

## Некоторые проблемы функционирования систем биологического мониторинга вокруг объектов по уничтожению химического оружия

© 2008. Г.В. Шляхтин, Е.В. Завьялов, Т.В. Перевозникова  
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,  
e-mail: biofac@sgu.ru

Рассматриваются ключевые проблемы внедрения и функционирования систем биологического мониторинга вокруг объектов по уничтожению химического оружия на примере терминала в Саратовской области. На основе опыта эксплуатации системы многоуровневого мониторинга биоты обосновывается принципиальная схема организации подобных систем на других предприятиях по уничтожению химического оружия.

Key problems of biological monitoring systems introduction and functioning in the vicinity of chemical weapon neutralization objects are considered by the example of the terminal at the settlement Gornyi (Saratov region). The principal organization scheme of similar systems at other chemical weapon neutralization enterprises is proven on the basis of our experience of multilevel biota monitoring system operation.

Ключевые слова: многоуровневый биомониторинг, объект пос. Горный Саратовской области

Строительство и функционирование промышленных предприятий, таких как объекты по уничтожению химического оружия (ОУХО), представляют потенциальную экологическую опасность. Основопологающим фактором безопасного уничтожения химического оружия (УХО) является экологический мониторинг. Его многоуровневая система на территориях вокруг ОУХО включает концепцию биологического мониторинга (БМ). Внедрение системы БМ представляет собой важное диагностическое звено по обеспечению экологической безопасности районов расположения ОУХО, а также по минимизации отрицательных воздействий, возникающих в процессе УХО и в последующие после уничтожения периоды. В связи с этим актуальное теоретическое и практическое значение имеет анализ опыта и проблем эксплуатации системы БМ вокруг первого в Российской Федерации ОУХО, расположенного в пос. Горный Саратовской области.

ОУХО в пос. Горный функционирует с 2002 г. Он был построен в соответствии с Конвенцией о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении. К декабрю 2005 г. были уничтожены все запасы иприта и люизита, хранящиеся на его территории, что составило около 3% от общего объема запасов российского химоружия. В настоящее время работа терминала в Саратовской области продлена до 2012 г. с целью уничтожения реакционных масс, получаемых в результате детоксикации люизита на ОУХО в г. Камбарке (Постановление Правительства РФ от 24.10.2005 г.

№ 639 «О внесении изменений в федеральную целевую программу «Уничтожение запасов химического оружия в РФ»). На основе биомониторинговых исследований, выполненных в 2002 – 2007 гг. специалистами Саратовского госуниверситета, обоснована и внедрена в эксплуатацию локальная система мониторинга биоты вокруг ОУХО в п. Горный.

Наиболее актуальной проблемой при подготовке биомониторинговых наблюдений вокруг ОУХО в пос. Горный стала достоверная недостаточность использования системного подхода к организации БМ вокруг предприятий данного целевого назначения. В доступной литературе главным образом освещались общие подходы к проектированию систем экологического мониторинга вокруг промышленных предприятий [1 – 2]. Опыт организации комплексного экологического мониторинга в районах производства химического оружия представлен в работах [3 – 5]. При формировании системы БМ вокруг ОУХО в Саратовской области ключевой задачей было выбрано формирование комплексного подхода к оценке состояния биоты, который объединял бы разнонаправленные биомониторинговые мероприятия. При этом комплексная оценка состояния биологических переменных должна основываться на информации, получаемой по разным подходам и методам, выявляющим состояние живого на различных уровнях организации – от биохимического до экосистемного.

Разработка системы БМ вокруг терминала в пос. Горный включала решение следующих самостоятельных проблем.

1. Определение принципов, структуры, основных этапов и объектов БМ.

2. Анализ основных форм лимитирующих и элиминирующих факторов, определяющих динамику состояния биоты района расположения ОУХО.

3. Обоснование и выбор индикаторных показателей состояния экосистем, а также репрезентативных методов БМ с использованием организменного, видового, популяционного и биоценотического подходов.

4. Инвентаризация и оценка современного фонового состояния растительного и животного мира района расположения ОУХО, особенно популяций редких, исчезающих и уязвимых видов, определение их природоохранного статуса.

5. Разработка и обоснование критериев качества окружающей среды по биологическим показателям.

6. Оценка состояния биоты по разным подходам и методам, а также определение путей по минимизации возможного ущерба биологическому разнообразию и редким видам флоры и фауны района расположения ОУХО.

Учитывая социальную и научную значимость обозначенных проблем, был разработан регламент многоуровневой системы БМ вокруг

ОУХО в Саратовской области, согласно которому проводилось её внедрение. Предложен двухкомпонентный территориальный охват системы мониторинга биоты. Во-первых, мониторинг проводился в непосредственной близости от объекта, во-вторых, наблюдения были приурочены к территории зоны защитных мероприятий (ЗЗМ), протяжённость которой составляет 5 – 7 км вокруг промышленной площадки с общей площадью около 50 км<sup>2</sup> (посёлки Горный, Октябрьский, Михайловский-4 и Б. Сакма, а также в местах водопользования – реки Б. Иргиз и Сакма). Полевые исследования на сопредельных с ОУХО территориях относились к трём уровням контроля: наблюдения за флорой и фауной на стационарных пунктах, использование подвижных средств регистрации состояния растительного и животного мира, а также мероприятия по биотестированию и биоиндикации.

На различных этапах исследований средствами оперативного и стационарного мониторинга осуществлялось регулярное (в пределах сезонных аспектов) слежение за биологическими переменными (выделение и характеристика основных типов сообществ, изучение биоразнообразия ЗЗМ, картографирование и описание динамических процессов

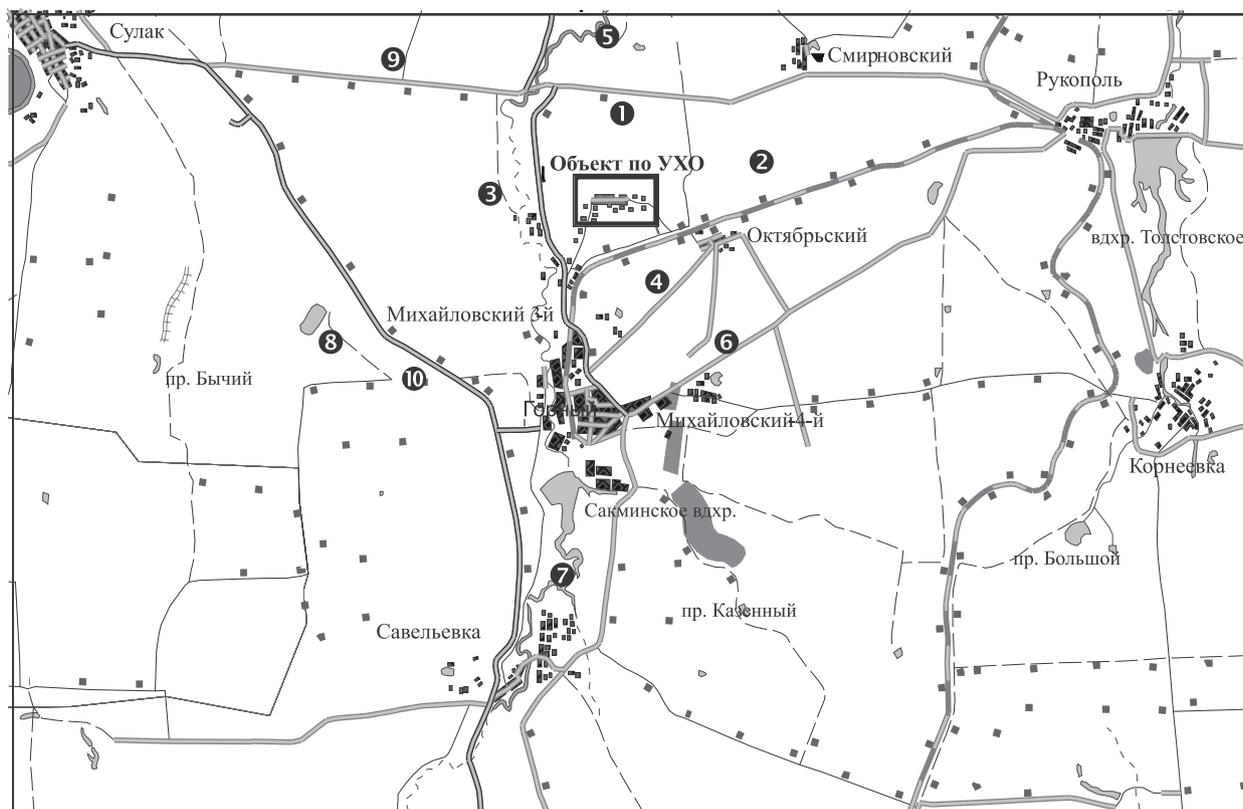


Рис. 1. Места расположения стационарных площадок вокруг ОУХО

(1, 3, 4, 6 и 9 – пастбищные участки на различных сукцессионных стадиях; 2 – целинная степь; 5 – лугово-степной участок; 7 – пойма р. Сакмы; 8 – агроценозы; 10 – полезащитные насаждения)

флоры и фауны, выявление наиболее уязвимых и чувствительных видов (биоиндикаторов) флоры и фауны к техногенному загрязнению, анализ показателей продуктивности продуцентов и консументов наземных экосистем).

Кратность экспедиционных выездов в район исследования составила в среднем через каждые 20 дней в весенне-осеннее время, в зимний период – 1 раз в месяц. Учёты на маршрутах проводились с использованием общепринятых методик, разработанных для различных таксономических групп растений и животных. С учётом основных типов растительности, розы ветров и приуроченности точек химического пробоотбора заложено 10 модельных площадей, а также ряд дополнительных учётных площадок и мест сбора биообъектов, которые выбирались в зависимости от цели исследования (рис. 1).

Заключение о состоянии экосистем района расположения ОУХО ежегодно дополнялось на основе использования интегральной методики оценки среды по показателям морфогенетического, цитогенетического и иммунологического гомеостаза организмов [6, 7]. При этом использовались 4 вида рыб, 1 вид амфибий и 2 вида млекопитающих. Отбор животных проводился в 4 точках (центр пос. Горный; р. Сакма в центре посёлка; около границы с ОУХО; р. Сакма у развилки на ст. Рукополь). Условно контрольные точки для наземных и водных экосистем находились в 25 км от пос. Горный.

В качестве показателя морфогенетического гомеостаза принята величина флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических структур, которая оценивалась по абсолютному и относительному различию между сторонами. Цитогенетический гомеостаз организмов определялся на основе учёта частоты хромосомных aberrаций и микроядер в клетках красного костного мозга. Общая оценка иммунологического гомеостаза получена при исследовании клеточного состава периферической крови модельных видов, а также с помощью метода розеткообразования с теофиллином [6].

Комплексные мониторинговые исследования, выполненные в 2002 – 2007 гг. вокруг ОУХО в пос. Горный Саратовской области, позволили получить заключение об экологическом состоянии биологических компонентов наземных и водных экосистем [8 – 10]. В результате было объективно сформировано мнение о том, что состояние сопредельных с терминалом природных комплексов имеет динамический характер и региональные чер-

ты, определяющиеся совокупностью абиотических и биотических переменных, а также антропогенным воздействием, не связанным со спецификой функционирования ОУХО. Экологическая ситуация вблизи границ терминала является удовлетворительной, дестабилизирующее воздействие на экосистемы ЗЗМ могут оказывать предприятия балаковского промышленного узла, инфраструктуры пос. Горный, а также расширение площадей агроценозов и пастбищная дигрессия.

Важным результатом функционирования системы БМ является научное обоснование принципиальной схемы мониторинга биоты вокруг ОУХО. Предлагаемая схема отражает комплексный характер и последовательность этапов биомониторинговых работ применительно к специфике функционирования предприятия по УХО и может быть рекомендована к использованию на других объектах. Алгоритм БМ объединяет несколько этапов: подготовительный, этап апробации и внедрения, анализа результатов мониторинга, контроля, корректировки и оптимизации системы, этап управления качеством среды и принятия управленческих решений (рис. 2).

На подготовительном этапе проводится определение биоиндикаторных и биомаркерных показателей состояния экосистем вокруг ОУХО. В состав биоиндикаторов включаются виды растений и животных, соответствующие требованиям, предъявляемым к тест-объектам и являющиеся фоновыми в районах расположения ОУХО. При создании системы определяются критерии качества окружающей природной среды по биологическим показателям для конкретного региона. Критерии качества, предлагаемые для использования в биологическом мониторинге, должны относиться к различным уровням организации живых систем – цитогенетическому, организменному, популяционному и экосистемному.

Учитывая расположение основных типов растительности, геотехнических систем и мест химического пробоотбора, в районе расположения ОУХО разрабатывается система стационарных площадок и маршрутов. Проводится их картирование и маркирование для долговременного использования. Затем определяются периодичность и сроки выполнения биомониторинговых работ. Этап апробации и внедрения регламента мониторинга биоты заключается в постоянном круглогодичном слежении за состоянием растительного и животного мира средствами оперативного и стационарного мониторинга. Главной тенденцией

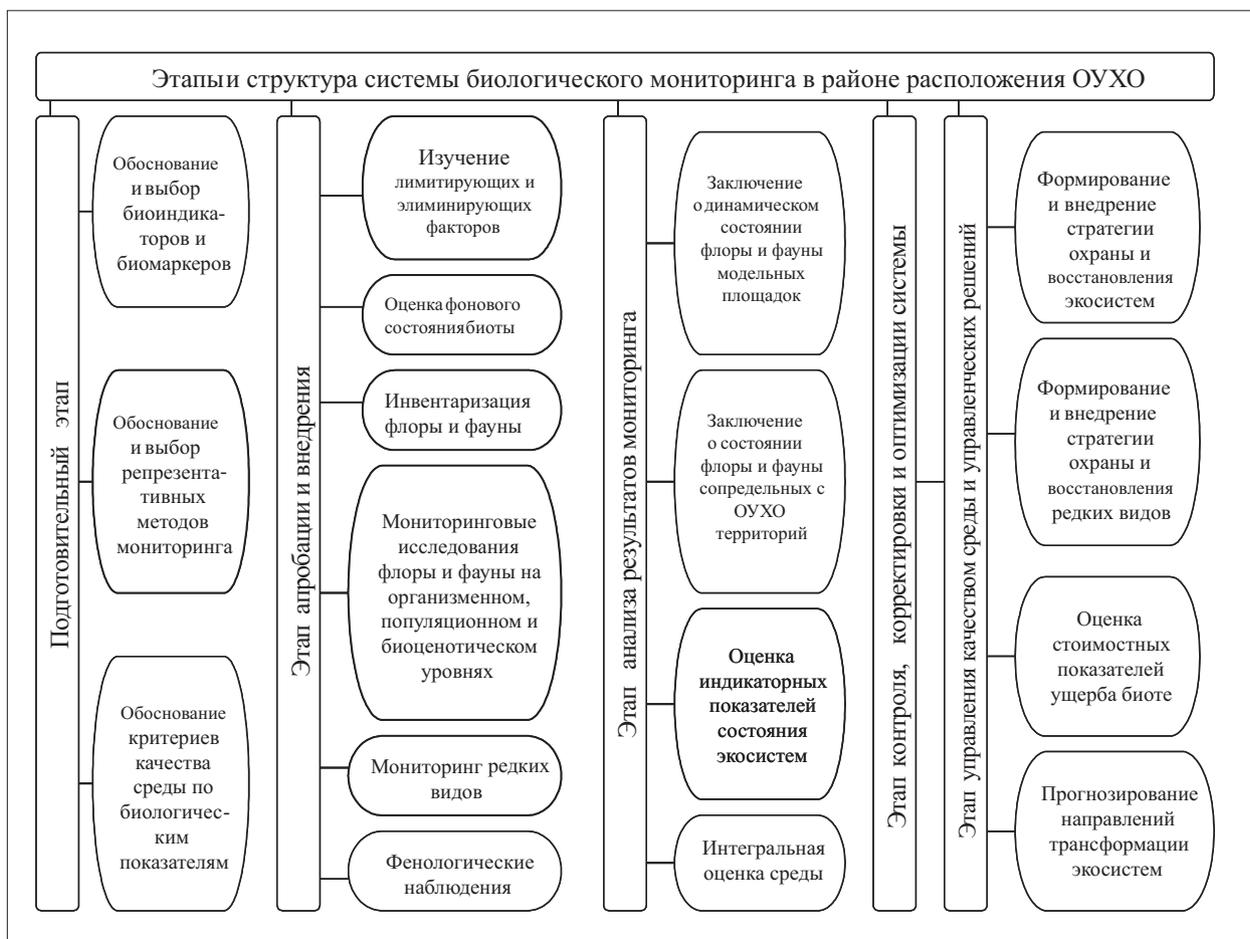


Рис. 2. Принципиальная схема мониторинга биоты на объектах по УХО

данного этапа является оценка современного фонового состояния растительного и животного мира. При качественном анализе состава флоры оценивается спектр жизненных форм, эндемизм и степень синантропизации. Изучение фауны предполагает определение фаунистических типов, количества и обилия фоновых и редких видов. Особое место в исследованиях отводится выявлению видов животных и растений, занесённых в Красные книги различного ранга.

Одновременно с определением основных типов растительных сообществ анализируются показатели динамики биомассы растительности модельных площадок. Оценивается также динамика зооценозов, в том числе колебания численности фоновых видов животных и особенности образования вторичной продукции в различные периоды наблюдений. Важным компонентом исследовательской деятельности на данном этапе является отбор проб растений и животного материала для последующего анализа содержания в них загрязнителей. Отбор биопроб производится в тех же точках, где отбираются почва, вода и воздух, а также учитывается видовая территори-

альная представительность биообъектов и их транслокационная способность к загрязняющим веществам. На этапе апробации и внедрения целесообразно использовать комплексные тест-системы, в том числе интегральную оценку здоровья среды [6, 7].

Следующий этап биомониторинговых наблюдений является полностью аналитическим. Данные, полученные при реализации предыдущих этапов, предполагают основу для описания состава и структуры фито- и зооценозов, построения индексов, характеризующих видовое разнообразие, полового и возрастного состава популяций, анализа индикаторных показателей состояния экосистем и т. д. Результаты комплексных биомониторинговых работ, выполненных с помощью различных методик на модельных площадках и на сопредельных территориях, способствуют получению интегральной оценки состояния природных комплексов района расположения ОУХО.

Контроль, корректировка и оптимизация алгоритма БМ охватывают все направления биомониторинговых работ. Например, дорабатываются методики унифицированного

описания фенологических процессов, с помощью статистических методов определяются временные границы сезонных аспектов жизнедеятельности растительных и животных сообществ, в пределах которых проводится дальнейшее описание динамических процессов в экосистемах.

Этап управления качеством природной среды заключается в принятии и реализации управленческих решений с учётом информации, полученной на основе анализа результатов БМ. Кроме того, данный этап работ должен закладывать основу для прогнозирования динамики биологических показателей в период функционирования ОУХО и в последующий после УХО период. Используя параметры, характеризующие состав и структурные особенности растительных и животных сообществ, исторические сведения о функционировании биоценозов в прошлом, а также опираясь на сведения о современных динамических процессах в популяциях, формируется модель наиболее вероятного развития биоты. При этом рассматриваются варианты естественной трансформации экосистем и ожидаемые изменения при различной интенсивности воздействия контролируемых факторов, вплоть до последствий техногенной катастрофы. Нормативные документы, основанные на данных о биоразнообразии исследованных территорий и характере антропогенного вмешательства, представляют собой предварительные материалы для определения стоимостных показателей ущерба растительному и животному миру, который может быть нанесен в процессе строительства и функционирования ОУХО.

Результаты мониторинга биоты на сопредельных с ОУХО территориях актуализировали проблему сохранения и восстановления нарушенных человеческой деятельностью экосистем, и особенно редких и исчезающих видов флоры и фауны. С целью определения путей минимизации возможного ущерба в результате штатного и внештатного функционирования в систему БМ должна быть включена стратегия охраны и восстановления экосистем и их разнообразия. Важно, чтобы охраняемые и восстановительные мероприятия на сопредельных с ОУХО территориях начинались с биоремедиации, технической и биологической рекультивации, специализированной территориальной охраны, лесовосстановительных работ и озеленения.

Таким образом, современный этап биомониторинговых исследований на территории вокруг ОУХО в Саратовской области предполагает решение задач по оптимизации входящей разработанной системы БМ в единую систему государственного экологического мониторинга, а также по внедрению современных высокотехнологичных биологических подходов и ГИС-технологий.

### Литература

1. Захаров В.Ю. Концепция биомониторинга как составной части комплексного экологического мониторинга // Экологический мониторинг. Москва – Ижевск: Инст. компьютер. исследований, 2002. С. 42-54.
2. Стрельцов А.Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга: Изд. Калужск. ЦНТИ, 2003. 158 с.
3. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения в зонах химического оружия. Киров, Вятка, 2002. 544 с.
4. Холстов В.И., Тарасевич Ю.В., Григорьев С.Г. Пути решения проблемы безопасности объектов по уничтожению химического оружия // Российский химический журнал. 1995. Т. XXXIX. № 4. С. 65-72.
5. Шкодич П.Е., Желтобрюхов В.Ф., Клаучек В.В. Эколого-гигиенические проблемы уничтожения химического оружия. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2004. 236 с.
6. 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. 68 с.
7. Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г. Здоровье среды: практика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 320 с.
8. Перевозникова Т.В. Система биологического мониторинга вокруг объектов по уничтожению химического оружия (на примере терминала в пос. Горный Саратовской области): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2007. 19 с.
9. Шляхтин Г.В., Завьялов Е.В., Перевозникова Т.В. Опыт эксплуатации системы биологического мониторинга на объекте по уничтожению химического оружия в Саратовской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2007. Т. 9. № 1. С. 259-262.
10. Шляхтин Г.В., Завьялов Е.В., Перевозникова Т.В. Некоторые аспекты функционирования системы производственного биологического мониторинга на объекте по уничтожению химического оружия в Саратовской области // Мониторинг природных экосистем в зонах защитных мероприятий объектов по уничтожению химического оружия. Пенза: РИО ПГСХА, 2007. Ч. 1. С. 196-203.