

УДК 62.503.54:623.459

## О системе экологических наблюдений за состоянием природной среды в зоне защитных мероприятий объекта хранения и уничтожения химического оружия Щучанского района Курганской области

© 2007. Т.А. Шингаренко, О.М. Плотникова

Региональный центр государственного экологического контроля и мониторинга по Курганской области

Представлен опыт реализации модели экологического мониторинга в районе объекта уничтожения химического оружия Щучанского района. Разработанная модель создаёт базу для оценки и прогноза состояния природных экосистем в условиях многофакторного техногенного воздействия, а система пробоотбора обеспечивает получение достаточных и достоверных данных по всем приоритетным загрязняющим веществам.

The realization of the model of economic monitoring within the zone of the chemical weapon destruction object in the Shchuchansky district is represented. The worked out model serves as a basis for evaluating and prognosis of the state of natural ecological systems in conditions of multiple technogenic impact. The system of sampling provides sufficient and reliable data of all the priority poison substances.

В Щучанском районе Курганской области расположен один из семи российских arsenалов химического оружия (ХО), в котором хранятся снаряды ствольной артиллерии, снаряженные заринном, зоманом и Vx-газом – это более 5 тыс. т фосфорорганических отравляющих веществ (ФОВ), подлежащих уничтожению. Из них около 3 тыс. т зарины (изопропилметилфторфосфоната), 1,8 тыс. т зомана (пинаколилметилфторфосфоната) и 0,7 тыс. т ви-икс (О-изобутил-S-2-(N,N-диэтиламино) этилтиолметилфосфоната) с общей формулой  $(RO)CH_3P(O)X$  (где для зарины и зомана  $X=F$ ,  $R=(CH_3)_2CH$ ,  $(CH_3)_3CCH(CH_3)$ , для VX –  $X=SCH_2CH_2N(CH_2CH_3)_2$ ,  $R=(CH_3)_2CHCH_2$ ). Их уничтожение планируется произвести в период с 2009-го по 2013 г.

В основу организации экологических наблюдений в 2007 г. на территории ЗЗМ арсенала хранения химического оружия (ХХО) положен «Порядок государственного экологического контроля источников загрязнения объекта 1207 ХХО и проведения экологического мониторинга окружающей среды в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий в 2007 году», согласованный со всеми федеральными контролирующими органами Курганской области.

В организации процесса уничтожения химического оружия Щучанского арсенала и всестороннего экологического мониторинга состояния природной среды в единой зоне защитных мероприятий (ЕЗЗМ) объектов хранения, транспортировки и уничтожения ХО имеются особенности, так как ни один другой

аналогичный объект в России не находится в столь сложных и одновременно уникальных экологических условиях. Объект хранения химического оружия (ХХО) и объект уничтожения химического оружия (УХО) в Щучанском районе располагаются на расстоянии 12 км друг от друга и будут соединены железнодорожным путём. В связи с такой удалённостью объектов хранения и уничтожения ХО общая площадь ЕЗЗМ составляет около 750 кв. км, на которой располагается 20 населённых пунктов (в том числе г. Щучье и с. Чумляк) с общей численностью населения свыше 16 тыс. человек. По этой территории проходят оживлённые железнодорожная и автомобильная магистрали Челябинск – Курган.

Щучанский район расположен в лесостепной зоне Западной Сибири. В ЕЗЗМ попадают водная система р. Миасс с притоком р. Чумляк, озёра Никитинское, Пуктыш, Панькино на севере ЕЗЗМ, Наумовское, Петровское в центре и озёра южной части – Песчаное, Фролиха, Нифановское, множество болот, а также Чумлякское месторождение подземных вод.

Особенности рельефа и гидрологической сети обуславливают разнообразие почв и растительности. Преобладающими типами почв являются чернозёмы обыкновенные, выщелоченные, луговые – около 65% и солонцеватые и осолоделые почвы – около 20%. Для почв ЕЗЗМ характерно пониженное содержание гумуса и азота, среднее – калия и фосфора, повышенное – меди и марганца. Механический состав луговато-чернозёмных солонцеватых почв является тяжелосуглинистым и

среднесуглинистым, а механический состав чернозёмов – легкосуглинистый, среднесуглинистый и тяжелосуглинистый.

Территория ЕЗЗМ характеризуется большой мозаичностью и мелкоконтурностью ландшафтов. Основные растительные сообщества этой зоны – берёзовые и осиновые колки, мезофитные, остепнённые и солонцовые луга, луговые степи, осоковые, осоково-разнотравные и высокотравные болота. По данным полевых исследований Н.И. Науменко, в 2003–2005 гг. флора Щучанского района представлена 744 видами сосудистых растений, из которых 623 вида отмечено в границах ЗЗМ, из них аборигенная фракция включает 591 вид в Щучанском районе и на 100 видов меньше на территории ЗЗМ. По разнообразию и составу она оценивается как бедная и нарушенная в сравнении с другими локальными флорами Курганской области.

На состояние природной среды в ЕЗЗМ оказывают влияние:

1. Сельское хозяйство: ранее в хозяйствах района применялись пестициды и агрохимикаты.
2. Челябинский промышленный узел, расположенный в 70–80 км к западу от ОУХО, объём выбросов ЗВ которого в атмосферный воздух в 2,5 раза превышает совокупный объём выбросов Курганской области. Сброс загрязнённых сточных вод на территории Челябинской области в р. Миасс приводит к тому, что на входе водотока в Курганскую область содержание в нём нефтепродуктов, фосфатов, меди и железа превышает ПДК в 5–10 раз.
3. Производственное объединение «Маяк», имеющее большой объём хранящихся радиоактивных отходов.
4. Промышленные предприятия, транспорт и коммунальное хозяйство Щучанского района, хотя доля их влияния на природные системы в общем объёме невелика и воздействие имеет локальный характер.
5. Строительство объекта УХО и инфраструктуры, вовлекающее в хозяйственное использование новые участки естественных ландшафтов.

Таким образом, природная среда в районе объекта хранения химического оружия в настоящее время находится под многофакторным техногенным воздействием, к которому в будущем добавится и воздействие ОУХО.

При воздействии ОУХО на окружающую среду следует считаться с возможностью химического воздействия, связанного с миграцией продуктов детоксикации и деструкции ФОВ в атмосферу, поверхностные и грунтовые воды, почву, донные отложения, из которых они могут поступать по пищевым цепям в биологические объекты растительного и животного происхождения. Кроме того, при попадании в природную среду ФОВ, продуктов их деструкции и компонентов дегазирующих смесей возможна их биодegradация, а также трансформация в другие вещества при химическом взаимодействии с соединениями, находящимися в природных средах.

Пути и продукты промышленной детоксикации ФОВ, основные продукты их спонтанной трансформации в природных средах определяются реакционной способностью этих соединений. Анализ технологических стадий обезвреживания ФОВ показывает, что основными процессами, определяющими образование продуктов деструкции при уничтожении ХО, является взаимодействие зарина, зомана и Vx с активными компонентами дегазирующих смесей.

Основными продуктами детоксикации и продуктами трансформации фосфорорганических ОВ в природных средах могут быть: метилфосфоновая кислота (МФК) и её эфиры; серосодержащие соединения – алкилмеркаптаны, диалкилдитианы; фторсодержащие соединения; изопропиловый, изобутиловый спирты; алкены; азотсодержащие соединения – моноэтаноламин, трибутиламин и их аммониевые соли, а также продукты их взаимодействия с природными карбонильными соединениями. Вещества дегазирующих смесей и продукты деструкции ФОВ при возможном поступлении в природную среду в силу своей реакционной способности могут сами оказывать на неё воздействие, реагируя с природными веществами и участвуя в процессах метаболизма, давая новые химические соединения. На сегодняшний день проблема трансформации ОВ в окружающей природной среде практически не изучена, поэтому основными маркерами при контроле за содержанием ФОС в природных средах следует считать общий фосфор, общую серу, фториды, МФК и её соответствующие эфиры. Предстоит большая исследовательская работа по выявлению промежуточных и конечных продуктов деструкции и трансформации ФОВ, а также их химических и токсикологических свойств.

Система экологического контроля и мониторинга состояния окружающей природной среды в ЕЗЗМ в Щучанском районе включает сочетание химико-аналитических исследований, наблюдения за состоянием растительного и животного мира методами биоиндикации и биотестирования. Это объясняется большим количеством химических соединений, образующихся как продукты детоксикации ФОВ и веществ дегазирующих составов, недостаточной изученностью всего спектра продуктов трансформации ФОВ, нехваткой методического и приборного обеспечения, а также сложностью и высокой стоимостью химических анализов. Процедура биотестирования предшествует дорогостоящему химическому анализу, которому подвергаются лишь те образцы или территории, вызывающие сомнение относительно их экологической безопасности. Предлагаемая система экологического мониторинга природных сред не только теоретически обоснована, но и экономически целесообразна в случае большой площади ЗЗМ Щучанского района и значительного количества точек пробоконтроля.

Методы биотестирования основаны на регистрации суммарного токсического действия сразу всех или многих компонентов загрязнения и позволяют быстро и с минимальными затратами оценить, является ли анализируемая проба (или местность, где проводится мониторинг) загрязнённой или нет.

Набор методов и устройств биотестирования аккредитованной лаборатории биомониторинга и биотестирования Регионального центра по ОУХО в Щучанском районе включает биотесты на дафниях *Daphnia magna* и цериодафниях *Ceriodaphnia affinis* (по смертности и изменению плодовитости, острой и хронической токсичности), на инфузориях *Paramecium caudatum* (по гибели, изменению численности клеток и хемотаксиса), на светящихся бактериях (по изменению интенсивности биолюминесценции), на водорослях *Scenedesmus quadricauda* (по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей), на культуре водоросли хлореллы *Chlorella vulgaris* Beijer (по изменению оптической плотности), на рыбах (по выживаемости, изменению биохимических характеристик). Токсикологический анализ образцов поверхностных вод, снежного покрова, донных отложений, почв проводится минимум на двух-трёх тест-объектах, относящихся к разным классам, при этом определяются наиболее токсичные

объекты природной среды, подлежащие детальному химико-аналитическому контролю для выявления причин и характера выявленной высокой токсичности.

В лаборатории биомониторинга и биотестирования Регионального центра проводится поиск новых тест-объектов для экотоксикологического анализа, новых биоиндикаторов природных сред и разработка методик для биологического мониторинга. Начата работа по возможности использования в качестве тест-объекта озёрного бокоплава, обитающего во многих озёрах Курганской области.

Бионаблюдения позволяют дополнить химические и токсикологические исследования, так как растительный и животный мир способен чутко реагировать на изменения окружающей среды, в том числе связанные с воздействием токсических веществ. Важность биомониторинга объясняется и тем, что механизм воздействия токсичных веществ на животных (особенно теплокровных) схож с механизмом их воздействия на человека.

Для проведения биомониторинга в ЕЗЗМ создана сеть из восьми постоянных пробных площадок бионаблюдений за растительными и животными организмами, наиболее характерными для данной территории. Площадки расположены по румбам – северу, северо-востоку, востоку, юго-востоку, югу, юго-западу, западу и северо-западу относительно объекта УХО. Это позволяет с определённой периодичностью фиксировать возможное влияние загрязняющих веществ при любом направлении ветра. Такая схема наблюдений обеспечивает требуемую достоверность контроля загрязняющих веществ в зоне техногенного влияния объекта УХО на растительный и животный мир. Для обеспечения объективности результатов биомониторинга, отсеивания показателей, обусловленных естественными циклами, а также влияния других факторов, не связанных с процессом уничтожения ХО, в настоящее время проводится оценка фонового состояния окружающей среды в зоне защитных мероприятий строящегося объекта и выполняются параллельные работы в других районах Курганской области на участках, мало подверженных антропогенному воздействию.

При подборе пробных площадок с интересующими экологическими условиями (берёзово-осиновые колки, посадки сосны, заливные и разнотравные луга) было выяснено, что берёзово-осиновые леса и посадки сосны почти повсеместно ослаблены заболачи-

ванием, а местами лесными пожарами; поля и луга во многих местах зарастают берёзами или бурьяном. Две пробных площадки расположены на разнотравном и заливном лугах, одна – на участке соснового леса и пять – в берёзово-осиновых лесах. Площадь площадок составляет 400 кв. м на лесных участках и 100 кв. м на лугах. Все площадки на местности обозначены реперами. Сеть пробных площадок задействована в период строительства и в дальнейшей работе объекта УХО, а также несколько лет после завершения ликвидации химического оружия. Сейчас на всех постоянных пробных площадках проведено подробное описание растительных сообществ, отобраны образцы растений для гербария, почва для химического анализа. На каждую площадку заполнен паспорт с определением координат, путей подъезда, описанием местности и растительного сообщества. Биологические исследования будут включать в себя регулярные наблюдения и сравнительный анализ экологического состояния установленных лесных и луговых биоценозов, а также планируется проведение мониторинга агробиоценозов по трём основным направлениям: изучение биохимических характеристик сельскохозяйственных растений, микробиологического состава почвы и фитопатогенных организмов.

Новым направлением биомониторинга является изучение биохимических показателей состояния живых организмов. Это перспективное направление в экологии включает исследование молекулярных механизмов, позволяющих живому организму существовать в постоянно меняющихся условиях окружающей среды. При этом важным является то, что с помощью биохимических методов можно оценить влияние загрязняющих веществ на биологические объекты на ранней стадии, когда они ещё не приняли необратимого характера.

В лабораториях РЦ по ОУХО начато изучение экзогенной и эндогенной интоксикации растений, гидробионтов и теплокровных по изменению активности системы антиоксидантной защиты организма на примере процессов перекисного окисления липидов у мышей и ферментативной активности пероксидазы, полифенолоксидазы и каталазы листьев овса.

Так, у мышей под действием метилфосфоновой кислоты (МФК) изучалась интенсивность процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ). Было проведено определение содержания общих липидов, диеновых конь-

югатов (ДК) и малонового диальдегида (МДА). Объектами исследований служили лабораторные белые мыши, которые были разделены на 4 группы: 1 – самцы-контроль, 2 – самцы с интоксикацией МФК, 3 – самки-контроль, 4 – самки с интоксикацией МФК. Для исследования брали сыворотку крови и печень и определяли по известным методикам общие липиды и продукты ПОЛ. По результатам проведённых исследований обнаружено, что в ответ на интоксикацию МФК как у самцов, так и у самок происходит перераспределение продуктов ПОЛ (при этом практически полностью отсутствуют ДК как промежуточные продукты при достоверном увеличении МДА), свидетельствующее о значительном росте активности СОД без повышения активности каталазы. Из литературных источников известно, что повышение активности СОД без каталазы в плазме крови и эритроцитах встречается при отравлениях четырёххлористым углеродом и фосфорорганическими соединениями. Таким образом, МФК у здоровых животных вызывает активацию процессов ПОЛ в эритроцитах и печени.

Для изучения влияния на антиоксидантную систему овса органического фосфора в виде метилфосфоновой кислоты определялось изменение ферментативной активности пероксидазы, полифенолоксидазы и каталазы листьев овса в модельных системах с различным содержанием МФК. Сравнение относительных активностей пероксидазы, полифенолоксидазы и каталазы под действием МФК показывает, что внесение МФК оказывает влияние на активность ферментов по сравнению с контролем: активность пероксидазы значительно повышается; активность полифенолоксидазы понижается; активность каталазы изменяется по типу синусоиды. При этом изменение активности каталазы от концентрации метилфосфоновой кислоты можно трактовать как результат известного «эффекта сверхмалых доз», когда вначале при уменьшении концентрации вещества воздействие вещества на организм закономерно снижается, а затем после «зоны молчания» (эффект не наблюдается) воздействие возобновляется.

Таким образом, в лабораториях Регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга по Курганской области в результате проведённых исследований по выявлению влияния метилфосфоновой кислоты на теплокровных животных (лабораторных мышей) и на растения (овёс) получены результаты, показывающие,

что метилфосфоновая кислота оказывает воздействие на антиоксидантную систему живых организмов. Можно предположить, что такие биохимические характеристики, как показатели пероксидного окисления липидов можно использовать для раннего тестирования качества природной среды.

При построении системы пробоотбора для объектов ХХО и УХО было принято за основу радиальное расположение точек наблюдения в зоне защитных мероприятий, выведенное на основании математических расчётов, учитывающих плотность вероятности распределения концентрации загрязняющих веществ. Точки пробоотбора определены с помощью навигатора GPS-12, зарегистрированы на электронной карте зоны защитных мероприятий Службой геодезии и картографии РФ и на местности обозначены реперами красного цвета с надписью номера точки. Точки с 1 по 40 – точки пробоотбора санитарно-защитной зоны объекта УХО, с 85 по 108 – санитарно-защитной зоны вокруг арсенала ХХО, остальные – точки пробоотбора зоны защитных мероприятий объектов ХХО и УХО.

В 2005–2007 гг. проводилось плановое фоновое обследование ЗЗМ. Наблюдения в этом районе выявили повсеместное повышенное содержание в почве и водных объектах ионов Cu, Zn, Mn, Fe природного происхождения с превышением до 3 ПДК. Анализ данных по загрязнению поверхностных вод показал, что особенно загрязнённой является вода р. Миасс на всем её протяжении в ЗЗМ. При этом необходимо отметить, что вода р. Миасс уже приходит крайне загрязнённой с территории Челябинской области, и дополнительного загрязнения её на территории ЕЗЗМ не

происходит. В связи с тем, что концентрация практически всех ЗВ в воде р. Миасс на выходе из ЕЗЗМ ниже, чем на входе, можно утверждать, что при прохождении по территории Щучанского района вода р. Миасс частично самоочищается. Полученные результаты будут служить «точкой отсчёта» и сравнения в контроле состояния окружающей среды в период уничтожения ХО. В настоящее время явного негативного влияния арсенала хранения химического оружия на состояние природных сред в ЗЗМ не наблюдается.

### Литература

1. Александров В.Н., Емельянов В.И. Отравляющие вещества. М.: Воениздат, 1990.
2. Жолдакова З.И., Харчевникова Н.В. Прогноз опасности веществ по зависимости структура-биотрансформация-активность // РХЖ, 2004. Т. 48, № 2.
3. Науменко Н.И. Локальные флоры и флористические границы в лесостепном Зауралье // Изучение биологического разнообразия методом сравнительной флористики: Мат-лы IV рабочего совещания по сравнительной флористике. СПб.: НИИХ СПбГУ, 1998.
4. Шингаренко Т.А., Плотникова О.М., Науменко Н.И., Шилова И.Н. О системе экологического мониторинга состояния природной среды в районе хранения и планируемого уничтожения фосфорорганических отравляющих веществ на территории Щучанского района // Журнал «Наука и образование Зауралья», 2006. № 1.
5. Порядок государственного экологического контроля источников загрязнения объекта 1207 ХХО и проведения экологического мониторинга окружающей среды в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий в 2007 году. Курган: РЦ по ОУХО, 2007.