

Проект МНТЦ К-1240р

“Последемеркуризационное управление ртутным загрязнением на территории бывшего ПО «Химпром», а также оценка риска для окружающей среды от загрязнения подземных вод и прилегающих водоемов Северной промышленной зоны г. Павлодара”

**Итоговый технический отчет по проекту
о выполнении работ в период с 5 октября 2005 г. по 31 декабря 2009 г.**

**НАО «Алматинский университет энергетики и связи» (АУЭС),
Кафедра методологии научного природопользования Би Джи**

**Руководитель
Проекта**

**Илющенко Михаил
Алексеевич, к.х.н.**



Ректор

**Даукеев Гумарбек
Жусупбекович, к.т.н.**



Сентябрь 2011 г.

Настоящая работа выполнена по соглашению с Международным научно-техническим центром (МНТЦ), Москва, при финансовой поддержке Американского агентства по охране окружающей среды

Название Проекта:	"Последемеркуризационное управление ртутным загрязнением на территории бывшего ПО «Химпром», а также оценка риска для окружающей среды от загрязнения подземных вод и прилегающих водоемов Северной промышленной зоны г. Павлодара"
Дата начала выполнения работ по Проекту:	1 октября 2005 г.
Продолжительность Проекта:	51 месяц
Руководитель Проекта:	Илющенко Михаил Алексеевич
Номер телефона:	+ 7 727 2923454
Факс:	+7 727 2 924461
Адрес электронной почты:	mai4Hg@gmail.com
Головной институт:	НАО «Алматинский университет энергетики и связи» (АУЭС), Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Байтурсынова 126, + 7 727 2925740, aupet@aupet.kz
Институты – соисполнители:	<p>АО «Каустик», Республика Казахстан, 637029, г. Павлодар, Северная промышленная зона 1 + 7 7182 390813, a.ahmetov@energo.kz</p> <p>АО «Биомедпрепарат-инжиниринговый центр», лаборатория биомониторинга (БМП), Республика Казахстан, 021500, г. Степногорск, 9-й микрорайон, строение 3, + 7 731645 52568, monitlab@pisem.net</p> <p>Павлодарский государственный университет (ПГУ), Республика Казахстан, 637000, г. Павлодар, ул. Ломова 64, + 7 7182 451110, rector@psu.kz</p> <p>Институт гидрогеологии и гидрофизики (ИГГ), Республика Казахстан, 050100, г. Алматы, ул. Валиханова 94, + 7 727 2914609, V_panichkin@mail.kz</p>
Зарубежные коллабораторы:	Тревор Уильям Тантон School of Engineering and the Enveronment, University of Southampton, Highfield Southampton SO17 1BJ, United Kingdom + 44 (0)23 8059 2189, TWT@soton.ac.uk

Ключевые слова: хлор-щелочное производство, ртутное загрязнение, оценка риска, демеркуризация, наблюдательные скважины, подземные воды, почвы, донные отложения, накопитель сточных вод, математическое моделирование распространения загрязнения подземных вод, прогнозы, карты ртутного загрязнения, загрязнение подземных вод нефтепродуктами.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Краткое описание Плана работ: цели Проекта, ожидаемые результаты, технический подход к выполнению работ.....	5
2. Методы исследования, эксперименты, теория и т.д.....	6
3. Результаты.....	18
4. Заключение.....	23
5. Комментарии.....	24
6. Приложение 1. Перечень опубликованных докладов и статей.....	25
7. Приложение 2. Перечень докладов на конференциях и семинарах.....	34
8. Приложение 3. Итоговые карты и таблицы.....	43

1. Краткое описание Плана работ

1.1. Цели проекта

- I. Оценка риска, связанного с направлением потоков загрязненных нефтепродуктами и ртутьсодержащих подземных вод, в том числе их прохождением через сеть водозаборных скважин села Павлодарское, к реке Иртыш и/или поднятием на поверхность пастбищ, и, в случае высокой степени такого риска, определение стратегии по его сдерживанию или минимизации;
- II. Определение стратегии управления для сдерживания риска окружающей среде, вызванного ртутным загрязнением озера Балкылдак, в том числе за счет бионакопления загрязнителей по пищевым цепям.

1.2. Ожидаемые результаты

Предлагаемое исследование является прикладным исследованием в области охраны окружающей среды. Предполагается, что в процессе проведения данного исследования могут быть выявлены новые факты, которые потребуют углубления и продолжения данного исследования.

- Одним из важных результатов проведенных работ будет создание мониторинговой лаборатории ПХЗ, которая после завершения проекта будет способна закончить выполнение Программы последемеркуризационного мониторинга в Северной промзоне г. Павлодара в 2005-2020 гг. и проводить другие исследования в области охраны окружающей среды. Завершение фазы I Проекта демеркуризации не означает прекращение работ по исследованию ртутного загрязнения в Павлодаре. Начинаются этапы II и III, которые потребует более тщательных и объемных исследований остаточного ртутного загрязнения и риска, исходящего от него. Это позволит этой лаборатории стать самоокупаемой.
- ПХЗ совместно с АИЭС проведут мониторинговое исследование ртутного загрязнения подземных вод в Северной промзоне г. Павлодара,
- АИЭС совместно с ПХЗ изучат степень загрязнения ртутью пастбищ в районе возможного поднятия ртутьсодержащих подземных вод,
- БМП совместно с ПХЗ проведут мониторинговое исследование загрязнения нефтепродуктами подземных вод в Северной промзоне г. Павлодара,
- АИЭС совместно с ПГУ исследуют уровни загрязнения ртутью донных отложений и биоты накопителя сточных вод – озера Балкылдак,
- АИЭС совместно с ИГГ проведут оценку риска от остаточного ртутного загрязнения подземных вод и накопителя сточных вод – озера Балкылдак
- ИГГ совместно с АИЭС оценят риск от загрязнения подземных вод нефтепродуктами
- ИГГ модернизирует и улучшит модель загрязнения подземных вод в Северной промзоне г. Павлодара, и на ее основе выполнит прогнозы распространения загрязнений подземных вод ртутью и нефтепродуктами.
- АИЭС совместно с ИГГ выработают и обсудят с заинтересованными организациями и органами власти предложения по управлению рисками в северном пригороде Павлодара, включающие возможность проведения дополнительных работ по демеркуризации ПО "Химпром" и/или приведение в безопасное состояние накопителя сточных вод – озера Балкылдак.

1.3. Технический подход

При отборе проб и химико-аналитических работах будут использованы методики, рекомендованные Агентством по Охране Окружающей Среды США, а также стандартные процедуры, принятые на Западе по планированию работ и контролю качества. Химические анализы твердых образцов на содержание ртути будут выполнены с помощью AAS анализатора (Lumex RA 915+); для определения содержания общей ртути в образцах воды и биологических тканей будет использоваться AFS анализатор (PS Analytical Millennium Merlin System). Химические анализы на содержание нефтепродуктов в воде будут выполнены с помощью газового хроматографа Perkin Elmer Clarus 500.

Оценка и управление риском, связанным с загрязнением подземных вод, будут осуществлены с помощью гидрогеологических моделей, выполненных на основе программного продукта ModFlow GMS 5.0. Предварительная оценка риска (Уровень 1 оценки риска), исходящего от загрязнения пастбищ и рыбы будет проводиться методом мониторинга ртутного загрязнения и сравнения показателей загрязнения с существующими государственными нормативами.

2. Методы исследования, эксперименты, теория и т.д.

2.1. Полевые работы

2.1.1. Обследование подземных вод

Замеры уровня подземных вод производились по всей площади Северной промзоны г. Павлодара для получения материалов о его сезонном колебании и использования этих данных при моделировании гидродинамических условий. Отбор проб подземных вод проводился в местах ртутного загрязнения с целью получения данных об изменении концентрации в них ртути общей и метиловой.

2.1.1.1. Замеры уровня подземных вод

В 2006 г. измерения уровня подземных вод были проведены дважды, в июле и сентябре по 239 наблюдательным гидрогеологическим скважинам, в 2007 г. - в сентябре по 154 скважинам, в 2008 г. – в августе-сентябре по 150 скважинам. Замеры были проведены от оголовков скважин с помощью специальной рулетки, заканчивающейся грузилом с хлопучкой. Отдельно были проведены замеры высот оголовков скважин, а также с помощью портативного GPS их координирование. Результаты этих сезонных измерений («Итоговые таблицы 02 и 03.2006, 01.2007, 01.2008») были использованы для создания и калибровки модели-врезки ртутного загрязнения подземных вод.

2.1.1.2. Отбор проб подземных вод для анализа на ртуть общую и метиловую

Пробы подземных вод на ртуть общую отбирали из наблюдательных скважин системы ртутного мониторинга Северной промышленной зоны г. Павлодара. В 2006 г. в июне-июле были отобраны пробы из 87 скважин, в 2007 г. в сентябре-октябре - из 81 скважины, в 2008 г. в августе-сентябре – из 74 скважины. Пробы отбирали помощью погружного электронасоса по специальной методике, разработанной АИЭС в 2001-2002 гг. и отличающейся тщательной промывкой оборудования для прокачки скважин, а также контролем качества промывки. Одновременно с отбором проб воды производили измерения подземного уровня воды, а также ее температуры и pH.

Пробы воды отбирали без фильтрования и консервации (отобранные пробы доставляли в лабораторию не реже, чем дважды в день) в двух повторностях в одноразовую пластиковую посуду. Использовали пластиковые бутылки из-под Кока-колы емкостью 0,5 л, приобретенные в магазине пищевых товаров. Заранее, на свежей

бутылке, заполненной Кока-колой, ставилась отметка несмываемым маркером, указывающая уровень жидкости в бутылке (0,5 л). Кока-кола сливалась, бутылка вновь запечатывалась и помещалась в чистый полиэтиленовый пакет, в котором доставлялась к месту отбора. На месте отбора проб полиэтиленовый пакет приоткрывали, бутылку маркировали, откупоривали, трижды ополаскивали отбираемой водой, заполняли пробой воды до метки, вновь закупоривали и запечатывали в полиэтиленовый пакет (такой же процедуре подвергали бутылки с промывной водой). Перед отбором проб из каждой наблюдательной скважины откачивали тройной объем подземной воды, заключенный в данной скважине. После завершения отбора проб электронасос, электропровода и шланги извлекали из скважины и помещали в специальную емкость из нержавеющей стали, объемом 50 л. В этой емкости оборудование подвергалось процедуре отмытки от следов оставшейся ртути, содержащейся в подземной воде. Для этого емкость вместе с оборудованием заполняли свежей водопроводной водой, отсутствие в которой растворенной ртути периодически контролировали (водопроводную воду транспортировали к месту отбора подземных вод на автоприцепе в алюминиевом танке, объемом 2 м³), а затем промывную воду откачивали из емкости с помощью промываемого насоса и шлангов. Данную операцию повторяли трижды и затем в той же герметически закрытой емкости из нержавеющей стали промытое оборудование транспортировали к новой скважине. Контроль качества пробоотбора заключался в химическом анализе на остатки ртути конечной порции промывной воды после каждой процедуры промывки оборудования (пробы промывной воды отбирали без повторности). Все пробы воды и бланки не позднее чем через 4 часа после отбора доставляли в химико-аналитическую лабораторию в айсбоксе так, чтобы их температура не поднималась выше 10°C.

21 июля 2006 г. из трех скважин С69-02, С32-03 и Р8 в двух повторностях были отобраны пробы подземных вод на ртуть метиловую, в основном, по той же методике, что и пробы воды на ртуть общую. Отличие заключалось в том, что их отбирали в стеклянные одноразовые бутылки емкостью 1 л из-под водки с завинчивающимися металлическими крышками с пластиковыми прокладками. Бутылки предварительно обмывали бромид-броматной смесью (см. ниже в разделе 2.2.1.) и несколько раз большим объемом ультрачистой воды. После заполнения водой бутылки сразу же были помещены в айсбокс с хлад-агентами и в нем транспортированы в химико-аналитическую лабораторию Отдела наук по охране окружающей среды Института Стефана Иосифа, Любляна, Словения. Во время остановок пробы хранили в стационарных холодильниках при 4°C. В лабораторию пробы были доставлены 04.08.2006 и до начала процедуры анализа хранили в холодильнике при 4°C. В эту же лабораторию были также посланы две аналогично вымытые пустые бутылки в качестве бланков.

2.1.1.3. Исследование подземного нефтяного амбара очистных сооружений Павлодарского нефтехимического завода (ПНХЗ)

Полевые исследования, проведенные с помощью ручных почвенных буров, установили распространение на глубине 2,6 м подземного нефтяного амбара мощностью не менее 2 м поверх уровня подземных вод за пределы северо-западного угла производственной площадки ПНХЗ на расстояние в 25 м. Этот амбар является источником питания подземных вод растворимыми нефтепродуктами.

2.1.1.4. Отбор проб подземных вод для анализа на растворимые нефтепродукты

Для анализа подземных вод на содержание растворимых нефтепродуктов АУЭС в 2008 г. в августе-сентябре отобрал в стеклянные бутылки из-под водки пробы подземных вод из 80 доступных скважинах существующей наблюдательной сети Северной промышленной зоны г. Павлодара. Методика отбора проб была аналогична той, что применялась для отбора проб подземных вод на содержание ртути. В

охлажденном виде пробы воды в середине сентября были отправлены институту-участнику БМП.

2.1.2. Исследование ртутного загрязнения почв

В 2006 г. исследование загрязнения почв ртутью проводили выборочно (отобрано 19 образцов) в местах проведения в 2002-2004 гг. демеркуризационных работ для оценки эффективности этих работ, в 2008 г. - по регулярной сети в этих же местах (дополнительно отобраны пробы по 240 точкам отбора) для составления новой карты ртутного загрязнения почв в зоне демеркуризации, и в 2006 г. - по регулярной сети в местах возможного выклинивания загрязненных ртутью подземных вод (отобраны пробы по 111 точкам отбора на пяти участках) для обнаружения новых очагов загрязнения.

2.1.2.1. Предварительное исследование ртутного загрязнения почв на промплощадке бывшего хлор-щелочного производства

На промплощадке бывшего хлор-щелочного производства и в районе бывшей 6-й насосной станции сточных вод 2 июля 2006 г. пробы почв произвольно отобрали в 19 точках в местах наиболее высокого ртутного загрязнения почв (для этого использовали карту ртутного загрязнения с результатами мониторинга 2001-2002 гг.) из слоя 0-10 см в двойные одноразовые пластиковые мешочки. Методика отбора заключалась в том, что в точке отбора лопатой вначале удаляли растительный слой, затем на глубину пробоотбора трижды срезали почвенный пласт под углом 45°, при этом дважды откидывая срез в отвал, а в качестве пробы отбирая третий срез; контроль качества отбора проб не проводился. Точки отбора были координированы с помощью портативного GPS. Мешочки с пробами были маркированы и отправлены в лабораторию АУЭС в Алматы.

Эффективность проведенных демеркуризационных работ на промплощадке бывшего хлор-щелочного производства, на месте бывшей 6-й насосной станции сточных вод и спецпрудов для твердых и жидких ртутных отходов была также оценена путем измерения концентрации ртутных паров в приземном слое воздуха (в 10 см от поверхности земли) по 20 произвольно выбранным точкам в местах наиболее интенсивного ртутного загрязнения почв. Измерения были выполнены 21 июля 2006 г. с 15-00 по 18-00 при температуре воздуха 27°C («Итоговая таблица 05.2006») совместно со специалистами из АО GEOtestBRNO (г. Брно, Чехия) с помощью переносного ртутного атомно-абсорбционного спектрофотометра (ААС) Люмекс RA 915+ (Россия) по методике завода изготовителя прибора.

2.1.2.2. Исследование ртутного загрязнения почв для составления/развития карт ртутного загрязнения

Предварительно с помощью ГИС Северной промзоны г. Павлодара составлялись Планы пробоотбора почв по регулярной сети в местах предполагаемого картирования. Методика отбора проб почв описана выше в разделе 2.1.2.1.

2.1.3. Исследование ртутного загрязнения кормовых трав

Отбор кормовых трав для исследования их ртутного загрязнения проводили в местах выпаса частного скота, принадлежащего населению с. Павлодарское, на пастбище, находящемся между промышленной площадкой №1 ПХЗ и накопителем Балкылдак. В сентябре 2007 г. были отобраны 4 интегральные пробы, влажной массой около 1 кг каждая с двух площадок площадью 10 м². Травы были высушены в сухом неотапливаемом помещении и доставлены в химико-аналитическую лабораторию в Алматы.

2.1.4. Исследование ртутного загрязнения накопителя сточных вод Балкылдак

Исследование ртутного загрязнения накопителя сточных вод заключалось в обследовании его донных отложений, поверхностных вод и биоты.

2.1.4.1. Отбор проб и батиметрические замеры для оценки ртутного загрязнения донных отложений накопителя Балкылдак

Предварительно с помощью ГИС Северной промзоны г. Павлодара были составлены четыре варианта План пробоотбора донных отложений накопителя по регулярной сети на 200, 150, 100 и 50 точек отбора так, чтобы в зависимости от сложности полевых работ и сроков их выполнения на месте выбрать наиболее оптимальный.

Зимние полевые работы были проведены в 2006 и 2007 гг. в марте месяце при повышении зимней температуры воздуха до -10°C . Продолжительность этих работ была ограничена началом интенсивного образования трещин на поверхности льда при повышении температуры выше 0°C . Зимой 2006 и 2007 гг. толщина льда накопителя Балкылдак достигла 0,6-0,9 м. Это позволило использовать для передвижения по льду (площадь водного зеркала накопителя около 23 км^2) легковые автомобили повышенной проходимости. Однако снежные заносы сильно затрудняли полевые работы в местах тростниковых зарослей. В 2006 г. было опробовано 52 точки и отобрано 107 проб, в 2007 г. - 94 точкам и 159 проб. Отбор проб донных отложений производился из лунок во льду с помощью пробоотборников двух конструкций: мягкие илы отбирались послойно с интервалом отбора в 50 см, глины – только с поверхностного слоя на глубину 25 см. Пробоотборники позволяли отбирать грунт при глубинах водоема до 12 м (одновременно с отбором проб были произведены замеры глубин накопителя и мощности мягких илов). Координаты мест отбора проб определяли с помощью портативного GPS с максимальной ошибкой 7 м. Пробы были отобраны в одноразовые полотняные мешочки, которые вместе с маркировочной биркой в свою очередь были упакованы в новые двойные полиэтиленовые мешочки, и заморожены. После каждого отбора проб оборудование тщательно очищалось от остатков ила снегом и водой из накопителя (контроль качества очистки не проводился). Пробы были доставлены в Алматы и высушены до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре в проветриваемом теплом и чистом помещении (полиэтиленовая упаковка раскрывалась, но полотняный мешочек оставался закрыт). В дальнейшем сухие донные отложения хранились в той же упаковке, в которую они были помещены при отборе проб и в которой высушивались.

Летний отбор проб донных отложений был проведен 2006 г. в июле, 2007 г. в сентябре, всего было дополнительно отобрано 68 проб по 52 точкам отбора, расположенным вблизи берега с небольших глубин. Пробы отбирали из резиновой лодки в маркированные двойные полиэтиленовые мешочки аналогично зимнему отбору (отбор проб вдали от берега был затруднен сильным волнением и громоздкостью оборудования). После каждого отбора проб оборудование тщательно очищали от остатков ила заборной водой (контроль качества очистки не проводился). Пробы были заморожены и доставлены в лабораторию АИЭС в Алматы, где их хранили в замороженном состоянии.

Одновременно с отбором проб донных отложений были проведены батиметрические замеры и замеры мощности мягких илов, которые затем были сведены в «Итоговую таблицу 01.2006-2007» и использованы для развития ГИС Северной промзоны г. Павлодара.

2.1.4.2. Отбор проб поверхностных вод для анализа на ртуть общую

В августе 2008 г. были отобраны и проанализированы 10 проб поверхностных вод накопителя Балкылдак (пробы отбирали с глубины 0,5 м в 5 м от берега в наиболее загрязненном месте: около спецпрудов для жидких и твердых отходов), при этом 5

проб были отобраны с использованием мембранных фильтров с диаметром пор 0,45 мкм. для раздельного определения ртути общей и ртути растворенной. Пробы фильтровали под давлением сжатого азота на месте отбора с использованием специальной фильтровальной установки. Фильтровальную установку после каждой операции отбора проб промывали также как оборудование для отбора подземных вод. Также аналогично методике отбора подземных вод проводили процедуру контроля качества пробоотбора. Пробы не фильтрованной и отфильтрованной воды были проанализированы по той же методике, что и пробы подземных вод, осадки на фильтрах не анализировали.

2.1.4.3. Отбор образцов биоты накопителя сточных вод Балкылдак и контрольного водоема

Летний сбор гидробионтов накопителя Балкылдак и контрольного озера Кривое был проведен в 2006 г. в июне-августе, в 2007 г. в мае-сентябре. Всего для химического анализа было отобрано: карася серебряного – 116 экземпляров, карпа – 1 экземпляр; бентосных и планктонных организмов, соответственно, - по 11 и 4 интегральных проб.

Рыбу отлавливали ставными сетями с ячеей 30-65 мм или удочками. Пробы планктона отбирались на станциях отбора планктонной сетью Апштейна и волокушей из газ-сита. Пробы бентосных организмов отбирали на станциях отбора путем выемки на берег донных грунтов с их последующей многократной промывкой. Видовая принадлежность не определялась. Моллюсков собирали вручную с поверхности грунта и с водной растительности. Образцы, предназначенные для химического анализа на ртуть, были заморожены и в замороженном состоянии отправлены в лабораторию АУЭС в Алматы.

Ихтиологические исследования проводили согласно типовым руководствам по изучению рыб. Морфологические характеристики рыб были изучены путем измерения штангенциркулем с точностью до 0,5 мм.

Химико-аналитические работы

2.2.1. Анализ образцов на содержание ртути

Большая часть анализов образцов подземных и поверхностных вод на ртуть общую была выполнена персоналом АУЭС в лабораторном помещении на территории бывшего ПО «Химпром» г. Павлодар, предоставленном АО «Каустик», с использованием химико-аналитического оборудования, привезенного из Алматы.

Анализ образцов подземных вод на ртуть метиловую проводили в химико-аналитической лаборатории Отдела наук по охране окружающей среды Института Стефана Иосифа, Любляна, Словения.

Анализ 240 проб почв был произведен в 2009 г. в Степногорской лаборатории биомониторинга института-участника БМП.

Остальные химико-аналитические работы были проведены в лаборатории АУЭС в Алматы. Все операции, связанные с пробоподготовкой и анализом образцов на содержание ртути, проводили с использованием минимального количества химической посуды (по возможности, одноразовой) и реактивов для уменьшения вероятности загрязнения проб. Все растворы готовили, используя специальную ультрачистую воду.

Методика определения ртути общей в водных образцах была основана на руководстве: PS Analytical. Customer Technical Information File, Issue No. 4.2, Issue Date: November 2 2000: "Mmhwat, Millennium Merlin method for total mercury in drinking, surface, ground, industrial & domestic waste waters and saline waters". Контроль качества проводился в соответствии с US EPA method 1631 rev E: "Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry", August 2002. Отличие заключалось в использовании для хранения проб одноразовых полиэтилентерефталатовых (PET) бутылок из-под Кока-колы вместо рекомендуемых

PS Analytical многоразовых контейнеров из фторполимеров, боросиликатных стекол или высокой плотности полипропилена. Предпринятые нами ранее специальные исследования показали, что потери ртути при хранении пресноводных проб без консервантов в течение суток в PET посуде были статистически незначимы.

Бутылки из-под Кока-колы вместимостью 0,5 л, содержащие пробы воды, сразу же после их доставки в лабораторию вынимали из полиэтиленовых пакетов и обмывали снаружи дистиллированной водой, после чего пробы немедленно разлагали. Перед разложением из бутылки отливали 100 мл пробы. В освободившийся объем бутылки к оставшимся 400 мл пробы добавляют 60 мл 33 % раствора соляной кислоты и 4 мл смеси 0,4 N раствора бромида калия и 0,4 N раствора бромата калия в соотношении 1:1 («бромид-броматная смесь»). Раствор в бутылке после этого должен был окраситься в желтый цвет. Если в каких-то бутылках растворы не окрашивались или в течение 30 минут после окрашивания обесцвечивались, из них отбирали аликвоту на 50 мл, помещали в новую бутылку из-под Кока-Колы и разбавляли в 10 раз холостым раствором.

На следующий день в бутылки с пробами добавляли по 0,24 мл 12% раствора гидроксиламина солянокислого, встряхивали и измеряли содержание общей ртути на атомно-флуоресцентном спектрофотометре (АФС) "Millennium Merlin" 10.025 (Великобритания).

Методика определения ртути метиловой в водных образцах заключалась в следующем: Примерно 70 мл пробы было взвешено непосредственно в 125 мл тефлоновой бутылке. В нее добавляли 5 мл концентрированной HCl и 30 мл CH₂Cl₂. Бутылку закупоривали и оставляли на ночь перемешиваться на шейкере. Затем откачивали водную фазу с помощью водяного насоса и добавляли в CH₂Cl₂ примерно 40 мл Milli-Q ультрачистой воды. Органическую фазу улетучивали на водяной бане при температуре около 90°C. Пробы продували азотом в течении 5 минут для удаления оставшегося CH₂Cl₂. Такую экстракцию повторяли дважды. Аликвоту водной пробы помещали в тефлоновую реакционную склянку и доводили pH до 4,6, добавляя 100 мл ацетатного буфера. В конце в реакционную склянку добавляли 50 мл 1% NaBEt₄ и оставляли смесь при комнатной температуре на 15 минут для завершения реакции. Этилированную MeHg, т.е. этилметилловую ртуть продували азотом, не содержащим ртуть, в течение 15 минут на Tenax ловушке. Затем Tenax ловушки подсоединяли к потоку аргона и метиловая ртуть термически (180°C) адсорбировали на изотермальной колонке газового хроматографа. Различные формы Hg восстанавливали до Hg⁰ пиролизом при 600°C и измеряли с помощью атомно-флуоресцентного детектора по методу холодного пара. Предел обнаружения, рассчитанный на основании трех стандартных отклонений холостых проб, был для MeHg 10 пг/л. Воспроизводимость метода от 5 до 10%. Неопределенность была оценена как 9,1% при коэффициенте вариации k=2.

Извлечение MeHg было между 85 и 90 % и было определено методом добавок в пробы известного количества MeHg до экстракции, поэтому коэффициент извлечения был использован при расчете результатов. Для того, чтобы избежать неконтролируемое загрязнение во время каждой серии анализа проб были также проанализированы 2 холостые пробы (реагентная плюс методологическая холостая).

Методика определения ртути в почвах и донных отложениях была основана на руководствах: (i) PS Analytical. Customer Technical Information File, Issue No. 4.2, Issue Date: November 2 2000: "MmHgslud, Millennium Merlin method for mercury sludg,soils andsediments", и (ii) US EPA Appendix to Method 1631: "Total Mercury in Tissue, Sludge, Sediment, and Soil by Acid Digestion and BrCl Oxidation", January 2001. Контроль качества - в соответствии с руководством (ii).

Навеску высушенной и раздробленной почвы (около 1 г) помещали в стакан вместимостью 100 мл, имеющий деление 50 мл. Осторожно добавляли 15 мл

концентрированной соляной, затем 5 мл концентрированной азотной кислоты. стакан накрывали часовым стеклом с одноразовой подкладкой из полиэтиленовой пленки и осторожно нагревали при 95°C на водяной бане до равномерного кипения. После охлаждения объем доводили до 50 мл ультрачистой водой. Для удаления окислов азота добавляли 5 мл 12% раствора гидроксиламина солянокислого, тщательно перемешивали и давали отстояться до просветления раствора. Перед измерением отбирали из стакана 10 мл пробы в мерную колбу и доводили объем до 100 мл ультрачистой водой. Из полученного раствора отбирали аликвоту, разбавляли холостым раствором до необходимого уровня концентрации и измеряли содержание ртути на АФС "Millennium Merlin" 10.025 (Великобритания).

Всего были проанализированы на содержание ртути метиловой – 3 пробы воды, ртути общей - около 800 проб поверхностных и подземных вод (включая бланки и повторности), 334 пробы донных отложений, 610 проб почв, 4 образца кормовых трав, 132 проб биоты накопителя Балкылдак.

Результаты анализов образцов воды на ртуть общую и метиловую, воздуха, почв и донных отложений, а также биоматериалов на ртуть общую составили Базу данных химико-аналитической лаборатории АУЭС («Итоговые таблицы 04-09.2006, 02-06.2007, 02-04.2008»).

Следует отметить, что результаты анализов на ртуть общую, полученные в химико-аналитических лабораториях АУЭС и Института Стефана Иосифа для проб воды из одних и тех же трех скважин, но отобранные с интервалом в десять дней («Итоговые таблицы 04 и 05.2006»), различались между собой не более чем на 15%, что является хорошим совпадением.

2.2.2. Анализ образцов подземных вод на содержание растворимых нефтепродуктов

Степногорская лаборатория биомониторинга института-участника БМП проанализировала 80 проб подземных вод на извлекаемые нефтяные углеводороды с помощью газового хроматографа "Hewlett Packard", США с пламенно-индукционным детектором по методике завода изготовителя прибора. Ни в одной из отобранных проб подземных вод Северной промышленной зоны г. Павлодара растворенные в воде нефтепродукты обнаружены не были.

2.2.3. Определение коэффициентов адсорбции ртути павлодарскими глинами

Лабораторный эксперимент по определению коэффициентов адсорбции ртути для гидрогеологического компьютерного моделирования заключался в установлении концентраций хлорида ртути (II) в водных растворах, находящихся в равновесии с глиной, типичной для вмещающих водоносных пород в Северной промзоне г. Павлодара. Необходимое для эксперимента количество глины было выделено из интегральной пробы супеси, отобранной при бурении наблюдательной гидрогеологической скважины в Северной промзоне г. Павлодара в 2002 г. Концентрация ртути в подземной воде, отобранной в это же время из этой скважины, была ниже 50 нг/л. Глину выделяли из супеси декантацией, сушили до воздушно-сухого состояния, истирали в ступке и тщательно перемешивали.

Использовали 20 навесок глины (по 2 г), просеянных через пластмассовое сито с ячейками 2 мм, которые были помещены в 20 одноразовых герметично-закрываемых пробирок объемом 25 мл (в качестве пробирок использовали свежизготовленные преформы из полиэтилентерефталата (PET) для производства бутылок Кока-колы, имеющие закручивающиеся крышки из того же материала). Во все эти пробирки также заливали по 20 мл 0,33% раствора NaCl, содержащего различные концентрации $HgCl_2$: 0; 5; 10; 20; 50; 100; 150; 200; 500; 1000 мкг/л так, чтобы иметь дубликаты каждой концентрации. Кроме этого для приготовления бланков был использован третий ряд из

10 пробирок, не содержащих навесок супеси, но в которые были залиты те же растворы NaCl и HgCl₂, что и в указанные выше дубликаты. Таким образом, были получены три серии смесей. Первая и вторая серии были необходимы для определения содержания ртути, оставшейся в равновесном растворе, третья - для коррекции содержания ртути в рабочих растворах.

Все растворы были приготовлены на ультрачистой воде, используемой при анализе природных образцов на содержание ртути (см. раздел 2.2.1. настоящего отчета). Пробирки закрывали крышками, помещали в шейкер и встряхивали при температуре 15 °С в течение 6 часов со скоростью 200 мин⁻¹.

После встряхивания смеси раствора и супеси в каждой пробирке (а для бланков – только растворы) поместили в центрифугу ($w = 3000 \text{ rpm}$, $t = 10 \text{ min}$) для разделения фаз. Затем отфильтровали по 15 мл раствора в другие преформы через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм, добавили по 0,75 мл концентрированной хлороводородной кислоты и по 0,15 мл бромид-броматной смеси. На следующий день анализировали, как пробы воды, на спектрометре “Millennium Merlin” так же, как пробы воды при определении ртути в природных водах (см. раздел 2.2.1. настоящего отчета).

Результаты, полученные при определении концентрации HgCl₂ на 10 бланках, использовали как поправки для учета поглощения ртути поверхностями используемой посуды и оборудования.

По результатам измерений была построена диаграмма для изотермы адсорбции Фрейндлиха. Диаграмма состояла из двух линейных участков с изломом при концентрации ртути в исходном растворе 200 мкг/л. Левый участок диаграммы имел тангенс угла наклона близкий к единице. Это означало, что при содержании ртути в исходном растворе менее 200 мкг/л полученная зависимость была близка к изотерме Генри. Поскольку подземные воды в Северной промзоне г. Павлодара содержали ртуть менее 200 мкг/л, для построения компьютерной гидрогеологической модели ртутного загрязнения подземных вод оказалось возможным использовать изотерму адсорбции Генри с вычисленным по итогам лабораторного эксперимента коэффициентом распределения, равным **0,04 л/мг**.

2.3. Камеральная обработка

2.3.1. Создание Базы данных

Результаты полевых измерений и химико-аналитических работ были собраны в электронные «Итоговые таблицы 01.2006-2007, 02–09.2006, 01-06.2007, 01-04.2008», составившие Базу данных постдемеркуризационного мониторинга. Ввиду своих больших размеров База данных в настоящем отчете не приводится.

2.3.2. Развитие ГИС Северной промзоны г. Павлодара

ГИС Северной промзоны г. Павлодара, созданная ранее в 2000-2002 гг., в районе накопителя Балкылдак была детализирована и дополнена новыми данными как с помощью космических снимков и архивных материалов, так и за счет собственных измерений с помощью портативного GPS: были введены границы растительности, рельеф дна, уточнена современная береговая линия; также на промплощадке бывшего хлор-щелочного производства уточнены периметры прохождения противофильтрационной завесы по типу «стена в грунте».

2.3.3. Обработка результатов исследования ртутного загрязнения подземных вод

Результаты определения концентрации ртути общей в подземных водах в районе ртутного загрязнения («Итоговые таблицы 05.2006, 02.2007 и 02.2008») были нанесены на векторную карту вместе с результатами аналогичных исследований 2004 и 2005 гг. (Рис. 1, Приложение 3). Вместе с Таблицей 1 (Приложение 3) эта карта-схема

демонстрирует динамику изменения концентрации ртути общей в подземных водах в постдемеркуризационный период и позволяет выделить на площади шлейфа загрязнения участки с нарастающей/сохраняющейся ртутной концентрацией (из-за естественного смещения ртутного загрязнения вдоль потока подземных вод), а также участки со снижающейся ртутной концентрацией (например, из-за разбавления чистой водой в результате потерь из водопроводной сети или из-за прекращения питания подземных вод ртутью из основного источника загрязнения, локализованного противофильтрационной завесой по типу «стена в грунте»).

2.3.4. Обработка результатов исследования ртутного загрязнения почв

2.3.4.1. Результаты определения концентрации ртути в 19 пробах почвы, отобранных на промышленной площадке бывшего хлор-щелочного производства и на месте 6-й насосной станции сточных вод («Итоговая таблица 06.2006») показали, что после проведения демеркуризационных работ здесь, в основном, сохраняются высокие (от 2,1 до 95,1 мг/кг) уровни загрязнения почв ртутью (при предельно-допустимой концентрации ртути в почвах, ПДК_п, равной 2,1 мг/кг) как на поверхности глиняных экранов, закрывающих бетонные основания снесенных зданий, так и на территории, где проводились земляные работы, в том числе выемка верхнего слоя высокозагрязненных почв. В экстремальных значениях эти концентрации достигают величин порядка г/кг.

Соответственно, концентрации ртутных паров в приземном слое атмосферы («Итоговая таблица 07.2006») составляли значения от 100 до 1600 нг/м³ (из 16 точек измерений в 7 точках была превышена предельно-допустимая среднесуточная концентрация в атмосфере, ПДК_{с.с.}, равная 300 нг/м³). Наблюдалось (в 1 точке измерения) также экстремально высокое значение концентрации паров ртути (выше предельно-допустимой концентрации ртути для рабочей зоны, ПДК_{р.з.}, равной 10000 нг/м³), приуроченное к месту размыва атмосферными осадками глиняного экрана над бетонным основанием корпуса 31.

Полученные предварительные результаты показали сохраняющуюся высокую степень риска для работающего персонала со стороны загрязненных ртутью почв на территории бывшего хлор-щелочного производства и неэффективность мероприятий по их очистке, проведенных по Программе демеркуризации в 2002-2004 гг. Сохраняющееся загрязнение ртутью почв, в свою очередь, приводит к дополнительному поступлению растворимой ртути в подземные воды из-за фильтрации сквозь загрязненный слой почв талых вод и осадков, так как это загрязнение охватывает территорию за периметром, изолированным «стеной в грунте». Все это сделало необходимым провести в рамках проекта МНТЦ К-1240р более детальное обследование загрязнения ртутью верхнего слоя почв на территории 1-й промышленной площадки ПХЗ и создание новой карты загрязнения.

2.3.4.2. Результаты определения концентрации ртути в пробах почв, отобранных в 2002 г. по регулярной сети между промышленной площадкой №1 и накопителем Балкылдак на 5 участках возможного выклинивания загрязненных ртутью подземных вод («Итоговая таблица 06.2006»), были использованы для коррекции Карты ртутного загрязнения почв 2002 г. (см. Рис. 2, Приложение 3). В результате этой коррекции на карте обозначилась обширная область загрязнения верхнего слоя почв (с максимальным содержанием ртути выше 100 ПДК_п) севернее бывшей насосной станции сточных вод № 6, образованная поднятием загрязненных ртутью подземных вод к поверхности (см. раздел 2.4. настоящего отчета). Среднее содержание ртути общей в пробах травы, растущей на этом участке, превышает 0,1 мг/кг, достигая максимальных значений 0,2 мг/кг. Границы этого участка требуют уточнения.

2.3.4.3. В связи с обнаружением в 2006 г. сохраняющегося высокого уровня ртутного загрязнения почв на территории демеркуризации хлор-щелочного производства (раздел 2.3.4.1.) и новых участков ртутного загрязнения почв (раздел

2.3.4.2.) с помощью ГИС Северной промышленной зоны г. Павлодара был составлен План пробоотбора для составления новой карты ртутного загрязнения почв 2007-2008 гг.: Таблица с координатами точек отбора и 3 карты с местоположением точек отбора – (i) План пробоотбора почв на территории демеркуризации, (ii) План пробоотбора на промышленной площадке №1 ПХЗ (без территории демеркуризации) и (iii) План пробоотбора на территории вокруг промышленной площадки №1 ПХЗ (см. рис. 3-5, Приложение 3). К сожалению, в рамках проекта МНТИЦ К-1240р вследствие постоянно возникавших проблем со своевременным поступлением средств для проведения полевых работ удалось реализовать только первый из разработанных планов.

2.3.4.4. В рамках ГИС Северной промзоны г. Павлодара с помощью модуля Spatial Analyst программного обеспечения ArcGIS и по данным «Итоговой таблицы 04.2008» по 240 точкам опробования была составлена новая электронная Карта загрязнения ртутью верхнего слоя (0-10 см) почв на производственной площадке бывшего хлор-щелочного производства (Рис. 6, Приложение 3). Карта показала практически полностью сохранившийся уровень загрязнения почв, существовавший до проведения редимиационных работ, и высокий уровень рисков для лиц, работающих на ПХЗ, особенно в летнее время. Почвы с сохраняющимся высоким содержанием ртути также безусловно являются источником питания ртутью подземных вод.

2.3.5. Обработка результатов исследования донных отложений накопителя Балкылдак

В рамках ГИС Северной промзоны г. Павлодара с помощью модуля Spatial Analyst программного обеспечения ArcGIS и по данным «Итоговой таблицы 01.2006-2007» по 198 точкам опробования была составлена электронная карта глубин накопителя сточных вод Балкылдак и мощностей его донных отложений (см. Рис.7, Приложение 3).

Аналогичным образом результаты определения концентрации ртути в 334 пробах донных отложений по 198 точкам опробования («Итоговые таблицы 08.2006 и 08.2007») были использованы для создания векторной карты «Ртутное загрязнение донных отложений накопителя сточных вод Балкылдак» (см. Рис.8, Приложение 3).

Данные «Итоговых таблиц 01.2006-2007, 08.2006 и 08.2007» были также использованы для расчета запасов ртути в донных отложениях накопителя, который был произведен с помощью модуля пространственного анализа Spatial Analysis программного продукта ArcGIS, а также частично MapInfo Professional. Среди математических методов анализа были также опробованы Inverse distance inverse distance weighted (IDW), Spline и Kriging. Запасы ртути, депонированных в донных отложениях накопителя сточных вод Балкылдак, были оценены как **135,336 т**.

2.4. Компьютерное моделирование

2.4.1. Моделирование распространения загрязнения подземных вод растворимыми формами ртути

На первом этапе моделирования была создана и откалибрована локальная гидродинамическая модель загрязненного ртутью участка подземных вод в районе бывшего ПО "Химпром". Целью этих работ являлось уточнение прогнозов распространения ртутьсодержащих подземных вод за счет учета процессов сорбции-десорбции ртути водовмещающими породами, а также изучение возможной взаимосвязи вод ниже-среднеплиоценовых отложений павлодарской свиты и олигоценых отложений некрасовской серии. Соотношение границ региональной и локальной моделей в плане показано на рис. 9, Приложения 3.

Для достижения поставленной цели был осуществлен сбор дополнительных архивных данных, проведены полевые рекогносцировочные исследования, уточнены

гидрогеологические условия в пределах границ локальной модели, выполнена схематизация гидрогеологических условий, подготовлены исходные данные в соответствующих форматах, средствами GMS 6.0 создана локальная гидродинамическая модель и выполнена ее калибровка.

По собранным данным построены 20 детальных гидрогеологических разрезов, проведенных в субширотном и субмеридианальном направлениях. Линии разрезов показаны на рис. 9. Трехмерная диаграмма, отображающее литологическое строение моделируемой области, показана на рис. 10, Приложения 3. На основе гидрогеологических разрезов средствами GMS была построена модель стратиграфии.

Моделируемая область в разрезе схематизирована в виде 19 слоев (региональная модель состоит из 5 слоев). В плане она аппроксимирована ортогональной сеткой с шагом 40 м (для региональной модели в области распространения ореола загрязнения шаг изменялся от 50 до 200 м) и размером 113 x 92 блока. По внешним границам модели-врезки задавались напоры, изменяющиеся во времени, которые соответствовали напорам, полученным на региональной модели Северной промышленной зоны г. Павлодара.

С целью калибровки модели была решена обратная стационарная задача. Воспроизведено положение уровня подземных вод на 1970 г., т.е. на условно ненарушенный период. Уточнены коэффициенты фильтрации водовмещающих пород и величина инфильтрационного питания подземных вод. Средняя ошибка решения была не более 1 см. Результат решения обратной стационарной задачи приведен на рис. 11, Приложения 3.

Для оценки возможного ртутного загрязнения почв в результате поднятия к поверхности земли загрязненных подземных вод и их испарения был выполнен анализ особенностей гидрогеологических условий исследуемой территории и результатов моделирования. На рис.12 Приложения 3 показано пространственное соотношение региональной модели гидрогеологических условий Северной промзоны г. Павлодара и локальной модели для участка загрязнения подземных вод ртутью. На разрезе цветом выделены водовмещающие породы с различными фильтрационными свойствами.

При создании локальной модели потребовалось воспроизведение детального литологического строения исследуемой территории (см. рис. 13, Приложение 3).

Качество калибровки локальной модели было оценено по степени ее соответствия существующим природным условиям с учетом результатов, полученных на региональной модели. Калибровка включала в себя решение серии обратных задач: стационарной и нестационарной гидродинамических задач, а также задачи транспорта ртути потоком подземных вод.

При решении обратной стационарной гидродинамической задачи воспроизводилось положение уровней подземных вод на условно ненарушенный период (1970 г.). Изменение уровня поверхности с 1970 по 2006 гг. имитировалось решением на модели обратной нестационарной гидродинамической задачи. Коэффициент гравитационной водоотдачи был задан равным 0.22. Коэффициент упругой водоотдачи водовмещающих пород был равен 0.001 1/м. Максимальная величина питания подземных вод за счет потерь из инженерных коммуникаций достигала 0.002 м/день. Условия по границам задавались путем интерполяции в граничные блоки локальной модели решения, полученного на региональной модели (см. рис. 14, Приложение 3).

Для моделирования процесса переноса ртути потоком подземных вод в плане и разрезе решалась обратная задача транспорта (на период с 1975 по 2006 гг.). Адвективная составляющая потока вещества рассчитывалась исходя из решения гидродинамической задачи. На локальной модели была воспроизведена адсорбция ртути водовмещающими породами. Было принято, что равновесие между жидкой и твердой фазами устанавливается мгновенно. Для описания процесса адсорбции

растворенной ртути была использована линейная изотерма Генри (модель необратимой равновесной сорбции):

$$\bar{C} = K_d C,$$

где \bar{C} [ММ⁻¹] – концентрация сорбированного вещества, C [М/Л³] – концентрация вещества в растворе, K_d [Л³М⁻¹] – коэффициент распределения.

Основываясь на результатах лабораторных опытов по адсорбции ртути глинистой фракцией, содержащейся в супеси, отобранной из района загрязнения (см. раздел 2.2.3. настоящего отчета), было принято, что константа Генри может изменяться в пределах от 0.01 до 0.04 л/мг для глинистых пород и от 0.00001 л/мг для разномерных песков до 0.0015 л/мг для глинистых и пылеватых (в зависимости от примеси в них глины). Пористость глинистых пород была принята как 0.3, песчаных – 0.22. Концентрация растворенной ртути в подземных водах вблизи очагов ртутного загрязнения почв изменялась от 0.5 до 0.04 мг/л.

Совпадение с достаточной степенью точности рассчитанных значений уровней подземных вод и концентраций ртути со значениями, полученными в результате проведения полевых исследований, позволяет говорить об адекватности уточненной локальной модели существующим природным условиям (см. рис. 15, Приложение 3).

В пределах моделируемой области водовмещающие породы представлены песками с невыдержанными по простиранию прослоями глин и суглинков. Через глинистые прослои, даже маломощные, ртуть практически не проникает, но она адсорбируется на их поверхности.

2.4.2. Моделирование распространения загрязнения подземных вод растворимыми нефтепродуктами

На основе собранных архивных данных с помощью программы GMS 6.0 была создана и откалибрована крупномасштабная локальная гидродинамическая модель района загрязнения подземных вод нефтепродуктами, имитирующая движение подземных вод под воздействием естественных и техногенных факторов. Цель – спрогнозировать на модели изменение гидрогеологических условий и определить траекторию движения растворенных в подземных водах нефтепродуктов. Соотношение границ региональной и локальной моделей в плане показано на рис. 16, Приложение 3. Строение моделируемой области в разрезе приведено на рис. 17 и 18, Приложение 3.

Моделируемая область в разрезе схематизирована в виде 13 слоев. В плане она аппроксимирована ортогональной сеткой, шаг которой изменяется от 10 м в источнике загрязнения подземных вод нефтепродуктами до 40 м в периферийной части моделируемой области. Размер сети 82 x 90 блока. По внешним границам модели-врезки задавались напоры, изменяющиеся во времени, которые соответствовали напорам, полученным на региональной модели северной части Павлодарского промышленного района.

С целью калибровки модели решена обратная стационарная задача. На модели воспроизведено положение уровня подземных вод на 1970г, т.е. на условно ненарушенный период. Уточнены коэффициенты фильтрации водовмещающих пород и величина инфильтрационного питания подземных вод. Результат решения обратной стационарной задачи приведен на рис. 19, Приложение 3. Средняя ошибка решения около 0.3 м.

Изменение уровня поверхности подземных вод с 1970 по 2006 гг. имитировалось решением на модели обратной нестационарной гидродинамической задачи. Результат решения обратной стационарной задачи приведен на рис. 20, Приложение 3. Средняя ошибка решения порядка 0.3 м.

На модели с помощью модуля MODFLOW было спрогнозировано изменение гидрогеологических условий на тридцатилетний период. При постановке прогнозной

задачи считалось, что основным источником загрязнения является нефтяной амбар на очистных сооружениях Павлодарского нефтехимического завода (см. раздел 2.1.1.3.). С использованием модуля ModPath были рассчитаны траектории движения растворенных в подземных водах нефтепродуктов.

При реализации проекта МНТЦ К-1240р не удалось выполнить запланированных полевых исследований и детального картирования существующего шлейфа загрязнения подземных вод нефтепродуктами, определения миграционных параметров нефтепродуктов, фактической скорости распространения загрязнения. Поэтому для оценки риска загрязнения подземных вод растворимыми нефтепродуктами для проживающего в северном пригороде Павлодара населения и поймы р. Иртыш была создана модель, которая отображала только траекторию наиболее вероятного прогнозного распространения растворенных нефтепродуктов без учета процессов сорбции, биodeградации и т.д.

3. Результаты

Задача 1: Изучение поднятия ртутьсодержащих подземных вод в понижения в насыщенной и ненасыщенной зонах и накопления ртути в мелких водоемах, почве и растительности. Разработка стратегии управления с целью сдерживания риска на данной территории для населения и крупного рогатого скота

Трехгодичный последемеркуризационный мониторинг в Северной промышленной зоне г. Павлодара (в основном, заключающийся в наблюдении за ртутным загрязнением подземных вод и почв) показал продолжение распространения за пределами производственной площадки ПХЗ шлейфа ртутного загрязнения подземных вод в северо-северо-западном направлении от бывшего хлорного производства и бывшей 6-й насосной станции сточных вод, как это было предсказано результатами компьютерного моделирования (см. Рис. 1 и Таблицу 1 в Приложении 3). Именно продолжающееся распространение шлейфа загрязнения является причиной появления и роста высоких концентраций ртути в скважинах 73-02 и 79-02, хотя ранее ртуть в них не обнаруживалась совсем. Это также проявляется в продолжающемся росте высоких концентраций ртути в скважинах С-15-03, С-14-03, 66-02, 84-02, 68-02, В-21 и В-22, а также в сохраняющихся высоких уровнях концентраций ртути в скважинах С-8-03, С-9-03, С-12-03, С-13-03. Распространение шлейфа загрязнения подземных вод очень опасно, так как несмотря на отсутствие рисков загрязнения ртутью подземных источников водоснабжения села Павлодарского и попадания ртути в реку Иртыш, происходит загрязнение ртутью верхнего слоя почв (выше ПДК_п, равного 2,1 мг/кг) и растительности в местах, где ртутьсодержащие подземные воды имеют возможность подниматься к дневной поверхности.

На Карте ртутного загрязнения почв Северной промышленной зоны г. Павлодара (2002 г.), дополненной результатами полевых исследований 2006 г. (см. Рис. 2, Приложении 3), в месте выклинивания загрязненных ртутью подземных вод наблюдается обширный участок подобного загрязнения ртутью верхнего слоя почв до уровня концентраций в сотни мг/кг для почв (более 50 ПДК_п) и десятых долей мг/кг для трав. К сожалению, границы этого участка не были определены, между тем эта территория используется как пастбище для выпаса крупного рогатого скота, принадлежащего жителям села Павлодарское.

В скважинах, расположенных вдоль восточной границы шлейфа загрязнения за пределами 1-й промышленной площадки ПХЗ (см. Рис. 1 и Таблицу 1. в Приложении 3) наблюдается обратная картина, также предсказанная компьютерным моделированием, когда ртутные концентрации в подземных водах систематически снижаются.

Снижение концентрации ртути в подземных водах происходит также в пределах производственной площадки ПХЗ (см. Рис. 1 и Таблицу 1. в Приложении 3), однако это происходит крайне неравномерно (в средней части шлейфа концентрация ртути стремительно упала до безопасного уровня меньше 500 нг/л, в голове шлейфа она снижается намного медленнее ожидаемого, а для скважин 567-00 и С1/1-03, находящихся в пределах промплощадки бывшего хлор-щелочного производства, даже растет), что плохо согласуется с прогнозом. Причин этому могут быть две: (i) разбавление загрязненных подземных вод в результате потерь чистой воды из водопроводной сети, а также (ii) сохраняющееся, несмотря на проведенные работы по локализации основных «горячих очагов» ртутного загрязнения, взаимодействие подземных вод с этими или другими источниками питания подземных вод ртутью.

Результаты определения концентрации ртути метиловой для подземной воды в трех скважинах в районе шлейфа ртутного загрязнения («Итоговая таблица 04.2006») имели значения от единиц нг/л до десятков нг/л, что в среднем составляло 0,01% от концентрации ртути общей.

Состояние ртутного загрязнения верхнего слоя почв непосредственно на территории производственной площадки бывшего хлорного производства (см. Рис. 6, Приложение 3) несмотря на проведенные работы по очистке продолжает оставаться чрезвычайно опасным (наблюдаются экстремальные концентрации ртути порядка г/кг, что выше ПДК_п в 1000 раз). Глиняные экраны, закрывающие бетонные основания разобранных зданий хлорного производства во многих местах размыты атмосферными осадками и весенними паводковыми водами так, что видна капельная ртуть. Все это приводит к высокой эмиссии паров ртути в атмосферу (концентрация ртути в приземном слое воздуха в экстремальных значениях превышала 10000 нг/м³, что было выше не только ПДК_{сс} равной 300 нг/м³, но даже ПДК_{рз}) и питанию растворимыми формами ртути подземных вод вне периметра противифльтрационной завесы по типу «стена в грунте», окружающей основные подземные «горячие очаги» ртутного загрязнения. Кроме сохранения высоких рисков окружающей среде и здоровью персонала АО Каустик такая ситуация не позволяет оценить эффективность противифльтрационной завесы в качестве средства изоляции «горячих очагов» ртути от подземных вод.

В то же время было установлено, что могильники на производственной площадке ПХЗ и на месте спецпрудов для хранения жидких и твердых ртутьсодержащих отходов не представляют заметного риска в качестве источника загрязнения ртутью подземных вод. Измеренные уровни концентраций ртутных паров в центре могильника для строительных конструкций (50 м южнее бывшего корпуса 31) – около 200 нг/м³ (по 2 точкам измерения), а также на месте спецпрудов для твердых и жидких ртутьсодержащих отходов на южном берегу накопителя Балкылдак – от 100 до 200 нг/м³ (по 4 точкам измерения) показали достаточно хорошую изоляцию ртутных отходов с помощью этих инженерных сооружений.

Представленная на Рис. 6 в Приложении 3 Карта ртутного загрязнения верхнего слоя почв в зоне демеркуризации (2008 г), может явиться основанием разработки ТЭО 2-й фазы демеркуризации 1-й промышленной площадки бывшего ПО «Химпром» г. Павлодар. Из обсужденных с экспертами на специальных конференциях и семинарах технологий извлечения ртути из верхнего слоя почв нами была выбрана и рекомендуется к использованию в Павлодаре самая дешевая и перспективная. Она используется компанией ГЕОтест, Брно, Чехия на бывшем хлор-щелочном производстве в городе Влора, Албания и заключается в пульпировании загрязненных металлической ртутью грунтов с последующей гравитационной сепарацией ртути.

Гидрологические данные и результаты химического анализа, собранные в результате мониторинга подземных вод, позволили развить и улучшить компьютерную

модель ртутного загрязнения подземных вод. Они также явились основой успешного проведения полевых испытаний технологии биоремедиации подземных вод, выполненных в 2010-2011 гг. по проекту МНТЦ К-1477р. Эта технология имеет перспективы стать наиболее дешевым и эффективным способом иммобилизации ртути в подземных водах Северной промышленной зоны г. Павлодара.

Задача 2: Оценка возможности изменения направления потока ртутьсодержащих подземных вод, исследование его взаимодействия с вмещающими породами и нижележащими водоносными горизонтами

Собранные дополнительные данные по ртутному загрязнению подземных вод («Итоговые таблицы 02–05.2006, 01-02.2007, 01-02.2008») и сорбции ртути вмещающими породами в Северной промышленной зоне г. Павлодара (см. раздел 2.2.3. настоящего отчета), а также использование системы моделирования GMS 6.0 позволили разделить компьютерную модель ртутного загрязнения, на региональную и локальные, что создало дополнительные возможности для моделирования. В частности, по результатам моделирования было установлено, что перенос ртути осуществляется не только в горизонтальном направлении в песках между глинистыми прослоями, но и в вертикальном, снизу-вверх, через так называемые “окна” в местах выклинивания глинистых слоев. Это позволяет говорить о наличии участков загрязнения, где ртуть может попасть в зону аэрации, а затем в растения и поверхностные воды.

Выделение участков возможного попадания ртути в зону аэрации в свою очередь потребовало дополнительного анализа особенностей гидрогеологических условий на исследуемой территории и результатов моделирования. Для этого в пределах распространения ореола ртутного загрязнения были построены 13 уточненных гидрогеологических разрезов на основании первичной гидрогеологической информации, содержащейся в базах данных. Карта фактического материала и четыре основных разреза показаны на рис. 21-25, Приложение 3. Эти разрезы наряду с результатами решения на локальной модели различных вариантов прогнозных задач легли в основу районирования территории (по глубине залегания уровня грунтовых вод, концентрации ртути в подземных водах и особенностям литологического строения). Для выполнения районирования были использованы карты литологического строения с выделением областей отсутствия глин в верхней части разреза, распределения концентраций ртути в подземных водах на различные моменты времени и глубин залегания грунтовых вод с выделением зон, соответствующих глубинам меньше критической. Величина критической глубины (т.е. глубины, с которой начинается испарение подземных вод), по ранее проведенным полевым исследованиям была принята как 2,4 м. По результатам районирования были выявлены зоны, где загрязненные ртутью подземные воды могут подойти к нижней границе зоны аэрации (рис. 26, Приложение 3). 3D диаграмма распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод по результатам моделирования по состоянию на конец 2006 г. приведена на рис. 27, Приложение 3.

Выполненный прогноз распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод на 30 лет (2007 – 2037 гг.) указывает на высокий риск возникновения новых очагов ртутного загрязнения почв на территории между промышленной площадкой №1 и накопителем Балкылдак. В то же время был подтвержден прогноз 2002 г., согласно которому нет никакого риска ртутного загрязнения реки Иртыш и водозаборных скважин села Павлодарского при сохранении существующих гидрогеологических условий, определяющих направление движения загрязненных ртутью подземных вод. Отмечено, что неблагоприятное изменение гидрогеологических условий может быть вызвано только техногенными причинами.

Задача 3: Исследование распространения с территории Павлодарского нефтеперерабатывающего завода (ПНХЗ) подземных вод, загрязненных нефтепродуктами; разработка модели и оценка риска окружающей среде от загрязнения нефтепродуктами подземных вод Северной промзоны г. Павлодара

Созданная локальная компьютерная гидродинамическая модель значительно точнее, чем региональная, учитывала особенности литологического строения в области распространения ореола загрязнения подземных вод нефтепродуктами. Был уменьшен шаг сеточной аппроксимации моделируемой области в плане до 10 м (для региональной модели он изменяется в области распространения шлейфа загрязнения подземных вод нефтепродуктами от 50 до 200 м). Значительно детальнее были схематизированы гидрогеологические условия в разрезе - количество слоев локальной модели увеличено до 13 (региональная модель состоит из 5 слоев). На модели была рассчитана прогнозная траектория перемещения растворенных в подземных водах нефтепродуктов от очистных сооружений на промплощадке ПНХЗ (северо-западный угол) в направлении реки Иртыш (см. рис.27, Приложение 3).

Рассчитанная с помощью модуля ModPath траектория проходит к реке Иртыш практически через середину села Павлодарское, что подтверждает риски попадания нефтепродуктов в скважины и колодцы. Для получения более детального прогноза требуется проведение дополнительных полевых и лабораторных исследований по картированию ореола загрязнения подземных вод нефтепродуктами и определению фактической скорости его перемещения. Необходимо определить состав поступающих в подземные воды нефтепродуктов и их свойства, а также функциональные зависимости между проницаемостью водовмещающих пород, их насыщенностью и давлением флюида. Для получения более достоверных результатов модель должна учитывать фильтрацию трехкомпонентного флюида (вода, воздух, нефтепродукты), поэтому зависимости между проницаемостью, насыщенностью и давлением должны быть получены для каждого из компонентов.

Задача 4: Оценка возможности сдерживания риска, исходящего от ртутного загрязнения накопителя сточных вод - озера Балкылдак, в том числе обитающей в нем рыбы

Проведенные полевые и химико-аналитические исследования 2006-2008 гг. позволили развить ГИС накопителя Балкылдак и составить векторные карты мощности его донных отложений и их ртутного загрязнения (Рис. 7 и 8, Приложение 3). В результате постоянной волновой деятельности, достигающей дна этого относительно мелкого водоема (максимальные глубины до 10 м наблюдаются только в двух относительно небольших впадинах, оставшихся от соленых природных озер), перераспределение техногенных илов привело к сосредоточению основной массы ртутьсодержащих осадков на площади, составляющей только 1/5 площади его акватории. Рассчитана масса ртути, поступившей в накопитель со сточными водами ПО «Химпром», равная **135 336 кг**. Эта цифра позволяет оценить потери ртути на аналогичных хлор-щелочных производствах бывшего СССР, сбрасывающих сточные воды в проточные водоемы, например, реки Волга, Обь и Ангара. Карта ртутного загрязнения накопителя Балкылдак может также явиться основанием для разработки ТЭО его демеркуризации. Из обсужденных с экспертами на специальных семинарах и конференциях технологий извлечения загрязненных ртутью донных отложений нами была выбрана и рекомендуется самая дешевая и перспективная. Она была использована в морском заливе Минамата в Японии и заключается в откачке мягких илов с помощью земснаряда и их перемещения в изолированный пруд на берегу накопителя с

последующим осушением и захоронением в могильнике, сооруженном на месте этого же пруда.

Химический анализ проб поверхностных вод накопителя сточных вод Балкылдак, отобранных вблизи бывших спецпрудов для ртутных отходов («Итоговая таблица 03.2008»), показал снижение уровня их ртутного загрязнения после проведения работ по сооружению могильника на месте спецпрудов для ртутных отходов: среднее содержание ртути общей в воде составило в 2008 г. 300 нг/л (0,6 ПДК_в), против устойчивых 3000 нг/л (6 ПДК_в) в 2001-2002 гг. в этом же месте отбора. Однако следует принять во внимание, что в 2001-2004 гг. среднее содержание ртути общей в поверхностных водах остальной акватории накопителя находилось на уровне 100-300 нг/л и колебалось главным образом в зависимости от интенсивности волнения его поверхности (и соответствующего содержания в воде взвешенных частиц ила), а среднее содержание ртути растворенной в отфильтрованных пробах его вод всегда было стабильно ниже 10 нг/л для любых точек отбора с поверхности водоема (последние данные были также подтверждены в 2008 г.). Таким образом, наблюдающееся снижение уровня загрязнения поверхностных вод накопителя являлось достаточно локальным и было вызвано прекращением пыления твердых ртутных отходов из спецпрудов на его берегу и представлявших собой главным образом сульфид ртути (II).

Ихтеофауна технического водоема Балкылдак однообразна и на 99% состоит из карася серебряного. Пищевые цепи не содержат хищников и примитивны. Поскольку главными компонентами питания карасей всех возрастных групп являются мягкая водная растительность и водоросли, то средние уровни содержания ртути общей в планктоне (0,485 мг/кг для 2007 г.), бентосе и моллюсках (0,545 мг/кг для 2007 г.) и рыбе (0,271 мг/кг для 2006 г. и 0,376 мг/кг для 2007 г.) являются величинами одного порядка. Локальное снижение на порядок ртутного загрязнения поверхностных вод в накопителе Балкылдак привело к заметному снижению ртутного загрязнения обитающей в нем рыбы: среднее содержание ртути общей в карасе серебряном (2006-2007 гг.) понизилось до уровня 0,3 мг/кг (1 ПДК_{нхр}) против 2,1 мг/кг (7 ПДК_{нхр}) в 2001-2002 гг. Возможно также, что такое снижение уровня содержания ртути в рыбе было связано со значительным снижением концентрации растворенной ртути, поступающей в Балкылдак вместе с подземными водами и выклинивающимися на дне накопителя: для скважин С21-03, С22-03, С25-03, С27-03, С30-03 (см. Рис. 1 и Таблицу 1. в Приложении 3), расположенных на берегу накопителя вблизи спецпрудов, произошло снижение концентрации ртути в подземных водах, причем для двух из них – вдвое, а для одной - в восемь раз.

Тем не менее, экземпляры рыб, содержащие ртуть от 1,0 до 1,5 мг/кг (3-5 ПДК_{нхр}), продолжали в 2006 и 2007 гг. широко встречаться в накопителе Балкылдак, а значит риски для здоровья людей, занимающихся рыбной ловлей, остаются относительно высокими. Местным властям следует продолжать разъяснительную работу через СМИ, предупреждающую об опасности использования рыбы из накопителя Балкылдак в качестве продукта питания, а также практику административного запрета на промышленный лов рыбы в его акватории.

Вопрос об извлечении ртутьсодержащих донных отложений накопителя Балкылдак должен быть рассмотрен после принятия решения об его дальнейшем использовании, что в первую очередь зависит от перспектив и направления развития химических производств АО Каустик.

Задача 5: Выработка и обсуждение на региональном уровне рекомендаций по 2-й фазе демеркуризации и другим реабилитационным мероприятиям в Северной промзоне г. Павлодара в районе бывшего ПО «Химпром», включая рекомендации

по ликвидации или дальнейшему безопасному использованию накопителя сточных вод – озера Балкылдак

Обсуждены и представлены региональным властям рекомендаций по 2-й фазе демеркуризации и другим реабилитационным мероприятиям в Северной промзоне г. Павлодара в районе бывшего ПО «Химпром», основными из которых являются:

- необходимо продолжить мониторинг ртутного загрязнения Северной промышленной зоны г. Павлодара (главным образом подземных вод) и картирование ртутного загрязнения почв, а также подготовить ТЭО 2-й фазы демеркуризационных работ для 1-й промышленной площадки ПХЗ,
- техническое задание для подготовки ТЭО 2-й фазы демеркуризационных работ должно включать в себя разработку трех ремедиационных проектов: (i) по очистке от ртути и восстановлению почв на промышленной площадке бывшего хлор-щелочного производства, (ii) по иммобилизации ртути в подземных водах и (iii) по очистке от загрязненных ртутью донных отложений накопителя Балкылдак.

4. Заключение

Трехгодичный последемеркуризационный мониторинг в Северной промышленной зоне г. Павлодара установил продолжение распространения за пределами производственной площадки ПХЗ шлейфа ртутного загрязнения подземных вод в северо-северо-западном направлении от бывшего хлорного производства и бывшей 6-й насосной станции сточных вод, как это было предсказано результатами компьютерного моделирования. При этом, несмотря на отсутствие рисков загрязнения ртутью подземных источников водоснабжения села Павлодарского и попадания ртути в реку Иртыш, происходит загрязнение ртутью верхнего слоя почв (выше ПДК_п, равного 2,1 мг/кг) и растительности в местах, где ртутьсодержащие подземные воды имеют возможность подниматься к дневной поверхности.

В пределах производственной площадки ПХЗ снижение концентрации ртути в подземных водах происходит крайне неравномерно (в средней части шлейфа концентрация ртути стремительно упала до безопасного уровня ниже 500 нг/л, в голове шлейфа она снижается намного медленнее ожидаемого), что плохо согласуется с прогнозом. Причин этому могут быть две: (i) разбавление загрязненных подземных вод в результате потерь чистой воды из водопроводной сети, (ii) сохраняющееся, несмотря на проведенные работы по локализации основных очагов ртутного загрязнения, взаимодействие подземных вод с источниками питания подземных вод ртутью.

На территории бывшего хлор-щелочного производства ПО «Химпром» г. Павлодар в 2010-2011 гг. были успешно проведены полевые испытания технологии биоремедиации загрязненных ртутью подземных вод, разработанной по проектам МНТЦ К-756р и К-1477р. Эта технология имеет перспективу стать наиболее дешевым и эффективным способом иммобилизации ртути в подземных водах Северной промышленной зоны г. Павлодара.

Состояние ртутного загрязнения верхнего слоя почв непосредственно на территории производственной площадки бывшего хлорного производства продолжает оставаться чрезвычайно высоким (наблюдаются экстремальные концентрации ртути порядка г/кг, что выше ПДК_п в 1000 раз) несмотря на проведенные работы по очистке. Глиняные экраны, закрывающие бетонные основания разобранных зданий хлорного производства во многих местах размывы атмосферными осадками и весенними паводковыми водами так, что видна капельная ртуть. Все это приводит к высокой эмиссии паров ртути в атмосферу (концентрация ртути в приземном слое воздуха в экстремальных значениях превышала 10000 нг/м³, что выше не только ПДК_{сс} равной

300 нг/м³, но даже ПДК_{рз}) и питанию растворимыми формами ртути подземных вод вне периметра противодиффузионной завесы по типу «стена в грунте», окружающей основные подземные очаги ртутного загрязнения. Кроме сохранения высоких рисков окружающей среде и здоровью персонала АО Каустик такая ситуация не позволяет оценить эффективность противодиффузионной завесы в качестве средства изоляции ртутных «горячих очагов» от подземных вод.

В то же время было установлено, что могильники на производственной площадке ПХЗ и на месте спецпрудов для хранения жидких и твердых ртутьсодержащих отходов не представляют никакого риска в качестве источника загрязнения ртутью подземных вод и атмосферы.

Из обсужденных технологий извлечения ртути из верхнего слоя почв для использования в на территории ПХЗ выбрана самая дешевая и перспективная. Она используется компанией ГЕОтест, Брно, Чехия на бывшем хлор-щелочном производстве в городе Влора, Албания и заключается в пульпировании загрязненных грунтов с последующей гравитационной сепарацией ртути.

Собранные дополнительные данные по ртутному загрязнению подземных вод и сорбции ртути вмещающими породами в Северной промышленной зоне г. Павлодара, а также использование системы моделирования GMS 6.0 позволили разработать компьютерную модель ртутного загрязнения, разделив ее на региональную и локальные модели, а также подготовив трехмерный вариант модели.

Выполненный прогноз распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод на 30 лет (2007 – 2037 гг.) указывает на высокий риск возникновения новых очагов ртутного загрязнения почв на территории между промышленной площадкой №1 и накопителем Балкылдак за счет попадания растворенной ртути в зону аэрации. В то же время нет никакого риска ртутного загрязнения реки Иртыш и водозаборных скважин села Павлодарского при сохранении существующих гидрогеологических условий, определяющих направление движения загрязненных ртутью подземных вод.

Полевые исследования установили распространение на глубине 2,6 м подземной нефтяной амбар мощностью не менее 2 м поверх уровня подземных вод за пределы северо-западного угла производственной площадки Павлодарского нефтехимического завода (ПНХЗ) на расстояние в 25 м. Этот амбар является источником питания подземных вод растворимыми нефтепродуктами.

Созданная компьютерная гидродинамическая модель распространения загрязнения подземных вод растворимыми нефтепродуктами между ПНХЗ и селом Павлодарское позволила рассчитать траекторию шлейфа загрязнения, проходящего к реке Иртыш через середину села Павлодарское и показать высокую вероятность попадания нефтепродуктов в скважины и колодцы, и, соответственно, высокие потенциальные риски для здоровья населения этого населенного пункта.

Проведенные полевые и химико-аналитические исследования 2006-2008 гг. позволили разработать ГИС накопителя Балкылдак и составить векторную карту ртутного загрязнения его донных отложений. Рассчитанная по этой карте масса ртути, поступившей в накопитель со сточными водами ПО «Химпром», равна **135 336 кг**. Карта ртутного загрязнения накопителя Балкылдак может также явиться основанием для разработки ТЭО его демеркуризации. Из обсужденных технологий извлечения загрязненных ртутью донных отложений для накопителя Балкылдак выбрана самая дешевая и перспективная. Она была использована в заливе Минамата в Японии и заключается в извлечении мягких илов с последующим захоронением в могильнике.

Изучена биота и возможные пищевые цепи накопителя Балкылдак. Учитывая существенное снижение содержания ртути в последемеркуризационный период, как в воде накопителя (ниже ПДК_в), так и отлавливаемой из него рыбы (на уровне ПДК_{нхр} для средних значений и 4 ПДК_{нхр} для экстремальных случаев) и, соответственно, снижение рисков для здоровья населения, местным властям рекомендовано ограничиться

разъяснительной работой через СМИ, предупреждающей об опасности использования рыбы из накопителя Балкылдак в качестве продукта питания, а также практикой административного запрета на промышленный лов рыбы в его акватории.

Вопрос об извлечении ртутьсодержащих донных отложений накопителя Балкылдак должен быть рассмотрен после принятия решения об его дальнейшем использовании, что в первую очередь зависит от перспектив развития АО Каустик.

5. Комментарии

- Результаты, полученные по проекту МНТЦ К-1240р, переданы местным органам власти для продолжения мониторинга ртутного загрязнения Северной промышленной зоны г. Павлодара и подготовки 2-й фазы демеркуризационных работ на 1-й промлощадке ПХЗ. Результаты мониторинга и компьютерное моделирование загрязнения подземных вод нефтепродуктами требуют продолжения полевых исследований и в первую очередь создания сети наблюдательных скважин вдоль траектории вероятного шлейфа загрязнения подземных вод нефтепродуктами. К сожалению, это направление исследований по проекту К-1240р не нашло поддержки у местных органов власти, так как затрагивало интересы действующего Павлодарского нефтехимического завода. Тем не менее, рано или поздно, эти данные будут востребованы.
- Финальные отчеты по проекту МНТЦ К-1240р будут выставлены в Интернете на веб-сайте <http://Hg-Pavlodar.narod.ru> и станут доступны всем желающим, точно также как это уже было сделано со всеми квартальными и годовыми отчетами по этому проекту.
- На основе материалов, полученных по проекту МНТЦ К-1240р, возможно составление технических заданий для разработки ТЭО трех проектов ремедиации: (i) по очистке от ртути и восстановлению почв на промышленной площадке бывшего хлор-щелочного производства, (ii) по иммобилизации ртути в подземных водах, (iii) по очистке загрязненных ртутью донных отложений накопителя Балкылдак.
- Оригинальная биотехнология иммобилизации ртути в подземных водах разрабатывалась при выполнении проектов МНТЦ К-756р и К-1477р при поддержке проекта МНТЦ К-1240р. Она была доведена до стадии успешного завершения предварительных полевых испытаний пилотной установки.

Приложение 1: Перечень опубликованных докладов и статей

1. М.А. Илющенко, Л.В.Яковлева. Смена концепции для технологий ремедиации водных объектов и территорий, загрязненных ртутью. В сб. Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7-9 сентября 2010 г.). М., ГЕОХИ РАН, 2010, С.414-418 (Ru).
На примере проектов завершенных проектов ремедиации территорий ртутного загрязнения (залив Минамата, река Нура, хлор-щелочное производство в Павлодаре) рассмотрена эффективность демеркуризационных технологий. Показано, что полная очистка с использованием традиционных технологий невозможна ввиду экономических ограничений. Перспективными являются различные технологии, изолирующие «горячие очаги» или иммобилизующие ртуть, а также микробиологические технологии ее извлечения.
2. Л.В.Яковлева, М.А. Илющенко. Опыт демеркуризации хлор-щелочного и ацетальдегидного производств в Казахстане. В сб. Ртуть в

биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7-9 сентября 2010 г.). М., ГЕОХИ РАН, 2010, С.456-460 (Ru).

Сравнение технологий очистки и результатов ремедиации ртутных загрязнений в Павлодаре и Темиртау.

3. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, М.А.Илющенко, Т.Тантон, П.Рэндал. Математическая модель загрязнения подземных вод ртутью северной части Павлодарского промышленного района (Республика Казахстан). В сб. Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7-9 сентября 2010 г.). М., ГЕОХИ РАН, 2010, С.440-445 (Ru).

Разработка и использование гидрогеологической модели для оценки риска и прогнозирования эффективности технологий демеркуризации «горячих очагов» ртутного загрязнения в Павлодаре.

4. М.А.Илющенко, L.V.Yakovleva. Change of a concept of remediation in case of mercury contamination. CD-ROM Proceedings 11-th International UFZ-Deltares/TNO Conference on Management of Soil, Groundwater & Sediments. Consoil 2010 (Salzburg, Austria 22-24 September 2010) (En).

На примере проектов завершённых проектов ремедиации территорий ртутного загрязнения (залив Минамата, река Нура, хлор-щелочное производство в Павлодаре) рассмотрена эффективность демеркуризационных технологий. Показано, что полная очистка с использованием традиционных технологий невозможна ввиду экономических ограничений. Перспективными являются различные технологии, изолирующие «горячие очаги» или иммобилизующие ртуть, а также микробиологические технологии ее извлечения.

5. L.V.Yakovleva, M.A.Ilyushchenko. Experience of demercurization of chlor-alkali and acetaldehyde productions in Kazakhstan. CD-ROM Proceedings 11-th International UFZ-Deltares/TNO Conference on Management of Soil, Groundwater & Sediments. Consoil 2010 (Salzburg, Austria 22-24 September 2010) (En).

Сравнение технологий очистки и результатов ремедиации ртутных загрязнений в Павлодаре и Темиртау.

6. А.В.Убаськин, А.П.Бондаренко, Б.А.Туллубаев, Г.А.Баймуханова. Опыт участия студентов и школьников в международном экологическом проекте в бассейне Среднего Иртыша. Материалы IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии» (Караганда, 09-10.12.2010), Караганда 2010, С.229-234 (Ru).

Вовлечение молодежи в обсуждение и пропаганду результатов исследования рисков в местах ртутного загрязнения в Павлодаре оказалось эффективной мерой по сокращению рыбной ловли на накопителе сточных вод ПХЗ – озере Балкылдак.

7. А.П.Бондаренко, А.В.Убаськин. Реализация комплексного подхода при изучении техногенной экосистемы с участием студентов и школьников. V Международная конференция «Реки Сибири» (16 - 18 апреля 2010 г.) Томск, 2010. С. 20-22 (Ru).

В течение 2006-2009 гг. проводились экологические исследования технического водоема Балкылдак с участием преподавателей, студентов, учащихся школ и лицеев. В задачи исследований входили вопросы изучения современного биоразнообразия экосистемы, степень накопления ртути различными группами биоты водоема и перераспределение ртути по пищевым цепям. Трехлетние исследования позволили оценить современное состояние озерной экосистемы используемой в качестве накопителя сточных вод, выявить изменения биологических и экологических характеристик под влиянием загрязнителей. Участники проекта в условиях полевых работ смогли реально увидеть и оценить масштабы трансформации участков живой

природы в результате производственной деятельности человека. В процессе исследований были успешно реализованы многие компоненты образовательного процесса и мировоззренческого характера.

8. М.Ильшченко, В.Ю.Паничкин, Р.Рэндалл, Т.В.Тантон, С.А.Абдрашитова, О.Л.Мирошнichenko, Л.В.Яковлева, W.J.Devis-Hoover, R.Devereux. Influence of efficiency of chlor-alkali production cleanup from mercury on groundwater status in Pavlodar City, Kazakhstan. CD-ROM "Proceedings of the International Symposium on Contaminated Soils and Sediments" RemTech2009 (Ferrara, Italy 23-24 September 2009). DEA "EDIZIONI", 2009 (En).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков, разработка биотехнологии очистки от ртути подземных вод.

9. М.Ильшченко, Л.В.Яковлева. Problems of demercurization of industrial objects within the former USSR. ISTC Science Workshop at the International Conference on Mercury as a Global Pollutant. ICMGP 2009 (7- 12 June 2009) Guizhou's Great Hall of the People Guiyang, China. The International Science and Technology Center, 2009, P.5-10 (En).

Рассмотрены типичные проблемы, возникающие при закрытии хлор-щелочных и других крупнотоннажных химических производств, использовавших ртуть в технологиях. Ремедиационные проекты мест ртутного загрязнения в Казахстане являются пионерскими и опыт их проведения ценен для последующих работ по очистке.

10. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошнichenko, М.А.Ильшченко, Р.М.Рэндалл, Т.В.Тантон. Evaluation of demercurization efficiency of chlor-alkali production in Pavlodar City, Kazakhstan. ISTC Science Workshop at the International Conference on Mercury as a Global Pollutant. ICMGP 2009 (7-12 June 2009) Guizhou's Great Hall of the People Guiyang, China. The International Science and Technology Center, 2009, P.26-30 (En).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

11. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошнichenko, М.А.Ильшченко, Т.В.Тантон, Р.М.Рэндалл. Mathematical modeling of groundwater mercury pollution (case of Northern industrial area of Pavlodar City, Kazakhstan). ISTC Science Workshop at the International Conference on Mercury as a Global Pollutant. ICMGP 2009 (7- 12 June 2009) Guizhou's Great Hall of the People Guiyang, China. The International Science and Technology Center, 2009, P.31-38 (En).

Разработка и использование гидрогеологической модели для оценки риска и прогнозирования эффективности технологий демеркуризации «горячих очагов» ртутного загрязнения в Павлодаре.

12. М.А.Ильшченко, Р.М.Рэндалл, Т.В.Тантон, А.В.Убаскин, Г.А.Усков. Mercury Risk Assessment from a Wastewater Storage Pond in Pavlodar City, Northern Kazakhstan. ISTC Science Workshop at the International Conference on Mercury as a Global Pollutant. ICMGP 2009 (7- 12 June 2009) Guizhou's Great Hall of the People Guiyang, China. The International Science and Technology Center, 2009, 38-41 (En).

Описаны технические характеристики и история накопителя сточных вод Балкылда, его загрязнение ртутью в результате сбрасывания сточных вод хлор-щелочного производства, проведенная оценка риска, проблемы демеркуризации и его дальнейшей эксплуатации.

13. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошнichenko. Современная методика и технология гидрогеологического моделирования (на примере системы математических моделей ртутного загрязнения подземных вод

Павлодарского промрайона). Материалы международной научно-практической конференции «Подземные воды – стратегический ресурс устойчивого развития Казахстана», посвященной 100-летию Н.А.Кенесарина (Алматы, 1-3 октября 2008 г.). Алматы, 2009. С.201-205 (Ru).

Описываются разработанные методика и технология гидрогеологического моделирования с использованием новейших информационных технологий и программных средств, которые были апробированы при создании системы взаимосвязанных разномасштабных моделей ртутного загрязнения подземных вод Павлодарского промрайона.

14. M.Ilyushchenko, P.Randall, T.Tanton, R.Kamberov, L.Yakovleva. Demercurization and post-demercurization monitoring in the area of an industrial site of a derelict chlor-alkali facility in Pavlodar city, Northern Kazakhstan. Proceedings of ISTC Science Workshop at the International Conference on Contamination Soil, Consoil 2008 (Milan, Italy 3-6 June 2008). ISTC, M., P. 104-106 (En).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

15. K. Arani Kajenthira, Simon A. Jackman, Murray Gardner, Don Porcelli, Tom Scott, Olga Riba, Mikhail A. Ilyushchenko, Rustam I. Kamberov, Jeremy Wingate, Frans De Leij, Tony Hutchings. Bioremediation of Mercury Contamination in Kazakhstan: A Multifaceted Approach. In CD: Bruce M. Sass (Conference Chair), Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds—2008. Proceedings of the Sixth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds (Monterey, CA; May 2008). Published by Battelle, Columbus, OH, Abstract H-009 (En).

Возможности использования технологий биоремедиации для случаев ртутного загрязнения в Казахстане.

16. Mikhail Ilyushchenko, Rustam Kamberov, Lyudmila Yakovleva, Trevor Tanton, Susanne Ullrich, Paul Randall. Monitoring the Effectiveness of Measures to Contain the Primary Sources of Mercury Pollution on the Site of a Former Chloralkali Plant in Kazakhstan. In CD: Bruce M. Sass (Conference Chair), *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds—2008*. Proceedings of the Sixth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds (Monterey, CA; May 2008). Published by Battelle, Columbus, OH, Paper H-015 (En).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

17. Vladimir Yu. Panichkin, Oxana L. Miroshnichenko, Mikhail A. Ilyushchenko, Trevor Tanton, Paul M. Randall. Groundwater Modeling of Mercury Pollution at a Former Mercury Cell Chloralkali Facility in Pavlodar City, Kazakhstan. In CD: Bruce M. Sass (Conference Chair), *Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds—2008*. Proceedings of the Sixth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds (Monterey, CA; May 2008). Published by Battelle, Columbus, OH, Paper H-016 (En).

Разработка и использование гидрогеологической модели для оценки риска и прогнозирования эффективности технологий демеркуризации «горячих очагов» ртутного загрязнения в Павлодаре.

18. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, Л.Ю. Трушель, Н.М. Захарова, Т.Н. Винникова. Исследование методами математического моделирования процессов ртутного загрязнения подземных вод. Геология

и охрана недр. № 2(27). 2008. С.90-97 (Ru).

Описываются результаты математического моделирования гидрогеологических условий Павлодарского промрайона (Казахстан) и г.Киев (Украина) для прогнозирования ореола распространения ртутного загрязнения подземных вод.

19. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, Л.Ю. Трушель, Н.М. Захарова, Т.Н. Винникова. Математическое моделирование процессов загрязнения подземных вод ртутью. Материалы Восьмого Международного конгресса «Вода: Экология и технология» ЭКВАТЭК-2008 [электронный ресурс]. М., ЗАО «Фирма СИБИКО Интернэшнл», 2008 (Ru).

Обосновывается целесообразность использования методов математического моделирования для исследования процессов загрязнения подземных вод ртутью. Описывается созданная в Институте гидрогеологии и гидрофизики Министерства образования и науки Республики Казахстан система разномасштабных взаимосвязанных математических моделей гидрогеологических условий северной части Павлодарского промышленного района (Казахстан). Целью ее создания являлось прогнозирование распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод для оценки опасности попадания ртути в р. Иртыш и водозаборные скважины с. Павлодарское, а также разработка мероприятий по снижению риска. На системе моделей решена серия прогнозных задач. Поскольку техногенные факторы оказывают преобладающее влияние на состояние гидрогеологических условий на исследуемой территории, объясняется необходимость эксплуатации созданного комплекса как системы постоянно действующих математических моделей.

20. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, Л.Ю. Трушель, Н.М. Захарова, Т.Н. Винникова. Математические модели ртутного загрязнения подземных вод. Актуальные проблемы наук о земле. Материалы международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения» (Алматы, 10-11 апреля 2008 г.). Алматы, 2008. С.219-222 (Ru).

Рассматриваются результаты математического моделирования гидрогеологических условий Павлодарского промрайона (Казахстан) и г.Киев (Украина) для прогнозирования ореола распространения ртутного загрязнения подземных вод, оценки опасности для окружающей среды и разработки мероприятий по снижению риска.

21. А.В.Убаськин, А.В.Ермиенко. Фенодевианты карася, как результат антропогенного воздействия на водные экосистемы. Биологические аспекты рационального использования и охраны водоемов Сибири. Материалы Всероссийской конференции. Томск. Лито-Принт, 2007. С.59-60 (Ru).

Приведены результаты исследований экосистемы оз. Балкылдак, в частности выявление биоиндикаторных свойств серебряного карася (*Carassius auratus gibelio*), обитающего в условиях ртутного загрязнения. Отмечается снижение темпа роста и его variability у старшевозрастных рыб, снижение коэффициента упитанности, снижение индекса высоты тела, увеличение прогонистости. В массе отмечается мозаичность чешуи, ее «ерошение», поражение кожных покровов, появление на теле язв. Ярко выражены уродства костного скелета, особенно головы. Наблюдается значительное удлинение или укорочение одной из костей челюсти, в связи с чем, форма рта приобретает положение нижнего или верхнего.

22. А.В.Убаськин, Т.Н. Дербенева, Н.В. Убаськина. Влияние ртути на биоту техногенного водоема. VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2007. С. 304-305 (Ru).

Оценка качества изучаемой среды путем определения концентрации

каждого загрязнителя и его токсичности является дорогостоящей и дает мало сведений для понимания негативного влияния на сообщества. Тестирование природной среды с помощью биологических объектов позволяет выстроить относительно простую и доступную систему контроля. В частности, в гидросфере, представители ихтиофауны, как конечное звено в трофической цепи водоема, представляют собой хорошие тест-объекты. В настоящий момент ведется комплексное исследование экосистемы озера Балкылдак, в частности одной из главных задач является выявление биоиндикаторных свойств рыб обитающих в условиях ртутного загрязнения. В результате проводимых исследований получены результаты, которые позволяют рассматривать гидробионтов как надежный инструмент для оперативного экологического мониторинга водных экосистем в условиях антропогенного пресса.

23. А.В.Убаськин, А.П.Бондаренко. Пищевые цепи и методы их изучения на примере озера отстойника отходов. Учебно-методическое пособие для студентов естественных специальностей. Кереку, Павлодар 2007. 119 с. (Ru).

В учебно-методическом пособии приведены методики экологического мониторинга непроточных водоемов, отбора и анализа гидробионтов, показана последовательность анализа рыб. Подробно изложены методы оценки экологического состояния водоемов, гидрологические и гидрохимические методы. Методы проведения мониторинга бактериопланктона, сбора и изучения водорослей, определения видового состава рыб, их основных морфологических признаков, промеров и специальные термины. Приведены данные по экологическому состоянию озера отстойника отходов. На примере озера отстойника отходов Былкылдак рассмотрены пищевые цепи и возможность перехода загрязнителей по трофическим элементам. Биота озера может служить примером приспособления живых организмов в антропогенно измененных условиях и освоение техногенно нарушенных ландшафтов. Показано, что в водоеме обитают: карась серебряный *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1783), и карп-сазан *Cyprinus carpio aralensis*, линь – *Tinca tinca*. Приведена характеристика аномалий карася в озере Былкылдак, средние морфологические показатели карася серебряного из оз. Былкылдак и Кривое (контрольный водоем). Делается предварительный вывод, что полученные к настоящему времени данные пока недостаточны для суждения о процессах, протекающих в естественных условиях озера Былкылдак, однако они свидетельствуют о том, что загрязнение водной среды преимущественно соединениями ртути, на фоне других загрязняющих веществ, может привести к ряду физиолого-биохимических, морфологических и экологических изменений рыб. Учитывая тот факт, что экосистема озера Былкылдак в настоящее время находится в состоянии стресса в результате длительного интенсивного техногенного воздействия, разработка системы биологического мониторинга является актуальной задачей и требует выделения комплексных критериев для оценки и прогноза состояния экосистемы. Проведенное исследование показывает, что при ртутной интоксикации протекающие процессы могут стать причиной серьезных нарушений на всех этапах жизненного цикла рыб, что необходимо учитывать при изучении природных популяций в водоемах, подверженных антропогенному загрязнению.

24. М. А. Pyushchenko. Problems of demercurization of industrial objects within the former USSR. Proceedings of International Workshop “Environmental mercury pollution: mercury emissions, remediation and health effects” (Astana, 28 May-1 June, 2007). Program. Abstracts. Astana, 2007. P. 14 (Ru & En).

Рассмотрены типичные проблемы, возникающие при закрытии хлор-

щелочных и других крупнотоннажных химических производств, использовавших ртуть в технологиях. Ремедиационные проекты мест ртутного загрязнения в Казахстане являются пионерскими и опыт их проведения ценен для последующих работ по очистке.

25. V.Yu. Panichkin. Risk assessment from groundwater mercury pollution of the Northern area of Pavlodar industrial region by the methods of mathematical modeling. Proceedings of International Workshop “Environmental mercury pollution: mercury emissions, remediation and health effects” (Astana, Kazakhstan, May 28 – June 1, 2007). Program, Abstracts. Astana, 2007, P. 20 (Ru & En).

Разработка и использование гидрогеологической модели для оценки риска и прогнозирования эффективности технологий демеркуризации «горячих очагов» ртутного загрязнения в Павлодаре.

26. O.L. Miroshnichenko. Methods and technology of creation of the system of mathematical models with different scales for groundwater mercury pollution within the industrial area of Pavlodar city. Proceedings of International Workshop “Environmental mercury pollution: mercury emissions, remediation and health effects” (Astana, Kazakhstan, May 28 – June 1, 2007). Program, Abstracts. Astana, 2007, P. 21 (Ru & En).

Разработка и использование гидрогеологической модели для оценки риска и прогнозирования эффективности технологий демеркуризации «горячих очагов» ртутного загрязнения в Павлодаре.

27. M.A. Ilyushchenko, R.I. Kamberov, L.V. Yakovleva. Post-demercurization monitoring and risk assessment in the Northern industrial area of Pavlodar city. Proceedings of International Workshop “Environmental mercury pollution: mercury emissions, remediation and health effects” (Astana, 28 May-1 June, 2007). Program. Abstracts. Astana, 2007. P. 22 (Ru & En).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

28. S.M. Ullrich, M.A. Ilyushchenko, I.M. Kamberov, T.W. Tanton. Mercury contamination in the vicinity of a derelict chlor-alkali plant. Part I: Sediment and water contamination of Lake Balkyldak and the River Irtysh. The Science of the Total Environment, V. 381, 2007, P. 1-16 (En).

Потери ртути на ПХЗ в 1975-1993 гг. создали целый ряд экологических проблем, имеющих международное значение. В первую очередь это угроза загрязнения реки Иртыш. Проведены исследования поверхностных вод, донных отложений и рыбы из реки Иртыш и ее поймы, а также в накопителе сточных вод ПХЗ. Оценены риски, которые оказались высокими только для населения пригорода Павлодара, занимающегося рыбной ловлей на накопителе сточных вод.

29. S.M. Ullrich, M.A. Ilyushchenko, T.W. Tanton, G.A. Uskov. Mercury contamination in the vicinity of a derelict chlor-alkali plant. Part II: Contamination of the aquatic and terrestrial food chain and potential risks to the local population. The Science of the Total Environment, V. 381, 2007, P. 290-306 (En).

Оценены риски для населения пригорода Павлодара и работников ПХЗ из-за ртутного загрязнения прилегающей территории. Основные риски связаны с эмиссией газообразной ртути и пыли из полуразобранных зданий, хранилищ отходов и промышленной площадки остановленного хлор-щелочного производства. Необходимо срочное продолжение работ по очистке территории.

30. В.Ю. Паничкин, О.Л. Мирошниченко. Использование методов структурного моделирования для оценки опасности ртутного загрязнения подземных вод промышленной зоны г. Павлодара. Вода: ресурсы, качество, мониторинг, использование и охрана вод. Труды

Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках выставки «Акватерм-2007» (Алматы, 19-21 сент. 2007 г.). Алматы, С.156-159 (Ru).

Описывается процесс создания системы разномасштабных взаимосвязанных математических моделей гидрогеологических условий для оценки опасности загрязнения подземных вод ртутью Павлодарского промрайона

31. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, Л.Ю. Трушель, Н.М. Захарова, Т.Н. Винникова. Решение задач охраны подземных вод методами математического моделирования (на примере Павлодарского промышленного района). Вода: ресурсы, качество, мониторинг, использование и охрана вод. Труды Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках выставки «Акватерм-2007» (Алматы, 19-21 сент. 2007 г.). Алматы, С.153-156 (Ru).

Анализируются результаты математического моделирования ртутного загрязнения подземных вод Павлодарского промрайона.

32. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко. Методика структурного моделирования процессов загрязнения подземных вод в Казахстане. Тезисы докладов Международного симпозиума “Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы”, Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург, Россия, 2007. С.111-113 (Ru).

Описывается использование метода структурного моделирования при исследовании процессов загрязнения подземных вод, способы взаимодействия локальной и региональной моделей и критерии оценки качества создаваемой системы моделей. Разработанная методика была успешно применена при создании системы математических моделей гидрогеологических условий Павлодарского промрайона (Казахстан) для решения задачи прогнозирования распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод и оценки опасности для окружающей среды и проживающего в районе населения

33. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, Т.Н. Винникова, Л.Ю. Трушель, Н.М. Захарова. Исследование процесса ртутного загрязнения подземных вод Павлодарского промрайона (Казахстан) методами математического моделирования. Тезисы докладов Международного симпозиума “Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы”, Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург, Россия, 2007. С.113-115 (Ru).

Описывается система математических моделей гидрогеологических условий Павлодарского промрайона, состоящая из региональной и локальной моделей. Она создана с целью прогнозирования распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод, оценки опасности для окружающей среды и проживающего в районе населения, а также разработки мероприятий по снижению риска.

34. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко. Автоматизированная технология моделирования геомиграционных процессов на системе разномасштабных моделей. Сборник докладов Седьмого Международного конгресса «Вода: Экология и технология» ЭКВАТЭК-2006 (Москва, 30 мая – 2 июня 2006). Часть 1. С.161 (Ru).

Описывается технология создания системы разномасштабных взаимосвязанных математических моделей с использованием программного комплекса GMS, которая может использоваться при моделировании процесса загрязнения подземных вод ртутью и нефтепродуктами на территории промышленной зоны г.Павлодара (Казахстан).

35. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко. Автоматизированная технология проектирования математических моделей гидрогеологических объектов.

Известия НАН РК. Серия геологическая. 2006, №3, С.43-48 (Ru).
Рассматривается разработанная в Институте гидрогеологии и гидрофизики МОН РК автоматизированная технология проектирования математических моделей гидрогеологических объектов, которая была опробована при решении задач прогнозирования распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод Павлодарского промрайона (Казахстан) и территории г.Киева (Украина).

36. А.В. Убаськин, К.У.Базарбеков, А.П. Бондаренко, А.А.Калиева, А.В.Ермиенко. Опыт биоиндикации загрязнений на примере карася серебряного в озере Былкылдак. Вестник ПГУ. № 4. 2006. С.104-111 (Ru).
На примере характеристики аномалий рыб озера Былкылдак приводятся тест-объекты (биомониторы), а также биомаркеры, которые могут быть включены в систему биомониторинг в качестве комплексных критериев для оценки и прогноза состояния экосистемы и целей определения уровня загрязненности водного объекта. Приводимые параметры позволяют эффективно оценить состояние гидробионтов и среды их обитания.

37. А.В. Убаськин, А.В.Ермиенко, К.У.Базарбеков, А.А.Калиева, А.П. Бондаренко, Н.Н.Бондаренко. Влияние антропогенных факторов озера-накопителя отходов Былкылдак на живые организмы. Материалы 1 международной Научно-практической конференции «Новости научной мысли-2006». Т.3. Днепропетровск.2006. С.39-40 (Ru).
Обобщены результаты первого этапа комплексных исследований экосистемы оз. Балкылдак, позволяющие рассматривать гидробионтов как надежный инструмент для оперативного экологического мониторинга водоемов в условиях ртутного загрязнения.

38. А.В. Убаськин, Е.М. Никитина, А.В.Ермиенко, А.П.Бондаренко, М.Е. Бокова, Я.Т. Эрназарова. Аномалии гидробионтов, как биоиндикаторы загрязнения водных экосистем. Информационный экологический бюллетень «Природа и мы». Павлодар. 2006. С.16-18 (Ru).
В настоящее время для объективной оценки последствий антропоического влияния на окружающую среду необходимо проведения мониторинговых исследований. Тестирование природной среды с помощью биологических объектов позволяет выстроить относительно простую и доступную систему контроля. В результате проводимых исследований отмечаются морфологические изменения у гидробионтов. В частности у моллюсков наблюдаются значительные искривления раковины, наличие всевозможные наросты. Структура поверхности раковин моллюсков из загрязненного водоема сильно отличается от таковых из контрольного озера.

39. А.В. Убаськин, Н.Т.Ержанов. Актуальные экологические проблемы Павлодарского Прииртышья. Информационный экологический бюллетень «Природа и мы». Павлодар. 2006. С. 19-25 (Ru).
Экосистемы Прииртышья функционирующие с постоянной цикличностью различных абиотических переменных весьма уязвимы и слабо адаптированы к эволюционному новому антропоическому фактору. Наиболее сильный антропоический пресс испытывает бассейн реки Иртыш. Загрязнение является самый мощный антропоическим фактором, который по силе воздействия на биологические объекты реки, превышает суммарное влияние всех других отрицательных переменных.
Антропоическое изменение экосистем представляет для биоты большую опасность, чем прямое истребление отдельных видов растений и животных. Одной из самых «болевыми» экологических проблем Павлодарского Прииртышья является ртутное загрязнение ее территории. В данный период ведется комплексное исследование экосистемы оз. Былкылдак, в частности одной из главных задач является выявление биоиндикаторных свойств водной растительности, гидробионтов

(планктона бентоса, рыб).

40. P.Randall, M. Ilyushchenko, E. Lapshin, L.Kuzmenko. Case Study: Mercury Pollution Near a Chemical Plant in Northern Kazakhstan. The Magazine for Environmental Managers, N2, 2006, P. 19-24 (En).

Угроза загрязнения реки Иртыш возникла из-за высоких потерь ртути в 1975-1993 гг. при производстве хлора и щелочи в пригороде Павлодара в Казахстане. Эти потери были самыми высокими среди аналогичных предприятий СССР и составляли 1,6 кг на 1 т щелочи (общие потери ртути были оценены как 1310 т, из которых около 1100 т составили механические потери). Большая часть металлической ртути, скопившейся под зданием электролиза, образовала очаг подземных вод, загрязненных растворимым HgCl_2 . Также имели место потери ртутьсодержащих сточных вод из канализации, загрязнение ртутью почв, а также накопителя-испарителя сточных вод Балкылдак (объемом более 80 млн. м³). Ближайшими объектами, подверженными ртутной опасности и находящиеся 3-5 км западнее от завода, являлись село Павлодарское, имеющее 200 га водозаборных площадей, и река Иртыш.

Первоначальный проект демеркуризации был разработан в 1995 г. Он предусматривал выемку и переработку большей части сильнозагрязненных материалов с целью извлечения товарной металлической ртути.

Проведенные в 2000-2002 гг. исследования показали, что первоначальная оценка масштабов ртутного загрязнения была сильно занижена. Это заставило сменить стратегию управления ртутным загрязнением. Вместо дорогостоящего, но неэффективного извлечения ртути была предложена стратегия сдерживания, заключающаяся в изоляции основных очагов ртутного загрязнения от атмосферы, поверхностных и подземных вод. В 2003-2005 гг. вокруг четырех основных ртутных очагов было осуществлено сооружение противofильтрационной завесы из глины по типу «стены в грунте» с толщиной стенок 0,6 м и достигающей водоупора на глубине 15-20 м. Ее общая протяженность составила 3588 м. Почва, загрязненная только в поверхностных слоях, была извлечена на глубину до 0,5 м и перемещена внутрь объемов, ограниченных противofильтрационной завесой. Очаги ртутного загрязнения были изолированы от атмосферы специальными глиняными экранами общей площадью 180000 м². Все здания, имевшие ртутное загрязнение, были разобраны, а загрязненные ртутью строительные конструкции уложены в котлован, глубиной 3,0 м и выстланный 0,5 м слоем глины. Затем эти конструкции были залиты цементным раствором, сверху покрыты асфальтом и образовали монолитное хранилище отходов общей площадью 15671 м², стойкое к действию подземных вод и атмосферных осадков.

С 2005 г. региональные казахстанские власти начали осуществлять 15-ти летнюю Программу ртутного мониторинга в Северной промзоне города Павлодара, которая должна сделать вывод о достаточности проведенных демеркуризационных мероприятий. US EPA оказывает содействие этой программе через механизм ISTC, запуская с 2006 г. трехлетний проект K-1240

41. M. Ilyushchenko, P. Randall, T.Tanton, A.Akhmetov, R.I. Kamberov, L.Yakovleva. Activities to contain mercury pollution from entering the river Irtysh in Pavlodar, Kazakhstan. Paper S-285, in: Abstracts of Eighth International Conference on Mercury as a Global Pollutant (Madison, Wisconsin; August 6-11, 2006). DEStech Publication, Inc., 2006 (En).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

Приложение 2: Перечень докладов на конференциях и семинарах

1. М.А. Илющенко, Л.В.Яковлева. Смена концепции для технологий ремедиации водных объектов и территорий, загрязненных ртутью. Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Международный симпозиум (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7-9 сентября 2010 г.).

На примере проектов завершённых проектов ремедиации территорий ртутного загрязнения (залив Минамата, река Нура, хлор-щелочное производство в Павлодаре) рассмотрена эффективность демеркуризационных технологий. Показано, что полная очистка с использованием традиционных технологий невозможна ввиду экономических ограничений. Перспективными являются различные технологии, изолирующие «горячие очаги» или иммобилизующие ртуть, а также микробиологические технологии ее извлечения.

2. Л.В.Яковлева, М.А. Илющенко. Опыт демеркуризации хлор-щелочного и ацетальдегидного производств в Казахстане. Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Международный симпозиум (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7-9 сентября 2010 г.).

Сравнение технологий очистки и результатов ремедиации ртутных загрязнений в Павлодаре и Темиртау.

3. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, М.А.Илющенко, Т.Тантон, П.Рэндал. Математическая модель загрязнения подземных вод ртутью северной части Павлодарского промышленного района (Республика Казахстан). Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Международный симпозиум (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7-9 сентября 2010 г.).

Разработка и использование гидрогеологической модели для оценки риска и прогнозирования эффективности технологий демеркуризации «горячих очагов» ртутного загрязнения в Павлодаре.

4. М.А.Илющенко, Л.В.Яковлева. Change of a concept of remediation in case of mercury contamination. 11-th International UFZ-Deltares/TNO Conference on Management of Soil, Groundwater & Sediments. Consoil 2010 (Salzburg, Austria 22-24 September 2010).

На примере проектов завершённых проектов ремедиации территорий ртутного загрязнения (залив Минамата, река Нура, хлор-щелочное производство в Павлодаре) рассмотрена эффективность демеркуризационных технологий. Показано, что полная очистка с использованием традиционных технологий невозможна ввиду экономических ограничений. Перспективными являются различные технологии, изолирующие «горячие очаги» или иммобилизующие ртуть, а также микробиологические технологии ее извлечения.

5. Л.В.Яковлева, М.А.Илющенко. Experience of demercurization of chlor-alkali and acetaldehyde productions in Kazakhstan. 11-th International UFZ-Deltares/TNO Conference on Management of Soil, Groundwater & Sediments. Consoil 2010 (Salzburg, Austria 22-24 September 2010).

Сравнение технологий очистки и результатов ремедиации ртутных загрязнений в Павлодаре и Темиртау.

6. А.В.Убаськин, А.П.Бондаренко, Б.А.Туллубаев, Г.А.Баймуханова. Опыт участия студентов и школьников в международном экологическом проекте в бассейне Среднего Иртыша. IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии»

(Караганда, 09-10.12.2010).

Вовлечение молодежи в обсуждение и пропаганду результатов исследования рисков в местах ртутного загрязнения в Павлодаре оказалось эффективной мерой по сокращению рыбной ловли на накопителе сточных вод ПХЗ – озере Балкылдак.

7. А.П.Бондаренко, А.В.Убаськин. Реализация комплексного подхода при изучении техногенной экосистемы с участием студентов и школьников. V Международная конференция «Реки Сибири» (16 - 18 апреля 2010 г.).

В течение 2006-2009 гг. проводились экологические исследования технического водоема Балкылдак с участием преподавателей, студентов, учащихся школ и лицеев. В задачи исследований входили вопросы изучения современного биоразнообразия экосистемы, степень накопления ртути различными группами биоты водоема и перераспределение ртути по пищевым цепям. Трехлетние исследования позволили оценить современное состояние озерной экосистемы используемой в качестве накопителя сточных вод, выявить изменения биологических и экологических характеристик под влиянием загрязнителей. Участники проекта в условиях полевых работ смогли реально увидеть и оценить масштабы трансформации участков живой природы в результате производственной деятельности человека. В процессе исследований были успешно реализованы многие компоненты образовательного процесса и мировоззренческого характера.

8. М.И.Ивашченко, В.Ю.Паничкин, Р.Рандолл, Т.В.Тантон, С.А.Абдрашитова, О.Л.Мирошнichenko, Л.В.Яковлева, W.J.Devis-Hoover, R.Devereux. Influence of efficiency of chlor-alkali production cleanup from mercury on groundwater status in Pavlodar City, Kazakhstan. International Symposium on Contaminated Soils and Sediments” RemTech2009 (Ferrara, Italy 23-24 September 2009).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков, разработка биотехнологии очистки от ртути подземных вод.

9. М.И.Ивашченко, Л.В.Яковлева. Problems of demercurization of industrial objects within the former USSR. ISTC Science Workshop at the International Conference on Mercury as a Global Pollutant. ICMGP 2009 (Guiyang, China, 7- 12 June 2009).

Рассмотрены типичные проблемы, возникающие при закрытии хлор-щелочных и других крупнотоннажных химических производств, использовавших ртуть в технологиях. Ремедиационные проекты мест ртутного загрязнения в Казахстане являются пионерскими и опыт их проведения ценен для последующих работ по очистке.

10. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошнichenko, М.А.Ивашченко, Р.М.Рандолл, Т.В.Тантон. Evaluation of demercurization efficiency of chlor-alkali production in Pavlodar City, Kazakhstan. ISTC Science Workshop at the International Conference on Mercury as a Global Pollutant. ICMGP 2009 (Guiyang, China, 7- 12 June 2009).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

11. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошнichenko, М.А.Ивашченко, Т.В.Тантон, Р.М.Рандолл. Mathematical modeling of groundwater mercury pollution (case of Northern industrial area of Pavlodar City, Kazakhstan). ISTC Science

Workshop at the International Conference on Mercury as a Global Pollutant. ICMGP 2009 (Guiyang, China, 7- 12 June 2009).

Разработка и использование гидрогеологической модели для оценки риска и прогнозирования эффективности технологий демеркуризации «горячих очагов» ртутного загрязнения в Павлодаре.

12. M.A.Ilyushchenko, P.M.Randall, T.W.Tanton, A.V.Ubaskin, G.A.Uskov. Mercury Risk Assessment from a Wastewater Storage Pond in Pavlodar City, Northern Kazakhstan. ISTC Science Workshop at the International Conference on Mercury as a Global Pollutant. ICMGP 2009 (Guiyang, China, 7- 12 June 2009).

Описаны технические характеристики и история накопителя сточных вод Балкылда, его загрязнение ртутью в результате сбрасывания сточных вод хлор-щелочного производства, проведенная оценка риска, проблемы демеркуризации и его дальнейшей эксплуатации.

13. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко. Современная методика и технология гидрогеологического моделирования (на примере системы математических моделей ртутного загрязнения подземных вод Павлодарского промрайона). Международная научно-практическая конференция «Подземные воды – стратегический ресурс устойчивого развития Казахстана», посвященная 100-летию Н.А.Кенесарина (Алматы, 1-3 октября 2008 г.).

Описываются разработанные методика и технология гидрогеологического моделирования с использованием новейших информационных технологий и программных средств, которые были апробированы при создании системы взаимосвязанных разномасштабных моделей ртутного загрязнения подземных вод Павлодарского промрайона.

14. M.Ilyushchenko, P.Randall, T.Tanton, R.Kamberov, L.Yakovleva. Demercurization and post-demercurization monitoring in the area of an industrial site of a derilict clor-alkali facility in Pavlodar city, Northern Kazakhstan. ISTC Science Workshop at the International Conference on Contamination Soil, Consoil 2008 (Milan, Italy 3-6 June 2008).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

15. K. Arani Kajenthira, Simon A. Jackman, Murray Gardner, Don Porcelli, Tom Scott, Olga Riba, Mikhail A. Ilyushchenko, Rustam I. Kamberov, Jeremy Wingate, Frans De Leij, Tony Hutchings. Bioremediation of Mercury Contamination in Kazakhstan: A Multifaceted Approach. Sixth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds (Monterey, CA; May 2008).

Возможности использования технологий биоремедиации для случаев ртутного загрязнения в Казахстане.

16. Mikhail Ilyushchenko, Rustam Kamberov, Lyudmila Yakovleva, Trevor Tanton, Susanne Ullrich, Paul Randall. Monitoring the Effectiveness of Measures to Contain the Primary Sources of Mercury Pollution on the Site of a Former Chloralkali Plant in Kazakhstan. Sixth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds (Monterey, CA; May 2008).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

17. Vladimir Yu. Panichkin, Oxana L. Miroshnichenko, Mikhail A. Ilyushchenko, Trevor Tanton, Paul M. Randall. Groundwater Modeling of Mercury Pollution at a Former Mercury Cell Chloralkali Facility in Pavlodar City, Kazakhstan. Sixth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds (Monterey, CA; May 2008).

Разработка и использование гидрогеологической модели для оценки риска и прогнозирования эффективности технологий демеркуризации «горячих очагов» ртутного загрязнения в Павлодаре.

18. M.A.Ilyushchenko. Overview of Environmental Remediation Needs in the Republic of Kazakhstan. Специальная сессия “Environmental remediation opportunities for 21st Century» в рамках 11th International Chemical Weapons Demilitarisation Conference, CWD 2008 (Interlaken City, Switzerland, May 18-22, 2008).

Рассмотрены типичные проблемы, возникающие при закрытии хлор-щелочных и других крупнотоннажных химических производств, использовавших ртуть в технологиях. Ремедиационные проекты мест ртутного загрязнения в Казахстане являются пионерскими и опыт их проведения ценен для последующих работ по очистке.

19. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, Л.Ю. Трушель, Н.М. Захарова, Т.Н. Винникова. Математическое моделирование процессов загрязнения подземных вод ртутью. Восьмой Международный конгресс «Вода: Экология и технология» ЭКВАТЭК-2008.

Обосновывается целесообразность использования методов математического моделирования для исследования процессов загрязнения подземных вод ртутью. Описывается созданная в Институте гидрогеологии и гидрофизики Министерства образования и науки Республики Казахстан система разномасштабных взаимосвязанных математических моделей гидрогеологических условий северной части Павлодарского промышленного района (Казахстан). Целью ее создания являлось прогнозирование распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод для оценки опасности попадания ртути в р. Иртыш и водозаборные скважины с. Павлодарское, а также разработка мероприятий по снижению риска. На системе моделей решена серия прогнозных задач. Поскольку техногенные факторы оказывают преобладающее влияние на состояние гидрогеологических условий на исследуемой территории, объясняется необходимость эксплуатации созданного комплекса как системы постоянно действующих математических моделей.

20. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, Л.Ю. Трушель, Н.М. Захарова, Т.Н. Винникова. Математические модели ртутного загрязнения подземных вод. Актуальные проблемы наук о земле. Международная научно-практическая конференция «Сатпаевские чтения» (Алматы, 10-11 апреля 2008 г.).

Рассматриваются результаты математического моделирования гидрогеологических условий Павлодарского промрайона (Казахстан) и г.Киев (Украина) для прогнозирования ореола распространения ртутного загрязнения подземных вод, оценки опасности для окружающей среды и разработки мероприятий по снижению риска.

21. А.В.Убаськин, А.В.Ермиенко. Фенодевианты караса, как результат антропогенного воздействия на водные экосистемы. Биологические аспекты рационального использования и охраны водоемов Сибири. Всероссийская конференция. Томск, 2007.

Приведены результаты исследований экосистемы оз. Балкылдак, в

частности выявление биоиндикаторных свойств серебряного карася (*Carassius auratus gibelio*), обитающего в условиях ртутного загрязнения. Отмечается снижение темпа роста и его вариабельности у старшевозрастных рыб, снижение коэффициента упитанности, снижение индекса высоты тела, увеличение прогонистости. В массе отмечается мозаичность чешуи, ее «ерошение», поражение кожных покровов, появление на теле язв. Ярко выражены уродства костного скелета, особенно головы. Наблюдается значительное удлинение или укорочение одной из костей челюсти, в связи с чем, форма рта приобретает положение нижнего или верхнего.

22. А.В.Убаськин, Т.Н. Дербенева, Н.В. Убаськина. Влияние ртути на биоту техногенного водоема. VIII Всероссийская научно-практическая конференция студентов и аспирантов «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2007.

Оценка качества изучаемой среды путем определения концентрации каждого загрязнителя и его токсичности является дорогостоящей и дает мало сведений для понимания негативного влияния на сообщества. Тестирование природной среды с помощью биологических объектов позволяет выстроить относительно простую и доступную систему контроля. В частности, в гидросфере, представители ихтиофауны, как конечное звено в трофической цепи водоема, представляют собой хорошие тест-объекты. В настоящий момент ведется комплексное исследование экосистемы озера Балкылдак, в частности одной из главных задач является выявление биоиндикаторных свойств рыб обитающих в условиях ртутного загрязнения. В результате проводимых исследований получены результаты, которые позволяют рассматривать гидробионтов как надежный инструмент для оперативного экологического мониторинга водных экосистем в условиях антропоического пресса.

23. М.А.Илющенко, Л.В.Яковлева. Перспективы использования ремедиационных технологий для ликвидации последствий ртутного загрязнения в Павлодаре. Рабочий семинар по проекту БИОМЕРКУРИ (Саутгемптон, Великобритания, 22-24 февраля 2007 г.).

Рассмотрены типичные проблемы, возникающие при закрытии хлор-щелочных и других крупнотоннажных химических производств, использовавших ртуть в технологиях. Ремедиационные проекты мест ртутного загрязнения в Казахстане являются пионерскими и опыт их проведения ценен для последующих работ по очистке.

24. М. А. Ilyushchenko. Problems of demercurization of industrial objects within the former USSR. International Workshop "Environmental mercury pollution: mercury emissions, remediation and health effects" (Astana, 28 May-1 June, 2007).

Рассмотрены типичные проблемы, возникающие при закрытии хлор-щелочных и других крупнотоннажных химических производств, использовавших ртуть в технологиях. Ремедиационные проекты мест ртутного загрязнения в Казахстане являются пионерскими и опыт их проведения ценен для последующих работ по очистке.

25. М.А. Ilyushchenko, R.I.Kamberov, L.V.Yakovleva. Post-demercuration monitoring and risk assessment in the Northern industrial area of Pavlodar city. International Workshop "Environmental mercury pollution: mercury emissions, remediation and health effects" (Astana, 28 May-1 June, 2007).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

26. V.Yu. Panichkin. Risk assessment from groundwater mercury pollution of the Northern area of Pavlodar industrial region by the methods of mathematical modeling. International Workshop "Environmental mercury pollution: mercury emissions, remediation and health effects" (Astana, Kazakhstan, May 28 – June 1, 2007).

Разработка и использование гидрогеологической модели для оценки риска и прогнозирования эффективности технологий демеркуризации «горячих очагов» ртутного загрязнения в Павлодаре.

27. O.L. Miroshnichenko. Methods and technology of creation of the system of mathematical models with different scales for groundwater mercury pollution within the industrial area of Pavlodar city. International Workshop "Environmental mercury pollution: mercury emissions, remediation and health effects" (Astana, Kazakhstan, May 28 – June 1, 2007).

Разработка и использование гидрогеологической модели для оценки риска и прогнозирования эффективности технологий демеркуризации «горячих очагов» ртутного загрязнения в Павлодаре.

28. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко. Использование методов структурного моделирования для оценки опасности ртутного загрязнения подземных вод промышленной зоны г.Павлодара. Вода: ресурсы, качество, мониторинг, использование и охрана вод. Международная научно-практическая конференция, проведенная в рамках выставки «Акватерм-2007» (Алматы, 19-21 сент. 2007 г.).

Описывается процесс создания системы разномасштабных взаимосвязанных математических моделей гидрогеологических условий для оценки опасности загрязнения подземных вод ртутью Павлодарского промрайона

29. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, Л.Ю. Трушель, Н.М. Захарова, Т.Н. Винникова. Решение задач охраны подземных вод методами математического моделирования (на примере Павлодарского промышленного района). Вода: ресурсы, качество, мониторинг, использование и охрана вод. Международная научно-практической конференция, проведенная в рамках выставки «Акватерм-2007» (Алматы, 19-21 сент. 2007 г.).

Анализируются результаты математического моделирования ртутного загрязнения подземных вод Павлодарского промрайона.

30. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко. Методика структурного моделирования процессов загрязнения подземных вод в Казахстане. Международный симпозиум "Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы", Санкт-Петербург, Россия, 2007.

Описывается использование метода структурного моделирования при исследовании процессов загрязнения подземных вод, способы взаимодействия локальной и региональной моделей и критерии оценки качества создаваемой системы моделей. Разработанная методика была успешно применена при создании системы математических моделей гидрогеологических условий Павлодарского промрайона (Казахстан) для решения задачи прогнозирования распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод и оценки опасности для окружающей среды и проживающего в районе населения

31. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко, Т.Н. Винникова, Л.Ю. Трушель, Н.М. Захарова. Исследование процесса ртутного загрязнения подземных вод Павлодарского промрайона (Казахстан) методами математического моделирования. Международный симпозиум "Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы", Санкт-Петербург, Россия, 2007.

Описывается система математических моделей гидрогеологических условий Павлодарского промрайона, состоящая из региональной и локальной моделей. Она создана с целью прогнозирования распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод, оценки опасности для окружающей среды и проживающего в районе населения, а также разработки мероприятий по снижению риска.

32. В.Ю.Паничкин, О.Л.Мирошниченко. Автоматизированная технология моделирования геомиграционных процессов на системе разномасштабных моделей. Седьмой Международный конгресс «Вода: Экология и технология» ЭКВАТЭК-2006 (Москва, 30 мая – 2 июня 2006).

Описывается технология создания системы разномасштабных взаимосвязанных математических моделей с использованием программного комплекса GMS, которая может использоваться при моделировании процесса загрязнения подземных вод ртутью и нефтепродуктами на территории промышленной зоны г.Павлодара (Казахстан).

33. А.В. Убаськин, А.В.Ермиенко, К.У.Базарбеков, А.А.Калиева, А.П. Бондаренко, Н.Н.Бондаренко. Влияние антропогенных факторов озера-накопителя отходов Былкылдак на живые организмы. 1 международная научно-практическая конференция «Новости научной мысли-2006». Днепропетровск.2006.

Обобщены результаты первого этапа комплексных исследований экосистемы оз. Балкылдак, позволяющие рассматривать гидробионтов как надежный инструмент для оперативного экологического мониторинга водоемов в условиях ртутного загрязнения.

34. М.А.Илющенко, Н.Михайленко. Оценка рисков загрязнения окружающей среды в результате 25-летней производственной деятельности хлор-щелочного производства в Павлодаре. Рабочий семинар по проекту БИОМЕРКУРИ (Прага, Чехия, 18-19 мая 2006).

Рассмотрены типичные проблемы, возникающие при закрытии хлор-щелочных и других крупнотоннажных химических производств, использовавших ртуть в технологиях. Ремедиационные проекты мест ртутного загрязнения в Казахстане являются пионерскими и опыт их проведения ценен для последующих работ по очистке.

35. М. Pyushchenko, P. Randall, T.Tanton, A.Akhmetov, R.I. Kamberov, L.Yakovleva. Activities to contain mercury pollution from entering the river Irtysh in Pavlodar, Kazakhstan. Eighth International Conference on Mercury as a Global Pollutant (Madison, Wisconsin; August 6-11, 2006).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

36. М. А. Pyushchenko. Activities for Prevention the Threat of Mercury Pollution in the River Irtysh in Pavlodar, Kazakhstan. 29th AMOP Technical Seminar. (Vancouver, British Columbia, Canada, 6-8 June, 2006).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

37. М. Pyushchenko. Возможна ли коммерциализация исследовательских проектов по мониторингу окружающей среды и оценке рисков? ISTC Workshop “Commercialization of the results of scientific and technical developments in Kazakhstan (Almaty, 19-20 September, 2006).

Коммерциализация экологических исследовательских проектов

возможна только в случае, если разрабатывается природоохранная технология и только на конечных стадиях пилотных испытаний.

38. M. Ilyushchenko, P. Randall, T.Tanton, A.Akhmetov, E.V.Lapshin, R.I. Kamberov. Activities for Prevention the Threat of River Irtysh Mercury Pollution in Pavlodar. Annual Meeting at the American Institute of Chemical Engineers (AIChE) (Cincinnati, Ohio, US, 30 October – 4 November, 2005).

Рассмотрен типичный для бывшего СССР случай ртутного загрязнения в Павлодаре: история возникновения загрязнения, оценка рисков и подготовка проекта демеркуризации, работы по очистке, постдемеркуризационный мониторинг и новая оценка рисков.

Приложение 3: Итоговые карты и таблицы

Таблица 1

Динамика изменения концентрации ртути общей в подземных водах Северной промышленной зоны г. Павлодара (по результатам ртутного мониторинга в 2004-2008 гг.)

NN	Номер скважины	Концентрация ртути общей, нг/л 2004	Концентрация ртути общей, нг/л 2005	Концентрация ртути общей, нг/л 2006	Концентрация ртути общей, нг/л 2007	Концентрация ртути общей, нг/л 2008
1	C-16-03	129		144	121	Не обследовалась
2	C-17-03	223		171	71.2	80.8
3	C-18-03	36		46	42.3	Не обследовалась
4	C-19-03	175		229	98.1	93.9
5	C-20-03	97		140	83	246
6	C-21-03	4425		1630	734	535
	C-SLED	3195		Невозможно откачать	Невозможно откачать	Не обследовалась
7						
8	C-22-03	1400		1200	593	731
	C-24-03	2995		Невозможно откачать	Невозможно откачать	Не обследовалась
9						
	C-26-03	19		Невозможно откачать	Невозможно откачать	Не обследовалась
10						
	C-29-03	58		Невозможно откачать	Невозможно откачать	Не обследовалась
11						
	C-30-03	45250		23500	19100	19800
12						
	C-SLED-2	90650		Невозможно откачать	Невозможно откачать	Не обследовалась
13						
	C-28-03	5390		Невозможно откачать	Невозможно откачать	Не обследовалась
14						
	C-23-03	648		Невозможно откачать	Невозможно откачать	Не обследовалась
15						
16	C-25-03	2455		2180	1160	C-25-03
17	C-27-03	24450		12500	11900	C-27-03
18	C-15-03	1625		11800	15000	C-15-03
19	C-14-03	2875		7450	12600	C-14-03
20	C-13-03	6175		4700	4080	C-13-03
21	C-11-03	29550		16400	7400	C-11-03
22	C-12-03	28850		31500	20600	C-12-03
23	C-8-03	35400		43500	38000	C-8-03
24	C-9-03	27200		17600	14400	C-9-03
	C-NN3-03	6025		Невозможно откачать	Невозможно откачать	Не обследовалась
25						
26	C-34-03	80		86	57	47.2
27	C-35-03	171		737	387	118
28	C-33-03	943		941	536	719

29	C-32-03 63-02	43850 5050	40600 3950	49300 3190	129000 2060
30					
31	62-02	35	21	22.9 235	15.2 He
32	C-6-03	21	138		обследовалась
33	84-02	28850	30800	33600	44500
34	67-02	854	493	439	326
35	83-02	798	493	445	322
36	72-02	69	44	31.9	32.3
37	90-02	140	140	74.2 164	67.5 He
38	74-02	1435	338		обследовалась
39	87-02	9315	6150	3990 232	4580 He
40	70-02	105	307		обследовалась
41	73-02	479	744	763	1560
42	79-02	126	919	2760	3200
43	55-02 89-02	50 76	59 38	163 Низкий дебит скважины	28.3 He
44				262	обследовалась He
45	88-02 682	468 3160	504 Невозможно откачать	Невозможно откачать	обследовалась He
46					обследовалась
47	P-6	50	10	10.3	21.50
48	565-00	29	52	35.5	20.8
49	522-00	<5	<5	<5	10.6
50	78-02	32	111	86.6	330
51	81-02	14	9	13.8	5.60
52	566-00	3055	5100	2870	2690
53	86-02	1775	287	104	63.2
54	85-02	6	<5	<5	<5
55	P-1	23	83	56.3	9.75
56	6-P	39	29	32.1	32.6
57	5-P	12	<5	6.19	10.7
58	C-5-03	121	160	200	213
59	C-4-03 P-3	517 24700	354 14700	195 Низкий дебит скважины	722 He
60					обследовалась
61	C-2-03	137000	36500	42700	48500
62	C-1/1-03	2135	5600	3820	2990
63	B-22 8-P	1255 <5	4780 Невозможно откачать	2240 Невозможно откачать	3290 He
64					обследовалась
65	7-P	3875	2490	2810	1770
66	B-23 C-1-03	946 212	442 Невозможно откачать	440 Невозможно откачать	626 He
67	B-14	4030	Невозможно откачать	Невозможно откачать	обследовалась He
68					обследовалась
69	B-13	2845	724	215	255
70	P-4	159	72	28 273	51.2 He
71	75-02	166	364		обследовалась
72	76-02	8	<5	9.25	27.9
74	61-02	17600	5420	2260	1880

75	B-21	12150		27300	33300	35900
76	60-02	15		Невозможно откачать	Невозможно откачать	Не обследовалась
77	C-10-03	41300		39300	40900	37800
78	B-21a	126000		Ликвидирована	Ликвидирована	Не обследовалась
79	567-00	47000		23400	48900	58200
80	P-8	102750	18000	14200	14500	23400
81	82-02	57550		44600	34500	42200
82	66-02	85300		167000	108000	90400
83	59-02	41100		32400	24900	14600
84	68-02	36700		57200	65200	71700
85	69-02	153500	165000	154000	137000	81200
	29-P	Не		449	Ликвидирована	Не
86		обследовалась				обследовалась
		Не			8980	
87	165-04	обследовалась		10500		7220
		Не			2830	
88	166-04	обследовалась		3380		4170
		Не			2420	
89	167-04	обследовалась		3310		2580
		Не			32300	
90	169-04	обследовалась		28200		31400
		Не			7970	
91	170-04	обследовалась		6880		16000
		Не			7410	
92	168-04	обследовалась		7220		6880
		Не			95.2	
93	171-04	обследовалась		270		65.1
	162-04	Не		295	Невозможно откачать	Не
		обследовалась				обследовалась
94		Не			139	
95	164-04	обследовалась		123		375
		Не			61.6	
96	529	обследовалась		44		42.5
		Не			27.4	
97	64-02	обследовалась		7		21.8
		Не			87	
98	24-91 (93)	обследовалась		71		62.7
		Не			9.49	
99	77-02	обследовалась		<5		<5
		Не			21	
100	23-91 (92)	обследовалась		11		5.87

Примечание к Таблице 1.

Цветом отмечены в колонке «номер скважины»: **красным** – рост концентрации ртути, **зеленым** – уменьшение концентрации ртути, **синим** – отсутствие динамики; в колонках «концентрация ртути» - **красным** – превышение уровня ПДК_В, составляющего 500 нг/л

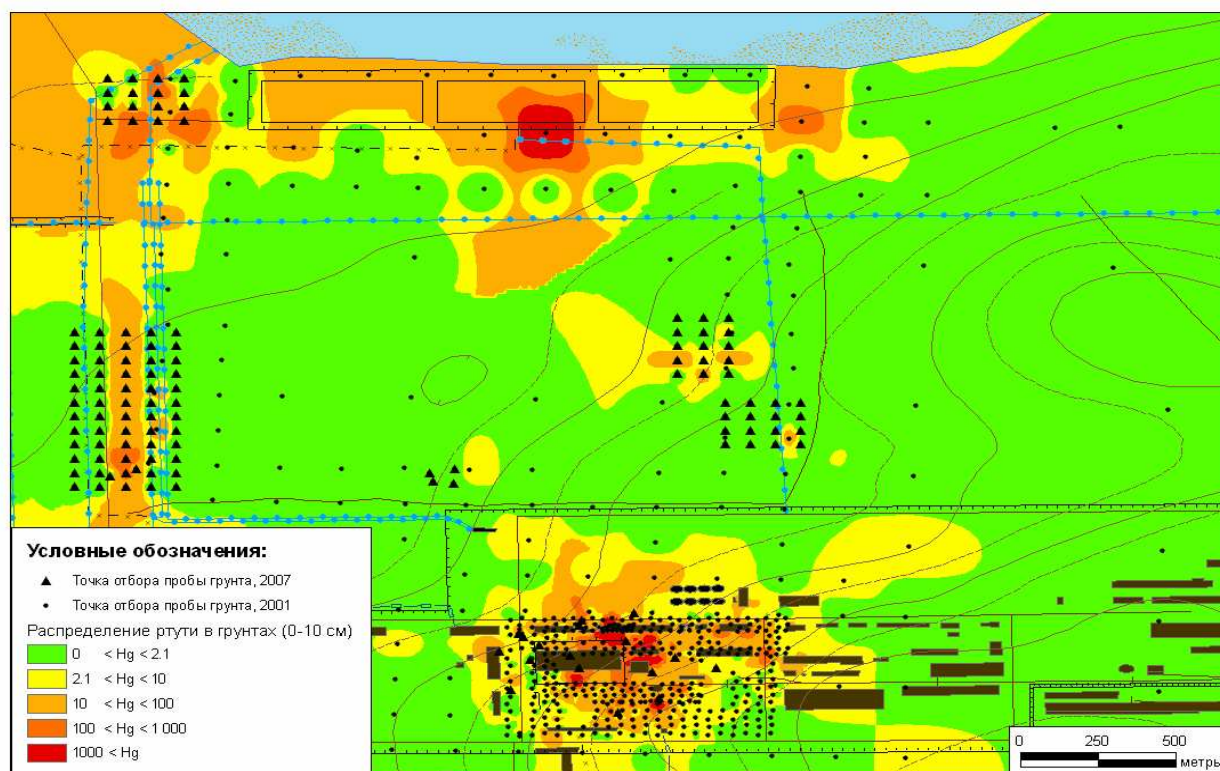


Рис.2. Карта ртутного загрязнения почв (слой 0-10 см) в Северной промышленной зоне г. Павлодара, дополненная данными 2007 г. по 111 точкам отбора.

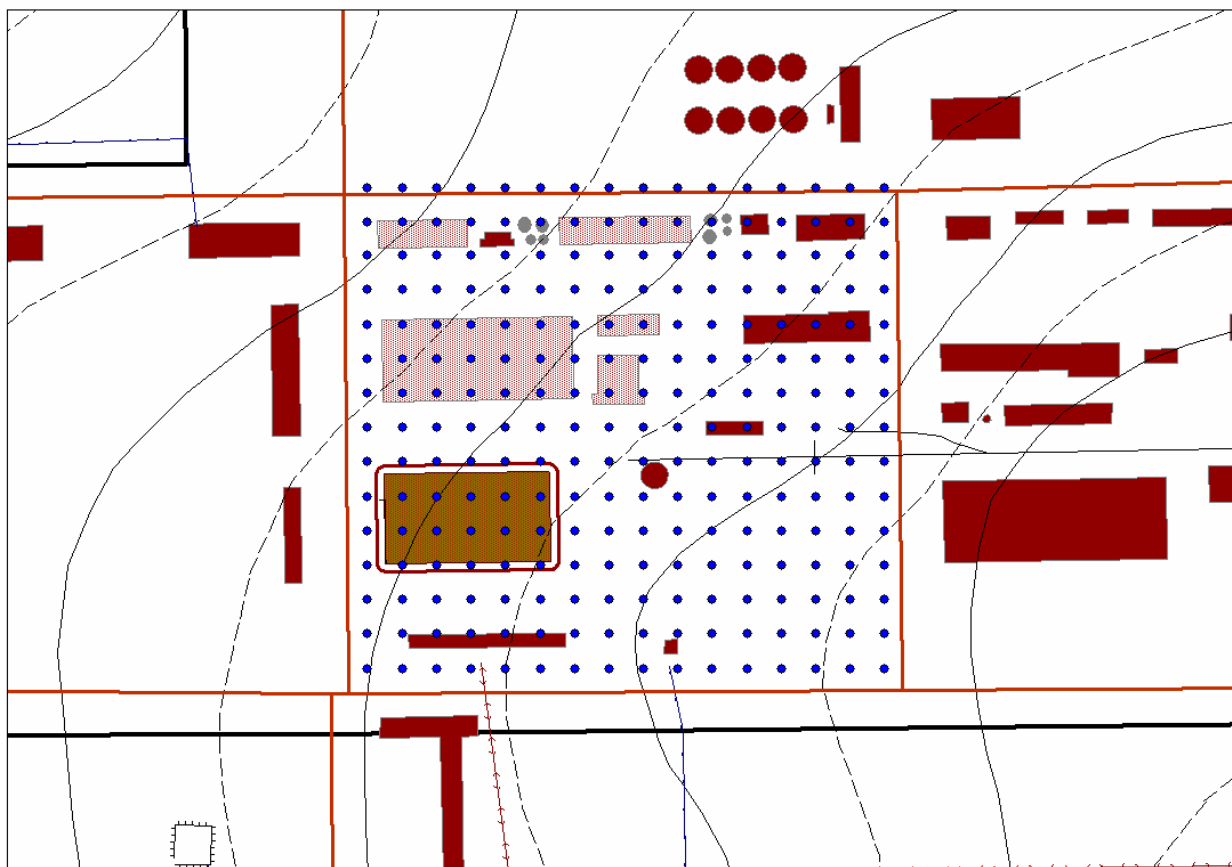


Рис.3. План пробоотбора почв из слоев 0-10, 10-20, 20-50 см на территории бывшего хлор-щелочного производства ПХЗ («территория демеркуризации»)

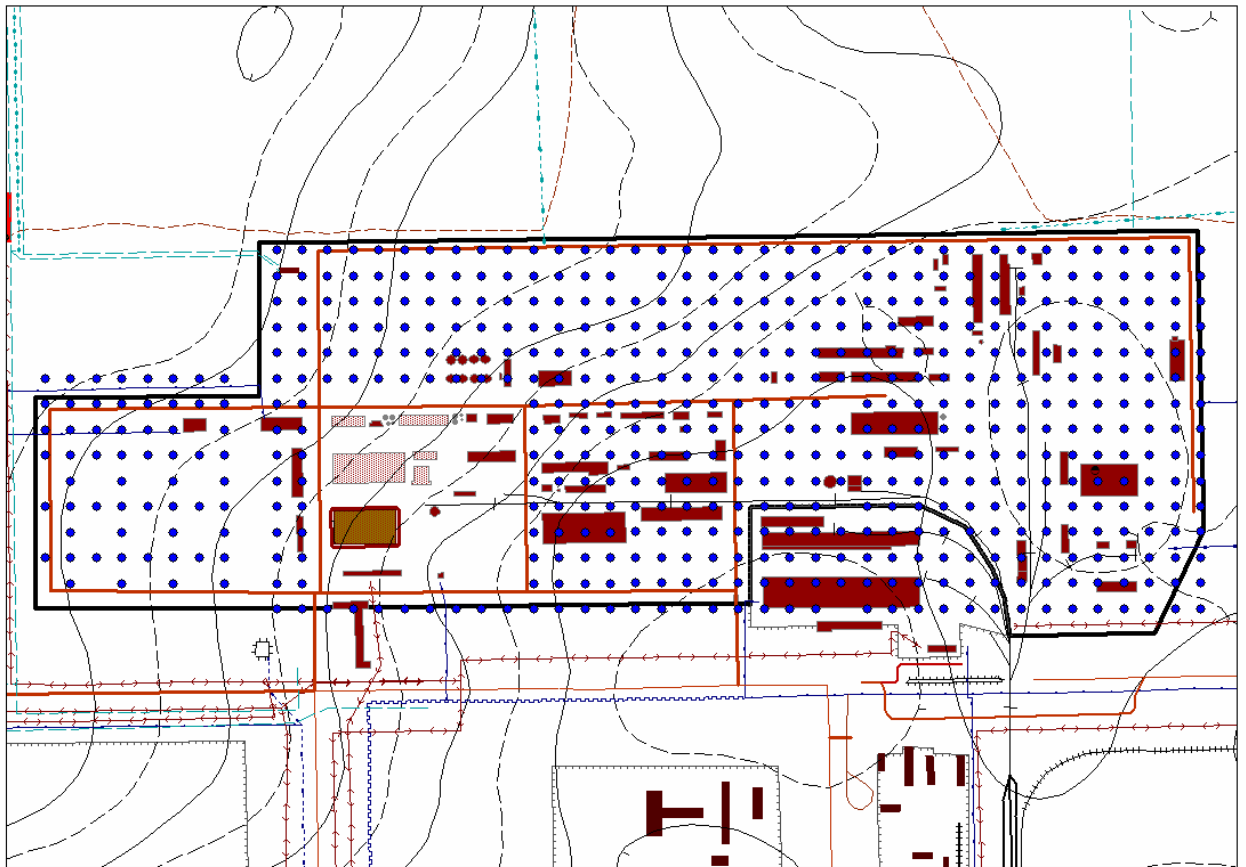


Рис.4. План пробоотбора почв из слоев 0-10, 10-20, 20-50 см на территории промышленной площадки №1 ПХЗ

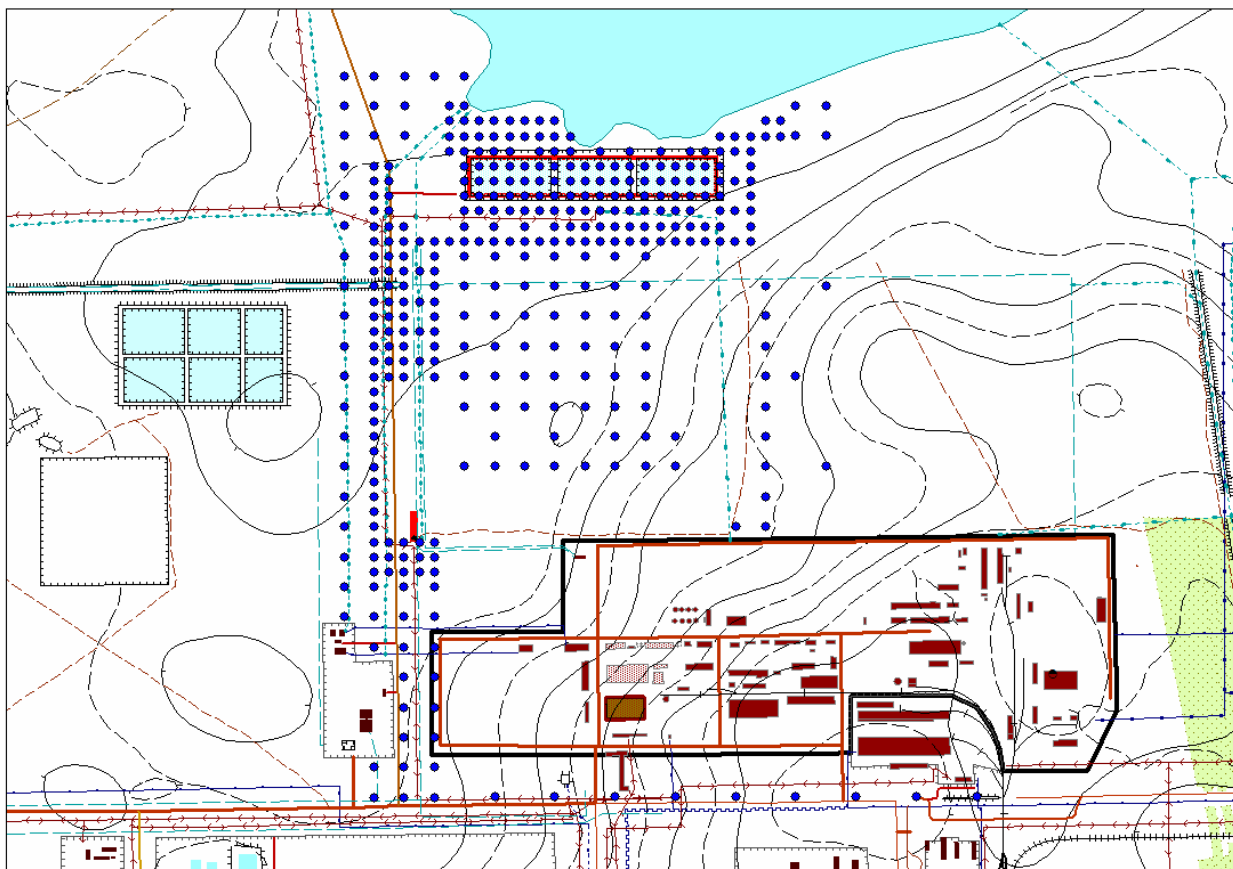


Рис.5. План пробоотбора почв из слоев 0-10, 10-20, 20-50 см на территории вокруг промышленной площадки №1 ПХЗ

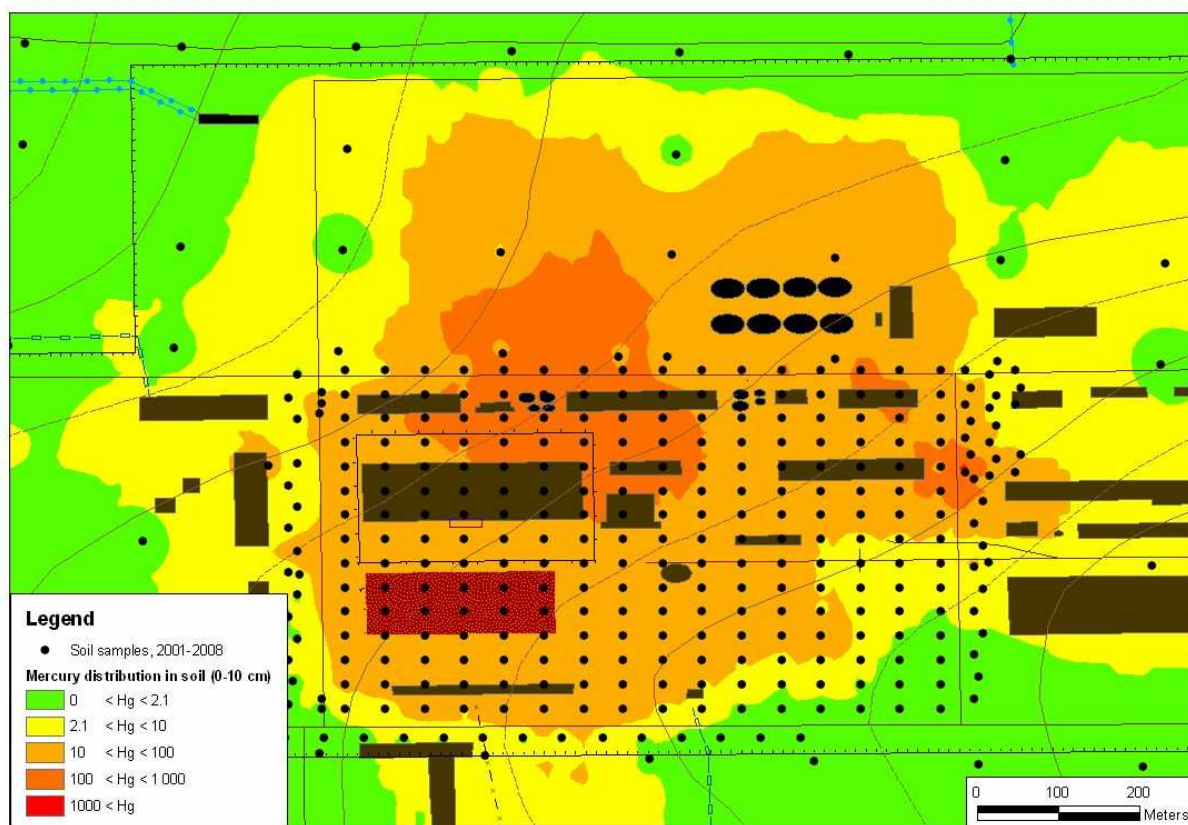


Рис.6. Карта ртутного загрязнения почв (слой 0-10 см) на промышленной площадке бывшего хлор-щелочного производства ПХЗ, построенная по результатам отбора проб в 2008 г.

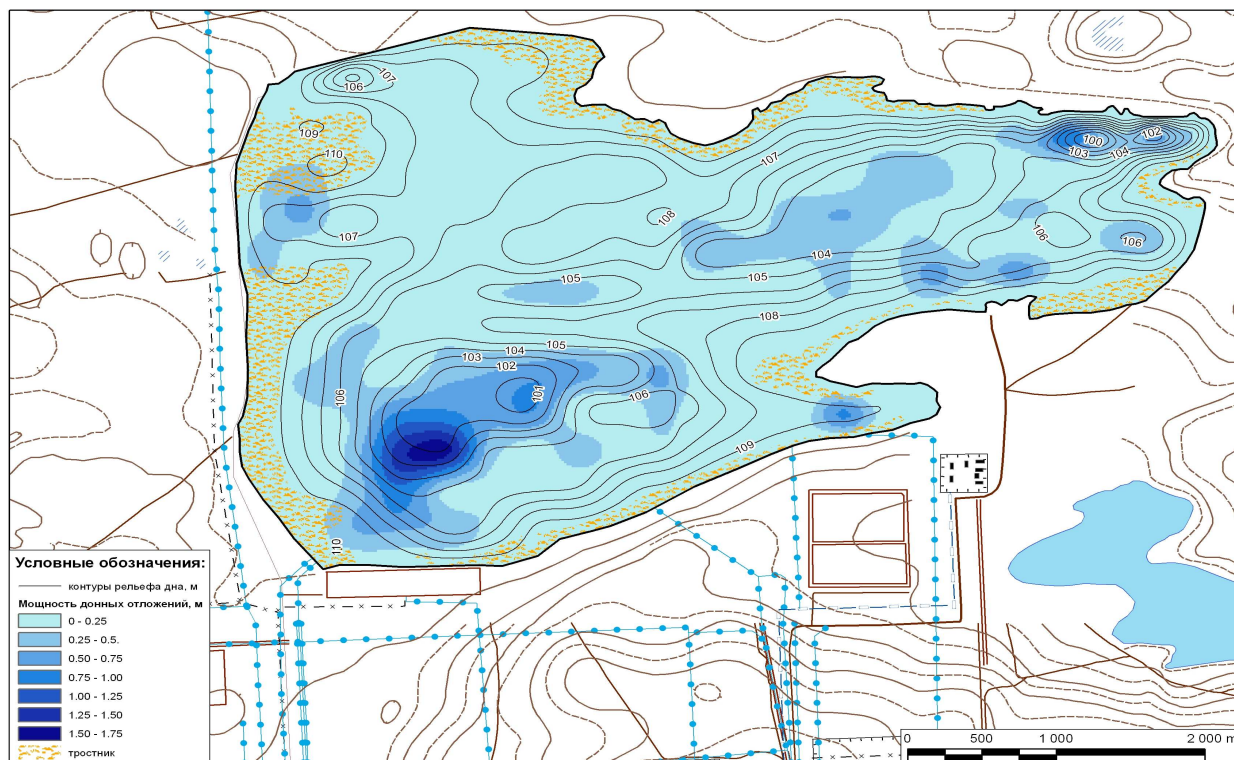
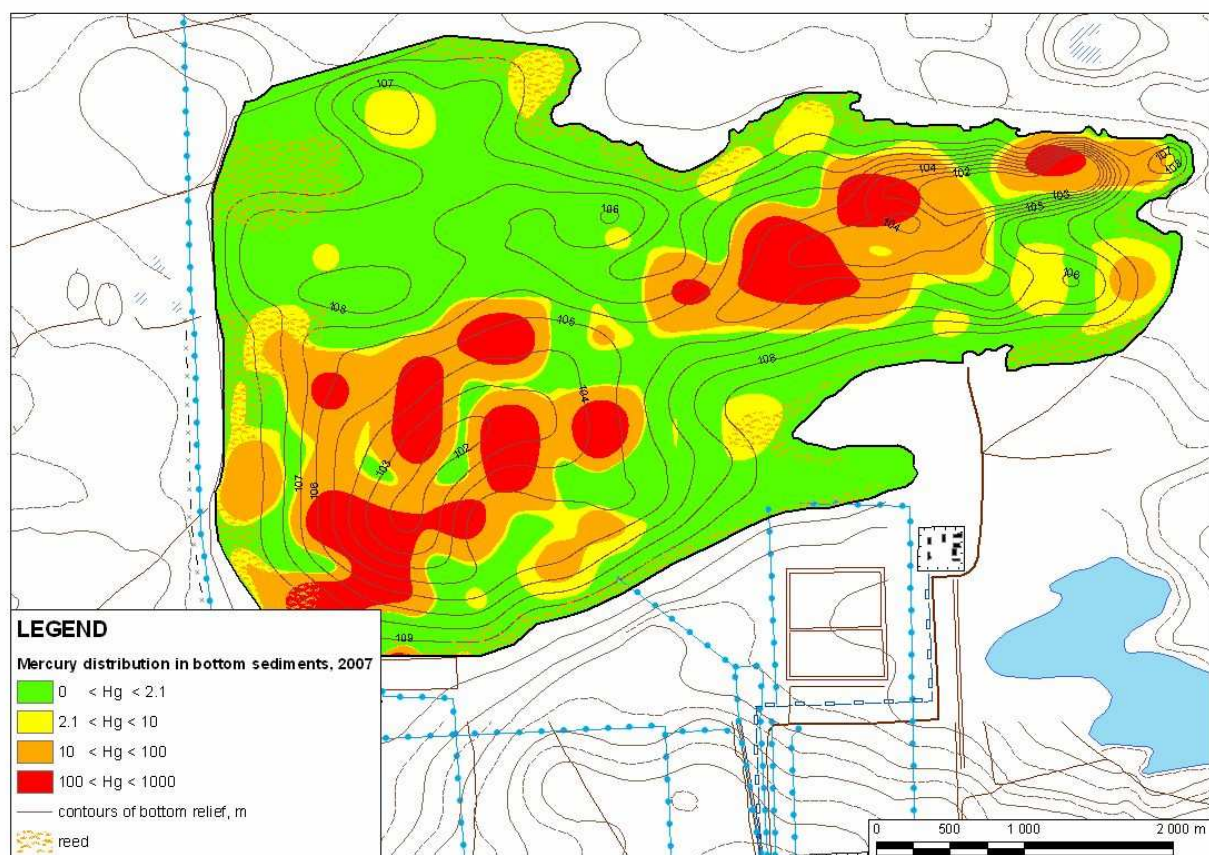


Рис.7. Батиметрическая карта и мощности донных отложений накопителя сточных вод Балкылдак



**Рис. 8. Карта ртутного загрязнения донных отложений
накопителя сточных вод Балкылдак**

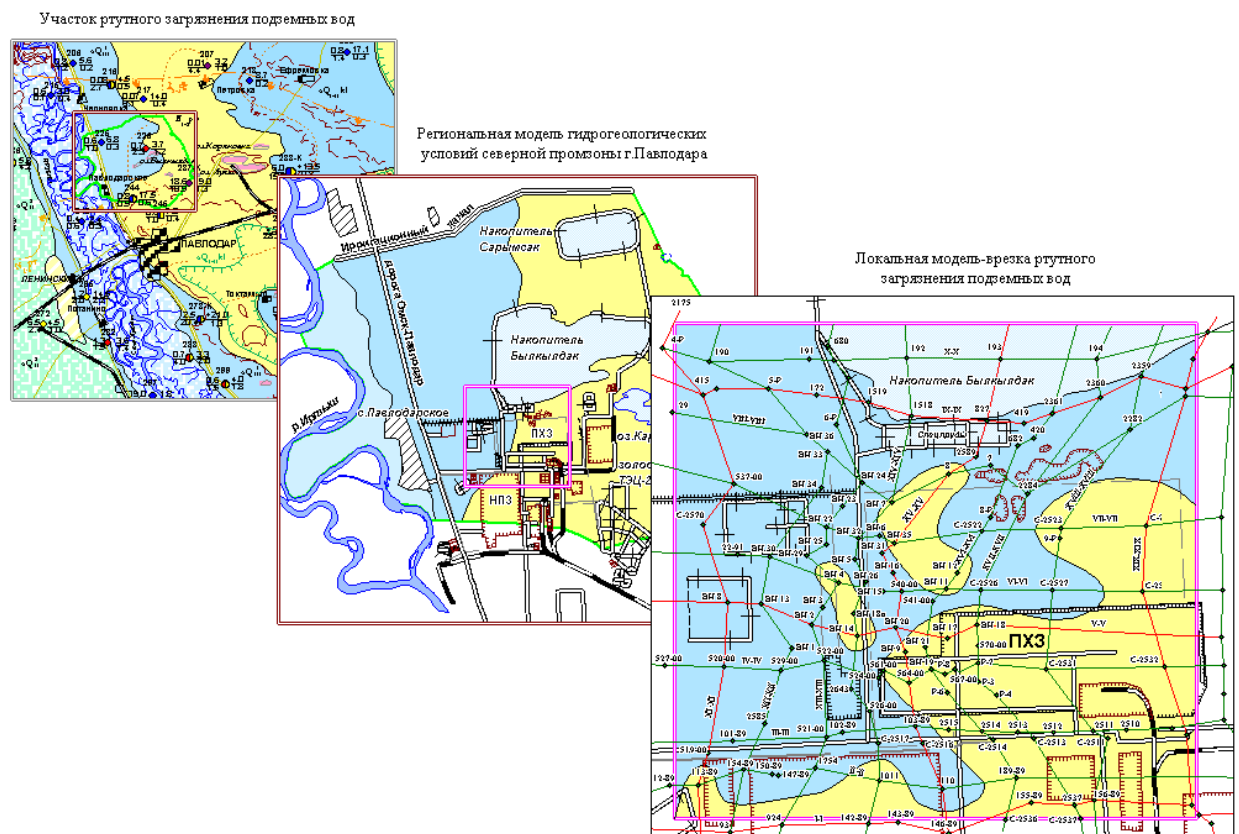


Рис. 9. Система гидрогеологических моделей Северной промышленной зоны г. Павлодара. 1. Участок ртутного загрязнения подземных вод. 2. Региональная модель гидрогеологических условий Северной промышленной зоны г. Павлодара. 3. Локальная модель-врезка ртутного загрязнения подземных вод

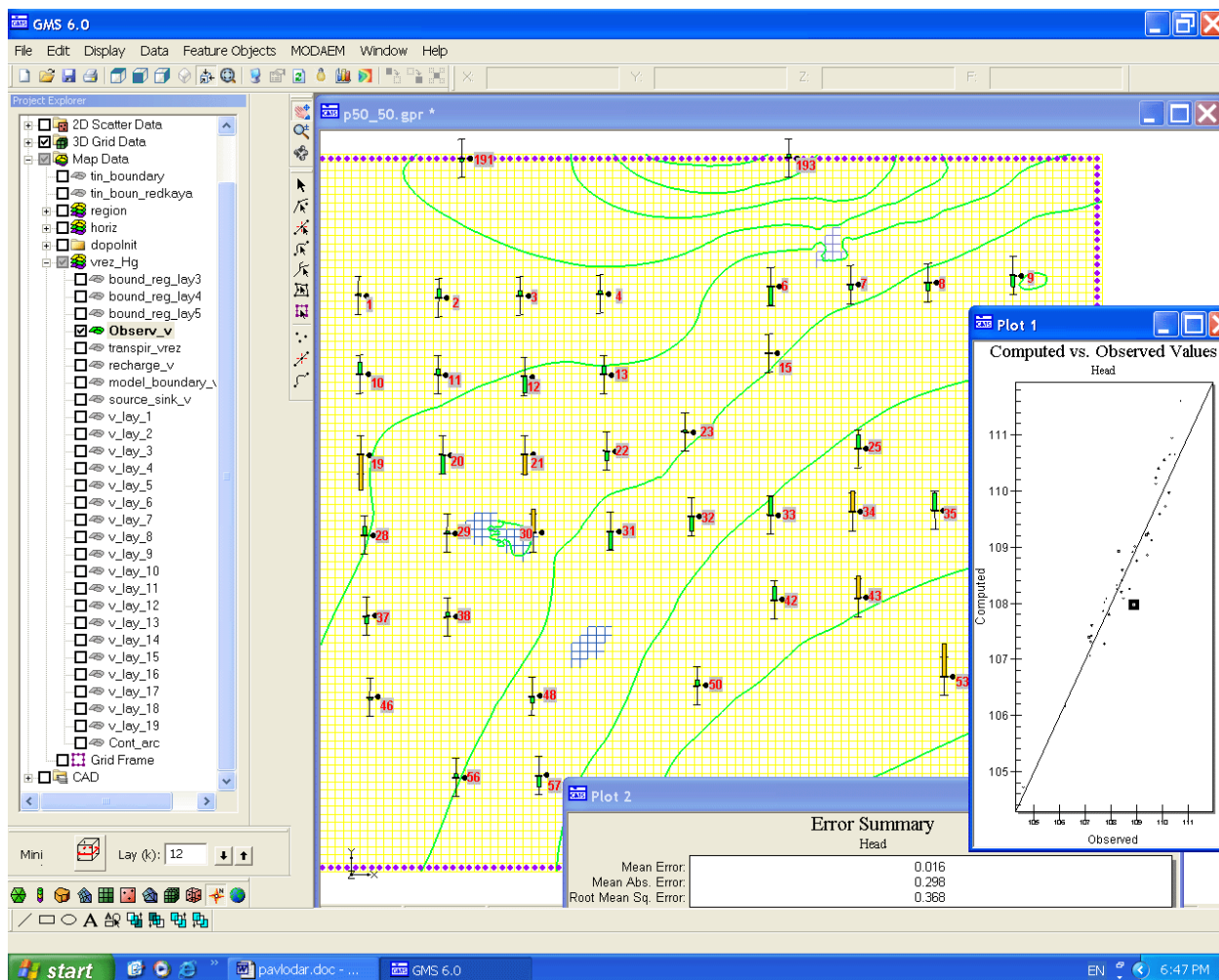


Рис. 11. Результат решения обратной стационарной задачи гидродинамической модели Северной промышленной зоны г. Павлодара

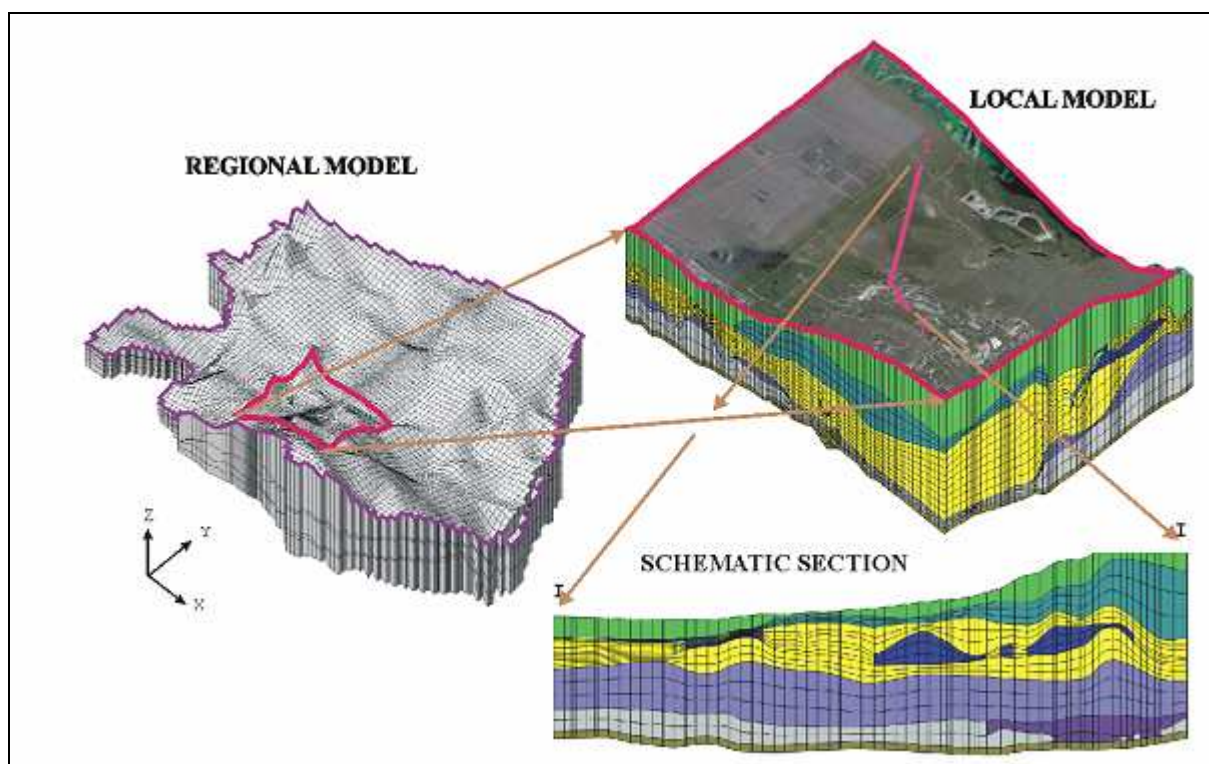


Рис. 12. Структура системы моделей гидрогеологических условий Северной промышленной зоны г. Павлодара

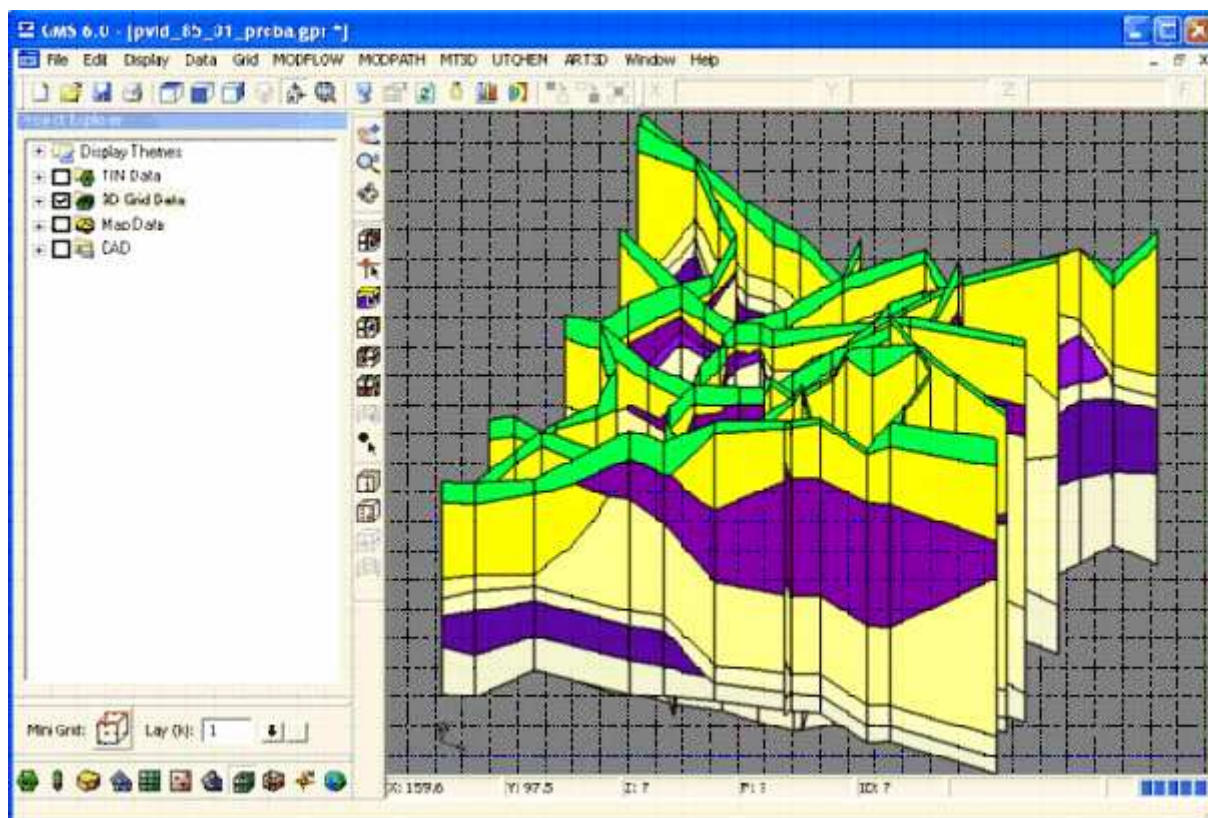


Рис. 13. Трехмерная модель стратиграфии

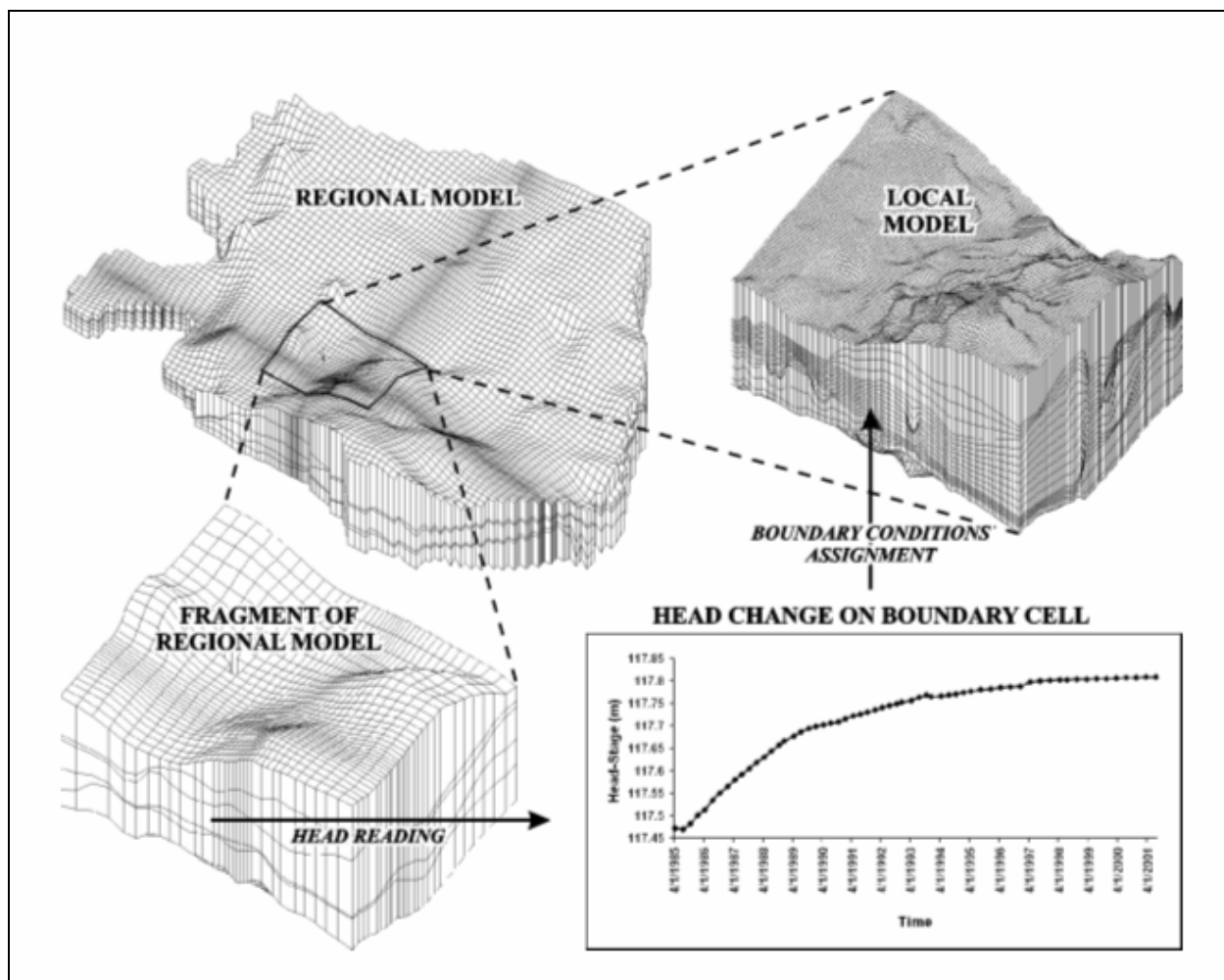


Рис. 14. Задание абсолютных отметок уровня по внешним границам локальной модели

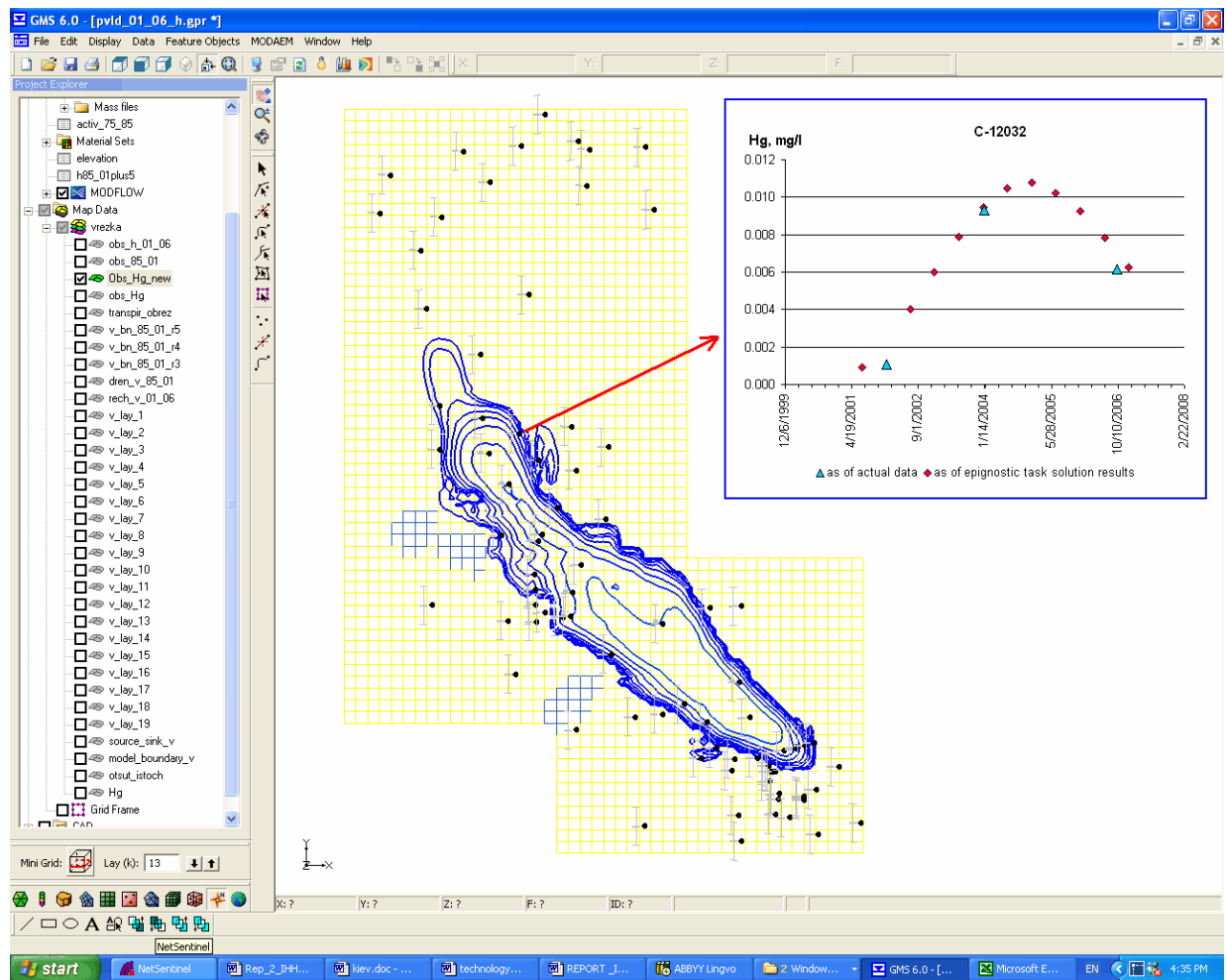
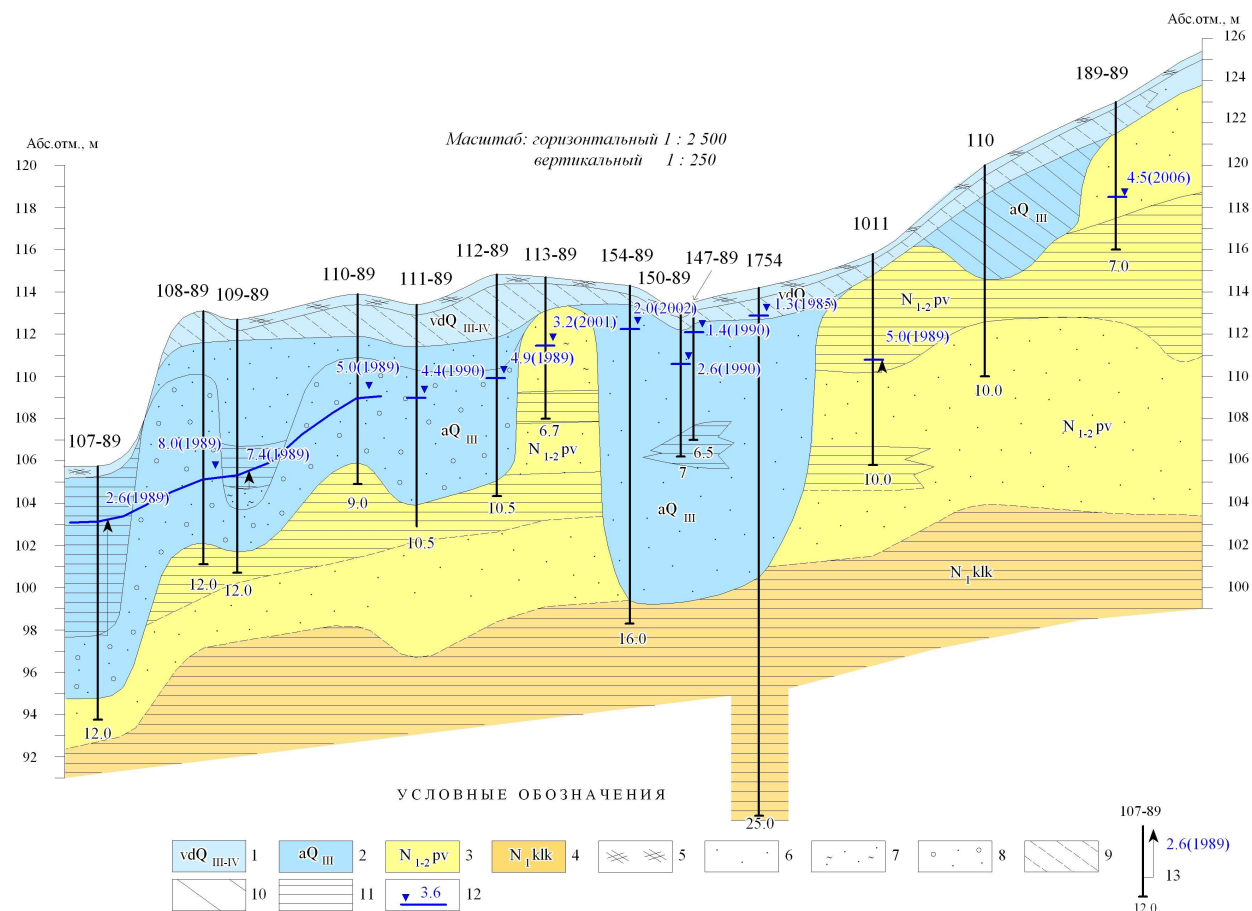
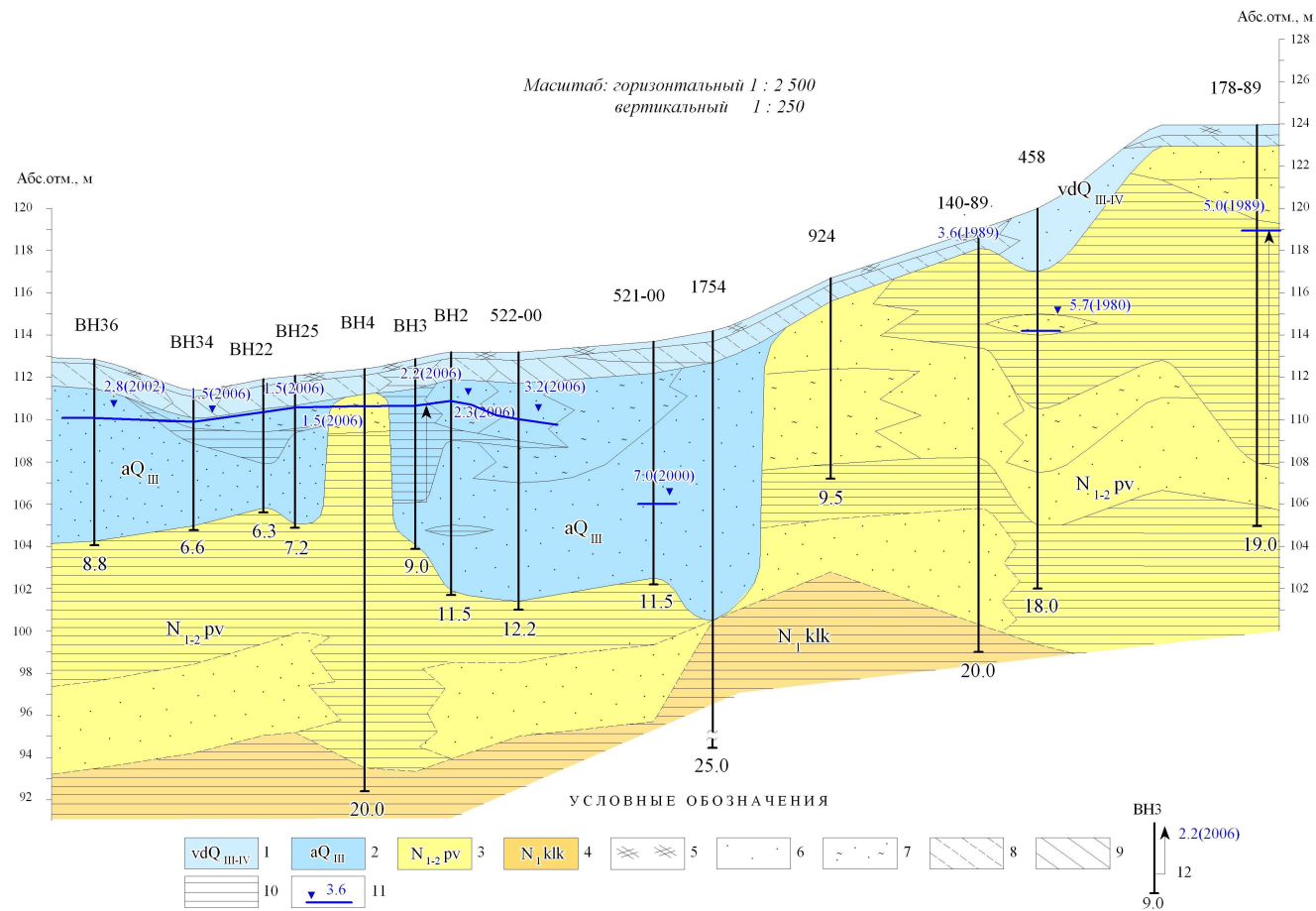


Рис. 15. Уточнение локальной модели гидрогеологических условий



1-Водопроницаемые, но практически безводные верхнечетвертичные и современные отложения; 2 -водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений; 3 – водоносный комплекс нижне-среднеплиоценовых, верхнемиоценовых отложений павлодарской свиты. 4 - Водоупорные породы нижне-среднемиоценовых отложений калкаманской свиты. Литологический состав пород: 5 - почвенно-растительный слой; 6 - песок; 7 - песок глинистый; 8 - песок гравелистый; 9 - супесь; 10 - суглинок; 11 - глина. 12 – Уровень подземных вод со свободной поверхностью, м. 13 - Гидрогеологическая скважина. Цифры: вверху - номер скважины; внизу - глубина, м; у стрелки - глубина залегания пьезометрического уровня, м; в скобках - год наблюдения.

Рис.17. Гидрогеологический разрез по линии V-V



1- водопроницаемые, но практически безводные верхнечетвертичные и современные отложения; 2- водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений; 3 – водоносный комплекс ниже-среднеплиоценовых, верхнемиоценовых отложений павлодарской свиты. 4 - Водупорные породы ниже-среднемиоценовых отложений калкаманской свиты. Литологический состав пород: 5 - почвенно-растительный слой; 6 - песок; 7 - песок глинистый; 8 - супесь; 9 - суглинок; 10 - глина. 11 - Уровень подземных вод со свободной поверхностью, м. 12 - Гидрогеологическая скважина. Цифры: вверху - номер скважины; внизу - глубина, м; у стрелки - глубина залегания пьезометрического уровня, м; в скобках - год наблюдения.

Рис. 18. Гидрогеологический разрез по линии XVII-XVII

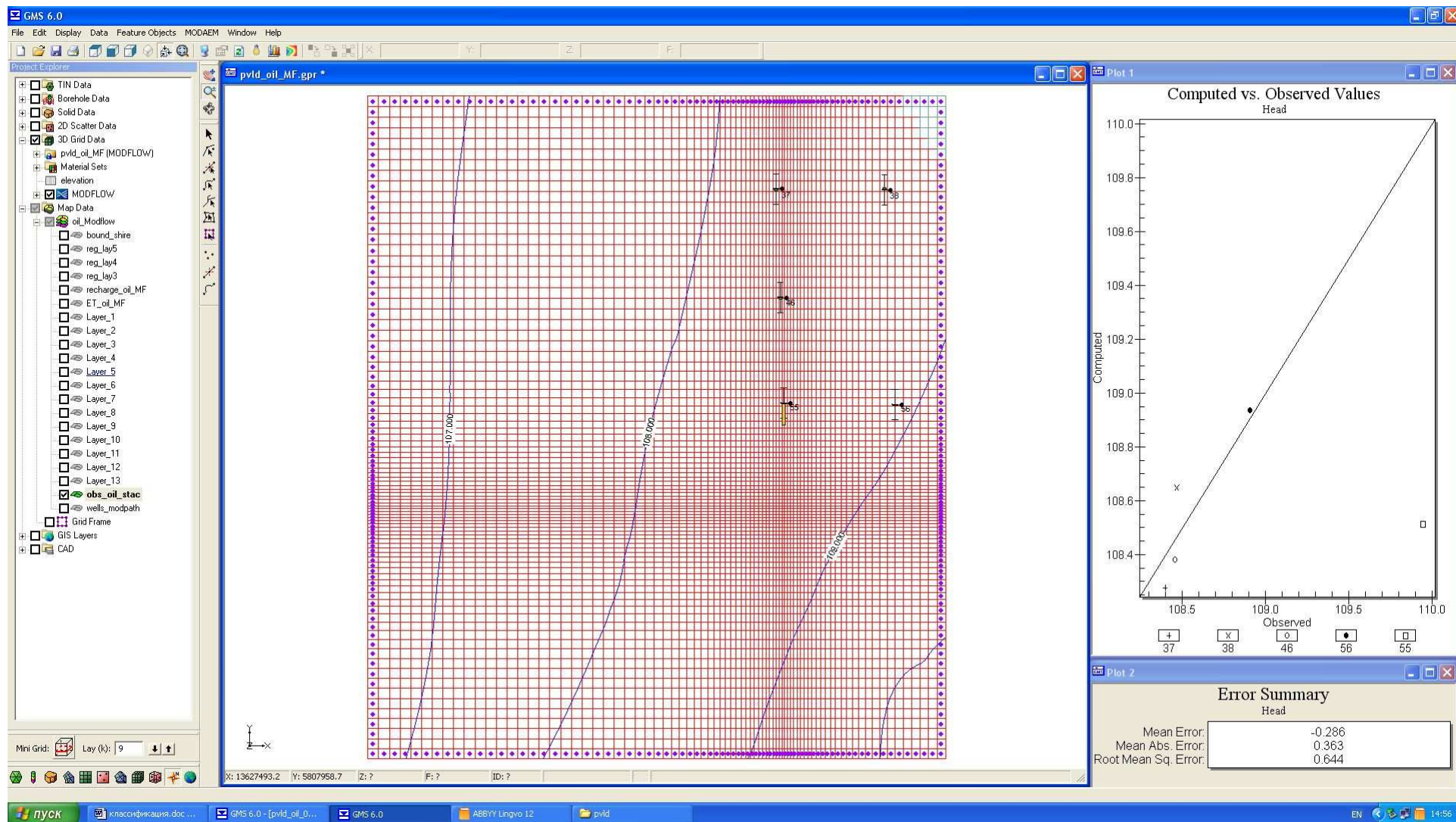


Рис.19. Результат решения обратной стационарной задачи

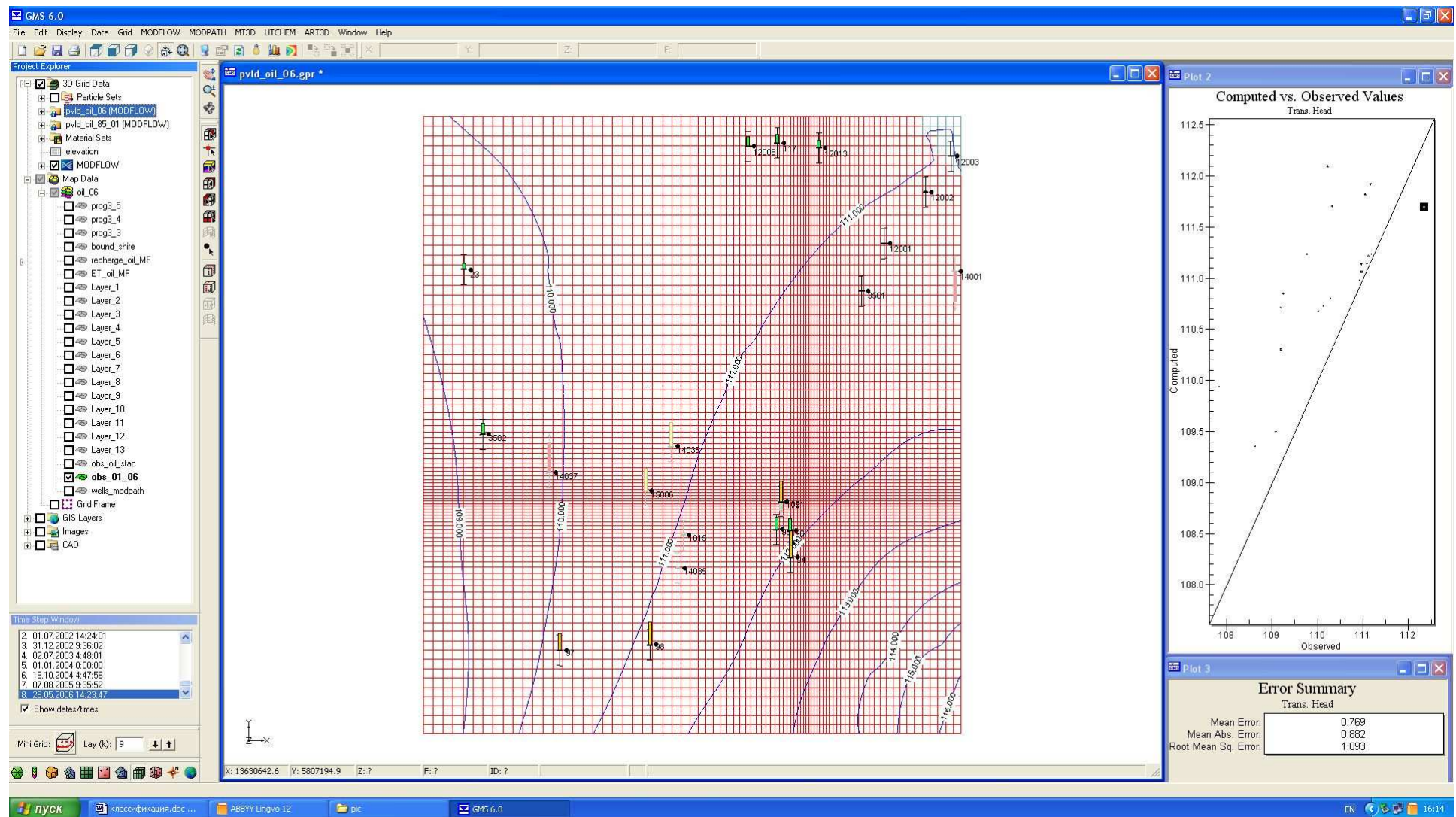
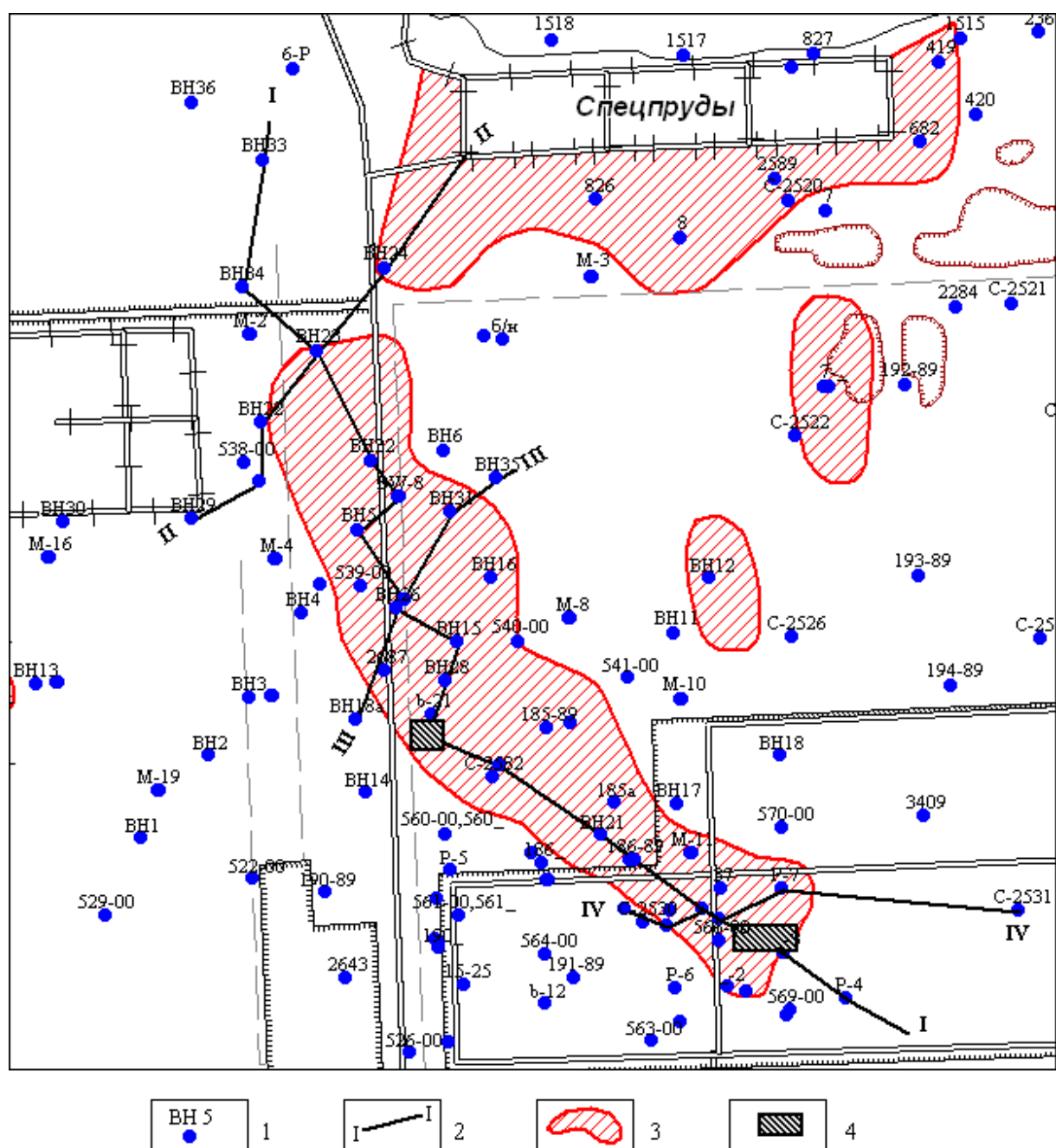
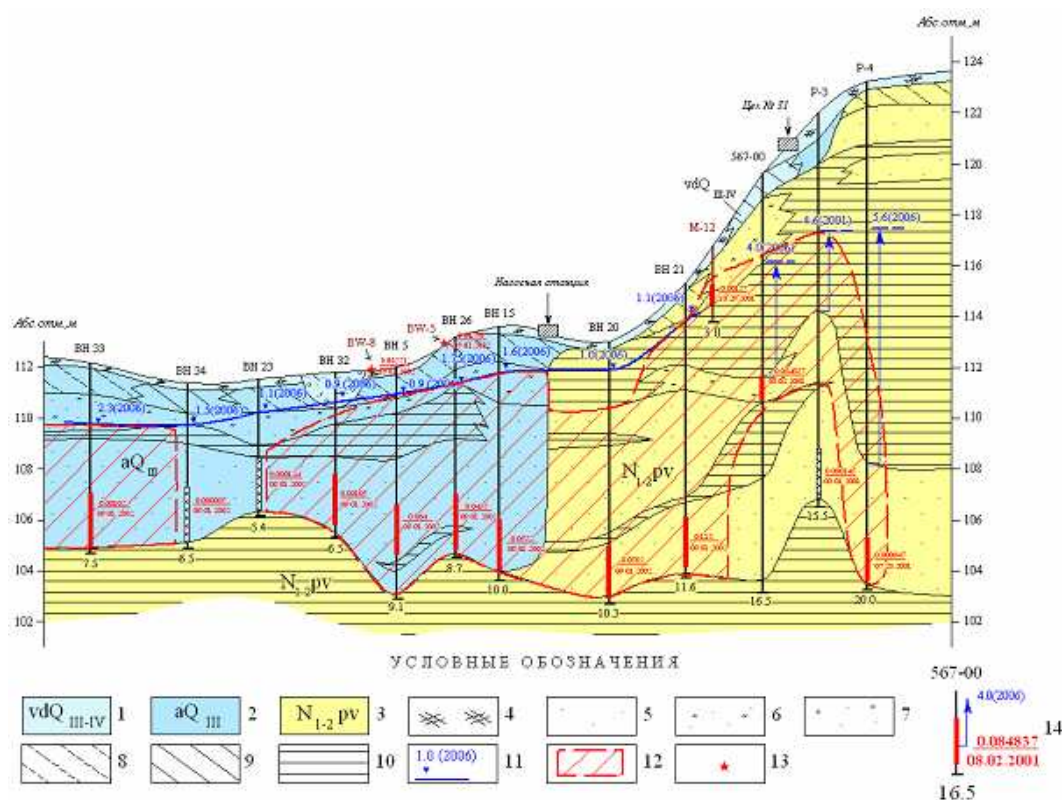


Рис.20. Результат решения обратной нестационарной задачи



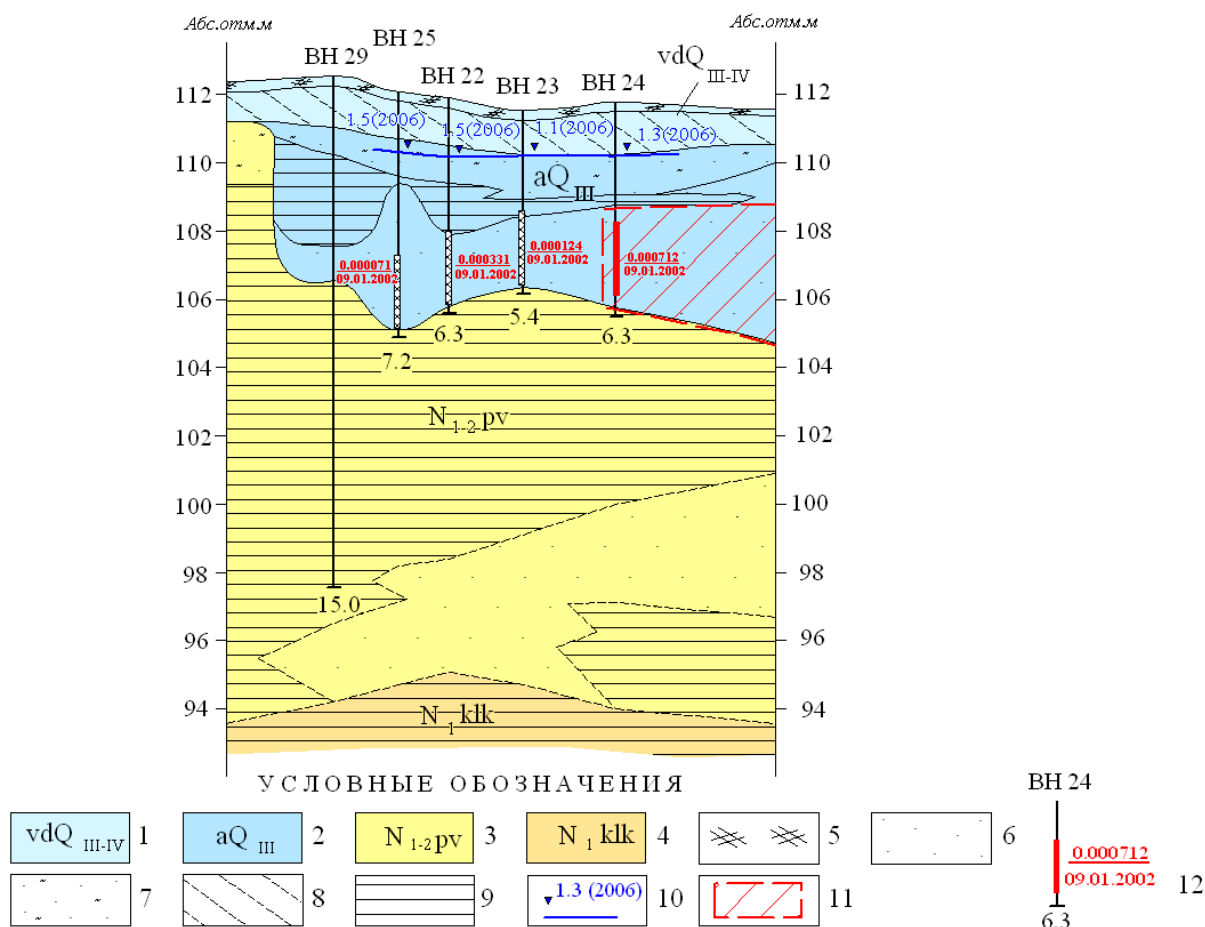
1 – hydro-geological borehole and its name, 2 – hydro-geological cross section line and its number, 3 – groundwater mercury contaminated area, 4 – main sources of mercury pollution.

Рис. 21. Карта фактического материала. 1. Гидрогеологическая скважина и ее номер, 2. Линия гидрогеологического разреза и его номер, 3. Область загрязнения подземных вод ртутью, 4. Основные источники загрязнения ртутью.



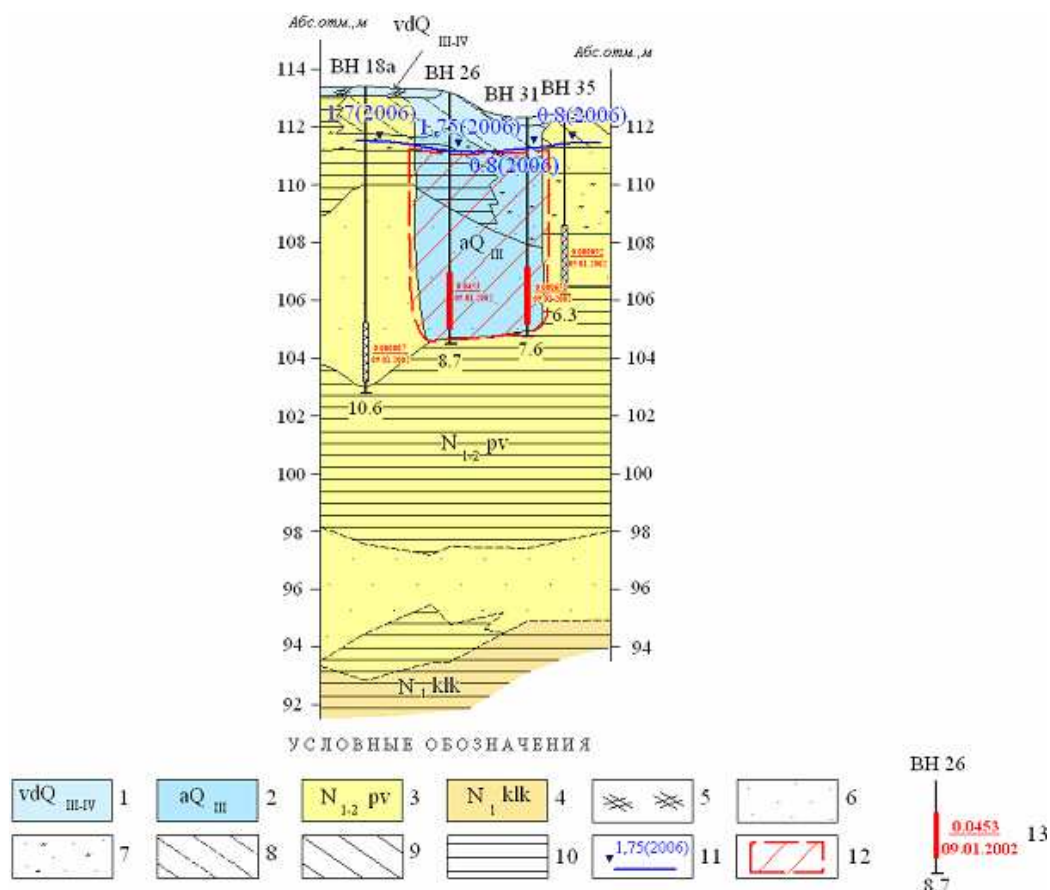
1 – Водопроницаемые, но практически безводные верхнечетвертичные и современные эоловые отложения; 2 – водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений; 3 – водоносный комплекс ниже-среднеплиоценовых, верхнемиоценовых отложений павлодарской свиты. Литологический состав пород: 4 – почвенно-растительный слой; 5 – песок; 6 – песок глинистый; 7 – песок гравелистый; 8 – супесь; 9 – суглинок; 10 – глина; 11 – уровень и глубина залегания грунтовых вод, м; в скобках – год наблюдений. 12 – область загрязнения подземных вод ртутью. 13 – места опробования поверхностных вод. 14 – гидрогеологическая скважина. Цифры: сверху – номер скважины; внизу – ее глубина, м; справа: в числителе – содержание ртути в воде – мг/л; в знаменателе – дата опробования. Заштрихованная область – интервал опробования. Красным цветом показаны скважины с концентрацией ртути больше ПДК (0,0005 мг/л). У стрелки глубина залегания пьезометрического уровня, м; в скобках – год наблюдения.

Рис. 22. Гидрогеологический разрез по линии I-I



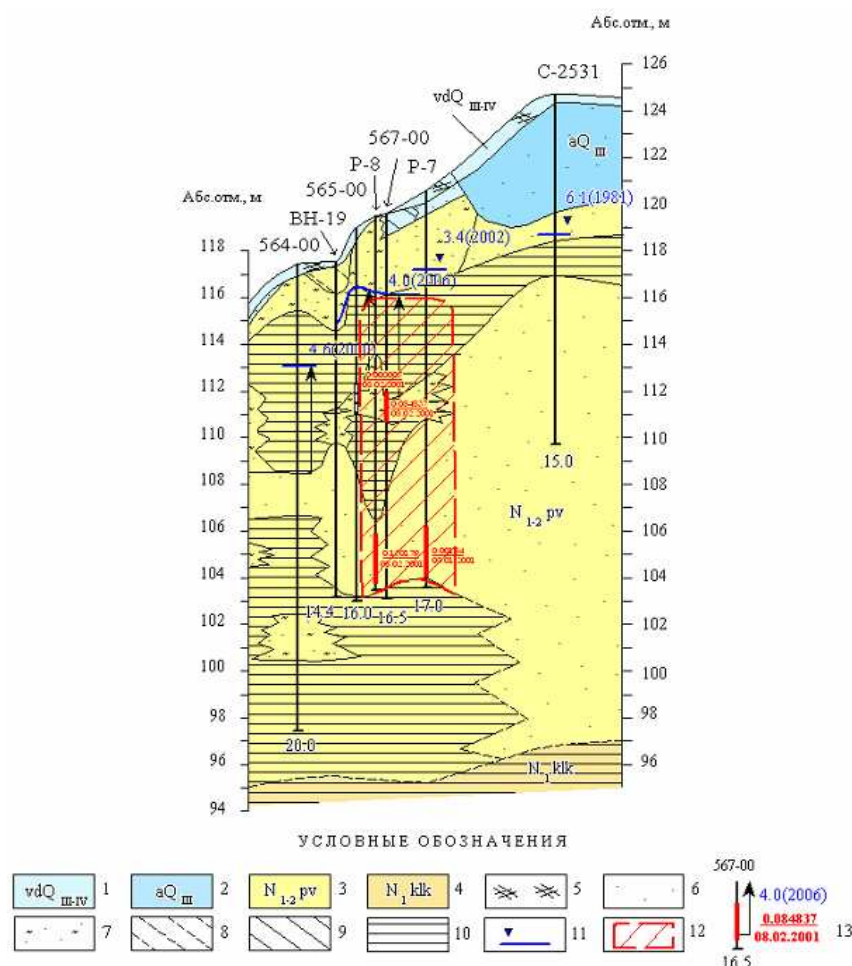
1 – Водопроницаемые, но практически безводные верхнечетвертичные и современные эоловые отложения; 2 – водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений; 3 – водоносный комплекс ниже-среднеплиоценовых, верхнемиоценовых отложений павлодарской свиты. 4 – Водоупорные породы ниже- среднемиоценовых отложений калкаманской свиты. Литологический состав пород: 5 – почвенно-растительный слой; 6 – песок; 7 – песок глинистый; 8 – супесь; 9 – глина; 10 – уровень и глубина залегания грунтовых вод, м; в скобках – год наблюдений; 11 – область загрязнения подземных вод ртутью. 12 – гидрогеологическая скважина. Цифры: сверху – номер скважины; внизу – ее глубина, м; справа: в числителе – содержание ртути в воде – мг/л; в знаменателе – дата опробования. Заштрихованная область – интервал опробования. Красным цветом показаны скважины с концентрацией ртути больше ПДК (0,0005 мг/л).

Рис. 23. Гидрогеологический разрез по линии II-II



1 – Водопроницаемые, но практически безводные верхнечетвертичные и современные эоловые отложения; 2 – водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений; 3 – водоносный комплекс ниже-среднеплиоценовых, верхнемиоценовых отложений павлодарской свиты. 4 – Водоупорные породы ниже-среднемиоценовых отложений калкаманской свиты. Литологический состав пород: 5 – почвенно-растительный слой; 6 – песок; 7 – песок глинистый; 8 – супесь; 9 – суглинок; 10 – глина; 11 – уровень и глубина залегания грунтовых вод, м; в скобках – год наблюдений; 12 – область загрязнения подземных вод ртутью. 13 – гидрогеологическая скважина. Цифры: вверху – номер скважины; внизу – ее глубина, м; справа: в числителе – содержание ртути в воде – мг/л; в знаменателе – дата опробования. Заштрихованная область – интервал опробования. Красным цветом показаны скважины с концентрацией ртути больше ПДК (0,0005 мг/л).

Рис.24. Гидрогеологический разрез по линии III-III



1 – Водопроницаемые, но практически безводные верхнечетвертичные и современные эоловые отложения; 2 – водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений; 3 – водоносный комплекс ниже-среднеплиоценовых, верхнемиоценовых отложений павлодарской свиты. 4 – Водоупорные породы ниже-среднемиоценовых отложений калкаманской свиты. Литологический состав пород: 5 – почвенно-растительный слой; 6 – песок; 7 – песок глинистый; 8 – супесь; 9 – суглинок; 10 – глина; 11 – уровень подземных вод со свободной поверхностью, м; 12 – область загрязнения подземных вод ртутью. 13 – гидрогеологическая скважина. Цифры: вверху – номер скважины; внизу – ее глубина, м; справа: в числителе – содержание ртути в воде – мг/л; в знаменателе – дата опробования. Заштрихованная область – интервал опробования. Красным цветом показаны скважины с концентрацией ртути больше ПДК (0,0005 мг/л). У стрелки - глубина залегания пьезометрического уровня, м; в скобках – год наблюдения.

Рис. 25. Гидрогеологический разрез по линии IV-IV

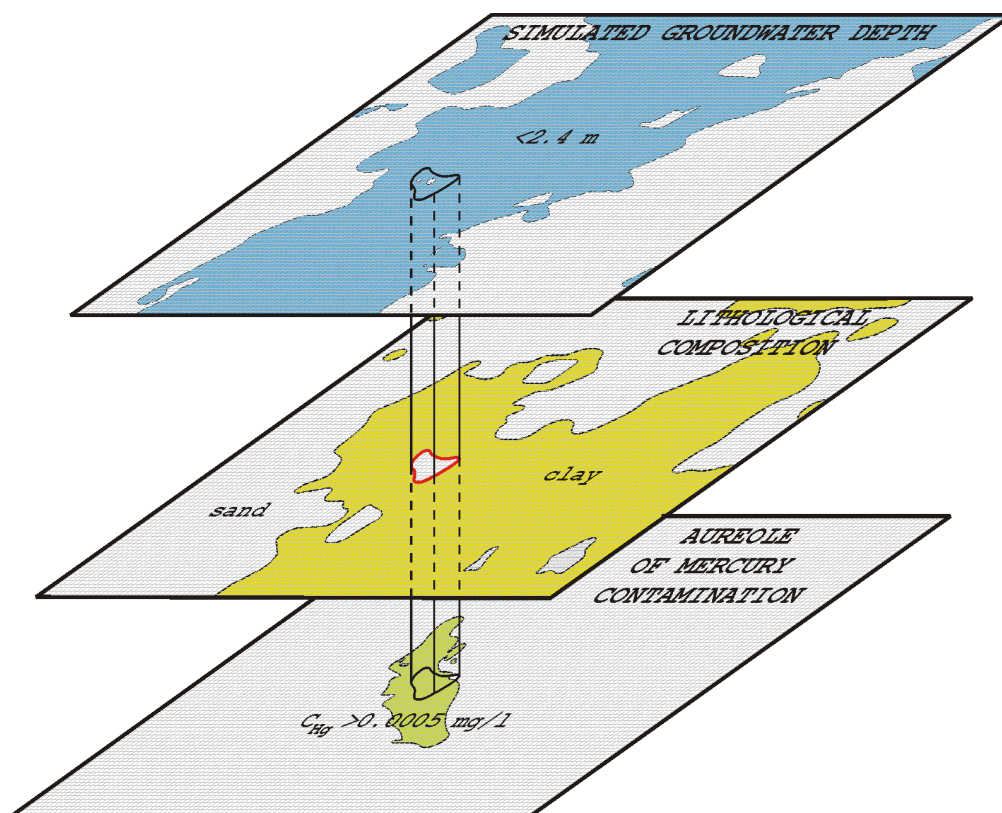


Рис.26. Районирование исследуемой территории по глубинам залегания грунтовых вод, литологическому строению и концентрации ртути в подземных водах

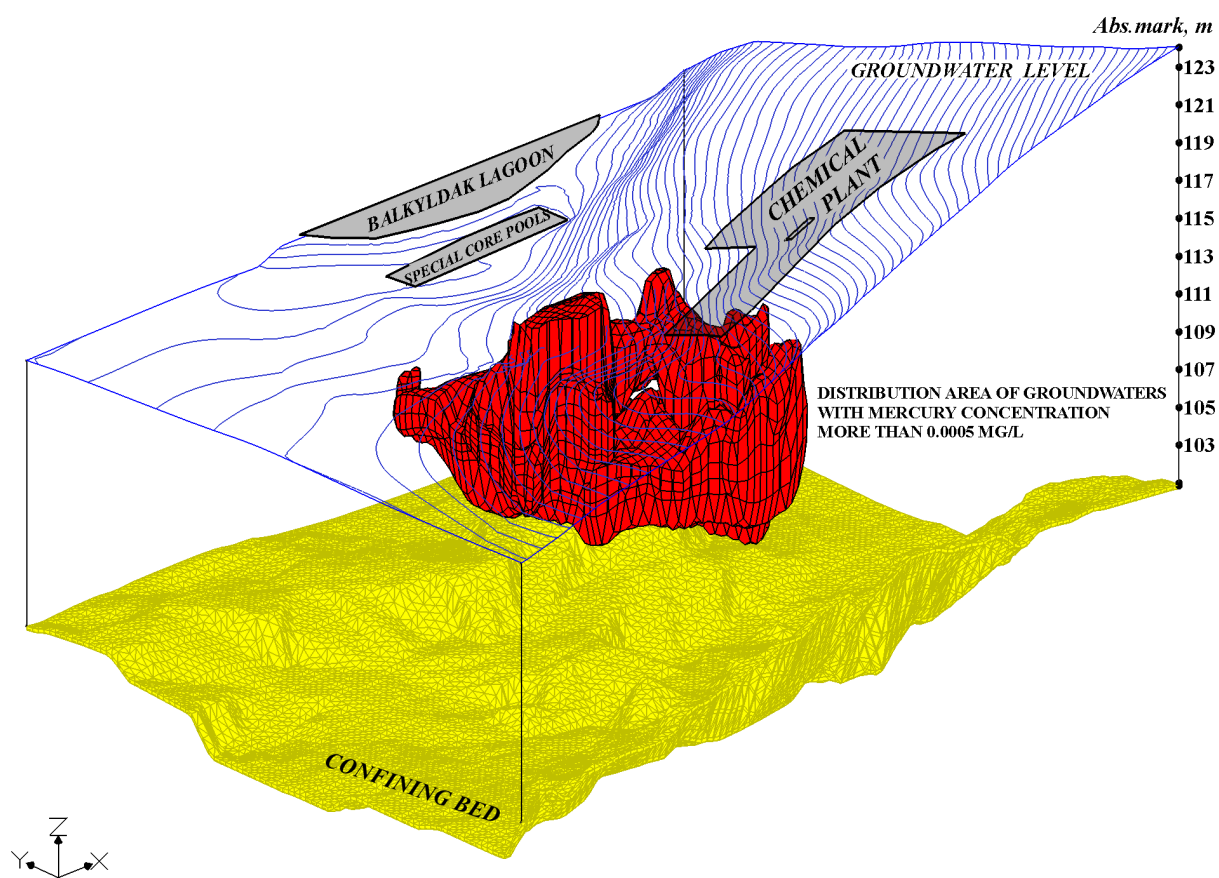


Рис. 27. Трехмерная диаграмма распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод по результатам моделирования по состоянию на конец 2006 г.

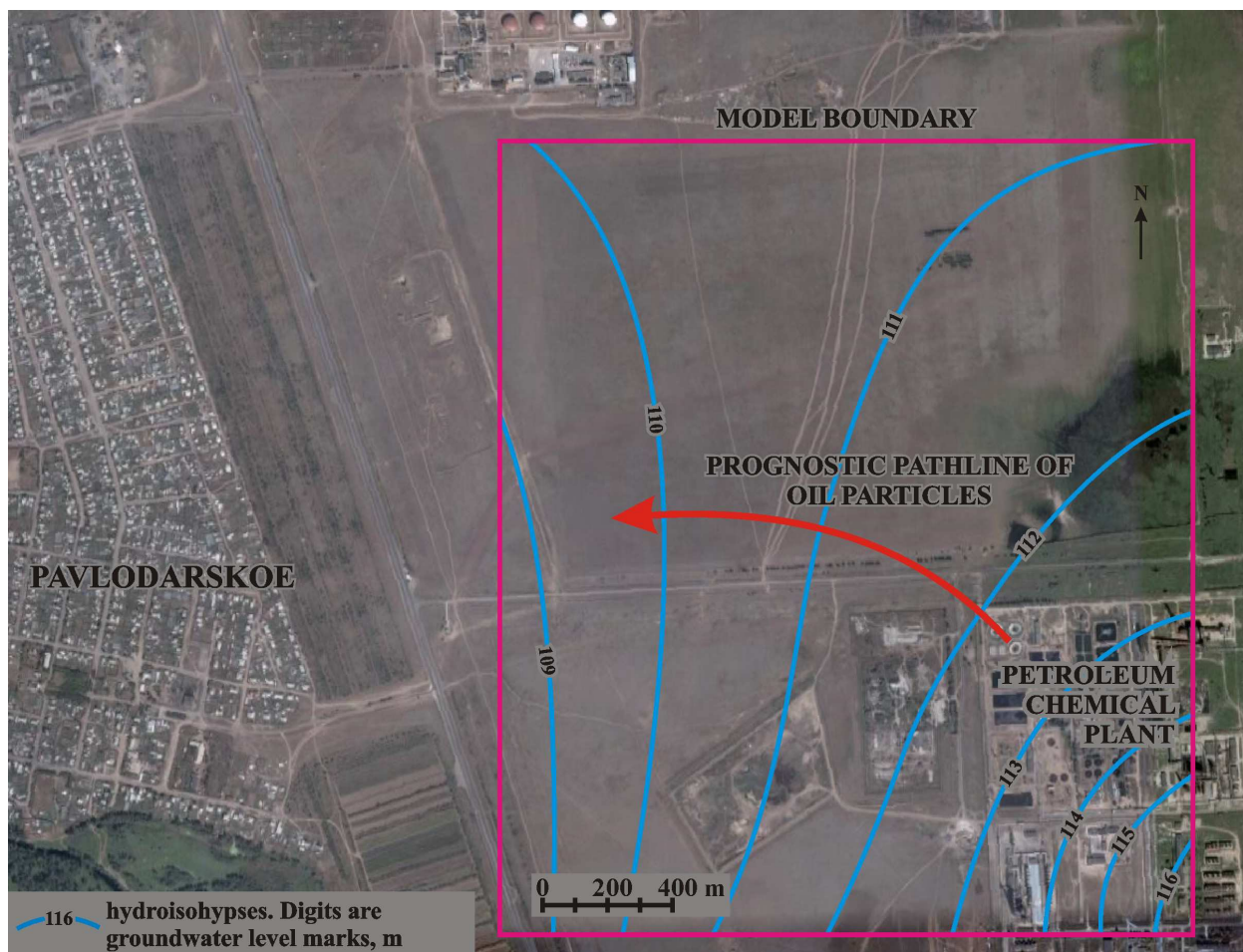


Рис. 28. Прогнозная траектория перемещения нефтепродуктов подземными водами (по результатам моделирования)