

Геоинформационно-математическая модель ртутного загрязнения подземных вод павлодарского промрайона

В .Ю. Паничкин

В статье кратко формулируются основные принципы геоинформационно-математического моделирования. Описывается разработанная на их основе модель гидрогеологических условий северной части Павлодарского промрайона, созданная в Институте гидрогеологии и гидрофизики МОН РК в 2001-2002г. в рамках проекта, финансируемого Европейской Комиссией, для прогнозирования ореола распространения ртутного загрязнения подземных вод и выработки рекомендаций по снижению риска.

Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических объектов – новое направление, которое интенсивно развивается в Институте гидрогеологии и гидрофизики МОН РК в последние годы. Его сущность заключается в комплексном использовании при исследовании гидрогеологических систем моделей различных типов. Для гидрогеологических объектов, на наш взгляд, наиболее информативным является сочетание геоинформационных и математических моделей. Геоинформационные модели включают в себя систему различных разномасштабных геоизображений и связанных с ними структурированных и неструктурированных описаний гидрогеологических систем [3,5]. Эти модели позволяют отображать исследуемый объект разными средствами, с разных сторон, в разном масштабе, что позволяет получить о нем более полное, целостное и непротиворечивое представление. С помощью математических моделей возможно прогнозировать состояние исследуемого гидрогеологического объекта, решать задачи управления им. Практическая реализация сформулированных принципов возможна только на основе применения современных компьютерных технологий. Требования к инструментальным средствам приводятся в [3]. Примеры геоинформационно-математических моделей гидрогеологических объектов, созданных в Институте гидрогеологии и гидрофизики МОН РК, рассматриваются в [5].

Одной из последних разработок Института является геоинформационно-математическая модель ртутного загрязнения подземных вод северной части Павлодарского промышленного района. На этой территории в результате многочисленных аварий в цехе №31 Павлодарского химического завода (ныне АО “Химпром”) произошло загрязнение подземных вод ртутью. Цех с 1975г. по 1993г производил каустическую соду и хлор с применением ртутных электролизеров. По материалам Павлодарской гидрогеологической экспедиции максимальный ореол ртутного загрязнения подземных вод простирался на 800 м в западном, северо-западном и северном направлениях. Концентрация ртути в подземных водах вблизи цеха достигала 12.5-103 мг/л (предельно допустимая концентрация – ПДК - составляет 0.0005 мг/л). Загрязнение распространилось на глубину до 20м. Предприятием “Химпром” в течение длительного срока сбрасывались в накопитель-испаритель Былкылдак и спецруды ртутьсодержащие стоки. В результате возник еще один очаг загрязнения подземных вод [1].

Для уточнения сложившейся ситуации в регионе и разработки мероприятий по снижению риска в 2001-2002 году под эгидой Европейской Комиссии проводились исследования, включающие определение ртути в поверхностных и подземных водах, грунтах зоны аэрации, илах накопителя промстоков, воздухе, а также создана математическая модель гидрогеологических условий района.

Район работ с запада ограничивается рекой Иртыш, с севера – оросительным каналом, на юге границей является золоотвал ТЭЦ-3, на востоке – северо-востоке граница проходит по цепи озер - Муялды и др. (рис. 1). Здесь получили распространение водоносные горизонты в аллювиальных современных отложениях поймы р.Иртыш (aQ_{IV}) и в верхнечетвертичных отложениях первой надпойменной террасы (aQ_{III}), водоносный комплекс в верхнемиоценовых нижне-среднеплиоценовых отложениях павлодарской свиты (N_{1-2pv}). Первым от поверхности земли региональным водоупором являются глины калкаманской свиты неогена [1,4]. Подземные воды современных, верхнечетвертичных отложений и отложений павлодарской свиты имеют хорошую гидравлическую связь между собой. Поток подземных вод, образующийся в отложениях павлодарской свиты, частично разгружается в верхнечетвертичные отложения, а затем в пойму, которая дренируется рекой Иртыш. Разгрузка подземных вод происходит также в озерные котловины, путем испарения и в результате оттока по внешним границам. В 1970 году начинается сброс сточных вод в Былкылдак, в 1972 г. с пуском ТЭЦ-3 активизируется работа золоотвала, с 1977г. постепенно заполняется накопитель Сарымсак. В 1992 году заполняется водой магистральный канал, являющийся северной границей района работ, и начинается подача воды из р.Иртыш на поля орошения. В настоящее время техногенные факторы являются доминирующими и во многом определяют режим подземных вод на изучаемой территории. Мощный поток подземных вод формируется в районе золоотвала в результате фильтрационных потерь через его дно технических вод и растекается в северо-восточном, северном и северо-западном направлении. Проходя через территорию химического завода, он загрязняется ртутью и переносит ее преимущественно в северо-северо-западном направлении.

По результатам исследований, проведенных в 2001-2002 гг, было выявлено несколько источников загрязнения подземных вод. Первый, основной, расположен под цехом ртутных электролизеров. Вторым являются спецруды, находящиеся южнее накопителя Былкылдак. Третий находится в районе заброшенной насосной станции, осуществлявшей ранее перекачку ртутьсодержащих промстоков (в 1.1 км северо-западнее цеха №31). Были обнаружены и рассредоточенные источники вдоль старой заброшенной канализации, по которой раньше осуществлялся сброс ртутьсодержащих стоков (на север от цеха №31 до накопителя промстоков Былкылдак).

Ореолы ртутного загрязнения подземных вод от цеха и насосной станции в настоящее время соединились и распространяются в северо-северо-западном направлении (см. рис. 2). На территории промплощадки химического завода концентрация ртути в воде превышает 0.15 мг/л, или 300 ПДК, уменьшаясь в северо-западном направлении до 0.001 мг/л. Ореол загрязнения, распространяющийся от спецрудов, простирается на юг на расстояние до 600-700 м. Максимальная концентрация ртути в подземной воде здесь достигает 0.005 мг/л, или 10 ПДК.

Все эти сведения, а также обширный фактический материал по гидрогеологическим условиям территории, накопленный за прошедшие годы (результаты изысканий для проектирования инженерных сооружений, материалы Павлодарской гидрогеологической экспедиции по изучению режима подземных вод, защиты их от истощения и загрязнения, результаты обследований, гидрогеологической съемки и т.п.) были положены в основу созданной нами математической модели транспорта ртути потоком подземных вод. Моделирование выполнялось на основе программного комплекса GMS 3.1. Учитывая значительные объемы исходных данных, было принято решение о целесообразности создания для их анализа и первичной обработки геоинформационной системы (ГИС) и базы данных. В качестве инструментального средства формирования ГИС использована MapInfo 5. Создание и ведение базы данных осуществлялось с помощью FOXPRO 6.

Разработанная математическая модель учитывает основные естественные и техногенные факторы формирования подземных вод на участке, отображает изменчивость гидрогеологических

параметров в плане и разрезе, имитирует транспорт ртути потоком подземных вод. Границами модели в плане являются: на западе - р.Иртыш, на севере - магистральный оросительный канал, на востоке - цепь озер. На модели они схематизированы граничными условиями первого рода. Юго-западная и юго-восточная границы модели проведены по линиям тока и схематизированы как непроницаемые. Озера Былкылдак, Сарымсак и Карабидаик представлены как внутренние границы первого рода. Разгрузка подземных вод в результате испарения имитируется граничными условиями третьего рода. Моделируемая область в плане аппроксимирована прямоугольной неравномерной сеткой размером $M*N = 99*82$, шаг которой изменяется от 50 до 250 м. В процессе схематизации моделируемая область в разрезе была представлена в виде пяти слоев с учетом особенностей ее литологического строения. Последовательность основных операций, выполненных в процессе схематизации гидрогеологических условий, показана на рис. 3.

Обратная стационарная задача решалась на 1970г. Считалось, что до этого существовали естественные ненарушенные гидрогеологические условия. В процессе решения подбирались величина инфильтрационного питания подземных вод, уточнялись коэффициенты фильтрации водовмещающих пород. Средняя погрешность решения составила 0.01 м, что в данном случае является допустимым.

В процессе решения обратной нестационарной задачи на модели воспроизводились изменения гидрогеологических условий с начала 1970 по июнь 2001 года. Модель имитировала питание подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков, сточных вод в районе золоотвала ТЭЦ, накопителей Былкылдак и Сарымсак (с учетом изменения уровней воды в накопителях во времени), потерь из коммуникаций. Учитывалось изменение положения береговой линии накопителей в процессе их заполнения. Шаг по времени решения обратной нестационарной задачи составлял 5 лет. Подбирались значения коэффициентов упругой и гравитационной водоотдачи, величины потерь воды из коммуникаций, фильтрационные потери на орошаемых полях. Рассчитанные на модели уровни подземных вод сравнивались с замеренными по наблюдательным скважинам. В результате решения величины ошибок по отдельным скважинам в основном не превышали 0.5 м.

На следующем этапе на модели было воспроизведено распространение ореола ртутного загрязнения подземных вод. Предполагалось, что имеется два основных источника – под цехом с электролизерами и в районе насосной станции по перекачке сточных вод. Считалось, что ртуть в подземные воды начала поступать с 1975г., после пуска в эксплуатацию цеха №31. На модели источники были схематизированы граничными условиями первого рода. Подбор концентрации ртути в источниках в процессе решения позволил получить удовлетворительное совпадение рассчитанных на модели концентраций ртути с фактическими, определенными в результате проведенных лабораторных исследований. Результаты решения, отображающие распространение ореола ртутного загрязнения подземных вод с 1975 по июнь 2001г., показаны на рис. 3. Подробно автоматизированная технология калибровки модели описана в [3].

В настоящее время на модели выполнено два варианта прогноза сроком на 30 лет. Первый предполагал сохранение двух существующих источников загрязнения (под цехом с ртутными электролизерами и в районе насосной станции). По второму источник под цехом был полностью локализован, как это было предусмотрено программой по демеркуризации территории химзавода. Результаты прогнозов показаны на рис. 4. По первому варианту к концу прогнозного периода ореол загрязнения увеличится и его длина составит порядка 2.8 км. Направление распространения – северо-северо-западное. По второму варианту ореол загрязнения на территории химического завода постепенно уменьшится и к концу прогнозного периода полностью исчезнет. Это произойдет в результате локализации источника под цехом (сооружения “стены в грунте”) и адсорбции ртути глинистыми породами. Ореол загрязнения, распространяющийся от насосной станции и канализационных сетей, сохранится. Направление его распространения - северо-северо-западное. Если гидрогеологические условия не изменятся, это в ближайшие десятилетия не создаст серьезной опасности. Ртуть с потоком подземных вод не достигнет с.Павлодарское и не попадет в р.Иртыш. Вместе с тем очевидно, что строительства “стены в грунте” вокруг территории цеха по производству каустической соды Павлодарского химического завода не достаточно для кардинального решения проблемы загрязнения подземных вод ртутью. Существует также

вероятность того, что с изменением гидрогеологических условий направление движения ореола ртутного загрязнения подземных вод может отклониться к западу, в сторону с.Павлодарское. Учитывая, что на исследуемой территории доминирующими являются техногенные факторы формирования подземных вод, такое развитие событий представляется вполне возможным. В дальнейшем на созданной модели планируется решение других прогнозных задач с целью оценки возможного риска и выработки предложений по предотвращению негативных процессов в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веселов В.В., Паничкин В.Ю., Лушин Э.Н. Исследование ртутного загрязнения подземных вод в северной части Павлодарского промрайона //Труды международной научно-практической конференции “Естественно-гуманитарные науки и их роль в подготовке инженерных кадров”, Алматы, КазНТУ, 2002, Ч.2. С. 173-178
2. Веселов В.В., Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л. Автоматизированная калибровка моделей гидрогеологических объектов //”Геология Казахстана”, №6, Алматы, Гылым, 2002. С.73-80
3. Паничкин В.Ю. Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических процессов при решении водохозяйственных и экологических проблем Казахстана //”Геология Казахстана”, №2, Алматы, Гылым, 2001. С.86-97
4. Паничкин В.Ю. Геоинформационно-математическое моделирование ртутного загрязнения подземных вод павлодарского промрайона //”Геология Казахстана”, №6, Алматы, Гылым, 2002. С.66-72
5. Паничкин В.Ю. Разработка систем геоинформационно-математического моделирования в Казахстане //”Доклады национальной Академии Наук Республики Казахстан”, №2, Алматы, Гылым, 2001.С.47-53

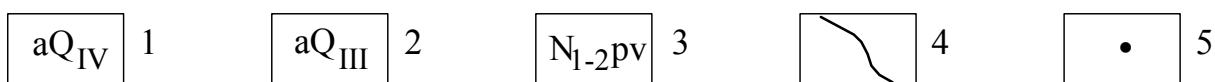
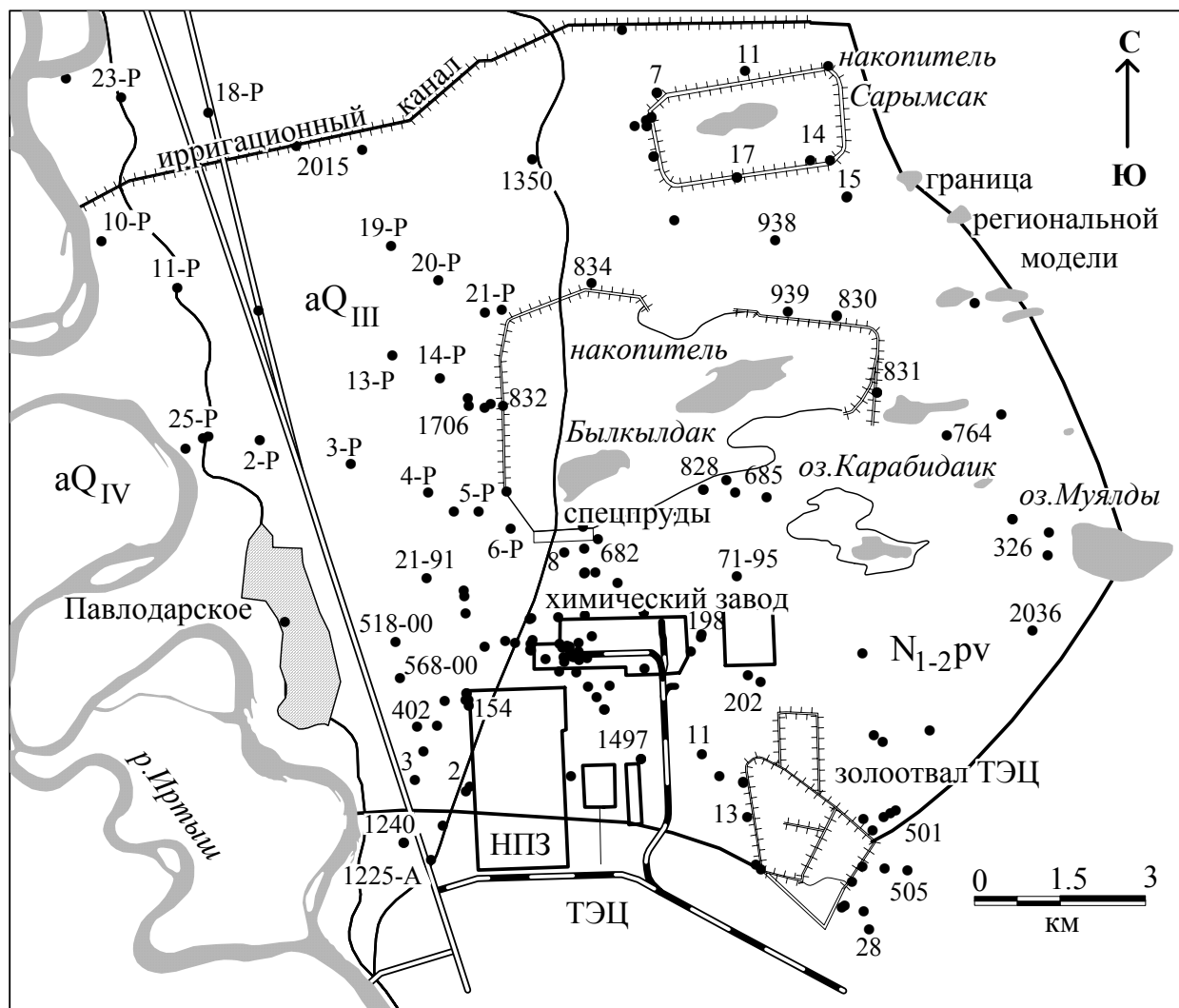


Рисунок 1. Схематическая гидрогеологическая карта северной части Павлодарского промышленного района

Водоносные горизонты и комплексы: 1 - водоносный горизонт современных аллювиальных отложений; 2 - водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений первой надпойменной террасы р.Иртыш; 3 - водоносный комплекс ниже-среднеплиоценовых отложений. 4 - границы водоносных горизонтов и комплексов; 5 - обследованные скважины.

СХЕМАТИЧЕСКАЯ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ
СХЕМА

ФИЛЬТРАЦИОННАЯ
СХЕМА

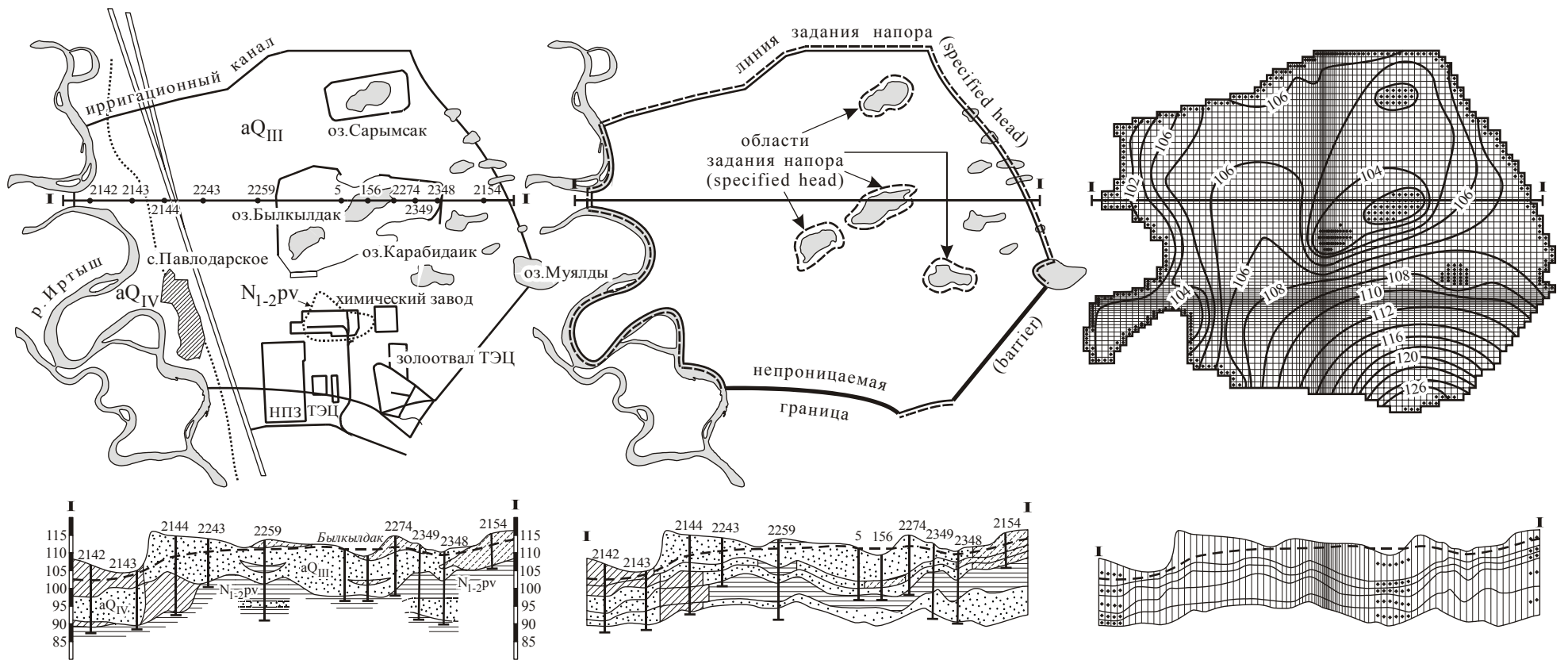


Рисунок 2. Схематизация гидрогеологических условий Павлодарского промрайона

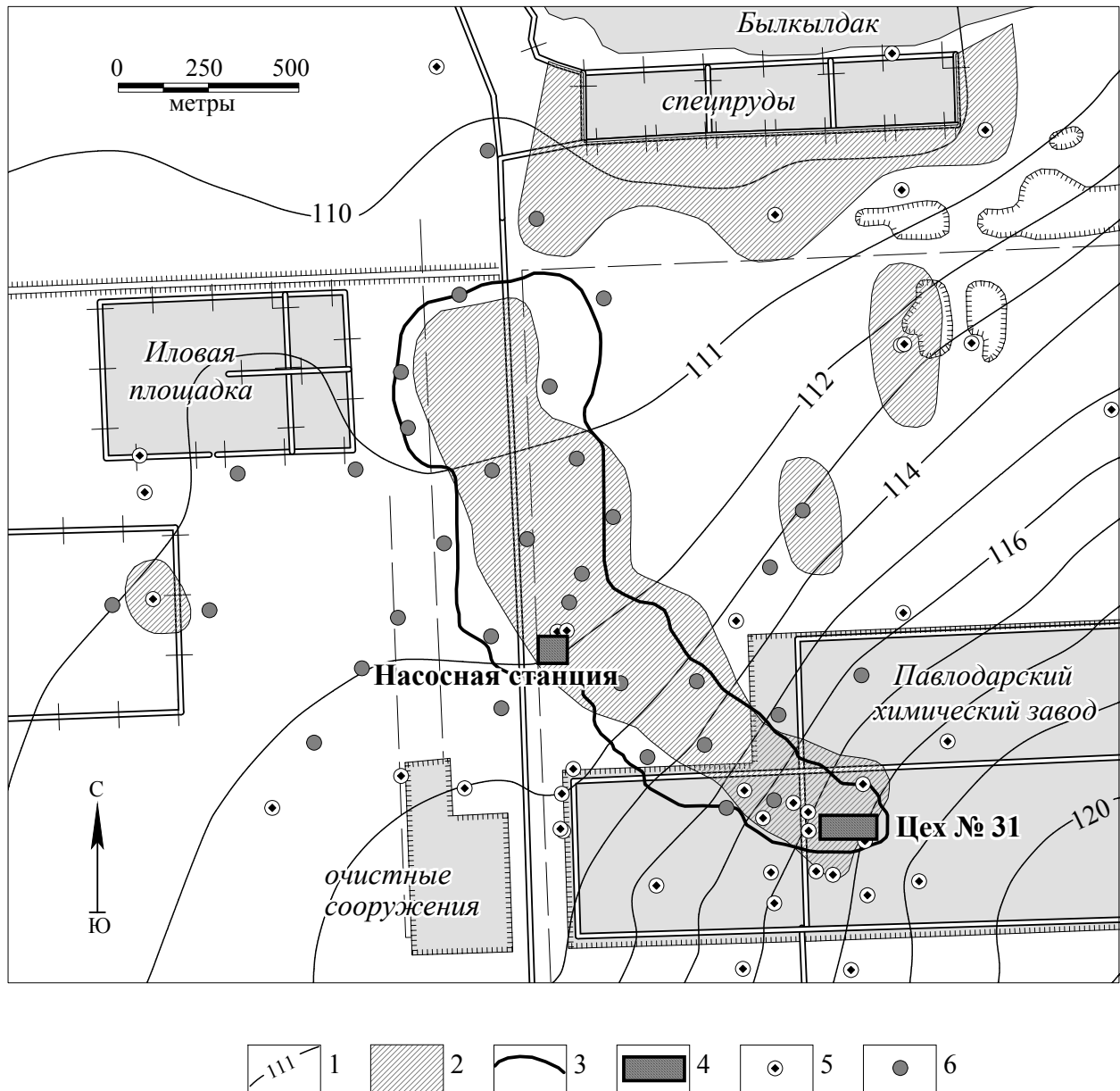
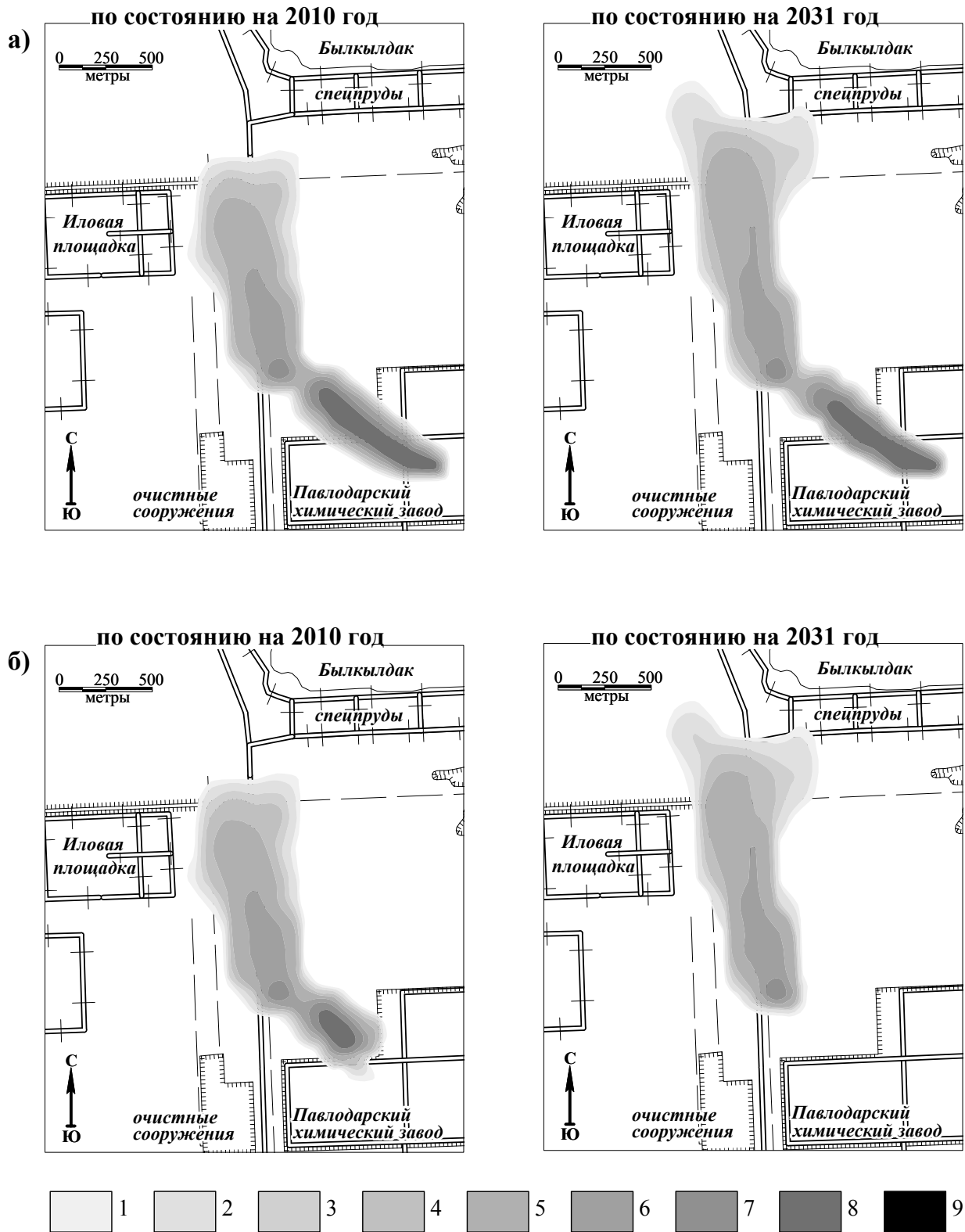


Рисунок 3. Схематическая карта загрязнения подземных вод ртутью (по состоянию на 2001 - 2002 гг.)

1 - гидроизогипсы, цифры - абсолютные отметки УГВ, м. Область распространения подземных вод с концентрацией ртути более 0,0005 мг/л: 2 - по фактическим данным; 3 - по результатам решения эпигнозной задачи. 4 - основные источники загрязнения подземных вод ртутью. Скважины: 5 - Павлодарской ГГЭ и химического завода; 6 - пробуренные в 2002 г. по проекту, финансируемому Европейской комиссией.



**Рисунок 4. Результат решения задачи для различных вариантов прогноза:
а) первый вариант; б) второй вариант.**

Концентрация ртути в подземных водах, мг/л: 1 - от 0.0005 до 0.001, 2 - от 0.001 до 0.003, 3 - от 0.003 до 0.005, 4 - от 0.005 до 0.01, 5 - от 0.01 до 0.03, 6 - от 0.03 до 0.05, 7 - от 0.05 до 0.1, 8 - от 0.1 до 0.3, 9 - от 0.3 до 0.5.