

Демеркуризация и постдемеркуризационный мониторинг в районе промышленной площадки бывшего хлор-щелочного производства в городе Павлодаре, Северный Казахстан

Михаил Илющенко, Пол Рэндалл, Тревор Тантон, Рустам Камберов, Людмила Яковлева

Случай типичного для бывшего СССР ртутного загрязнения в Павлодаре связан с производственной деятельностью в 1975-1993 гг. химического завода ПО «Химпром», имевшего в своем составе хлор-щелочное производство по методу электролиза с ртутным катодом мощностью 100 000 тонн хлора в год /1/. Из-за экономического кризиса в середине 90-х годов завод был фактически остановлен и большая часть ценного оборудования утилизирована. Общая масса металлической ртути, поступившей в окружающую среду за неполные 20 лет, и, в основном, депонированной в почвах, была оценена как 1310 т. Шлейф подземных вод, загрязненных HgCl_2 до уровня концентраций 0,1 мг/л и имеющий ширину до 400 м, распространился над слоем водоупорных глин на глубине 5-20 м в северо-западном направлении на расстояние 2 км от электролизного корпуса. Он имел два источника питания растворимыми в воде ртутными соединениями: основной - скопление металлической ртути, щелочных и хлоридных рассолов под корпусом электролиза и дополнительный – скопление металлической ртути и канализационных стоков под корпусом насосной станции сточных вод в 900 м от корпуса электролиза по ходу движения подземных вод.

Основные риски для окружающей среды были обусловлены эмиссией ртути в атмосферу от загрязненных ртутью полуразрушенных зданий и верхнего слоя почвы, а также возможностью распространения загрязненных ртутью подземных вод к пойме реки Иртыш в 5 км западнее завода. Риск для здоровья продолжающего работать персонала и проживающего вблизи завода населения представляли ртутные пары и загрязненная ртутью рыба, которую рыбаки отлавливали из накопителя сточных вод (технического водоема объемом около 60 млн. м³ в 2 км севернее завода). Загрязнение подземных вод также могло достигнуть водозаборных скважин крупного населенного пункта, расположенного в 4 км от химического завода между заводом и рекой Иртыш.

Первая фаза демеркуризации была завершена в начале 2005 г. Она включала в себя демонтаж и утилизацию всего технологического оборудования хлор-щелочного производства, ручной сбор металлической ртути, разборку загрязненных ртутью производственных зданий, частичное удаление поверхностного слоя сильнозагрязненных

ртутью грунтов, изоляцию от атмосферы и грунтовых вод основных подземных очагов элементарной ртути и ртутных отходов, строительство могильника для ртутьсодержащих строительных конструкций и деталей оборудования. Часть работ по очистке пришлось проводить в экстремальных условиях. Так, весной 1999 г., в начале работ, когда был вскрыт электролизный корпус, стало происходить интенсивное испарение разлитой металлической ртути. Вся заводская территория была объявлена зоной чрезвычайной ситуации, которая действовала два месяца до полной разборки зала электролиза и окончания ручного сбора основной массы пролитой ртути (17 т).

По первоначальному проекту демеркуризации (разработанному в 1995 г. СП «Еврохим» г. Киев) предполагалось извлечь основную массу металлической ртути, находящейся под электролизным корпусом (около 900 т), как с помощью гидроотбивки загрязненных ртутью грунтов, так и термической обработкой выломов бетонного основания корпуса в специальной печи. Однако проведенное в 2001-2002 гг. по программе ИНКО Европейского союза мониторинговое исследование установило более широкие границы распространения загрязненной территории и ранее неизвестные очаги загрязнения, что вызвало необходимость существенно увеличить объем работ по очистке. Поэтому было принято предложение: сменить стратегию извлечения ртути на более экономичную стратегию изоляции основных очагов ртутного загрязнения. Стратегия изоляции исходила также из понимания невозможности в современных условиях достигнуть уровней санитарных норм для ртути во всех загрязненных средах, а также отсутствия спроса на товарную ртуть на легальном рынке.

Четыре сильнозагрязненные ртутью подземных очага (под корпусом электролиза, установкой локальной очистки ртутьсодержащих сточных вод и насосной станцией сточных вод, а также на месте хранилища ртутных отходов и шламов) были изолированы по периметру от подземных вод с помощью противофильтрационной завесы по типу «стена в грунте», с заглублением на 0,5 м в водоупорный слой глин на глубинах до 20 м. Толщина стены составляла 0,6 м, она была выполнена из бентонитоподобных глин с коэффициентом фильтрации не более 10^{-7} см/с. Строительство «стены в грунте» осуществляли с помощью двух уникальных экскаваторов, оборудованных грейферным ковшом на вертикальной стойке. Общая протяженность противофильтрационной завесы составила 3588 м. Бетонные основания, оставшиеся от зданий хлор-щелочного производства, были изолированы от атмосферного воздействия укладкой и уплотнением глиняных экранов, а на месте хранилища ртутных отходов и шламов – путем устройства многослойного экрана (зола, гравий, плодородный слой, дерн). Могильник для ртутьсодержащих строительных конструкций и деталей оборудования из корпусов хлор-щелочного производства был расположен в 50 м от электролизного цеха и представлял собой котлован глубиной не более 3 м, выстланный слоем уплотненной глины толщиной 0,5 м и заполненный залитыми раствором грунтобетона разнообразными материалами, содержащими не более 1% ртути. Образовавшийся монолит был покрыт асфальтовым экраном для предотвращения пыления. Площадь экрана составила 15810 м².

Постдемеркуризационный мониторинг проводился в 2004-2007 гг. в рамках проекта МНТЦ К-1240р, и включал в себя наблюдения за содержанием ртути в приземной атмосфере, подземных водах, поверхностных слоях почвы в загрязненном районе вокруг площадки хлор-щелочного производства, а также в донных отложениях, воде и рыбе накопителя сточных вод.

Измерения концентрации ртутных паров над изолирующими экранами на месте хранилища ртутьсодержащих отходов и шламов, а также над могильником для ртутьсодержащих строительных конструкций показали значения ниже 100 нг/м³, что

свидетельствовало об их надежной изоляции от атмосферы. Однако глиняные экраны над бетонными основаниями бывших корпусов хлор-щелочного производства оказались во многих местах размывты потоками ливневых и паводковых вод. Концентрация ртутных паров над руслами высохших ручьев, дно которых было усеяно видимой капельной ртутью, в летний период была устойчиво выше 10 000 нг/м³.

Измерения концентрации ртути общей в пробах воды из сети наблюдательных скважин показало, что, несмотря на изоляцию подземных ртутных очагов, общая конфигурация шлейфа загрязнения подземных вод и уровень содержания растворенной в них ртути в целом сохранялись в течение всех трех лет мониторинга. Существенное локальное снижение концентрации ртути в подземных водах произошло лишь на территории завода за пределами площадки хлор-щелочного производства западнее бывшего корпуса электролиза; причиной этого могло быть не прекращение их питания растворимыми ртутными соединениями из главного подземного очага, а, скорее, небольшое отклонение шлейфа загрязнения под фланговым воздействием нового источника потерь воды из подземных коммуникаций завода. Было также показано, что загрязнение металлической ртутью верхнего слоя почв на большей части производственной площадки бывшего хлор-щелочного производства продолжает оставаться аномально высоким (до уровней 0,1% масс.) и является источником эмиссии высоких концентраций ртутных паров в атмосферу (выше уровня 300 нг/м³ в 0,5 м приземном слое воздуха при 27°C). Этот же верхний слой почв из-за фильтрации сквозь него атмосферных осадков и паводковых вод мог стать основным источником питания растворимыми ртутными соединениями подземных вод, что в целом сохранило в них высокий уровень концентрации ртути в пределах производственной площадки хлор-щелочного производства. Шлейф загрязнения также сохранил тенденцию к перемещению высоких концентраций растворенной ртути по ходу движения подземных вод, одним из результатов которого явилось обнаружение ртути в ранее незагрязненных наблюдательных скважинах сети мониторинга, контролирующей западное направление ее распространения.

Отбор проб почв вне промышленной площадки химического завода позволил установить дополнительный участок ртутного загрязнения на территории пастбища, используемого сельским населением ближайшего населенного пункта. Уровень загрязнения верхнего слоя почв находился на уровне 100 мг/кг сухого веса, площадь загрязненного участка была не менее 0,05 км², место загрязнения почв совпало с районом распространения шлейфа ртутного загрязнения подземных вод на глубине 6-8 м.

С помощью системы компьютерного моделирования GMS 3.1, базы данных, собранных по специальной сети мониторинга из более чем 100 наблюдательных скважин в течение двух лет, а также исторических данных для промрайона, в том числе описывающих более чем 2000 скважин, сооруженных здесь в течение 40 лет, в 2002 г. была создана Региональная гидрогеологическая модель Северной промышленной зоны г. Павлодара. В 2007 г. эта модель была переведена в формат GMS 6.0 и усовершенствована моделью-врезкой для локального участка ртутного загрязнения подземных вод, а также данными мониторинга за 2004-2006 гг. Региональная модель позволила объяснить механизм формирования шлейфа ртутного загрязнения подземных вод, дала вероятные сценарии его развития и предсказала возможность на ограниченных участках поднятия подземных вод к поверхности земли и загрязнения ртутью верхнего слоя почв в результате испарения воды. Было показано, что даже при полном прекращении питания от обоих подземных очагов и из верхнего слоя почв, шлейф ртутного загрязнения подземных вод будет сохраняться в течение более чем 30 лет, медленно сокращаясь в объеме и снижая уровни концентрации ртути за счет протекания процессов разбавления и сорбции. Поскольку динамика распространения подземных вод в данном регионе, в основном, определяется

техногенными факторами, направление развития шлейфа загрязнения может быть относительно быстро изменено. Одним из вероятных результатов происходящей в настоящее время перестройки промышленности Северной промышленной зоны г. Павлодара под воздействием процессов модернизации экономики Казахстана может стать изменение направления распространения ртутного загрязнения подземных вод на запад в сторону реки Иртыш и близлежащего крупного населенного пункта.

Наблюдения за сезонными колебаниями уровня накопителя сточных вод, сооруженного на месте двух небольших природных соленых озер и имеющего максимальную глубину 10 м, показало, что даже при отсутствии в течение 15 лет сброса сточных вод его уровень продолжает оставаться близким к максимальному заполнению. Это обусловлено подземным питанием накопителя за счет расположенного 5 км южнее объединенного золоотвала двух крупных тепловых электростанций. После прекращения сброса сточных вод поверхностные воды накопителя в значительной степени самоочистились (содержание общей ртути в них в настоящее время колеблется около значения 0,0001 мг/л) и заселен рыбой, главным образом карасем серебряным. Его береговая линия покрыта тростниковыми зарослями площадью не менее 2,6 км² при общей площади водного зеркала 17,8 км². Отбор проб донных отложений в летнее время обычно затруднен из-за постоянного волнения водной поверхности. Поэтому он был произведен в зимнее время из подо льда, покрывающего накопитель в течение 5 месяцев в году слоем до 1 м. Было обнаружено, что техногенные илы накопителя из-за воздействия волнения скапливаются только в нескольких впадинах, образуя залежи мощностью до 1,75 м на площади 5,9 км². Концентрация ртути в илах в максимальных значениях достигала 1 г/кг сухого веса, масса депонированной в них ртути была в первом приближении оценена в 130 т. Концентрация ртути в рыбе в максимальных значениях достигала 2,5 мг/кг.

Постдемеркуризационный мониторинг показал необходимость продолжения работ по очистке. Основной риск продолжает исходить от загрязненного металлической ртутью верхнего слоя почвы на производственной площадке бывшего хлор-щелочного производства, который, безусловно, должен быть очищен от ртути с помощью недорогой технологии. Также должен быть сооружен более надежный экран, прикрывающий бетонные основания бывших корпусов хлор-щелочного производства. Только после этого может быть проведено корректное исследование, устанавливающее эффективность противодиффузионной завесы по типу «стена в грунте» вокруг подземных очагов ртути.

Накопитель сточных вод как технический водоем в настоящее время не представляет серьезного риска. Однако разъяснительная работа с населением, предупреждающая об опасности употребления в пищу рыбы, отловленную из этого водоема, должна оставаться приоритетом органов власти и местных средств информации. Дальнейшая судьба накопителя зависит от планов его использования: в случае принятия решения использовать его в качестве источника дешевой технической воды его загрязненные донные отложения могут быть относительно недорого изолированы экранами или удалены.

В связи с высокой потенциальной опасностью, которую представляют загрязненные ртутью подземные воды, должен быть налажен многолетний сезонный мониторинг за перемещением шлейфа ртутного загрязнения, включающий мониторинг за накоплением ртути в верхнем слое почв в местах поднятия загрязненных подземных вод к поверхности. В случае возникновения реальной угрозы появления загрязнения вблизи источников водоснабжения населения должна быть использована технология перехвата загрязненных подземных вод с помощью дренажных скважин или иммобилизации ртути в пределах шлейфа загрязнения.

В /2/ приведена литература, содержащая дополнительную информацию по данной проблеме.

Acknowledgement

The work was funded by International Science and Technology Centre (www.istc.ru) in frame of the Project Development Grant K-1240p.

References

1. Ртутное загрязнение в Павлодаре. <http://Hg-Pavlodar.narod.ru>
2. Управление ртутным загрязнением в Казахстане. <http://Hg-Kazakhstan.narod.ru>