОВЕДЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО И ОПЕРАТИВНОГО
БИОМОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО
ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Описано применение экологических идентификационных полигонов для биомониторинга территорий потенциально химически опасных объектов для оценки влияния малых и сверхмалых доз загрязняющих веществ на биообъекты. Приведены схемы проведения диагностического и оперативного биомониторинга, а также условия изменения регламента измерений, прогноза ЧС и принятия дальнейших решений. Показано решение задачи оценки влияния объекта на окружающую среду путем сравнения исследуемого биообъекта с эталонами, сформированными на полигонах.

Ключевые слова: диагностический и оперативный биомониторинг, идентификационный экологический полигон, база данных, удельное фоновое содержание, расчет параметров биообъекта, потенциально химически опасный объект

Экспертно-аналитическая система (ЭАС) биомониторинга является одной из составных частей информационно-аналитического центра системы производственного экологического мониторинга (ПЭМ). Задачей ЭАС биомониторинга являются многофакторный анализ информации, выявление взаимосвязи поступающих данных первичного мониторинга и установление факторов, позволяющих дать объективную оценку экологической ситуации в зоне влияния потенциально химически опасного объекта (ПХОО) [1, 2].

В отличие от классического подхода к биомониторингу, в отношении мониторинга ПХОО следует выделить две его разновидности: мониторинг диагностический и мониторинг оперативный, организация которых предусматривает использование идентификационного экологического полигона [2, 3].

Основной задачей создания полигона является изучение трансформации (реакции, особенностей и скорости самовосстановления, пределов насыщения, порогов воздействия) экологических (природных и техногенных) и экосоциальных систем под влиянием мышьяксодержащих поллютантов и продуктов их превращений. Мониторинг диагностический проводится в течение длительного времени влияния объекта. Для диагностического мониторинга необходимо выбирать биологические системы, способные к интегральному ответу на комплексные воздействия и проявляющие кумулятивный эффект. Схема диагностического мониторинга приведена на рис. 1.

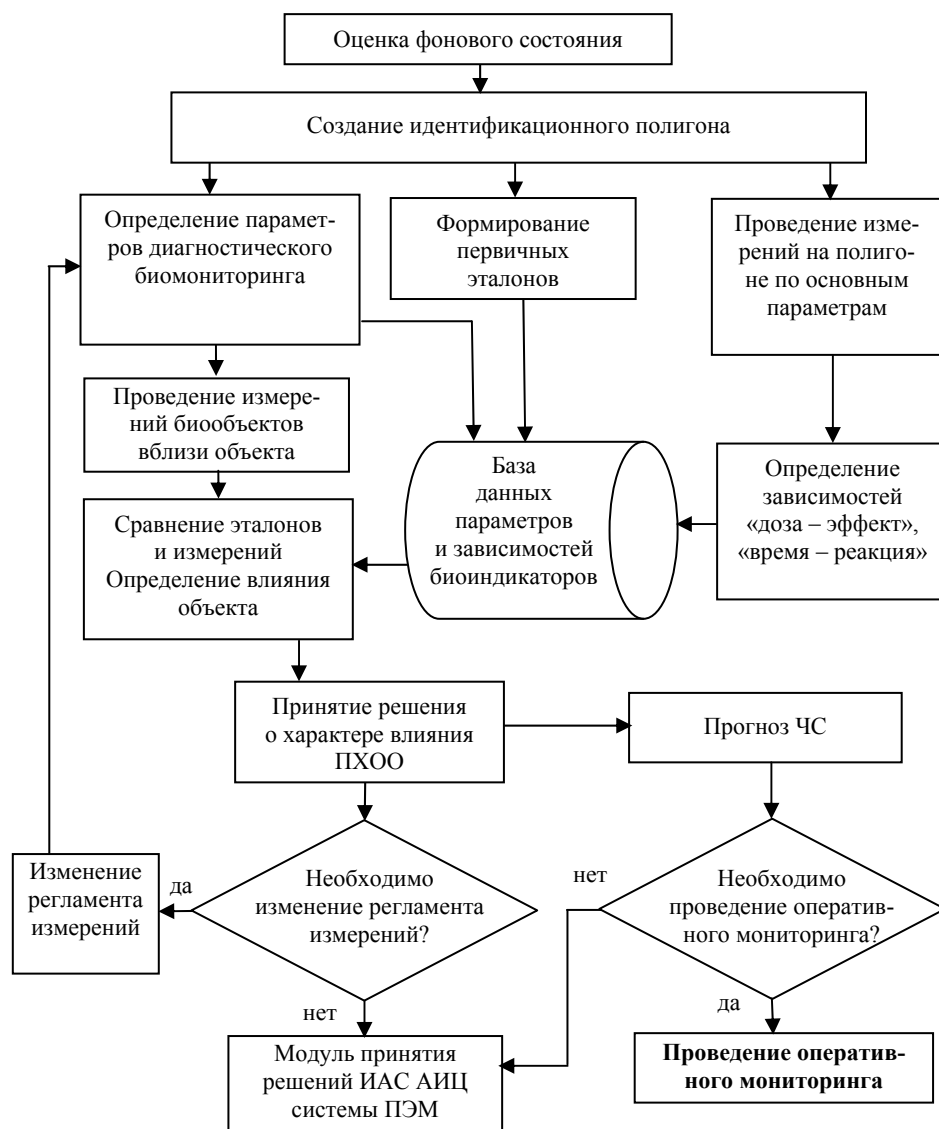


Рис. 1. Схема диагностического мониторинга

Чтобы организовать систему биомониторинга загрязнения мышьяксодержащими соединениями природных экосистем в контуре зоны влияния ПХОО, необходимо выбрать: виды-биоиндикаторы и биотест-объекты, анализируемые биологические и химические параметры и методы их анализа, а также пункты, время и периодичность сбора материала (проб).

При выборе определены требования объектов для биоиндикации: широкий ареал, эвритопность, оседлость, антисинантропность, индикационная пластичность, простота добычи (учета), изученность видов и внутривидовых таксонов.

Идентификационный полигон создается после оценки фонового состояния в отсутствие ПХОО. Полигон должен быть организован на участке, являющемся типичным для зоны влияния потенциально опасного объекта по рельефу, почвам, метеоусловиям и другим параметрам. Далее определяются параметры диагностического мониторинга: виды биоиндикаторов, их параметры, подлежащие исследованию и измерению, периодичность отбора проб, методы и т. д. Формирование первичных эталонов биоиндикаторов осуществляется в отсутствие влияния ПХОО.

Проведение измерений на полигоне по основным параметрам подразумевает внесение мышьяксодержащего раствора в определенных концентрациях на конкретной территории на экспериментальные площадки полигона. В ходе наблюдений оценивалась динамика изменений состояния растительности (внешний вид, размеры, обилие, видовой состав растений) и динамика валового содержания мышьяка в почве. Примеры биоиндикаторов приведены в табл. 1.

В условиях полигона можно оценить влияние малых и сверхмалых доз загрязняющих веществ, которые не учитываются инструментальными и классическими методами, поскольку являются для них подпороговыми и не вызывают моментального отклика ни у датчиков, ни у большинства организмов. В ходе отработки механизмов влияния вредных веществ на биоту на полигоне определены эталоны биоиндикаторов при разных уровнях фонового содержания отравляющих веществ значений параметров. Все значения параметров для каждого вида биоиндикатора, уровень содержания мышьяка, время отбора и сезон заносятся в базу данных ЭАС.

Таблица 1. Виды биоиндикаторов

ID вида биоиндикатора	Название вида биоиндикатора
1	липа мелколистная
2	сосна обыкновенная
3	донник желтый
4	тысячелистник обыкновенный
5	кипрей узколистный
6	папоротник <i>Driopteris filix-max L</i>
7	двустворчатые моллюски <i>Unionidae</i>
8	дождевые черви <i>Lumbricidae</i>
9	грибы-макромицеты <i>Inonotus</i>
10	почвенные водоросли класса <i>Cyanophyta</i>

В ходе экспериментов, проведенных авторами статьи на идентификационном полигоне, доказана несостоятельность предельно допустимой концентрации (ПДК) как опорного значения для определения качества среды [1]. В связи с этим для проведения исследований в качестве опорных использованы фоновые значения. Фон – определенный уровень содержания отравляющего вещества в биоиндикаторе вне действия потенциально опасного объекта. Уровень фонового содержания отравляющего вещества – коэффициент изменения фона. После формирования эталонов определяют зависимости «доза – эффект», «время – реакция» для каждого исследуемого биоиндикатора. Проведенные эксперименты показали, что данные зависимости имеют нелинейный двухфазный характер. Поэтому определение степени влияния ПХОО по биоиндикаторам является нетривиальной задачей.

Для экспертного анализа необходимо сравнение эталонов биоиндикаторов и измерений, определение влияния объекта, т. е. расчет уровня содержания мышьяка

в биологическом объекте в зоне влияния ПХОО. Входными данными системы экспертного анализа являются данные биомониторинга – значения параметров определенных видов биоиндикаторов, расположенных на территории потенциально опасного объекта, и эталоны значений параметров всех видов биоиндикаторов при разных уровнях фонового содержания отравляющих веществ, полученные в результате проводимых на экологическом полигоне исследований. Необходимо по данным биомониторинга определить уровень фонового содержания отравляющего вещества в различных видах биоиндикаторов.

Предлагается разбить обработку на два этапа: распознавание принадлежности исследуемого биообъекта определенному эталону и определение фонового уровня содержания мышьяка в биообъекте (или степени влияния ПХОО).

Зависимость параметров эталонов от уровня фонового содержания можно представить в виде линии в пространстве параметров, отрезки которой соединяют дискретные значения эталонов (1, 10, 20, 30, 40 уровней фонового содержания загрязняющего вещества).

На первом этапе эталоны задаются в виде словесного описания признаков, которое приводится к относительному описанию. При разбросе параметров, зависящем от многих факторов (климатические условия, время года и т. д.) эталон характеризуется набором реализаций. В таком случае эталон представляет собой кластер или область реализаций. Предлагается использовать характеристики ансамбля реализаций – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение (СКО). Так как для определения принадлежности исследуемого объекта эталону будет недостаточно сравнение расстояний до математического ожидания реализаций эталонной выборки, то предлагается установить принадлежность точки к определенному кластеру эталона с учетом параметра распределения эталонной выборки – среднеквадратического отклонения [5]. Решающее правило определения принадлежности определенному эталону (кластеру), нормированному по значениям СКО, имеет следующий вид:

$$r(x_1, x_2, \dots, x_n) = \arg \min_{k=1, K} \max \left(\frac{x_1 - x_{1k}^*}{h_{1k}}, \frac{x_2 - x_{2k}^*}{h_{2k}}, \dots, \frac{x_n - x_{nk}^*}{h_{nk}} \right),$$

где k – индекс эталона (кластера); x_1, x_2, \dots, x_n – значения измеренных параметров биоиндикатора; n – количество анализируемых параметров биоиндикатора; $x_{1k}^*, x_{2k}^*, \dots, x_{nk}^*$ – средние значения параметров k -го эталона (кластера); $h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{ni}$ – размер экстенда, ограничивающего k -й кластер (эталон).

Таким образом, применение решающего правила для установления принадлежности точки – исследуемого биоиндикатора приведет к установлению ее принадлежности к кластеру определенного эталона, чей центр, нормированный по значениям среднеквадратического отклонения, ближе в пространстве параметров.

Решения о характере влияния ПХОО выдается на основании превышения уровня фонового содержания отравляющего вещества некоторого задаваемого уровня по определенным видам и количеству биоиндикаторов, далее принимается решение об изменении регламента измерений, или при прогнозе возможной чрезвычайной ситуации о проведении оперативного мониторинга. Если ни на одном биоиндикаторе нет превышения ПДК, то регламент измерений не изменяется. При превышении допустимого уровня значений изменение регламента предполагает изменение

частоты отбора проб с какой-либо из площадок, а также изменение основных параметров биомониторинга, добавление новых параметров. После изменения регламента и проведения дополнительных измерений возможен прогноз ЧС и принятие решения о проведении оперативного мониторинга.

Таким образом, по окончании обработки данных диагностического мониторинга должны быть определены:

- уровень фонового содержания отравляющих веществ в различных видах биоиндикаторов, исследуемых в зоне влияния ПХОО, с указанием места взятия пробы;
- вывод о необходимости изменения регламента проведения диагностического мониторинга или вывод о необходимости проведения оперативного мониторинга.

В любом случае (после диагностического и после оперативного мониторинга) данные о влиянии ПХОО в конечном итоге будут поступать в модуль принятия решений в информационно-аналитический центр системы ПЭМ ПХОО.

Мониторинг оперативный позволяет быстро оценить состояние среды в ЗЗМ при любой нештатной ситуации на объекте [3]. Переход к оперативному мониторингу осуществляется в результате прогноза или решения о возникновении ЧС. Решение о возможной ЧС может быть принято как на основании данных диагностического мониторинга, так и по другим данным системы ПЭМ. Для мониторинга ПХОО как химически опасного объекта большое значение имеет оперативность получения данных, которая исключает необходимость подробного анализа биологических объектов на всей территории влияния объекта. Эта разновидность мониторинга должна учитывать поправки на возможность приспособления биологических объектов (адаптация, компенсация) к техногенному воздействию с нарастанием интенсивности действия во времени, а также допускать возможность тестовой проверки антропогенного воздействия и отклика биологических объектов на данное воздействие. Схема оперативного мониторинга приведена на рис. 2.

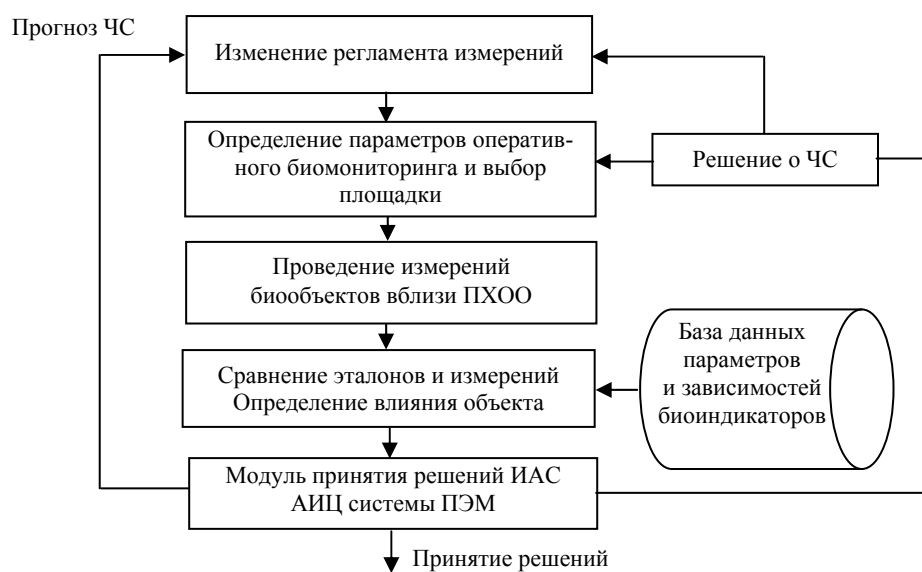


Рис. 2. Схема проведения оперативного мониторинга

Данные проведенных измерений биообъектов после обработки и определения степени влияния ПХОО поступают в модуль принятия решений системы ПЭМ. Определение параметров оперативного биомониторинга и выбор площадки будут зависеть от регламента оперативного мониторинга. Регламент оперативного мониторинга приведен в табл. 1.

Таблица 1. Регламент оперативного мониторинга

Биоиндикатор	Время и периодичность оценки	Параметр
<p>Полноценный фрагмент экосистемы в виде экспериментальной площадки (ЭП): система почва – растения – животные – микробиоценоз</p>	<p>По схеме эксперимента, в зависимости от поставленных задач</p>	<p>Внешний вид объектов, наличие характерных повреждений Видовое обилие, общее проективное покрытие Наличие/отсутствие видов-индикаторов, их состояние по внешнему виду и поведению Сдвиг фенофазы по сравнению с контрольной ЭП Пораженность паразитами (для крупных биологических объектов) Миграция As по звеньям глобального круговорота: ландшафтными линиям стока и трофическим цепям</p>

Регламент проведения оперативного биомониторинга характеризуется видами и параметрами биоиндикаторов, зависящими от схемы эксперимента и поставленных задач.

Разработанные процедуры сравнения с эталонами биоиндикаторов позволят оперативно оценить степень влияния ПХОО даже при использовании в мониторинге быстрого реагирования анализируемых биологических параметров с высоким порогом чувствительности и значительным запаздыванием ответной реакции.

В рамках создания экспертно-аналитической системы осуществлена программная реализация расчетно-аналитического модуля, реализующего функции сравнения эталонов и измерений с использованием зависимостей «доза – эффект» и «время – реакция» для каждого исследуемого биоиндикатора. Разработана система ввода и хранения данных биомониторинга. На рис. 3 приведено главное окно интерфейса программы.

На главном окне интерфейса кроме панели авторизации пользователя существуют панели ввода информации для эталонов биоиндикаторов, при этом выбирается вид биоиндикатора, параметры, время и вид загрязняющего вещества. Предусмотрен ввод необходимой информации по пунктам пробоотбора с указанием геодезических координат и описания пункта, а также информация по методам анализа параметров биоиндикаторов. Расчет параметров исследуемого объекта по хранящимся в базе данных эталонам осуществляется в режиме «Измерения». Вся введенная информация по эталонам может быть визуализирована в отдельном окне, предусмотрено изменение параметров эталона. На рис. 4 показано диалоговое окно заполнения данных по эталонам.

Для программной реализации с учетом технических требований была выбрана система управления базой данных MySQL. Разработанная информационная база данных имеет простой и удобный интерфейс с функцией авторизации пользователя

для ограничения несанкционированного доступа к информации. Имеющиеся в структуре базы данных связи обеспечивают целостность данных, в результате чего невозможно удалить данные, если они используются в других таблицах.

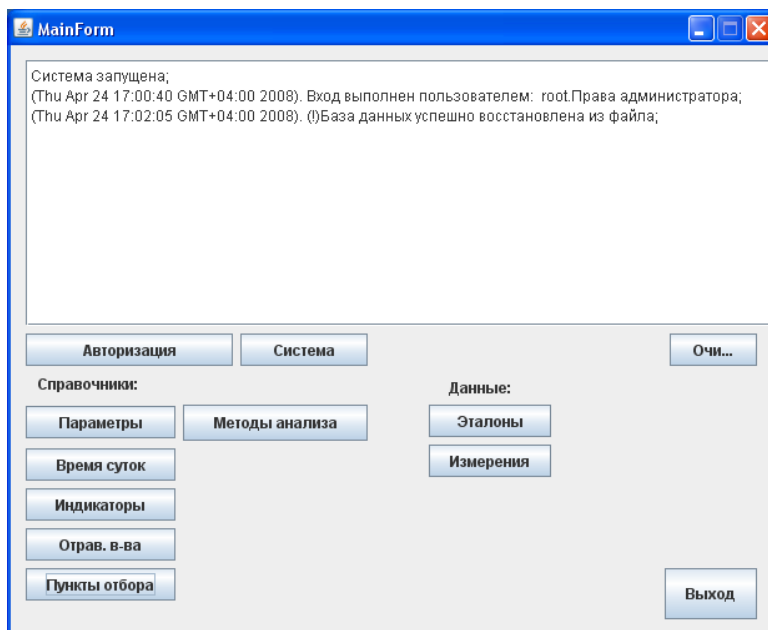


Рис. 3. Главное окно интерфейса

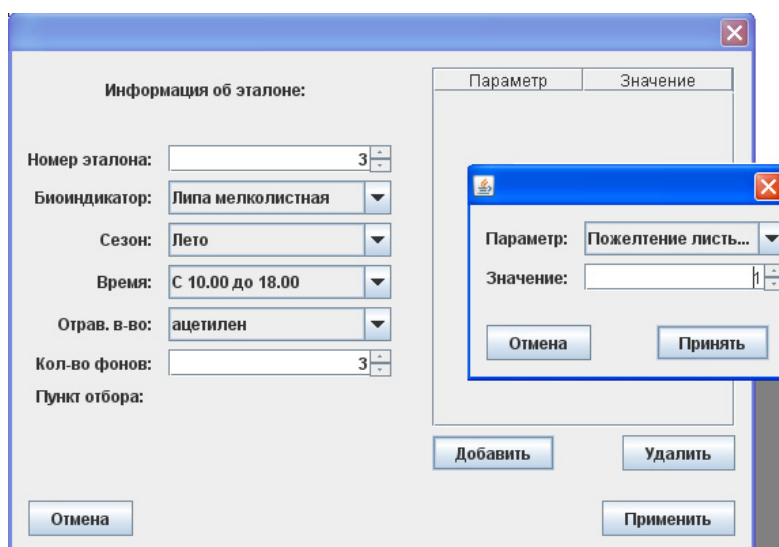


Рис. 4. Диалоговое окно заполнения данных по эталонам

Таким образом, применение экологического идентификационного полигона для экспериментального изучения трансформации природных объектов и биологических систем под влиянием поллютантов и продуктов их превращений и разработанные схемы диагностического и оперативного биомониторинга позволят учесть поправки на возможность приспособления биологических объектов, оценить степень влияния ПХОО на окружающую среду. Разработанный программный инструмент даст возможность оперативной тестовой проверки антропогенного воздействия и отклика биологических объектов на данное воздействие, обеспечит оперативный доступ и удобное хранение.

Список литературы

1. Янников И. М., Габричидзе Т. Г., Зубко Т. Л. Изучение влияния мышьяксодержащих соединений и возможность организации прогнозирования чрезвычайных ситуаций на химически опасном объекте // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2007. – № 1. – С. 56–63.
2. Янников И. М., Козловская Н. В. Экологический полигон как база оперативного мониторинга объектов по хранению и уничтожению химического оружия // Вестн. М-ва по делам ГО и ЧС Удмурт. Респ. – 2007. – № 4. – С. 23–31.
3. Янников И. М., Козловская Н. В. Изменения регламента биомониторинга при аварийных ситуациях на объектах по уничтожению и хранению химического оружия // Вестн. М-ва по делам ГО и ЧС Удмурт. Респ. – 2007. – № 3. – С. 33–35.
4. Янников И. М., Алексеев В. А., Телегина М. В. К вопросу об автоматизации процессов распознавания для решения задач биомониторинга // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2007. – № 4. – Т. 1. – С. 28–35.
5. Янников И. М., Телегина М. В. Применение экстенстной модели кластера для обработки данных биомониторинга // Экология человека: концепция факторов риска, экологической безопасности и управления рисками : сб. ст. 5-й Всерос. науч.-практ. конф. – Пенза : ПГСХА, 2008. – С. 157–160.

* * *

V. A. Alekseev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

M. V. Telegina, Candidate of Technical Sciences, Researcher, Physicotechnical institute of Udmurt Center of UB RAS

I. M. Yannikov, Candidate of Technical Sciences, Docent, Izhevsk State Technical University

Realization of Diagnostic and Efficient Biomonitoring of Territories with Potentially Dangerous Objects

The creation and application of ecological identification ranges for biomonitoring territories with potentially chemically dangerous objects are described. Only in conditions of a range it is possible to estimate influence of small and ultra low doses of polluting substances on bioobjects and to define dependences “doze-effect” and “time-reaction”. Schemes of carrying out the diagnostic and operative biomonitoring, measurements schedule condition change, extreme situations forecast and further decision-making are given. The estimation of the object influence on environment by comparison of bioobject under investigation with standards received on ranges is shown.

Keywords: diagnostic and operative biomonitoring, identification ecological range, database, specific background content, calculation of bioobject parameters, potentially chemically dangerous object

Получено 05.05.10