

**Система экологического мониторинга объектов
уничтожения химического оружия.
Опыт эксплуатации и основные направления развития**

© 2010. В.Н. Чупис, д.ф.-м.н., директор,
Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии,
e-mail: vit@sar-ecoinst.org

В Российской Федерации создана уникальная полномасштабная система государственного экологического контроля и мониторинга объектов хранения и объектов уничтожения химического оружия. К настоящему моменту накоплен более чем десятилетний опыт создания и эксплуатации системы. В статье рассматриваются научно-методические принципы создания и структура СГЭЖиМ, анализируются перспективы её дальнейшего развития.

A unique full-scale system of state ecological control and monitoring of chemical weapons storing and decommission plants has been worked out in the Russian Federation. By this time our experience of constructing and operating the system is over ten years old. The article deals with scientific-methodological principles of constructing and the structure of state ecological control and monitoring system and analyzes the ways of its development.

Ключевые слова: концепция экологического мониторинга,
оптимизация структуры и методического обеспечения СГЭЖиМ, химический,
токсикологический и биологический мониторинг

Key words: ecological monitoring conception,
structure and methodology optimization

Развитие современной промышленности приводит к нарастанию загрязнения окружающей среды, при этом в оборот вовлекаются все новые виды загрязнителей, обладающих повышенной опасностью для окружающей среды и здоровья человека. В настоящее время это мировая тенденция. Устойчивое развитие промышленности невозможно без создания систем, обеспечивающих наблюдение за безопасным функционированием опасных промышленных объектов и состоянием окружающей среды (ОС), в современной постановке вопроса – без систем экологического мониторинга. Такая постановка задачи отвечает классической концепции экологического мониторинга – информационной системы наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии ОС с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов. Система экологического мониторинга должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию:

- о состоянии окружающей среды;
- о причинах наблюдаемых и вероятных изменений состояния (т. е. об источниках и факторах воздействия);
- о допустимости изменений и нагрузок на компоненты природной среды (ПС) в целом;

– о существующих резервах биосферы.

В целом создание и практическая реализация концепции экологического мониторинга представляет собой крупную научную и практическую проблему, перспектива развития которой обусловлена переходом к управлению качеством работы промышленных объектов и качеством окружающей среды. Потребность в таком подходе актуальна для технически сложных промышленных объектов, вовлекающих в производственный оборот новые вещества и соединения с малоизученным влиянием на биоценозы. Именно к такому типу промышленных объектов относятся объекты уничтожения химического оружия (УХО), для которых в силу необходимости решения сложных проблем обеспечения экологически безопасного уничтожения ОВ актуальной задачей является получение максимально полной информации об их воздействии на окружающую среду. Эта особенность проблемы не позволяет ограничиться только экоаналитическими исследованиями и обуславливает использование комплексного подхода, основанного на сочетании химико-аналитических и биологических методов исследования состояния природной среды. Такая постановка задачи предоставляет уникальную возмож-

ность не только сформулировать принципы комплексного экологического мониторинга, но и обеспечить их практическую апробацию применительно к объектам по хранению и уничтожению химического оружия. В данном случае применительно к проблеме УХО уровень стоящих задач позволил, возможно, впервые в Российской Федерации, реализовать технологии исследований и обработки информации, характерные для современных систем экологического мониторинга.

Решающую роль в этом процессе играет развитие современной концепции мониторинга, интеграция различных видов мониторинга. Основное требование к проектируемым системам мониторинга состоит в обеспечении требуемой достоверности контроля (вероятности обнаружения) загрязняющих веществ в зонах техногенного влияния объектов, выявления объективной (выраженной в количественных показателях) оценки состояния окружающей среды. Это отражает современную тенденцию развития понятия мониторинга – от пассивной системы наблюдений за состоянием объекта (окружающей среды) к модельному исследованию состояния ОС, сочетающему систему наблюдений (измерений, анализов) с прогностической моделью взаимодействия объект – окружающая среда.

По существу, мониторинг представляет собой научно обоснованную и специальным образом спроектированную систему наблюдений, позволяющую с высокой достоверностью оценивать уровни загрязнения объектов окружающей среды. Экологический мониторинг – высокотехнологичная, в современной терминологии – интеллектуальная система, допускающая оптимизацию и позволяющая при минимуме привлекаемых средств производить максимально полную и достоверную информацию о состоянии окружающей среды.

Важное значение при организации экологического мониторинга отводится методам биомониторинга. Биологический мониторинг в соответствии со своим названием, целями и задачами предполагает наблюдение за биологическими системами в целом. Это означает проведение наблюдения как за биотопами, так и за биоценозами как составными частями любой экосистемы. Методы биотестирования значительно дешевле и чувствительнее химических методов анализа; с их помощью можно оценить синергическое действие токсикантов и биологические эффекты сверхмалых концентраций. Это принципиально важно при развитии системы экологического монито-

ринга объектов по уничтожению химического оружия. Другой важный аспект заключается в возможности прямой проверки токсичности компонентов природной среды (ПС) для биообъектов при проведении исследований в санитарно-защитных зонах (СЗЗ) и зонах защитных мероприятий (ЗЗМ) объектов УХО.

Необходимость создания эффективной системы экологического контроля и мониторинга как на объекте УХО, так и в обширной зоне потенциального воздействия особо опасных химических веществ, относящихся к классу супертоксикантов, поставили практическую задачу реализации в максимально возможной полноте современной концепции комплексного экологического мониторинга, привлечения для этих целей передового отечественного и зарубежного опыта и дальнейшего развития этих принципов для целей экологически безопасного уничтожения химического оружия в Российской Федерации.

Именно эти условия были положены в основу системы государственного экологического контроля и мониторинга (СГЭКиМ), работы по созданию которой в период с 2001-го по 2005 г. совместно с учёными и специалистами регионов проводил НИИ промышленной экологии. За этот период в регионах, на территории которых расположены арсеналы химического оружия, созданы и прошли государственную аккредитацию специализированные региональные центры СГЭКиМ, имеющие в своём составе современные, не уступающие лучшим зарубежным образцам лабораторные комплексы (всего для целей государственного контроля и мониторинга создана 21 химическая, биологическая и экотоксикологическая лаборатория), подобраны и обучены специалисты, проведены исследования по фоновому состоянию окружающей среды в районах расположения заводов.

Созданная СГЭКиМ обеспечивает контроль безопасности объектов УХО со стороны специально уполномоченных органов государственной исполнительной власти (в настоящее время – Ростехнадзор, Росприроднадзор, Росгидромета), а также администраций регионов и других органов, в чьём ведении находятся вопросы безопасного уничтожения химического оружия.

В состав СГЭКиМ также входит Федеральный информационный центр по проблемам обеспечения экологической безопасности, государственного экологического контроля и мониторинга окружающей среды при хранении, перевозке и уничтожении химического оружия, созданный для осуществления ин-

формационного обмена между подразделениями системы государственного экологического контроля и мониторинга, объектами УХО и контролирующими органами, в т. ч. для анализа и систематизации информации, обеспечивающих оценку и долгосрочный прогноз воздействия объектов УХО на окружающую среду. Структурная схема СГЭКиМ приведена на рисунке 1.

В соответствии с принятой методологией мониторинга объектов УХО анализ отобранных проб проводится по аттестованным методикам на биообъектах одновременно с проведением количественного химического анализа.

Биологические исследования должны проводиться по совокупности универсальных биотестов и биоиндикаторов (выбранных представительных биологических объектов), и при обнаружении экотоксичности анализи-

руемых проб (почвы, воды, атмосферного воздуха) проводится детальный количественный химический анализ с целью идентификации загрязняющих веществ (по полному для данного объекта перечню ЗВ).

В соответствии с требованиями действующих нормативных документов СГЭКиМ включает в себя две основные функциональные подсистемы:

- подсистему контроля соблюдения объектами УХО установленных экологических нормативов;
- подсистему экологического мониторинга состояния компонентов ПС за пределами объектов УХО в их СЗЗ и ЗЗМ.

СГЭКиМ обеспечивает комплексный анализ ЗВ на объекте УХО и в объектах ОС в СЗЗ и ЗЗМ, включающий экоаналитические исследования и проведение прямых

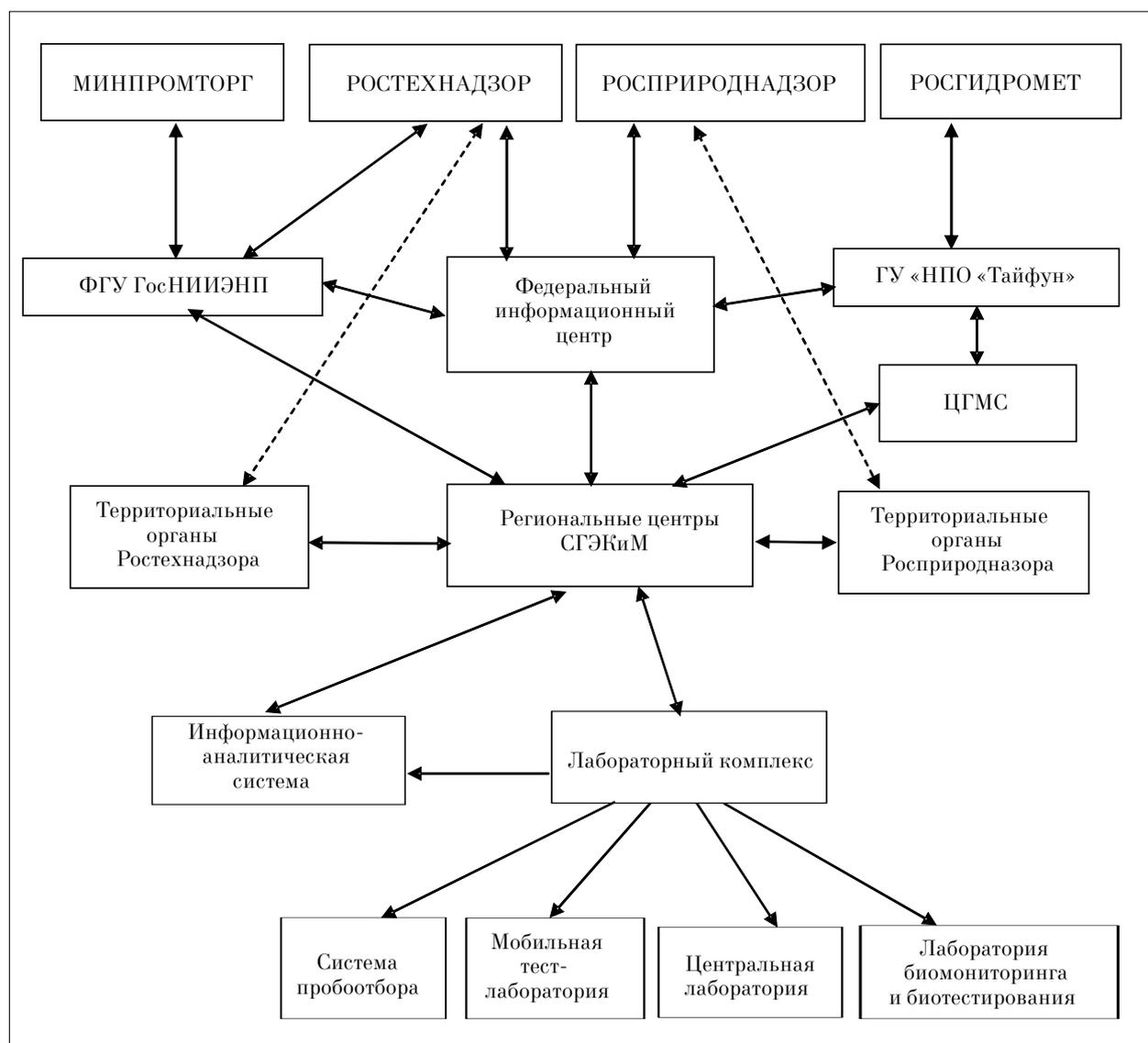


Рис. 1. Структурная схема системы государственного экологического контроля и мониторинга

токсикологических испытаний объектов ОС на стандартных тест-объектах по аттестованным методикам.

В состав каждого РЦ СГЭКиМ входят:

- центральная аналитическая лаборатория по контролю экологических нормативов на объектах УХО и мониторингу природных объектов в санитарно-защитных зонах и зонах защитных мероприятий (ОВ и продуктов их деструкции, специфических и общепромышленных веществ);
- лаборатория биомониторинга и биотестирования для количественной оценки токсичности объектов природной среды, а также отходов, образующихся при функционировании объектов УХО;
- мобильная система пробоотбора (для отбора проб на объектах и доставки их в центральную аналитическую лабораторию и лабораторию биомониторинга и биотестирования);
- информационный центр, включающий информационно-аналитическую компьютерную систему, предназначенную для отображения и анализа информации, исследования процессов накопления и распространения загрязняющих веществ в объектах окружающей среды, оценки статистической достоверности результатов мониторинга);
- рабочие терминалы РЦ СГЭКиМ, установленные в территориальных органах Росприроднадзора, Ростехнадзора и Росгидромета, а также в административных органах региона.

Все лабораторные комплексы РЦ СГЭКиМ прошли государственную аккредитацию на выполнение работ по контролю и мониторингу специфических (ОВ и продукты их деструкции) и общепромышленных загрязняющих веществ, в настоящее время уполномоченным органом Ростехрегулирования (ГНТЦ «Инверсия») проводится регулярный инспекционный контроль их деятельности и расширение области аккредитации. Во всех регионах проведён фоновый мониторинг для оценки исходного состояния окружающей среды на объектах УХО, а также на территории санитарно-защитных зон и зон защитных мероприятий.

Особенность предложенной и апробированной структуры экоаналитического контроля состоит в организации двухуровневой системы анализа проб, при котором первичный экоаналитический контроль проводится по минимальному числу характерных групп

повых признаков (маркеров) с последующим детальным анализом пробы в условиях укомплектованной высокоточным оборудованием стационарной лаборатории.

Работа тест-лаборатории, расположенной в ближайшем к объекту населённом пункте (или на мобильной лаборатории), включена в общую схему мониторинга, т. к. при обнаружении в пробах признаков наличия контролируемых специфических загрязнителей эти пробы должны передаваться для дальнейшего анализа в центральную лабораторию. Главная задача тест-лаборатории – определение наличия загрязнителей в воздухе, почве и воде не только в окрестностях объекта, но и на территории расположенных в пределах ЗЗМ населённых пунктов, в интересах местного населения. Это должно способствовать снижению социальной напряжённости, поскольку объекты УХО расположены в визуальной близости, фактически в 2-3-х километрах от заселённой зоны.

Система экологического мониторинга ОС должна обеспечивать возможности получения достоверной информации в условиях наличия большого количества случайных факторов, влияющих на распространение загрязняющих веществ (специфических и общепромышленных) в объектах природных сред (воздух, вода, почва). В данном случае важно определить оптимальную стратегию мониторинга, основанную на сочетании модельного аналитического подхода с обоснованными показателями приборного (экоаналитического) контроля (периодичности, плотности, привязки к местности), а также количество и состав средств контроля.

Основное требование к СГЭКиМ – получение максимально достоверной информации при минимуме проведенных наблюдений (измерений, анализов) предусматривает выполнение следующих условий:

- наличие репрезентативной (представительной) системы пробоотбора, достаточной для достоверного определения загрязняющих веществ в компонентах ПС (основные требования к системе пробоотбора изложены далее);
- регулярность и комплексность наблюдений (согласованность сроков проведения пробоотбора и анализов ЗВ в различных средах с учётом результатов моделирования рассеивания и распространения ЗВ в компонентах ПС);
- согласованность организации наблюдений и сроков отбора проб на источниках ЗВ на территории объекта и в компонентах ПС в установленной в СЗЗ и ЗЗМ системе

пробоотбора, которые являются основой при разработке регламента функционирования СГЭКиМ;

– проведение перед вводом в эксплуатацию СГЭКиМ исходного (фоновое) мониторинга по всем подлежащим контролю веществам и параметрам. Результаты исходного мониторинга согласовываются Росгидрометом и являются основой для оценки влияния объекта УХО на окружающую среду в течение всего времени функционирования СГЭКиМ.

Регламент функционирования СГЭКиМ основан на сочетании модельного аналитического подхода с замерами химических и физических характеристик источников ЗВ на территории (промплощадке) Объекта и исследования распределения концентраций ЗВ в компонентах ПС в СЗЗ и ЗЗМ (рис. 2). При проведении мониторинга окружающей среды в СЗЗ и ЗЗМ регламент мониторинга предусматривает предварительное определение зоны проведения наблюдений по результатам замеров на источниках загрязняющих веществ (или анализа воздушной среды на границе СЗЗ) с последующим расчётом рассеивания ЗВ и определением максимально вероятной зоны обнаружения загрязняющих веществ, рассеянных в окружающей среде. Установленная периодичность проведения сеансов пробоотбора и реализации алгоритма мониторинга составляет от 1 недели до 1 месяца, что обеспечивает высокую достоверность работы системы.

В состав лабораторного комплекса СГЭКиМ входят лаборатории биомониторинга и биотестирования, позволяющие вести наблюдения за токсичностью компонентов ПС в районе расположения объекта УХО. Принципиально важно, что входящий в состав системы комплексного мониторинга объекта биологический мониторинг позволяет дать оценку токсичности комплекса загрязняющих веществ, включая итоги трансформации и химических взаимодействий специфических и общепромышленных загрязняющих веществ при попадании их в окружающую среду. Фактически это наиболее перспективная и технически просто реализуемая технология экологического мониторинга, позволяющая проводить прямой анализ качества окружающей среды в СЗЗ и ЗЗМ объекта.

Токсичность определяется по наиболее чувствительному тест-организму. Использование нескольких тест-организмов существенно повышает точность проводимых исследований качества природных

сред. Методики, применяемые в лабораториях биомониторинга и биотестирования СГЭКиМ, метрологически аттестованы и допущены для целей государственного экологического контроля. Комплекс методик биотестирования позволяет проводить экспресс-оценку состояния окружающей среды, что имеет принципиальное значение при экологическом мониторинге объектов хранения и уничтожения химического оружия.

Реализованная в лабораториях СГЭКиМ многокомпонентная система биотестирования состоит из тест-организмов, относящихся к разным систематическим группам (микроорганизмы, растения, животные). Комплекс биологических и токсиколого-гигиенических исследований СГЭКиМ включает следующие направления:

- оценка токсичности методами биотестирования позволяет изучать токсичность природных сред на нескольких тест-объектах, относящихся к разным систематическим группам (микроорганизмы, низшие растения, беспозвоночные животные);
- оценка генотоксичности по ядрышково-му тесту и по хромосомным aberrациям;
- оценка острой и подострой (в месячном опыте) токсичности экстракта при пероральном введении на мышах.

Современными, надежными, оперативными и достаточно простыми методами оценки загрязнения окружающей среды и токсичности продуктов деструкции химических отравляющих веществ объектов УХО могут стать проходящие апробацию методы, основанные на измерении гематологических, биохимических и иммунологических показателей отдельных представительных видов мелких грызунов. Среди них особую значимость имеют показатели антиоксидантной системы – перекисного окисления белков и липидов, показатели энергетического обмена, белковообразующей и выделительной функции печени и почек, иммунной системы. Важнейшим аргументом в пользу этих методов является то, что скорость размножения и процессы метаболизма у мышей и крыс в десятки раз выше, чем у человека. Это позволяет делать достаточно быстро достоверные долгосрочные прогнозы по влиянию загрязняющих веществ в системах «токсикант – окружающая среда», «токсикант – живой организм», «доза – ответная реакция» для проведения природоохранных мер.

Схема проведения комплекса экоаналитических биологических и токсиколого-гигиенических исследований приведена на рис. 3.

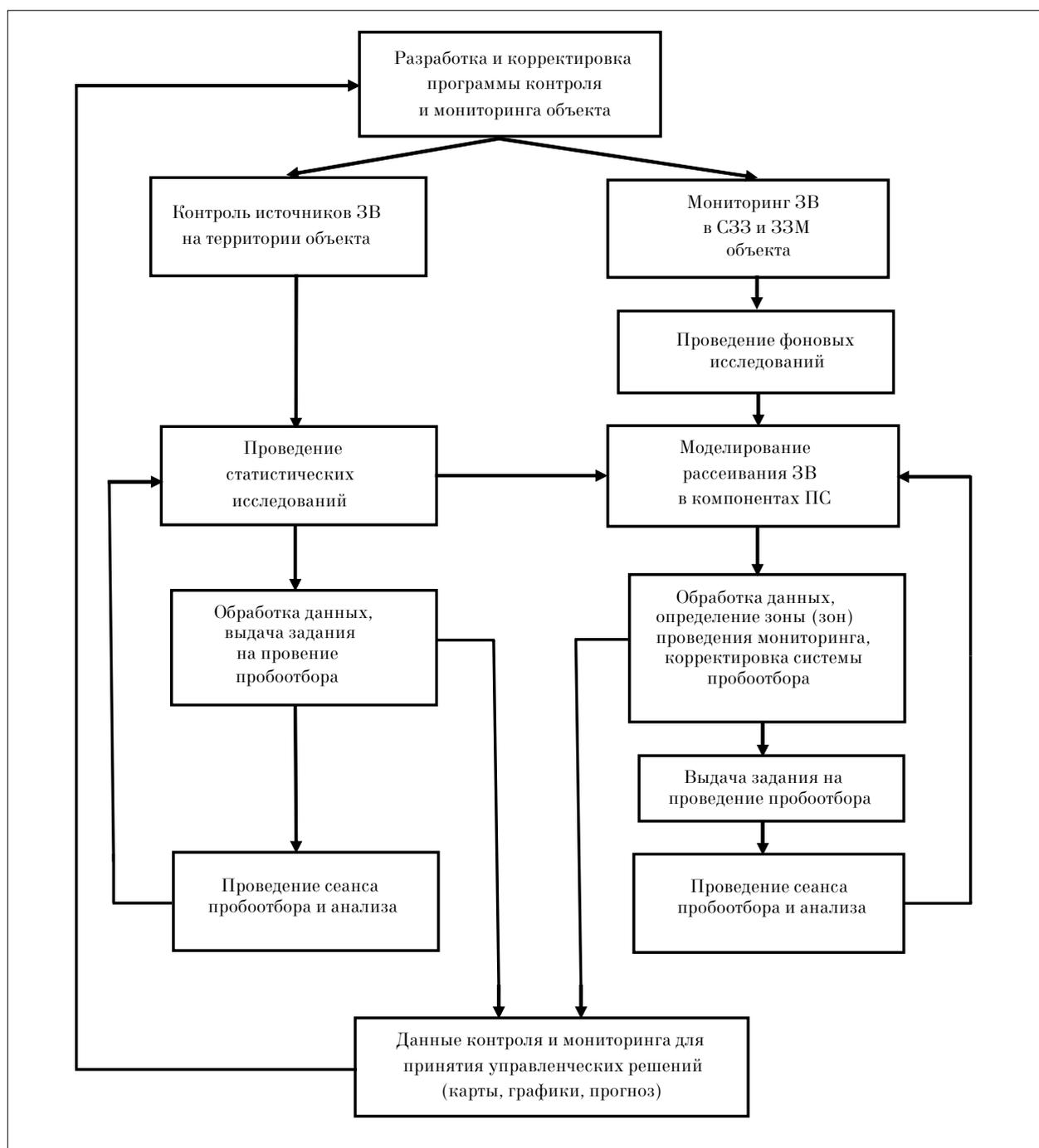


Рис. 2. Алгоритм проведения государственного экологического контроля и мониторинга объектов уничтожения химического оружия

Совмещение химического анализа объектов природной среды с токсикологическими испытаниями обеспечивает достоверную оценку работы объекта УХО. Этот эффективный, но, конечно, дорогостоящий метод впервые в таком масштабе реализован именно для объектов УХО, учитывая их социальное значение и международный характер проблемы уничтожения запасов химического оружия.

В 2008 г. региональными центрами начаты работы в области мониторинга жи-

вотного и растительного мира в зонах техногенного влияния опасных промышленных объектов.

В 2007 – 2009 гг. для обеспечения работ в области мониторинга животного и растительного мира на базе РЦ СГЭКиМ Пензенской и Курганской областей созданы две межрегиональные лаборатории: лаборатория экотоксикологии и лаборатория общей токсикологии, проводящие анализ опасных веществ и отходов, а также состояния объектов животного

мира по ряду биохимических и токсикологических показателей.

Это подводит значительный итог работы института и коллективов региональных центров: в чрезвычайно сжатые сроки создан один из главных инструментов обеспечения безопасного процесса уничтожения химического оружия в Российской Федерации. Это фактически открытая, «прозрачная» часть системы обеспечения безопасности объекта, дающая объективную информацию о процессе уничтожения химического оружия. В 2008 г. утверждён приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии разработанный ФГУ «ГосНИИЭНП» при участии НПО «Тайфун» Национальный стандарт «Системы экологического контроля и мониторинга. Общие руководящие указания по созданию, внедрению и обеспечению функционирования на объектах по уничтожению химического оружия».

Работа РЦ СГЭКиМ осуществляется на основании согласованных территориальными органами Ростехнадзора, Росгидромета и Росприроднадзора программ проведения регулярного экологического контроля и мониторинга и на основании предписаний территориальных органов Росприроднадзора и Ростехнадзора. Программы устанавливают требования к проведению государственного экологического

контроля на объектах УХО и мониторинга состояния окружающей среды в санитарно-защитных зонах и зонах защитных мероприятий (требования к периодичности пробоотбора, организации химико-аналитических (экоаналитических) измерений, реализации системы наблюдений и применению соответствующих оценочных процедур).

На объектах УХО проводится плановый контроль источников загрязняющих веществ (выбросов, сбросов, технологических вод, отходов и реакционных масс), а также мониторинг основных объектов природной среды (атмосферный воздух, почвенный покров, природная и грунтовая вода, снежный покров). Природная вода, грунтовые воды, снежный покров контролируются по 26 показателям, атмосферный воздух – по 8 показателям, почвенный покров, донные отложения – по 13 показателям. В соответствии с результатами биомониторинга точки, в которых выявлена высокая токсичность, контролируются с более высокой частотностью. Средние валовые показатели объёма проводимых экоаналитических и биологических исследований в рамках экологического контроля и мониторинга объекта УХО составляют 236 точек и объектов контроля, 108 показателей.

В таблице приводятся данные, характеризующие работу СГЭКиМ действующих



Рис. 3. Организация наблюдений за состоянием компонентов природной среды

Таблица

Основные показатели, характеризующие объём работ, выполненных по программе СГЭЖиМ действующих объектов уничтожения химического оружия в РФ

Наименование анализируемого объекта	Количество компонентоопределений по годам								
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Всего
Промвыбросы	–	71	497	109	140	128	211	285	1503
Сточные воды	–	58	298	58	285	401	523	994	2705
Специфические отходы	–	8	60	89	75	85	97	49	558
Атмосферный воздух	5	504	62	462	1673	3186	4315	11995	25189
Природная вода	115	1277	1437	1208	5885	8323	9641	5228	34192
Грунтовая вода	–	–	66	288	3959	3314	3754	3442	15822
Почва	2223	1596	2412	3642	12368	9897	11337	13009	59412
Донные отложения	–	–	574	574	1514	1737	2322	1742	8524
Снежный покров	–	56	168	203	2375	1902	21144	4463	32952
ИТОГО	2343	3570	5574	6633	28274	28973	53344	41207	158990

Примечание: – исследования не проводились.

объектов уничтожения химического оружия за период 2002 – 2009 гг.

В составе каждого РЦ СГЭЖиМ создан информационно-вычислительный комплекс, на базе которого реализуется система управления мониторингом. В автоматическом режиме рассчитываются поля рассеивания загрязняющих веществ и строятся карты, диаграммы, графики, автоматически составляется план проведения исследований во всех режимах, как штатных, так и нештатных. Это обеспечивает оперативное реагирование на любые ситуации, связанные с функционированием объекта УХО. Фактически вся система мониторинга автоматизирована и соответствует современным экологическим требованиям. Информация РЦ СГЭЖиМ о результатах контроля и мониторинга объектов поступает в природоохранные органы и служит основой для оценки их деятельности и принятия управленческих решений.

Организована система информационного обеспечения территориальных органов Ростехнадзора, Росприроднадзора и Росгидромета, где установлены компьютерные терминалы Федерального информационного центра по обеспечению государственного экологического контроля и мониторинга объектов по хранению и уничтожению химического оружия, на которые по согласованным формам поступает текущая и оперативная информация о результатах контроля и мониторинга. Информация передаётся также в виде справок и отчётов о состоянии окружающей среды на объектах УХО, а также в их СЗЗ и ЗЗМ. В центральный аппарат Ростехнадзора регулярно (ежеквартально) передаётся информация в виде обобщённых

отчётов и справок по результатам экологического контроля за деятельностью объектов УХО. В Федеральном управлении по безопасному хранению и уничтожению химического оружия установлен Центральный терминал федерального информационного центра, куда поступает систематизированная информация по результатам функционирования СГЭЖиМ.

Работа центров широко освещается в массовых изданиях – ежемесячно издаются и распространяются бюллетени с информацией о состоянии окружающей среды, ежеквартально выходят специальные выпуски на базе газеты «Известия», ежегодно издаются специализированные выпуски общественно-научного журнала «Теоретическая и прикладная экология», освещающие различные аспекты обеспечения экологической и медико-биологической безопасности процесса уничтожения химического оружия. На страницах данных тематических выпусков специалисты различных служб, контрольных и надзорных органов высказывают своё мнение о том, насколько безопасно работают объекты УХО и о мерах, предпринимаемых по обеспечению их безопасности.

Изложенные выше методические подходы представляют собой основу концепции экологического мониторинга, реализуемого на объектах УХО. Созданная система наблюдений за экологически безопасным функционированием объектов и состоянием окружающей среды представляет собой целостную систему взаимосвязанных показателей, максимально отвечающую как требованиям в области эффективности и достоверности, так и оптимизации структуры мониторинга и привлекаемых материально-технических средств.