

ВОСТОЧНОЕ ПРИАРАЛЬЕ

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ВОСТОЧНОГО ПРИАРАЛЬЯ

1. Местоположение района исследований

2. Орография

3. Климат

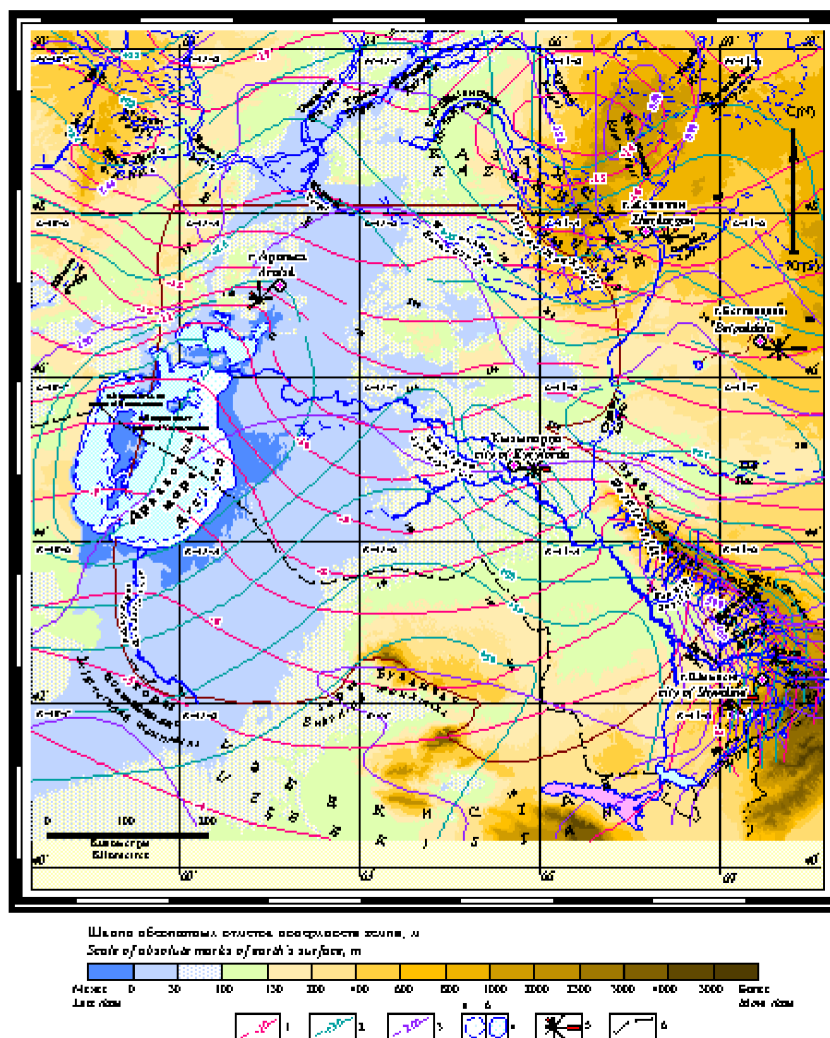
4. Гидрография

5. Геологическое строение и тектоника

1. Местоположение района исследований

Аридные биоклиматические зоны с количеством атмосферных осадков 100-200 мм/год и полуаридные, 200-400 мм/год, выделенные ЮНЕСКО (1977 г.) на унифицированной карте земного шара масштаба 1:25 000 000, включают и территории Юга Казахстана, где располагается, бывшее уникальным, Аральское море. Эти территории входят в состав Африкано-Азиатской аридной области Н.М.Страхова [Страхов Н.М., 1962]. Общее географическое тяготение аридных зон на земном эллипсоиде (Северо-Американской, Южно-Американской и Африкано-Азиатской), к широтам менее 35 градусов обусловлено рядом факторов: неустойчивостью эллипсоида на этих приэкваториальных широтах, связанной с неравномерным вращением Земли, приливных сил, прецессии и нутации, математически обоснованных А.Пуанкаре; геотектоническими особенностями - все аридные зоны окружены наиболее высокими горными системами [А.А.Тилло, 1889 г.]; особенностями атмосферной циркуляции, а также рядом климатологических показателей, выражающихся в резком дефиците влажности и очень высоким - более 3, индексом сухости Будыко-Григорьева, который отражает соотношение радиационного баланса и затрат тепла на испарение атмосферных осадков [Будыко М.И., 1977; Казахстан // Природные условия и естественные ресурсы СССР, 1969; Островский В.Н., 1991]. Своеобразие и характерные особенности природных условий формирования подземных вод восточной части Приаралья обусловлены еще и расположением ее в центре величайшей бессточной области Евразии - Туранской низменности, основная часть которой занята равнинами различного генезиса с общим уклоном к Аральскому морю, опоясанными горными сооружениями фундамента Туранской плиты [Атлас КазССР, 1982; Казахстан

//Природные условия и естественные ресурсы СССР, 1969]. Район исследований, общей площадью порядка 500 тыс. кв. км, ограничен на западе Куландинско-Амударьинским валом (вал Архангельского), а на северо-востоке Главным Каратауским разломом - системами линеаментов древнего глубокого заложения; на юге и востоке горными сооружениями Султан-Уиздага, Букантау, Каратау и Улутау; на севере широтой р.Тургай.



Карта климатических показателей Восточного Приаралья

Изолинии среднемесячной температуры воздуха, С: 1 - январь, 2 - июль; 3 - изолинии атмосферных осадков, мм/год; 4 - акватория Аральского моря по состоянию на: а) 1961 г.; б) 1989 г.; 5 - роза ветров, год; 6 - государственная граница Республики Казахстан.

Разнообразие природных условий этой обширной территории обуславливает пеструю картину формирования и распределения подземных вод, позволяющую обоснованно выделить ряд гидролого-гидрогеологических районов. Различаясь между собой орографическими, гидрографическими, климатическими, ландшафтными и геотектоническими условиями формирования подземных (грунтовых и напорных) вод эти районы объединяются историей геологического развития и современной динамикой подземного стока в мезо-кайнозойском чехле Туранской плиты, где распространены подземные воды исключительно

порового и пластово-порового типов, тогда как в породах фундамента окружающих горных сооружений - порово-трещинного и трещинно-карстового типов.

2. Орография

Большую часть Восточного Приаралья занимают обширные пластовые равнины, расположенные выше уровня океана лишь на десятки метров. Эти равнины либо плоские, либо взбугрены эоловыми образованиями песчаных массивов, либо характеризуются сочетанием плоских пространств и разделяющих их глубоких впадин.

В области сложного сочленения структур фундамента Уральского и Тянь-Шанского типов - субмеридианального и субширотного направлений, соответственно, располагается котловина Аральского моря, занимая центральную часть на западе рассматриваемой территории.

К северу от Аральского моря, в северо-западном углу территории исследований, располагается т.н. Северное Приаралье, образованное низким плато, расчлененным на столовые останцовые возвышенности с отчетливо выраженной ступенчатостью, чередующиеся с понижениями, занятыми сорово-дефляционными котловинами с многочисленными солончаками и песчаными массивами: Большие и Малые Барсуки и Приаральские Каракумы. Геоморфоструктуры Северного Приаралья являют собой блестящий пример обращенных форм рельефа, когда осям положительных геоструктур соответствуют отрицательные формы рельефа, а отрицательным геоструктурам наоборот - положительные формы рельефа [Янишин А.Л., 1953].

Северо-восточный угол территории ограничен Улутауской низкогорной и мелкосопочной возвышенностью высотой до 1133 м, являющейся остовом разрушенной горной системы, характеризующейся неглубоким, но дробным расчленением. Во все стороны от Улутау стекают пересыхающие в летнее время года речные системы, в том числе Калмаккырган, которая впадает в обширное горько-соленое озеро Шелкар-Тенгиз, являющееся низшей точкой (80 абс.м) северной границы территории.

Между Северным Приаральем и Улутау располагается плоская нерасчлененная равнина, плавно переходящая к югу в невысокое куполообразное слабо расчлененное Нижне-Сырдарьинское сводовое поднятие максимальной высотой до 266 м.

Южную половину территории занимает обширная пустыня Кызылкумы с высотами от 53,4 м (прежний уровень Аральского моря 1960 г.) до 332 м у подножий гор Букантау, ограничивающих пустыню на крайнем юге территории. Рельеф пустыни грядово-ячеистый или грядово-бугристый и даже котловинно-ячеистый. Остов рельефа образует древнее разрушенное плато, расчлененное желобообразными котловинами глубиной от 20 до 80-100 м. В центральной и

северной частях пустыни преобладают кольцевые дюны - дефляционные котловинки диаметром 20-40 м. Пески закреплены кустарнико-эфемеровой растительностью, степень закрепления возрастает с запада на восток [*Казахстан //Природные условия и естественные ресурсы СССР, 1969*].

На крайнем западе южной части располагается обширная аллювиально-дельтовая равнина верхнечетвертично-современного возраста, образованная, при впадении в Аральское море, рекой Амударьей и многочисленными ее ответвлениями в виде естественных действующих и сухих русел, а также густой оросительной системой, озерными и солончаковыми впадинами. Эта равнина очень четко выделяется своим геоморфологическим и ландшафтным обликом на фоне окружающих пустынных пространств Устюрта, Кызылкумов и Заунгузских Каракумов. Низовья Амударьи представляют собой однообразную плоскую равнину, сложенную исключительно дельтовыми наносами Амударьи, полого опускающуюся на север к Аральскому морю, а на запад - к Сарыкамышской впадине. На фоне этой равнины резко выделяются немногочисленные возвышения с относительной высотой 60-80 м, сложенные выходами меловых и неоген-палеогеновых отложений. На правом берегу Амударьи у подножия восточных склонов Султан-Уиздага развита аллювиально-дельтовая равнина Акчадарьи, отделенная от современной дельты Амударьи хорошо выраженным уступом высотой до 1,5 м с массивами эоловых песков и дефляционными котловинами [*Вольвовский И.С., 1966*].

Центральную субширотную часть территории занимает обширная Сырдарьинская аллювиально-дельтовая равнина, прорезанная террасированной долиной р.Сырдарьи, стекающей с Западного Тянь-Шаня в Аральское море, и ее староречий: Жанадарьи, Кувандарьи и др., образующих в целом древнюю и современную дельты. В восточном юго-восточном направлении поверхность ее постепенно повышается и переходит в аллювиально-пролювиальную предгорную равнину хр. Каратау с отметками 500-750 м. Вдоль всего левобережья р.Сырдарьи, широко распространены грядовые, бугристо-грядовые, бугристо-ячеистые иногда барханные пески, слагающие северную часть обширной песчаной пустыни Кызылкумы, а в дальнем правобережья, в северо-восточном углу территории, в предгорьях Улутау, располагается песчаный массив Аяккумы [*Казахстан //Природные условия и естественные ресурсы СССР, 1969*].

Катастрофическое снижение уровня Аральского моря привело к формированию вдоль его берегов и вокруг островов песчано-глинистой равнины, местами отделенной от "коренного" берега уступом [*Рубанов И.В., 1987*]. Плоская слабо наклонная ее поверхность с отметками 32-53,4 м (по состоянию на 2003 г.) осложнена формирующимися сорово-дефляционными понижениями и положительными формами эолового микрорельефа.

Таким образом, основными морфогенетическими типами современного рельефа, контролирующего вместе с литофациальным составом пород фундамента и чехла направленность и интенсивность подземного водно-

солевого стока Туранской плиты, являются [Атлас КазССР, 1982; Казахстан //Природные условия и естественные ресурсы СССР, 1969]: эрозионные и денудационные низкогорья и поверхности выравнивания окружающих горных сооружений (Улутау, Каратау, Букантау, Султан-Уиздаг) (рис.); пластовые денудационные возвышенности, плато и равнины, местами перевейные, с наложенными солончаковыми бессточными впадинами; аллювиально-дельтовая равнина Сырдарьи и ее староречий с предгорной наклонной равниной и пролювиальными шлейфами (предгорья Каратау); озерные равнины, расположенные в междуречье Сырдарьи и Чу-Сарысу; морские, озерные и аллювиальные перевейные равнины и эоловые равнины навевания; песчаные массивы Кызылкумы, Приаральские Каракумы, Арыскумы, Большие и Малые Барсуки и др.

Наибольшими глубинами расчленения рельефа характеризуются низкогорья и древние поверхности выравнивания - от 100 до 400 м и мелкосопочные останцовые возвышенности - от 60 до 100 м. Наименьшими - аккумулятивные равнины: 1-2 м молодые и 20-50 м древние предгорные; 1-5 м молодые и до 100 м древние аллювиальные; 1-3 м озерные и морские равнины; 3-15 м перевейные и эоловые равнины навевания. Эрозионные и денудационные равнины по глубине расчленения занимают промежуточное положение: 10-60 м абразивные плато и равнины неоген-палеогеновых и меловых отложений; 15-20 м эрозионные пластово-ярусные палеогеновые возвышенные равнины низовий Тургая; 3-60 м пластовые денудационные возвышенности, плато и равнины неоген-палеогеновых и меловых отложений Северного Приаралья; 30-60 м перевейные денудационные возвышенности, плато и равнины неоген-четвертичных отложений.

Глубина расчленения рельефа определяет не только региональный, но и локальный характер поведения уровней подземных (грунтовых и напорных) вод, интенсивность их водообмена, а значит гидрохимическое их качество, ресурсы, экологическое состояние и возможности хозяйственного использования.

3. Климат

Расположение территории исследований в центре Туранской низменности и Евразийского материка в поясе умеренных широт и вдали от океанических акваторий резко обостряют сезонные различия важнейших климатических параметров и, прежде всего, радиационного режима. Поэтому климат Приаралья носит характерные черты резко континентального со значительными колебаниями годовых и суточных температур воздуха: годовая амплитуда средних месячных температур достигает 30-40 °С.

Обилие света и тепла - наиболее отличительная особенность региона, так как продолжительность солнечного сияния достигает в юго-восточной части территории наибольших значений - 3000 и более часов в год, а на остальной

части территории - не ниже 2800 [Атлас КазССР, 1982]. Годовой радиационный баланс здесь положительный и составляет почти 1800 МДж/кв.м. Это связано не только с южным положением территории, но и незначительной облачностью в теплое время года. Летом, благодаря огромной величине солнечной энергии, сильно иссушенной поверхности и большой относительной сухости воздушных масс происходит интенсивная конвекция, исключая возникновение облачности за счет конденсации водяных паров. Поэтому число ясных дней достигает здесь 260 дней в году с суммарной радиацией до 130-150 ккал/кв.см, увеличивающейся к югу. Также увеличивается к югу и поглощенная радиация, величина которой благодаря альбедо меньше естественной. Наибольшие величины альбедо (70-80%) характерны для зимнего периода, когда лежит устойчивый снежный покров, снижаясь летом до 20-30% [Казахстан //Природные условия и естественные ресурсы СССР, 1969]. Большая продолжительность солнечного сияния обеспечивает значительные гелиоэнергетические ресурсы территории, что вкупе с огромным геотермальным потенциалом подземных вод Арысского прогиба приобретает существенное практическое теплоэнергетическое значение.

Столь высокая радиация создает объективные условия для высокого испарения с поверхности земли, 100-200 мм/год, и формированию наиболее низкого в Казахстане показателя увлажненности почвогрунтов (0,1-0,15), что приводит к заглублению уровней грунтовых вод, повышению их минерализации и засолению почвогрунтов. Потенциальная же возможность испарения влаги (испаряемость) достигает 900-1200 мм/год, в пределах Аральского моря 1000-1100 мм/год, а эвапотранспирация и того больше - 2000 мм/год и более за вегетационный период, что на порядок превышает количество атмосферных осадков, среднегодовая величина которых изменяется от 80-90 мм на юго-западе, в Приаральских Кызылкумах, до 160-370 мм на севере и до 400-650 мм в предгорной и горной зоне на юго-востоке территории [Атлас КазССР, 1982]. При этом среднегодовые и месячные температуры воздуха в целом возрастают с севера на юг и со стороны гор к равнинам, а сумма атмосферных осадков - в обратном направлении.

Небольшое количество атмосферных осадков обуславливает низкую относительную влажность воздуха, особенно в летнее время (от 15-35% на юге и западе до 40-45% на севере и в районах Аральского моря). Зимой величина ее значительно увеличивается и достигает соответственно 60-85%. В обратном направлении по сезонам года абсолютное значение влажности изменяется, соответственно, зимой и летом от 1,7-2 и 11-13 мб на севере до 3-5 и 12-14 мб на юге и западе при величинах дефицита влажности от 0,2-0,5 и 20-21 мб на севере до 0,7-1,5 и 22-29 мб на юге и западе [Атлас КазССР, 1982]. Вместе с тем в зимний период в Приаралье наблюдаются гололедные явления в период смены морозной погоды оттепелями с выпадением жидких переохлажденных осадков. Так в Казалинске число таких дней иногда достигает 30 при средней продолжительности около шести. Подобное явление наблюдается и в районе

Улутау [*Казахстан //Природные условия и естественные ресурсы СССР, 1969*] .

В формировании климата южной и центральной части Туранской низменности огромное значение имеют атмосферные процессы, характерные для Средней Азии в целом. Как известно, вся эта территория находится под влиянием западного переноса воздушных масс с присущими ему процессами цикло- и антициклогенеза. С первым связаны теплые и влажные западные ветры и холодные северные воздушные массы, вызывающие понижение температуры воздуха и выпадение осадков. Среднегодовые значения скорости ветра в целом понижаются с северо-запада на юго-восток от 5 до 3 м/с [*Казахстан //Природные условия и естественные ресурсы СССР, 1969*].

Важное значение в формировании поверхностного и подземного стока имеют мощность, продолжительность сохранения и режим изменения снегового покрова по сезонам и в различных формах рельефа. По среднемноголетним данным максимальная высота снежного покрова в бассейне Арала колеблется от нескольких сантиметров на юге, юго-западе и западе до 15-20 см на севере и юго-востоке, а в предгорных и горных районах до 30 см, с запасами воды в снеге не превышающими 40 мм на равнинах и повышающимися в предгорных и горных районах Каратау и Улутау до 60 мм [*Атлас КазССР, 1982*].

Атмосферные осадки, особенно снеговые, имеют минерализацию до 20-50 мг/л на севере и в предгорных районах, до 100-140 мг/л на юге и западе, а летом, особенно после пыльных бурь, величина ее достигает на равнинах 300-500 мг/л. По составу они гидрокарбонатные (зимой) и гидрокарбонатно-сульфатные, а на западе даже сульфатные (летом) кальциево-натриевые [*Подземный водный и солевой сток в бассейне Аральского моря. Состояние и прогноз, 1983*].

4. Гидрография

Описываемая территория находится в пределах бассейна Аральского моря - крупнейшего бессточного водоема, питавшегося прежде в основном за счет притока поверхностных вод рек Сырдарьи и Амударьи, водностью которых полностью определялся уровень и солевой режим моря. Кроме речных водосборов Сырдарьи и Амударьи бассейн Аральского моря включает и два внутренних бессточных района: на севере - это обширный Североаральский с центром во впадине оз.Шалкар-Тенгиз, а на юге - Кызылкумский, занятый одноименной песчаной пустыней.

Река Сырдарья берет начало в горах Тянь-Шаня за пределами Казахстана; ее длина 2137 км, площадь бассейна 462 тыс. кв. км. Сток Сырдарьи зарегулирован рядом гидро-энергетических водохранилищ: Кызыл-Ординским, Чардаринским, Кайраккумским, Токтогульским. Река Амударья начинается в высокогорной системе Памира, также за пределами Казахстана, на границе с Афганистаном (р.Пяндж); длина ее 2275 км, площадь бассейна 492 тыс. кв. км. Сток Амударьи

как и Сырдарьи зарегулирован рядом гидроэнергетических водохранилищ. Основная масса речного стока бассейнов рр.Сырдарьи и Амударьи (до 99%) поступает на территорию исследований с сопредельных территорий.

Вместе с тем, на фоне огромного дефицита располагаемых поверхностных водных ресурсов рассматриваемой территории, в пределах территории Казахстана и соседнего Узбекистана в результате сброса коллекторно-дренажных вод с орошаемых массивов и паводковых вод созданы многочисленные антропогенные постоянно пополняемые водоемы, наиболее крупными из которых является оз.Айдаркуль и Сарыкамыш (на юго-восточной и юго-западной границах исследуемой территории, соответственно).

Аральское море по величине площади водного зеркала - 66 тыс. кв. км (на уровне моря 53,41 м, 1960 г.) занимало четвертое место в мире после Каспия, Верхнего озера (США) и оз.Виктория (Восточная Африка). В котловине моря имеются как крупные острова - Возрождения, Барсакельмес, Лазарева, так и многочисленные мелкие. Низшая отметка дна котловины, находящаяся у западного побережья моря (за пределами территории исследований), на 69 м ниже среднесуточного уровня Аральского моря стояния 1960 г., что на 15 м ниже уровня Балтийского моря. До 1960 г. Аральское море представляло собой довольно стабильный водоем с вековыми колебаниями уровня воды (3 м) и сезонными (25 см) [*Гидрометеорологические проблемы Приаралья, 1990*].

В водно-солевом балансе моря главенствующее значение до 1960 г. принадлежало стоку рр.Амударьи и Сырдарьи, суммарный сток которых за период 1911-1960 гг. в зоне формирования - горных районах Памиро-Алая и Западного Тянь-Шаня, составлял порядка 117 куб.км/год (Амударья - 80, Сырдарья - 37). Приток в Аральское море составлял 56 куб.км/год, в т.ч.: Амударьи - 42, Сырдарьи - 14, со средней минерализацией 0,47 и 0,55 г/л соответственно, обеспечивая вместе с атмосферными осадками и испарительным процессом с акватории моря соленость воды Арала 9,9 промилль [*Подземный водный и солевой сток в бассейне Аральского моря. Состояние и прогноз, 1983*].

Начиная с 1960 г. в связи с интенсивным ирригационно-гидроэнергетическим освоением водо-земельных ресурсов бассейна Аральского моря, общее водопотребление в бассейнах Амударьи и Сырдарьи стало стремительно возрастать за счет зарегулирования и безвозвратного изъятия поверхностного стока: 7,7 куб.км/год в 1961-1965 гг.; 17 куб.км/год в 1966-1970 гг.; 30 куб.км/год в 1971-1975 гг. и до 50 куб.км/год и более в конце 80-х годов. Таким образом, начиная с 1960 г. отрицательный водный баланс моря становится нормой и в период с 1970 г. по 1990 г. ежегодный дефицит баланса превышал 30 куб.км. Формирование столь большого дефицита баланса моря в значительной мере обусловлено и климатологическими факторами - в семидесятые годы водность рек Амударьи и Сырдарьи была на 20-25% ниже нормы и суммарные возобновляемые водные ресурсы Арала оказались на 20-25 куб.км/год меньше, чем прежде [*Северский И.В., 1999*](см.табл.).

**Водный баланс Аральского моря, км³/год
(по материалам КазНИГМИ, КазНИИМОСК, [212])
Aral sea water balance, km³/year
(as of the materials of KazNIGMI, KazNIIMOSK, [212])**

Период, годы <i>Period, years</i>	Приток <i>Advent</i>		Потери воды на испарение <i>Water losses for evaporation</i>	Баланс <i>Balance</i>
	Сток <i>Discharge</i>	Осадки <i>Precipitations</i>		
1911 - 1960	56,0	9,1	66,1	-1,0
1961 - 1970	43,3	8,8	65,4	-14,1
1971 - 1980	16,7	6,3	55,2	-32,2
1981 - 1990	3,9	6,2	43,7	-33,6
1991 - 1994	21,0	4,6	33,6	-8,0
1995 - 2002 *	4,81 **	3,5	28,6	-20,29

*оценки ИГГ МОН РК, **приток в Малое море.

*estimation of IGG MON RK, **advent into Small sea.

5. Геологическое строение и тектоника

В геолого-тектоническом отношении весь бассейн Аральского моря занимает центральную и юго-восточную часть Туранской плиты и расположен в области сочленения двух типов структур - субмеридианальной Уральской и субширотной Тяньшаньской. Палеозойский фундамент, выходящий на поверхность земли по границам бассейна в районах горных сооружений, залегает на глубинах до 1.5 км под акваторией моря. Водоносные комплексы пород платформенного чехла в разных частях бассейна залегают с резким несогласием на различных складчатых образованиях и на разных глубинах. Они имеют неодинаковую степень закрытости и условия водообмена. В пределах бассейна Аральского моря выделяются три структурно-тектонического района: Северо-Приаральский, включающий юго-западную часть Тургайского прогиба, Северо-Устьюртский и Восточно-Аральский. Северо-Приаральский структурный блок осложнен Челкарским прогибом и Северо-Приаральской системой структур. Общая мощность основных водоносных комплексов меловых песчано-глинистых и карбонатных отложений от 50-150 м на севере, до 80-1200 м и более на юго-западе. Северо-Устьюртский структурный блок на рассматриваемой территории занимает лишь крайнюю северо-восточную часть. Здесь мощность основных водоносных комплексов меловых отложений составляет 2.0-2.6 км, а вышележащих палеоген-неогеновых - 0.6-1.2 км. Восточно-Аральская система прогибов занимает восточную и юго-восточную части бассейна и вытянута на 500-550 км, от Нижне-Амударьинско-Султаноиздагской зоны поднятий на юге, до Арало-Нижнесырдарьинских структур на севере. Ширина ее 200-350 км. В Восточно-Аральской впадине максимальная мощность юрских и меловых отложений достигает 200 м, палеогеновых - 350 м.

II. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ВОСТОЧНОГО ПРИАРАЛЬЯ

1. Гидрогеологическая изученность территории

2. Основные водоносные горизонты и комплексы

3. Гидрогеологическое районирование

4. Изменение гидрогеологических условий в результате техногенного воздействия

1. Гидрогеологическая изученность территории

Территория Восточного Приаралья занимает площадь более 450 тыс. кв.км. Первые сведения о подземных водах бассейна Аральского моря связаны с именами Д.И.Мушкетова, А.С.Ферсмана, О.К.Ланге, И.Г.Кассина, А.А.Козырева, И.К.Зайцева и др. Планомерное изучение территории, в основном южной и восточной части, началось в пятидесятые годы. Геологическое картирование послужило основой для проведения гидрогеологических съемок, а в начале 60-х годов - поисково-разведочных работ. К концу 70-х годов почти вся территория юго-восточной части бассейна Арала была покрыта комплексными геолого-гидрогеологическими съемками масштаба 1:500 000, 1:200 000, а значительная часть - 1:50 000. Для ряда массивов орошения Кызыл-Ординской, Чимкентской областей Казахстана, Каракалпакии выполнялись детальные разведочные работы с оценкой эксплуатационных запасов подземных вод. К этому периоду относятся первые региональные гидрогеологические исследования, посвященные вопросам формирования, режиму, гидродинамике, гидрохимии и гидротермии подземных вод как отдельных районов, так и всего региона Приаралья. Эти работы связаны с именами У.М.Ахмедсафина, Ж.С.Сыдыкова, Н.Н.Ходжибаева, В.И.Дмитровского, Л.А.Островского, И.С.Пашковского, В.О.Волейшо, А.С.Гребенникова, С.Ш.Мирзаева, Т.Б.Гребенщиковой, Н.М.Бондаренко, А.С.Виднякова, С.М.Шапиро, В.И.Рубанова, П.В.Волкова, В.В.Красникова, И.С.Русанова и др. Каждый из этих исследователей внес определенный вклад в познание гидрогеологии района. У.М.Ахмедсафиним было дано описание артезианских бассейнов Кызыл-Кумов и Северного Приаралья (1961, 1968), а совместно с Ж.С.Сыдыковым и И.Б.Дальяном (1961) - условий формирования подземных вод Восточного Приаралья. Ими отмечалось, что областью формирования подземных вод региона являются: восточные склоны Мугоджар и Чушкакульской антиклинали, горы Каратау, Таласский Алатау, Чаткальский, Каржантауский и Кураминский хребты. Предполагалось, что основная

региональная разгрузка подземных вод происходит на побережье и через дно Аральского моря.

Крупные работы регионального характера по территории Средней Азии были выполнены узбекскими учеными. Составлена карта естественных потоков грунтовых вод по территории Узбекистана с комплексом аналитических карт. В 80-х годах А.С.Вишняковым, Х.Р.Дусходжаевым была осуществлена типизация гидрогеологических районов Средней Азии в качестве основы для проведения гидрогеологических прогнозов (1988). Проводились многочисленные работы по оценке естественных и эксплуатационных запасов подземных вод как регионального плана, так и в пределах отдельных участков с последующим утверждением эксплуатационных запасов. Сводные обобщения по Южно-Приаральскому артезианскому бассейну были выполнены Л.А.Островским (1962,1969,1973), И.С.Пашковским (1969), С.Ш.Мирзаевым (1964). В них помимо отражения общих закономерностей формирования подземных вод меловых отложений, гидродинамических условий, параметров пластов, приводятся результаты балансовых расчетов. И.В.Пинхасовым (1984) охарактеризованы основные этапы формирования рельефа. В работе Т.Б.Гребенщиковой (1976), выполненной в пределах Сырдарьинского артезианского бассейна установлены закономерности распространения термальных вод, определена водообильность основных водоносных комплексов и распределение напоров, как по площади, так и в разрезе, установлены гидрохимическая и геотермическая зональности. Геолого-геофизические исследования обобщены И.М.Мелькановицким (1975). Он указал на наличие площадной взаимосвязи между водоносными комплексами, определил ее интенсивность. Однако эти расчеты не были подтверждены балансовыми исследованиями. Начиная с 70-х годов для изучения подземных вод Приаралья стали широко использовать методы математического моделирования.

Многоплановые работы в этом направлении были выполнены казахстанскими и узбекскими исследователями в последние 10 - 15 лет. К ним относятся работы В.П.Золотарева (1990) по моделированию подземного и солевого стока в котловину Аральского моря, Н.В.Калмыковой по созданию гидродинамической модели Сырдарьинского артезианского бассейна (1989), С.М.Шапиро, Т.Н.Винниковой и др. по региональным исследованиям процессов формирования подземных вод Сырдарьинского артезианского бассейна на основе математического моделирования (1988, 1989, 1991, 1992, 1995), В.В.Веселова, В.М.Мирласа, В.Ю.Паничкина и др. по созданию региональной математической модели гидрогеологических условий Казахской части Приаралья для целей рационального использования, управления эксплуатацией и охраны подземных вод (1991, 1992, 1995).

Для оценки эксплуатационных запасов Кзылжарминского месторождения подземных вод, расположенного на территории г. Кзыл-Орды, п.Тасбугет и их окрестностей создавалась модель-врезка в региональную модель юго-восточного Приаралья (Веселов В.В., Мирлас В.М., Трушель Л.Ю. 1995). Схема

расположения математических моделей гидрогеологических объектов Восточного Приаралья приведена на рисунке.



Схема расположения математических моделей гидрогеологических объектов Приаралья

1. Граница модели Сырдарьинского и южной части Тургайского артезианского бассейнов (авторы: В.В.Веселов, В.М.Мирлас, В.Ю.Паничкин и др.) 2. Граница модели Сырдарьинского артезианского бассейна (авторы: С.М.Шапиро, Т.Н.Винникова, Н.В.Калмыкова) 3. Граница модели котловины Аральского моря (авторы: С.М.Шапиро, Т.Н.Винникова, В.П.Золотарев и др.) 4. Граница модели Кзылжарминского месторождения подземных вод (авторы: В.В.Веселов, В.М.Мирлас, Трушель Л.Ю.)

Хасановым А.С., Тахировым Н., Исановым А.Г. (1982) была выполнена прогнозная региональная оценка эксплуатационных запасов подземных вод верхнемеловых отложений Южно-Приаральского артезианского бассейна с применением методов математического моделирования и в связи с оценкой взаимосвязи подземных вод с Аральским морем.

Характеристика гидрогеологических условий Восточного Приаралья дается нами на основе результатов этих исследований.

2. Основные водоносные горизонты и комплексы

На исследуемой территории выделено пять основных водоносных горизонтов и комплексов, приуроченных, соответственно, к неоген-четвертичным, верхнеэоценовым, верхнетурон-сенонским, верхнеальб-сеноманским и нижне-среднеальб-юрским отложениям, области распространения которых показаны на рисунке. Водоносные горизонты и комплексы разделяют три региональных

водоупора имеющих практически повсеместное распространение, а также чеганские глины в северо-западной части описываемой территории.



Схема распространения основных горизонтов и комплексов

Границы распространения отложений: 1 - эоценовых, 2 - эоцен-олигоценовых, 3 - верхнеалай-сеноманских, 4 - нижнесреднеалайских, 5 - неоком-аптских, 6 - юрских, 7 - скважина и ее номер, 8 - линия гидрогеологического разреза и ее номер, 9 - район исследований.

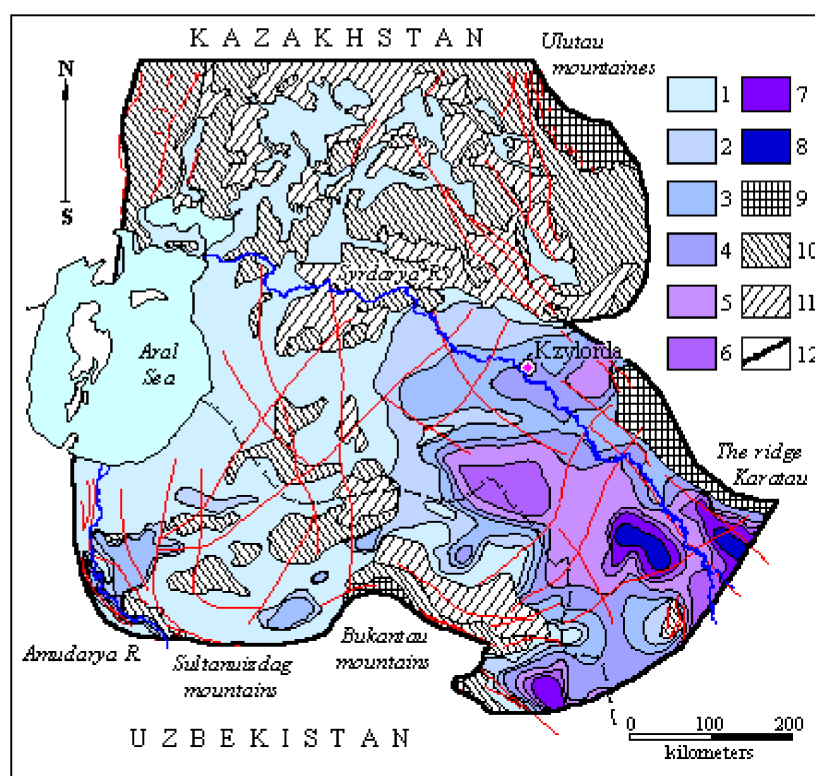


Схематическая гидрогеологическая карта

Распространение подземных вод: 1 – водоносный горизонт современных озерных отложений. Пески глинистые с прослоями глин и гипсов; 2 – водоносный горизонт современных морских отложений; 3 – водоносный горизонт современных отложений. Пески, гравий, супеси, суглинки, прослои песков среди глин; 4 – водоносный горизонт верхнечетвертичных-современных аллювиальных отложений (а) и спорадически обводненные отложения (б). Пески, гравий, супеси, суглинки, прослои песков среди глин, глины; 5 – водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений. Галечники, гравийно-галечники, пески, супеси; 6 – водоносный горизонт средне-верхнечетвертичных аллювиальных отложений. Гравийно-галечники, пески, супеси; 7 – водоносный горизонт ниже-среднечетвертичных аллювиальных отложений. Пески с прослоями песчаников и глин; 8 – водоносный горизонт верхнеплиоценовых-современных отложений; 9 – спорадически обводненные верхнеплиоцен-нижнечетвертичные отложения; 10 – водоносный горизонт верхнеплиоценовых отложений (а) и спорадически обводненные отложения (б). Пески, песчаники и их прослои среди глинистой толщи; 11 – спорадически обводненные олигоценые отложения; 12 – спорадически обводненные эоценовые отложения; 13 – водоносный горизонт верхнеэоценовых отложений (саксаульская свита); 14 – водоносный комплекс верхнетурон-сенонских отложений. Пески, песчаники, известняки, чередующиеся с глинами, алевролитами и аргиллитами; 15 – водоносный горизонт верхнетуронских отложений; 16 – водоносный горизонт сенонских отложений. Распространение водоупорных пород: 17 – водоупорные верхнеэоценовые отложения. Глины зеленые; 18 – водоупорные эоцен-олигоценые отложения. Глины; 19 – водоупорные среднеэоценовые отложения (тасаранская свита). Глины; 20 – водоупорные нерасчлененные палеогеновые отложения. Глины; 21 – водоупорные нижнетуронские отложения. Зеленовато-серые глины, алевролиты, песчаники. 22 – выходы палеозойских пород на поверхность. 23 – граница моделируемой области. 24 – скважина. Цифры: сверху – номер и индекс геологического возраста водовмещающих пород; слева в числителе – дебит, л/с, в знаменателе – понижение, м; справа в числителе – глубина установившегося уровня воды, м, в знаменателе – минерализация воды, г/л

Неоген-четвертичный водоносный комплекс распространен практически повсеместно за исключением Нижнесырдарьинского поднятия, где на поверхность выходят меловые отложения. Генетически - это аллювиальные, озерные, озерно-аллювиальные, пролювиальные, аллювиально-пролювиальные,

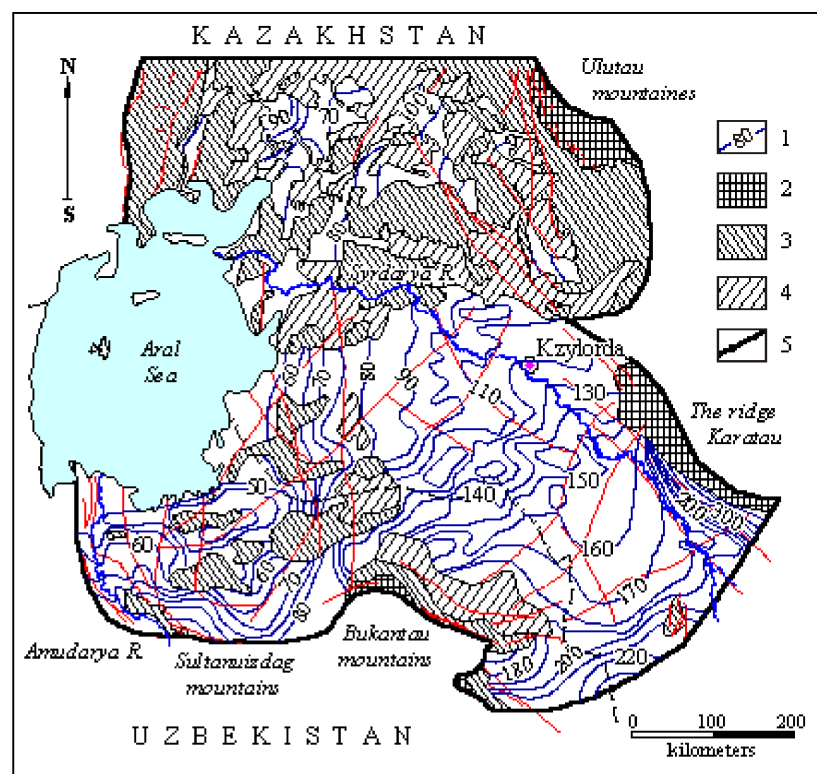
эоловые, морские отложения. Наибольшее распространение получили аллювиальные и аллювиально-пролювиальные: пески, гравийно-галечники, валуны, суглинки, супеси, реже глины, конгломераты, песчаники. Значительные площади в Приаралье заняты эоловыми песками: Большие и Малые Барсуки, Приаральские Каракумы, Кызылкумы. Морские отложения представлены преимущественно илами, глинами. Общая мощность неоген-четвертичных отложений изменяется от 20 до 350 м при общей тенденции уменьшения ее с юго-востока на северо-запад. Мощность водовмещающих отложений колеблется в пределах от нескольких метров до 250м. Фильтрационные свойства характеризуются величинами водопроницаемости от 50 кв. м/сут в Приаралье до 1500 кв.м/сут и более в пределах Восточно-Кызылкумского артезианского бассейна второго порядка.



Схематическая карта водопроницаемости водоносного комплекса верхненеоген-четвертичных отложений Восточного Приаралья

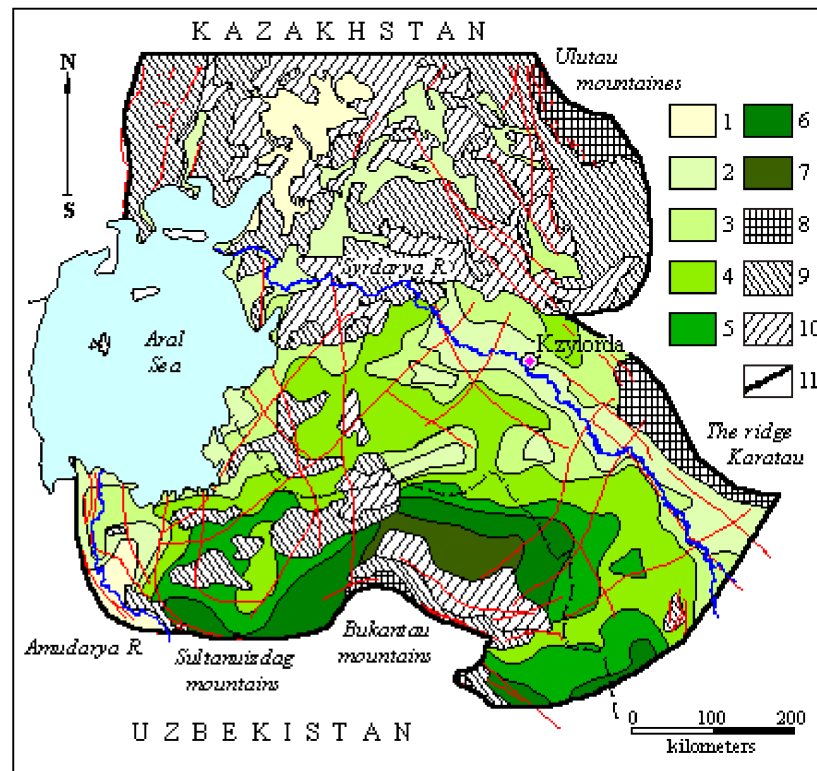
Водопроницаемость, кв.м/сут: 1 - менее 50, 2 - от 50 до 100, 3 - от 100 до 300, 4 - от 300 до 500, 5 - от 500 до 800, 6 - от 800 до 1000, 7 - от 1000 до 1500, 8 - более 1500. Выходы отложений на поверхность: 9 - палеозойских; 10 - донеогеновых мезокайнозойских. 11 - распространение спорадически обводненных верхненеоген-четвертичных обложений; 12 - граница района исследований.

В целом подземные воды неоген-четвертичных отложений безнапорные. Небольшие местные напоры обусловлены наличием глинистых прослоев. Глубины залегания подземных вод самые разнообразные (от 3 м на севере до 50 м и более на юге) и зависят от рельефа местности и удаленности от зоны влияния поверхностных водотоков.



Схематическая карта гидроизогипс верхненеоген-четвертичного водоносного комплекса Восточного Приаралья (по состоянию на 1960-65 гг)

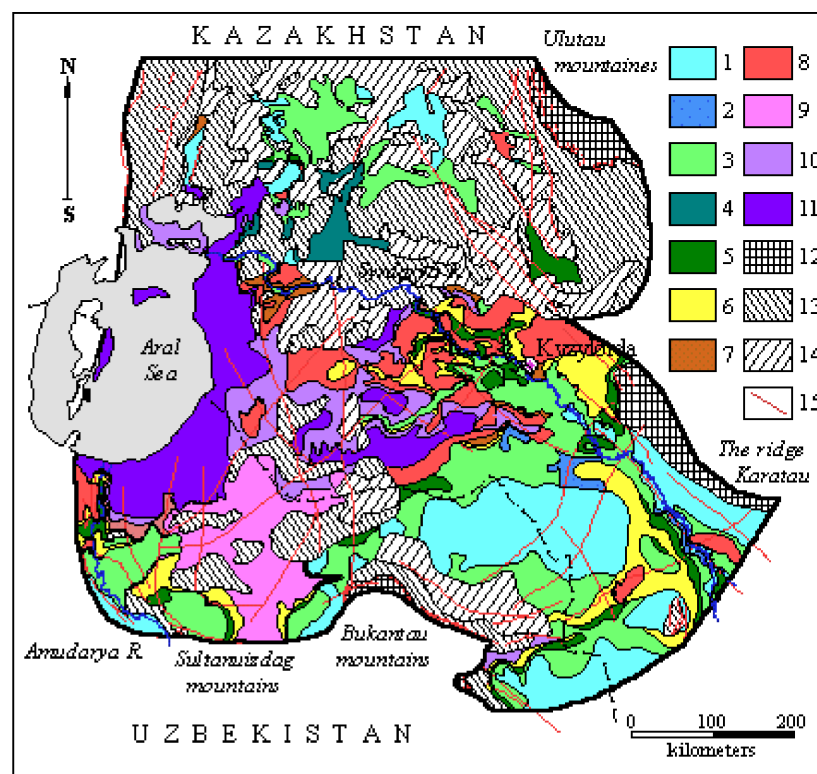
1 - гидроизогипсы, м. Выходы отложений на поверхность: 2 - палеозойских; 3 - донеогеновых мезокайнозойских. 4 - распространение спорадически обводненных верхненеоген-четвертичных обложений; 5 - граница района исследований



Схематическая карта глубин залегания подземных вод верхненеоген-четвертичного водоносного комплекса Восточного Приаралья (по состоянию на 1960-65 гг)

Глубина залегания подземных вод, м: 1 - менее 3, 2 - от 3 до 5, 3 - от 5 до 10, 4 - от 10 до 20, 5 - от 20 до 30, 6 - от 30 до 50, 7 - более 50. Выходы отложений на поверхность: 8 - палеозойских; 9 - донеогеновых мезокайнозойских. 10 - распространение спорадически обводненных верхненеоген-четвертичных обложений; 11 - граница района исследований.

Минерализация подземных вод неоген-четвертичного водоносного комплекса весьма пестрая и колеблется от 1-1.5 г/л на юго-западе до 50 г/л и более в Приаралье.



Схематическая карта минерализации подземных вод неоген-четвертичного водоносного комплекса Восточного Приаралья

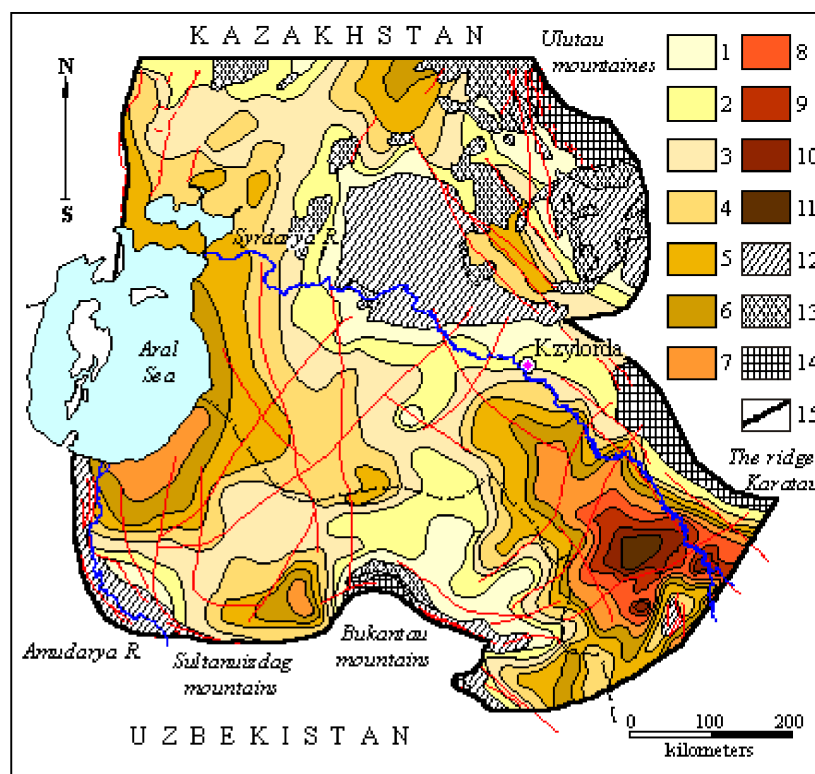
Минерализация подземных вод, г/л: 1 – менее 1, 2 – 1-1.5, 3 – 1-3, 4 – 1-5, 5 – 3-5, 6 – 5-10, 7 – 3-10, 8 – 10-30, 9 – 10-50, 10 – 30-50, 11 – более 50. Выходы отложений на дневную поверхность: 12 – палеозойских, 13 – донеогеновых мезокайнозойских; 14 – распространение спорадически обводненных неоген-четвертичных отложений; 15 – тектонические нарушения

Водоносный комплекс повсеместно залегает на породах первого регионального водоупора, представленного глинами палеогенового возраста. Глубины залегания подошвы комплекса достигают наибольших величин во впадинах в восточных и юго-восточных частях бассейна, наименьших в Южном Приаралье. По периферии Нижнесырдарьинского поднятия и в предгорьях Каратау отмечаются многочисленные выходы глин на дневную поверхность. Максимальные значения мощности первого регионального водоупора достигают 800 и более метров в юго-восточной части региона, уменьшаясь в центральных частях до 50-100 м.



Схематическая карта глубин залегания кровли первого от поверхности регионального водоупора (Р) Восточного Приаралья.

1 - изолинии глубин залегания кровли водоупорных отложений, м; 2 - отсутствие водоупорных отложений; 3 - выходы водоупорных отложений на дневную поверхность; 4 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 5 - граница района исследований.



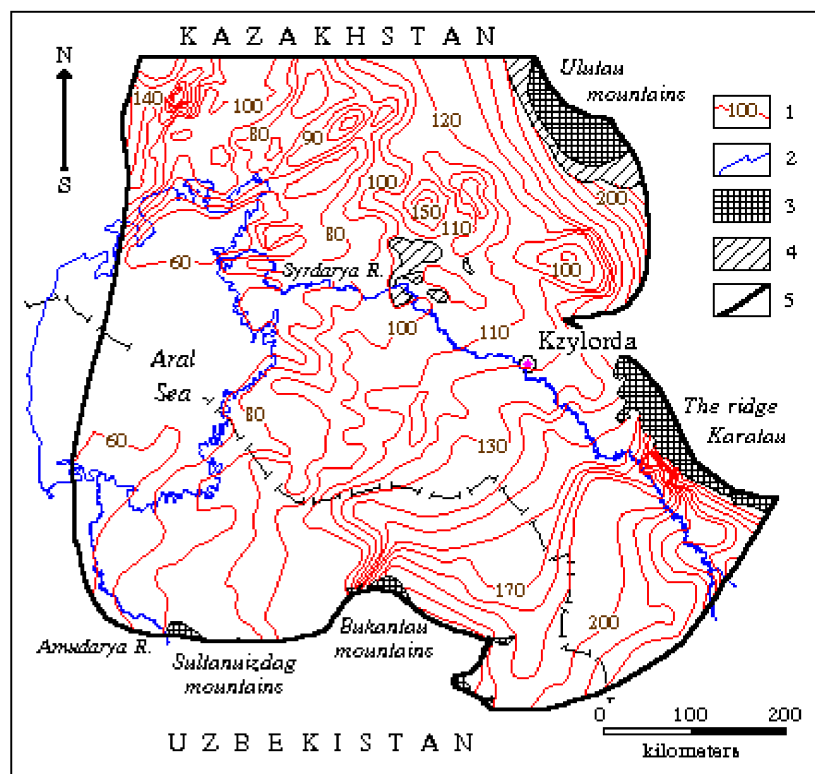
Схематическая карта мощности первого от поверхности регионального водоупора (Р) Восточного Приаралья.

Мощность водоупорных отложений, м: 1 - менее 50, 2 - от 50 до 100, 3 - от 100 до 150, 4 - от 150 до 200, 5 - от 200 до 300, 6 - от 300 до 400, 7 - от 400 до 500, 8 - от 500 до 600, 9 - от 600 до 700, 10 - от 700 до 800, 11 - более 800. 12 - отсутствие водоупорных отложений; 13 - выходы водоупорных отложений на дневную поверхность; 14 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 15 - граница района исследований.

Верхнеэоценовый водоносный комплекс. Водоносный комплекс верхнеэоценовых отложений саксаульской свиты выявлен и изучен в Северном Приаралье. Водовмещающие породы представлены мелко- и среднезернистыми кварцево-глауконитовыми песками и песчаниками суммарной мощностью от 5-10 м на севере Северо-Приаральского артезианского бассейна до 150-200 м в прибрежной части Аральского моря. Суммарная водопроводимость комплекса составляет преимущественно 50-100 кв.м/сут, увеличиваясь в районе Толагайской антиклинали до 350-500 кв.м/сут. В сводах Толагайской и Шубартобинской антиклиналей верхнеэоценовые отложения выходят на дневную поверхность. Здесь подземные воды комплекса получают питание за счет инфильтрации атмосферных осадков. На значительной части области распространения верхнеэоценового водоносного комплекса он перекрывается водоупорными отложениями чеганской свиты, мощность которых достигает 100 м. Поэтому подземные воды в основном напорные. Их минерализация закономерно увеличивается от 0.2-0.7 г/л в областях питания до 5 реже 7 г/л вместе с погружением водоносных пластов под водоупорные отложения чеганской свиты. Глубины залегания кровли водоносного комплекса изменяются от 0 до 150 м. Максимальные глубины отмечаются в юго-западной и западной частях области распространения обводненной толщи. Глубина залегания уровня подземных вод колеблется от нескольких метров в

центральной части Северо-Приаральского бассейна до 100 м и более в его западной части.

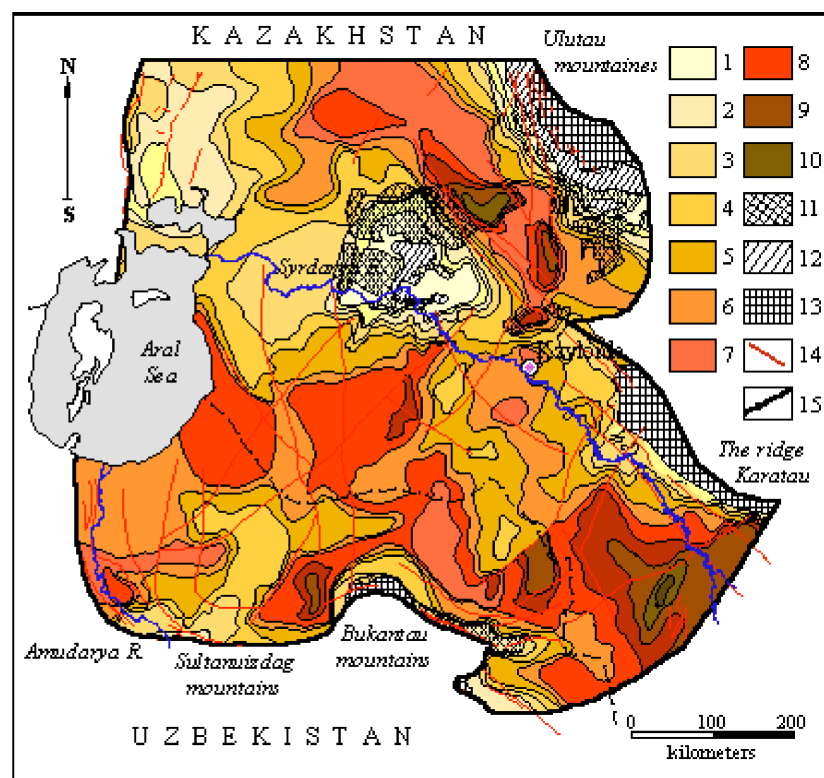
Верхнетурон-сенонский водоносный комплекс. Водоносный комплекс верхнетурон-сенонских отложений распространен в Приаралье повсеместно, за исключением небольших участков в пределах Нижнесырдарьинского поднятия.



Схематическая карта гидроизопьез водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений Восточного Приаралья (по состоянию на 1960-65 гг.).

1 - гидроизопьезы, м; 2 - граница Аральского моря на 1961 г.; 3 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 4 - отсутствие водоносного комплекса; 5 - граница района исследований.

Разрез верхнетурон-сенонских отложений представлен песчано-глинистой толщей морского и континентального происхождения. Водоносными отложениями являются мелко- и разнотернистые пески и песчаники. В центральных частях прогибов они погружаются на глубину до 80-300 м. Наибольшая общая мощность отложений в Восточном Приаралье достигает 800 м (юго-восточная часть описываемой территории). Эффективная мощность водовмещающих пород увеличивается во впадинах до 300 м. В пределах поднятий она сокращается до 20-40 м.



Схематическая карта эффективной мощности водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений Восточного Приаралья

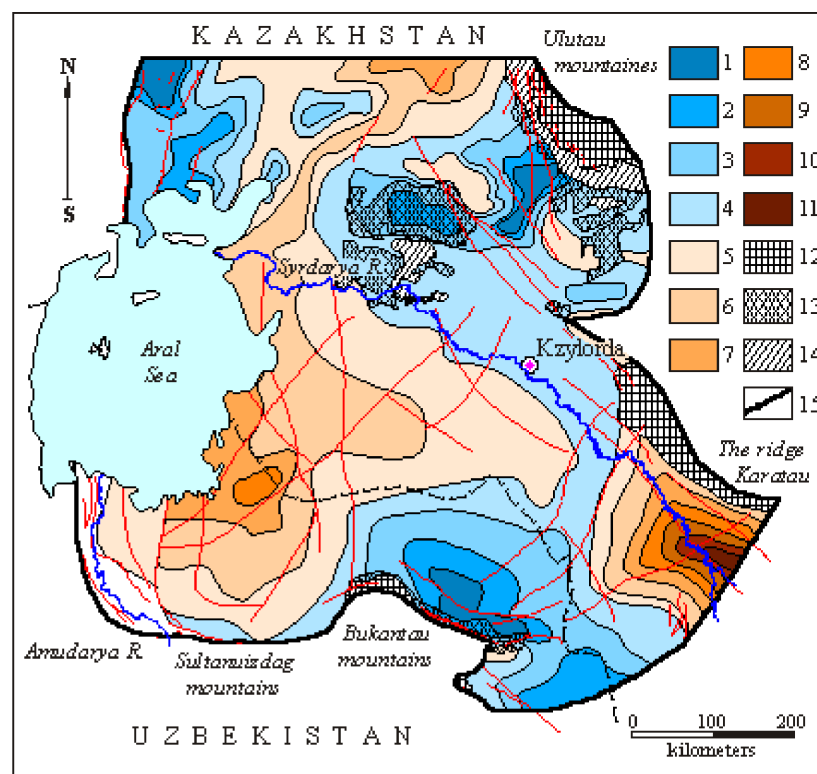
Эффективная мощность водоносных отложений, м: 1 - менее 20; 2 - 20-60; 3 - 60-80; 4 - 80-100; 5 - 100-120; 6 - 120-140; 7 - 140-160; 8 - 160-200; 9 - 200-250; 10 - 250-300; 11 - выходы водоносного комплекса на дневную поверхность; 12 - отсутствие водоносного комплекса; 13 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 14 - тектонические нарушения; 15 - граница района исследований



Схематическая карта общей мощности водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений Восточного Приаралья

1 - изолинии общей мощности; 2 - отсутствие водоносного комплекса; 3 - выходы водоносного комплекса на дневную поверхность; 4 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 5 - распространение верхнетурон-сенонских отложений; 6 - тектонические нарушения; 7 - граница района исследований

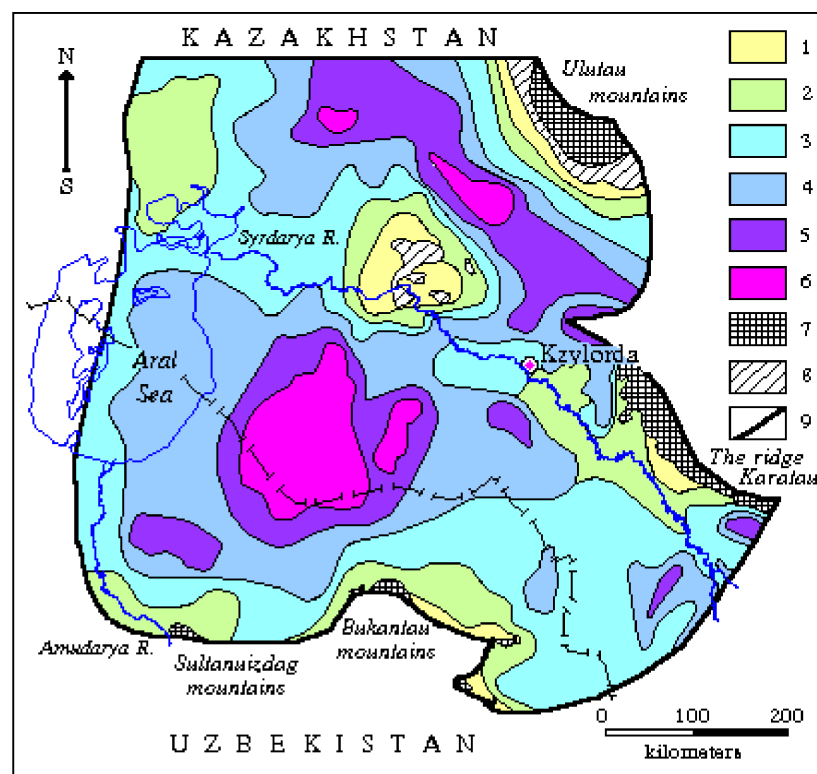
Подземные воды практически по всей области распространения обладают напором, за исключением локальных участков выхода пород на дневную поверхность. Пьезометрические уровни на большей части Восточного Приаралья устанавливаются от 2 до 10-15 м выше поверхности земли, поэтому подземные воды комплекса на этих участках самоизливаются.



Схематическая карта избыточного напора подземных вод верхнетурон-сенонского водоносного комплекса Восточного Приаралья.

Избыточный напор подземных вод, м: 1 - менее -100, 2 - от -100 до -60, 3 - от -60 до -20, 4 - от -20 до 0, 5 - от 0 до 10, 6 - от 10 до 20, 7 - от 20 до 40, 8 - от 40 до 60, 9 - от 60 до 80, 10 - от 80 до 100, 11 - более 100. Выходы отложений на поверхность: 12 - палеозойских; 13 - верхнетурон-сенонских. 14 - отсутствие водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений; 15 - граница района исследований.

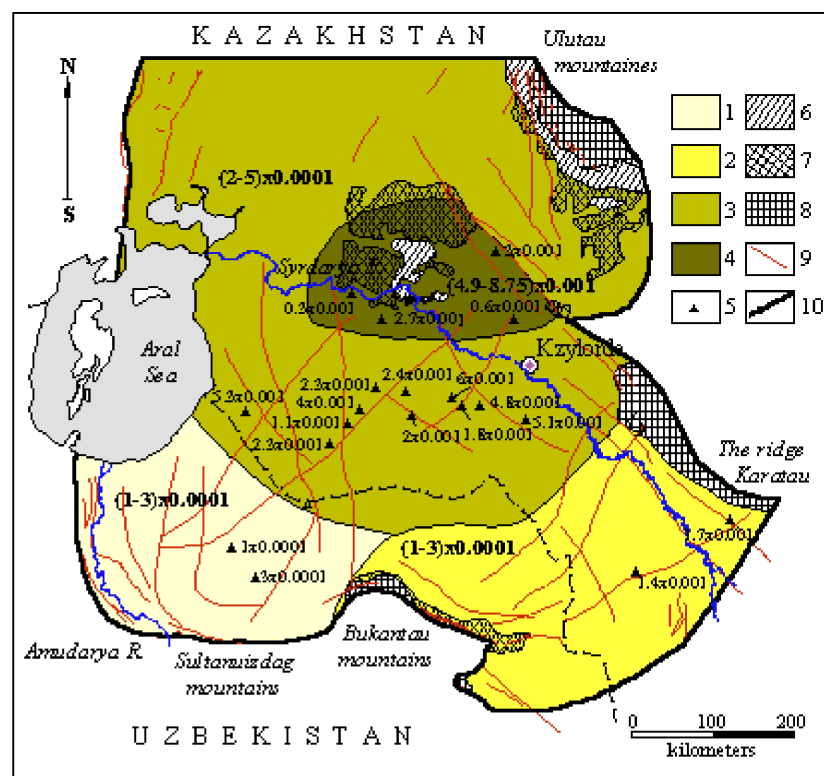
Водопроницаемость водовмещающих пород изменяется от 50-100 кв.м/сут в районе Нижнесырдарьинского поднятия, предгорий Улутау, Букантау до 1200 кв.м/сут - в Восточном Приаралье. Наибольшая ее величина (1400 кв.м/сут) достигается на северо-востоке исследуемой территории в пределах Мынбулакского артезианского бассейна.



Схематическая карта водопроницаемости водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений Восточного Приаралья.

Водопроницаемость, кв.м/сут: менее 100, 2 - от 100 до 300, 3 - от 300 до 500, 4 - от 500 до 800, 5 - от 800 до 1000, 6 - более 1000. 7 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 8 - отсутствие водоносного комплекса; 9 - граница района исследований.

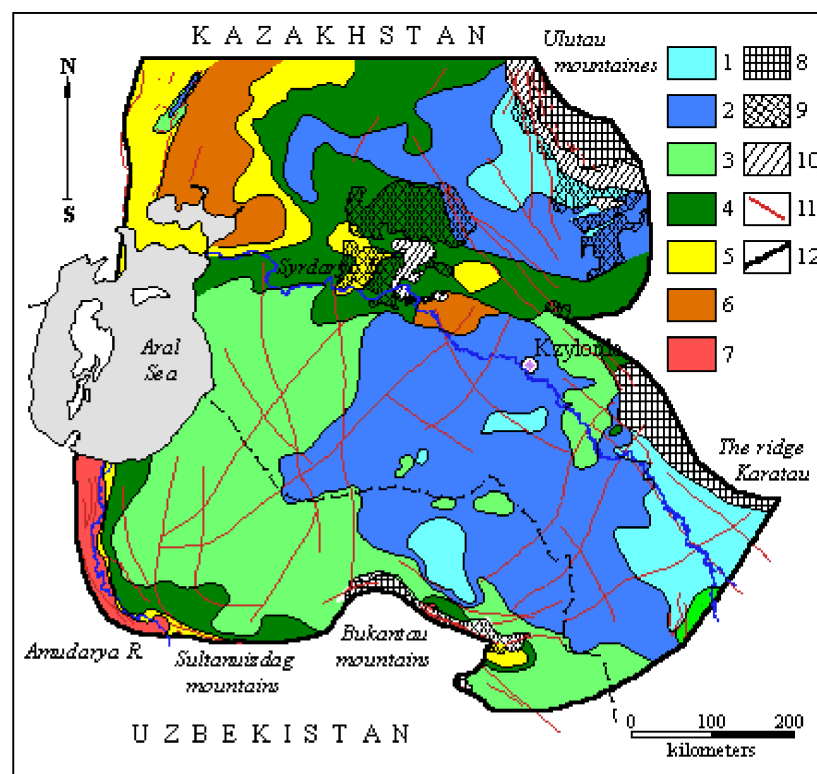
Коэффициент упругой водоотдачи комплекса, по данным опытных откачек, колеблется в основном от 0.001 до 0.009 кв.м/сут, уменьшаясь в юго-западной части описываемой территории до 0.0001-0.0003 кв.м/сут.



Схематическая карта упругой водоотдачи водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений Восточного Приаралья

Величина упругой водоотдачи: 1 – $(1-3) \times 0,0001$, 2 – $(1-2) \times 0,001$, 3 – $(2-5) \times 0,001$, 4 – $(4.9-8.75) \times 0,001$; 5 – места определения упругой водоотдачи по результатам опытно-фильтрационных работ; 6 – отсутствие водоносного комплекса; 7 – выходы водоносного комплекса на дневную поверхность; 8 – выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 9 – тектонические нарушения; 10 – граница района исследований

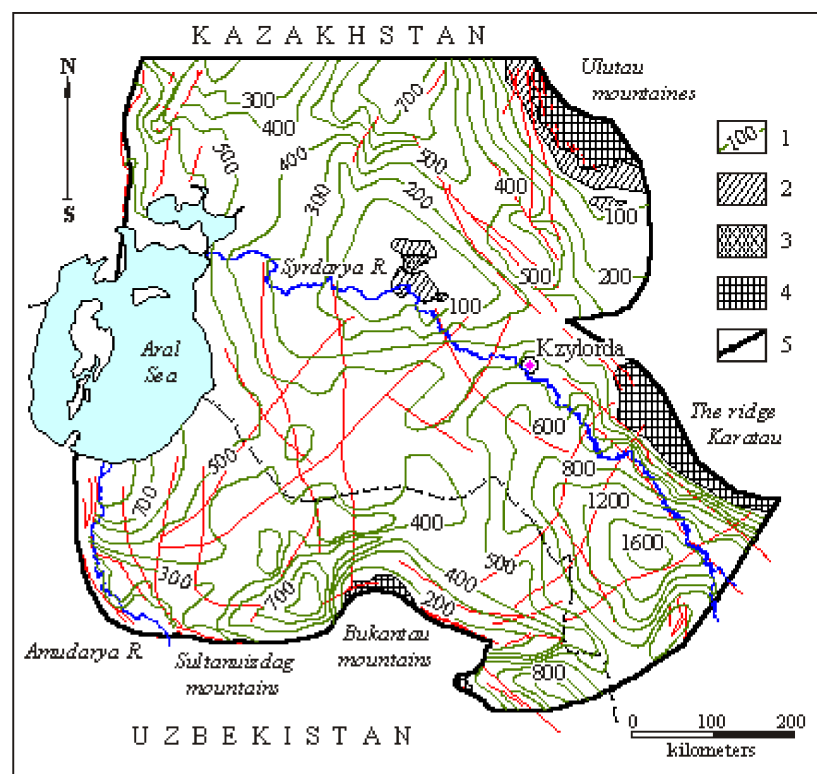
В области выхода водовмещающих отложений на поверхность или неглубокого их залегания на юго-западном склоне Каратау, подземные воды пресные (0.3-0.4 г/л), гидрокарбонатного кальциевого состава. По мере продвижения на запад минерализация подземных вод увеличивается до 1.5-3 г/л, а вблизи Аральского моря до 3-5 г/л. В Северном Приаралье минерализация подземных вод верхнетурон-сенонского комплекса достигает 5-10 г/л, а химический состав вод становится хлоридно-сульфатный.



Схематическая карта минерализации подземных вод верхнетурон-сенонского водоносного комплекса Восточного Приаралья

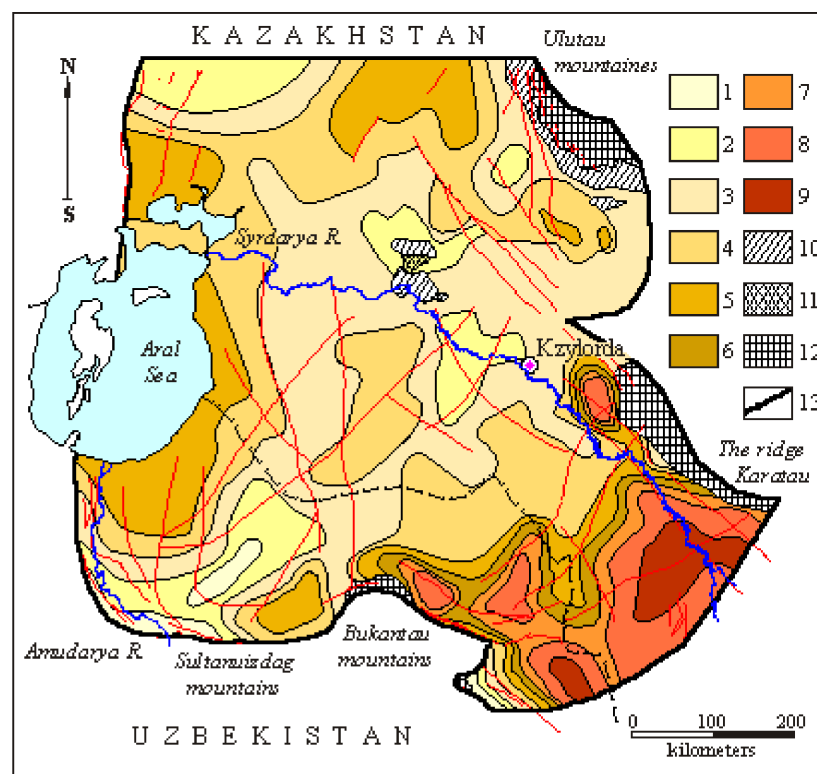
Минерализация подземных вод, г/л: 1 – менее 1, 2 – 1-1.5, 3 – 1.5-3, 4 – 3-5, 5 – 5-10, 6 – 1-10, 7 – > 10.
Выходы отложений на дневную поверхность: 8 – палеозойских; 9 – верхнетурон-сенонских; 10 – отсутствие водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений; 11 – тектонические нарушения; 12 – граница района исследований

Водоносный комплекс верхнетурон-сенонских отложений почти на всей описываемой территории залегает на глинистых отложениях нижнего турона. Глубина залегания кровли глин в прогибах юго-восточной части достигает 1400-1600 м, а в Приаральской части она, как правило, не превышает 500-600 м. Мощность глин небольшая и изменяется от 20 м в северо-западной части региона до 100 м в юго-восточной.



Схематическая карта глубин залегания кровли второго от поверхности
регионального водоупора Восточного Приаралья.

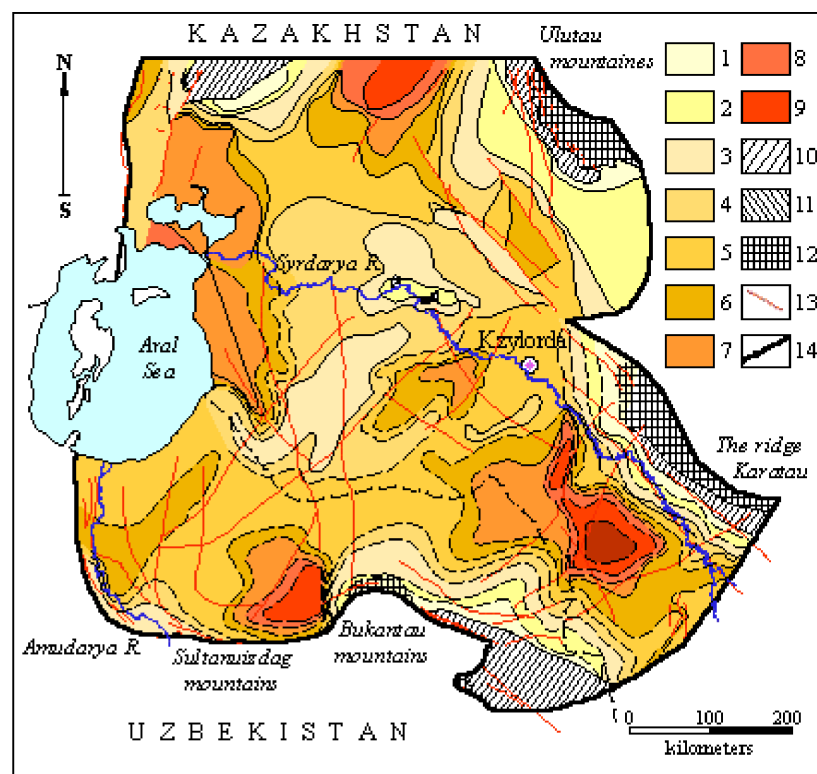
1 - изолинии глубин залегания кровли водоупорных отложений, м; 2 - отсутствие водоупорных отложений; 3 - выходы водоупорных отложений на дневную поверхность; 4 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 5 - граница района исследований.



Схематическая карта мощности второго от поверхности регионального водоупора Восточного Приаралья.

Мощность водоупорных отложений, м: 1 - менее 10, 2 - от 10 до 20, 3 - от 20 до 30, 4 - от 30 до 40, 5 - от 40 до 50, 6 - от 50 до 60, 7 - от 60 до 70, 8 - от 70 до 90, 9 - более 90. 10 - отсутствие водоупорных отложений; 11 - выходы водоупорных отложений на дневную поверхность; 12 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 13 - граница района исследований.

Верхнеальб-сеноманский водоносный комплекс. Водоносный комплекс верхнеальб-сеноманских отложений распространен в Приаралье практически повсеместно. Воды напорные. Комплекс залегает в основном на глубинах 50-100 м в районе Нижнесырдарьинского поднятия, предгорий Улуатау, Султануиздаг, Букантау. В Восточном и Северном Приаралье глубины залегания возрастают до 500-800 м, достигая во впадинах 1600-1700 м. Отложения комплекса представлены переслаивающимися морскими, лагунными и континентальными отложениями, состоящими из глин, алевролитов, песков, песчаников. Общая мощность комплекса изменяется от первых десятков метров до 300, увеличиваясь в прогибах. Мощность водовмещающих пород колеблется от 20-40 до 180 м.



Схематическая карта эффективной мощности водоносного комплекса
верхнеальб-сеноманских отложений Восточного Приаралья

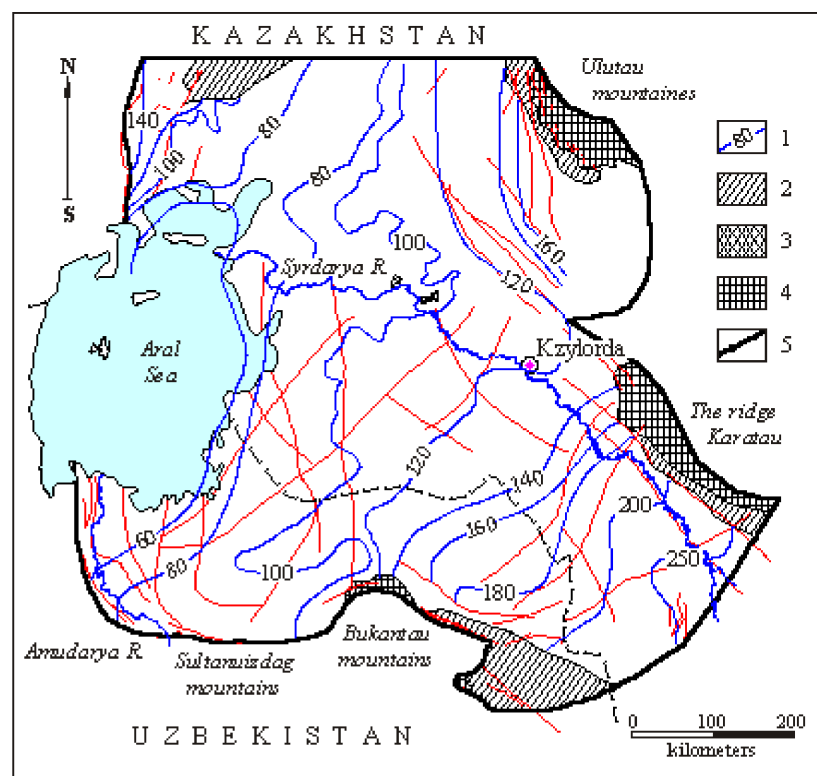
Эффективная мощность водоносных отложений, м: 1 – 0-20, 2 – 21-40, 3 – 41-60, 4 – 61-80, 5 – 81-100, 6 – 101-120, 7 – 121-140, 8 – 141-160, 9 – 161-180, 10 – более 180; 11 - отсутствие водоносного комплекса; 12 - выходы водоносного комплекса на дневную поверхность; 13 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 14 - тектонические нарушения; 15 - граница района исследований



Схематическая карта общей мощности водоносного комплекса верхнеальб-сеноманских отложений Восточного Приаралья

1 -изолинии общей мощности; 2 - отсутствие водоносного комплекса; 3 - выходы водоносного комплекса на дневную поверхность; 4 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 5 – распространение верхнеальб-сеноманских отложений; 6 - тектонические нарушения; 7 - граница района исследований

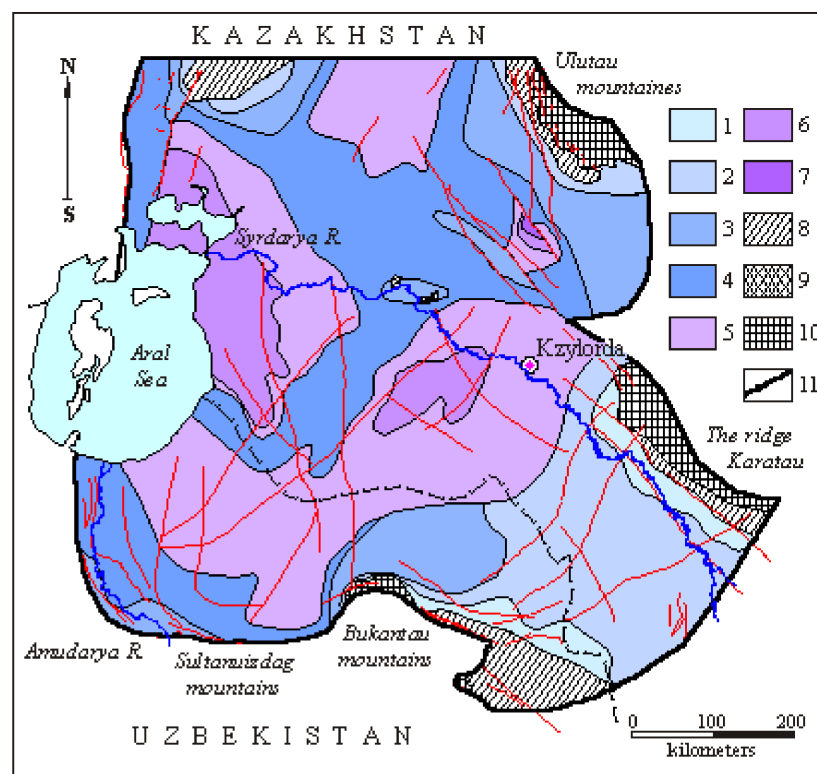
Подземные воды вскрываются на глубинах от 3 до 800 м, воды напорные. Максимальные напоры наблюдаются в Восточном Приаралье. Снижение пьезометрической поверхности происходит по мере приближения к Аральскому морю - региональной области разгрузки.



Схематическая карта гидроизопьез водоносного комплекса верхнеальб-сеноманских отложений Восточного Приаралья (по состоянию на 1960-65 гг).

1 - гидроизопьезы, м; 2 - отсутствие водоносного комплекса; 3 - выходы водоносного комплекса на дневную поверхность; 4 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 5 - граница района исследований.

Водопроводимость по площади изменяется от 50-100 до 800-1000 кв.м/сут.



Схематическая карта водопроводимости водоносного комплекса верхнеальб-сеноманских отложений Восточного Приаралья.

Водопроводимость, кв.м/сут: 1 - менее 50, 2 - от 50 до 100, 3 - от 100 до 300, 4 - от 300 до 500, 5 - от 500 до 800, 6 - от 800 до 1000, 7 - от 1000 до 1200. 8 - отсутствие водоносного комплекса; 9 - выходы водоносного комплекса на дневную поверхность; 10 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 11 - граница района исследований.

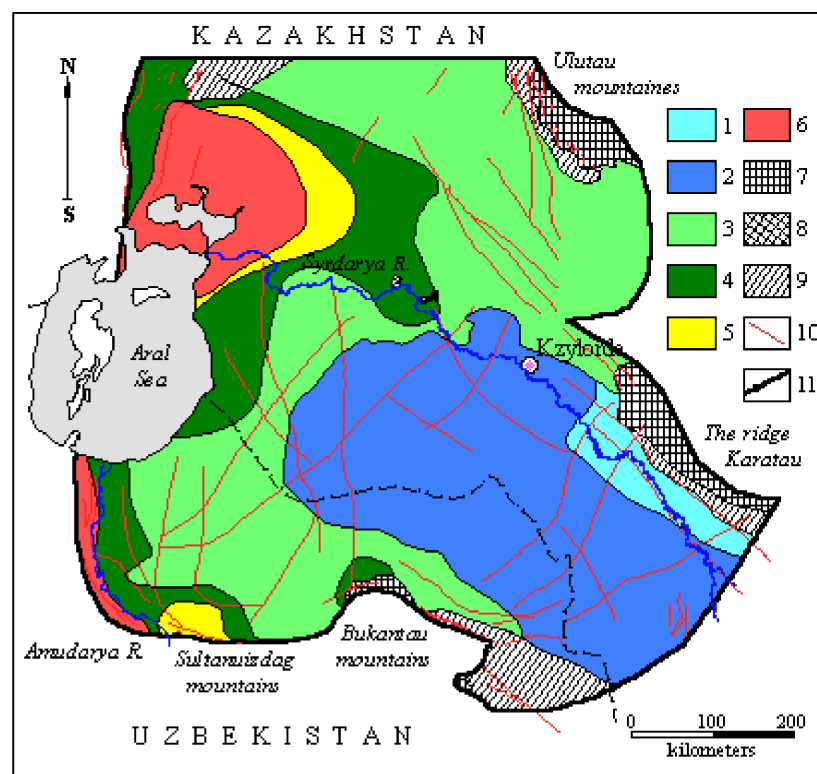
Коэффициент упругой водоотдачи комплекса изменяется от 0.00001 до 0.001 кв.м/сут.



Схематическая карта упругой водоотдачи водоносного комплекса верхнеальб-сенонманских отложений Восточного Приаралья

Величина упругой водоотдачи: 1 – $(1-2.555) \times 0.00001$, 2 – $(1-5) \times 0.0001$, 3 – $(1.5-2.7) \times 0.001$; 4 – отсутствие водоносного комплекса; 5 – выходы водоносного комплекса на дневную поверхность; 6 – выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 7 – тектонические нарушения; 8 – граница района исследований

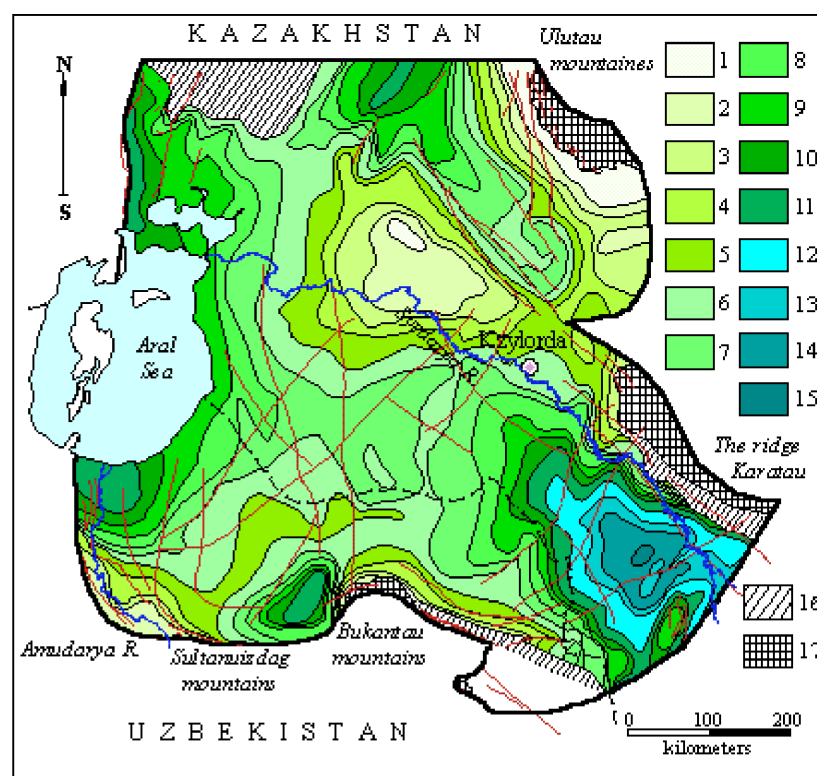
Минерализация подземных вод колеблется в пределах от 1 г/л в восточной части территории до 10 г/л в Северном Приаралье (см. рис.). В целом она несколько ниже, чем по верхнетурон-сенонскому комплексу.



Схематическая карта минерализации подземных вод верхнеальб-сеноманского водоносного комплекса Восточного Приаралья

Минерализация подземных вод, г/л: 1 – менее 1, 2 – 1-1.5, 3 – 1.5-3, 4 – 3-5, 5 – 5-10, 6 – >10. Выходы отложений на дневную поверхность: 7 – палеозойских; 8 – верхнеальб-сеноманских; 9 – отсутствие водоносного комплекса верхнеальб-сеноманских отложений; 10 – тектонические нарушения; 11 – граница района исследований

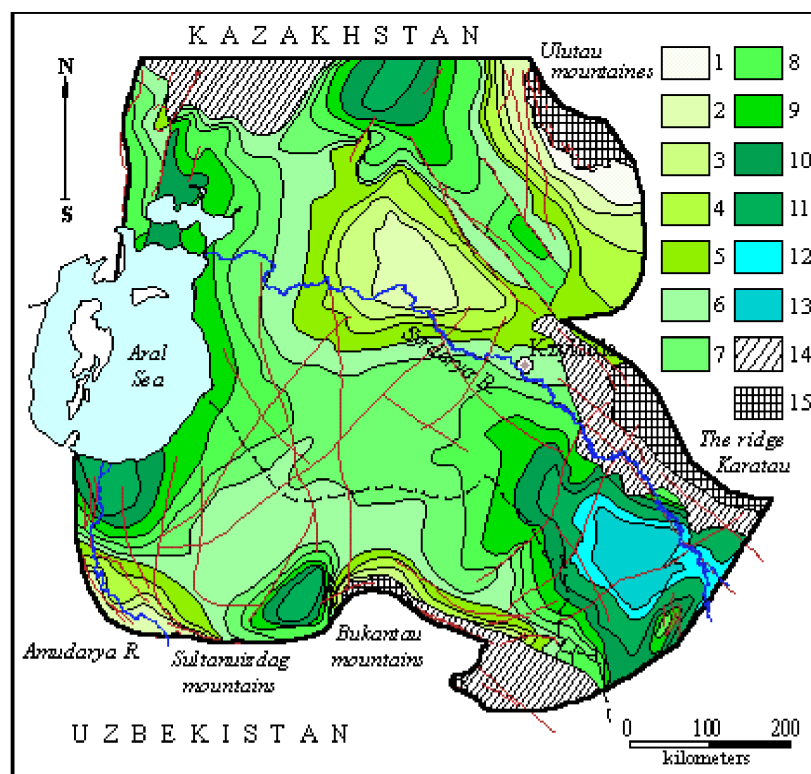
Температура воды здесь изменяется от 15°C в пределах Нижнесырдарьинского свода, до 30-35°C в наиболее погруженных частях территории. Воды могут быть использованы как для хозяйственных целей после предварительного охлаждения, так и в качестве теплоэнергетического сырья. Нижняя водоупорная толща, отделяющая верхнеальб-сеноманский комплекс от неоком-аптского, изучена слабо. Этот водоупор весьма условен и отличается от выше- и нижележащих отложений лишь повышенной глинистостью.



Схематическая карта глубин залегания кровли третьего от поверхности
регионального водоупора Восточного Приаралья

Глубина залегания кровли водоупорных отложений, м: 1 - менее 100; 2 - 100-200; 3 - 200-300; 4 - 300-400; 5 - 400-500; 6 - 500-600; 7 - 600-700; 8 - 700-800; 9 - 800-900; 10 - 900-1000; 11 - 1000-1200; 12 - 1200-1500; 13 - 1500-1700; 14 - 1700-2000; 15 - более 2000; 16 - отсутствие водоносного комплекса; 17 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность

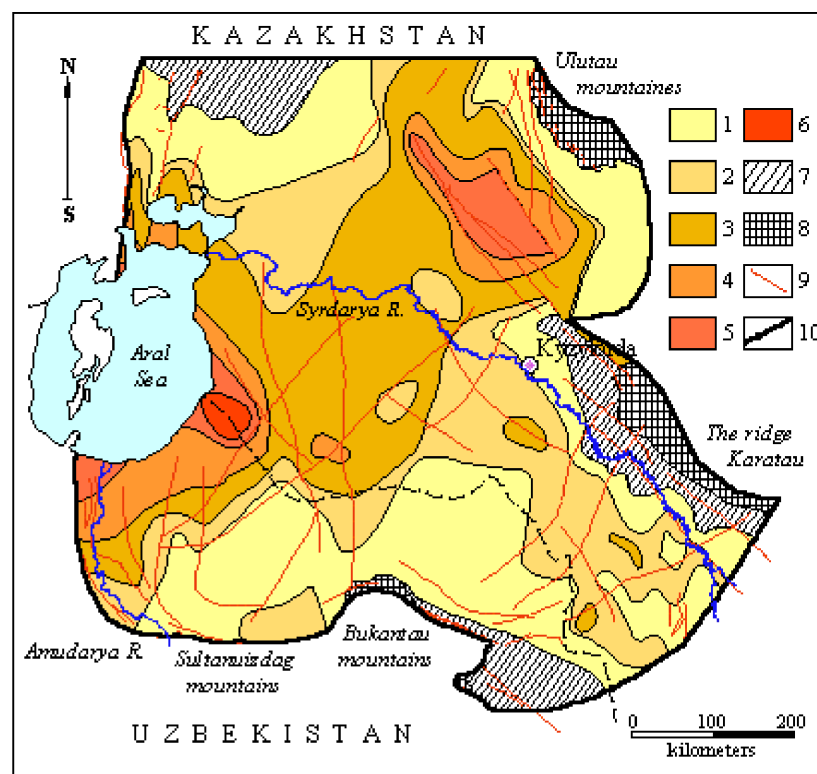
Нижне-среднеальб-юрский водоносный комплекс. Водоносный комплекс нижне-среднеальбских отложений изучен слабо. Он залегает на глубинах от 100-200 м в районах горных обрамлений и Нижнесырдарьинского поднятия до 1500-2000 м на юго-востоке территории.



Схематическая карта глубин залегания кровли водонсного комплекса нижне-среднеальб-юрских отложений Восточного Приаралья

Глубина залегания кровли водоносного комплекса, м: 1 – менее 100; 2 – 100-200; 3 – 200-300; 4 – 300-400; 5 – 400-500; 6 – 500-600; 7 – 600-700; 8 – 700-800; 9 – 800-900; 10 – 900-1000; 11 – 1000-1200; 12 – 1200-1500; 13 – более 1500; 14 - отсутствие водоносного комплекса; 15- выходы палеозойских пород на дневную поверхность

Суммарная мощность водоносного комплекса, представленного разномернистыми песками и песчаниками, изменяется в основном от 50-100 м в краевых частях рассматриваемой территории до 500 м и более в Мынбулакском, Восточно- и Южно-Приаральском бассейнах .



Схематическая карта эффективной мощности водоносного комплекса нижне-средне-альб-юрских отложений Восточного Приаралья

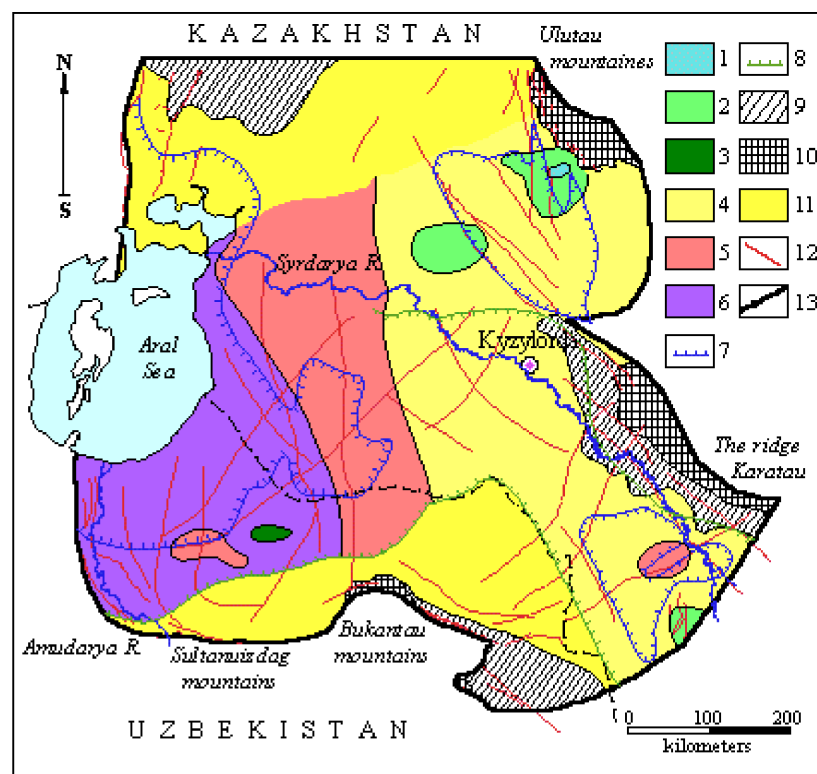
Эффективная мощность водоносных отложений, м: 1 – 0-50, 2 – 51—100, 3 – 101-200, 4 – 201-300, 5 – 301-400, 6 – более 400; 7 - отсутствие водоносного комплекса; 8 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 9 - тектонические нарушения; 10 - граница района исследований



Схематическая карта общей мощности водоносного комплекса ниже-среднеальб-юрских отложений Восточного Приаралья

1 - изолинии общей мощности; 2 - отсутствие водоносного комплекса; 3 - выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 4 - распространение ниже-среднеальб-юрских отложений; 5 - тектонические нарушения; 6 - граница района исследований

Воды обычно высоконапорные. Водобильность отложений невысокая, дебиты скважин на самоизливе 3-5 л/с. Минерализация изменяется от 2-3 г/л до 20-100 г/л в районе Аральского моря.



Схематическая карта минерализации подземных вод ниже-среднеальб-юрского водоносного комплекса Восточного Приаралья

Минерализация подземных вод, г/л: 1 – менее 1, 2 – 1.5-3, 3 – 3-5, 4 – 5-10, 5 – 10-20, 6 – более 50. Контуры распространения водоносных комплексов: 7 – неоком-аптских отложений нижнего мела, 8 – юрских отложений; 9 – отсутствие ниже-среднеальб-юрского водоносного комплекса; 10 – выходы палеозойских отложений на дневную поверхность, м; 11 – области отсутствия данных; 12 – тектонические нарушения; 13 – граница района исследований

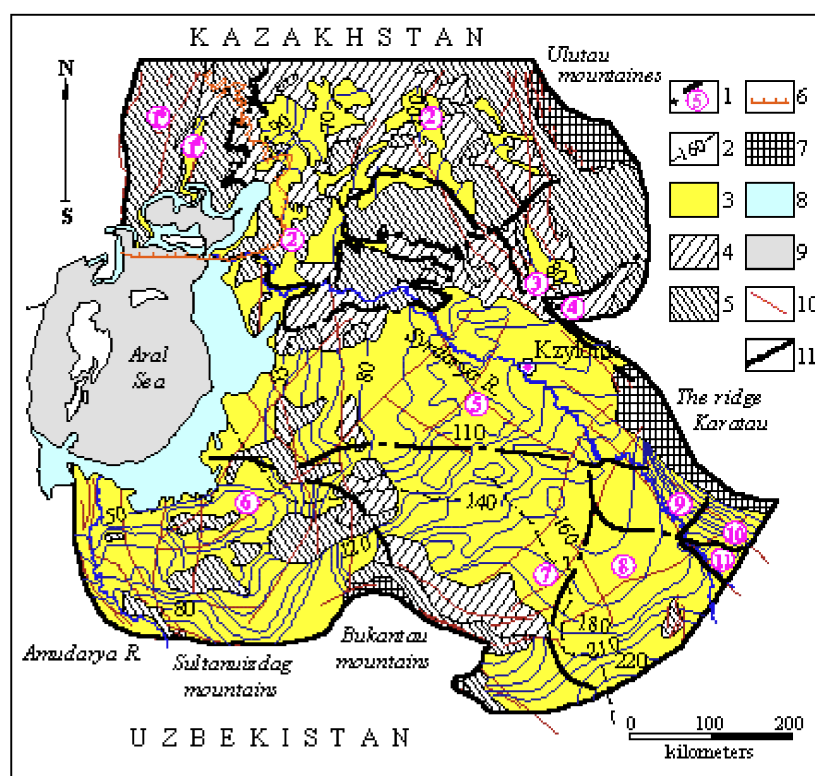
Водоносный комплекс юрских отложений на описываемой территории развит локально и в гидрогеологическом отношении изучен крайне недостаточно. Он характеризуется большой глубиной залегания, подземные воды минерализованные, их температура достигает 40°C. Водообильность отложений низкая. На картах оба комплекса объединены в один - ниже-среднеальб-юрский.

3. Гидрогеологическое районирование

Гидрогеологическое районирование территории Восточного Приаралья проводилось дифференцировано для палеогенового, неоген-четвертичного и верхнетурон-сенонского водоносных комплексов. В основу районирования были положены структурно-тектонические и гидродинамические признаки. Последние основывались на принципе единства области питания и разгрузки, а также учитывали различие фильтрационных свойств водовмещающих пород. Этот подход заимствован из [Сырдарьинский артезианский бассейн: математическое моделирование ресурсов подземных вод в условиях техногенеза, 1992]. Авторы применили его для районирования Сырдарьинского артезианского бассейна, который занимает большую часть описываемой

территории. Сначала по гидродинамическим сеткам водоносных комплексов для каждого из них выделялись водно-балансовые районы, для которых оценивалась динамика изменения расходов потоков, а затем выявлялись места их зарождения, участки дополнительного питания и разгрузки. Для каждого расчетного блока составлялся водный баланс на основе натурных наблюдений за инфильтрацией атмосферных осадков, испарением с уровня грунтовых вод и т.п. [Веселов В.В., 1995].

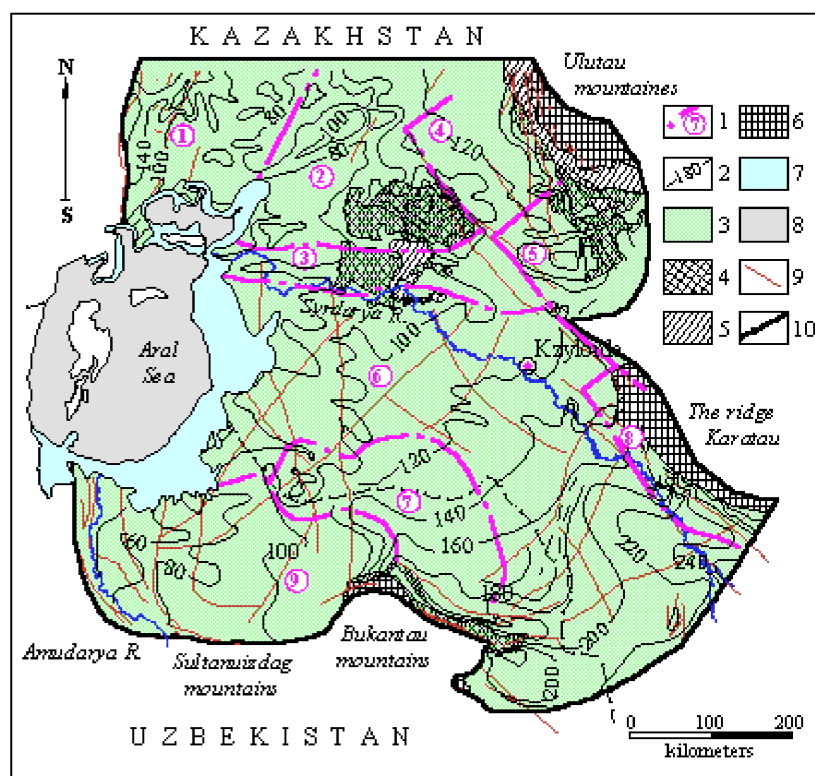
Схематическая карта районирования водоносного комплекса палеогеновых и неоген-четвертичных отложений Восточного Приаралья приведена на рисунке. Всего выделено 11 участков (четыре - в пределах Южно-Тургайского артезианского бассейна и семь - в пределах Сырдарьинского), для каждого из которых в процессе моделирования рассчитывался водный баланс.



Схематическая карта районирования водоносного комплекса палеогеновых и неоген-четвертичных отложений Восточного Приаралья

1 - Граница водно-балансовых районов и их номера: [1,2,3,4 - балансовые участки Южно-Тургайского артезианского бассейна: 1 - Малые Барсуки (1а-неоген-четвертичный комплекс, 1б-палеогеновый комплекс), 2 - Приаральские Каракумы, 3-Арыкум, 4-Бетпакадала; 5-11 - балансовые участки Сырдарьинского артезианского бассейна: 5-нижнее течение р.Сырдарьи и переходная зона от Южно-Тургайского артезианского бассейна к Сырдарьинскому артезианскому бассейну, 6-Южно-Приаральский бассейн - нижнее течение р.Амударьи и западные Кызылкумы, 7-северные Кызылкумы, 8-восточные Кызылкумы; 9,10,11-участки предгорий юго-западного Каратау]; 2 - гидроизогипсы, м; 3 - распространение водоносного комплекса неоген-четвертичных отложений; 4 - распространение спорадически обводненных неоген-четвертичных отложений; 5 - отсутствие водоносного комплекса неоген-четвертичных отложений; 6 - контур распространения верхнеэоценовых отложений; 7 - выходы палеозойских отложений на дневную поверхность. Акватория Аральского моря по состоянию на: 8 - 1960 г., 9 - 1989 г.; 10 - тектонические нарушения; 11 - граница района исследований

При районировании водоносного комплекса в верхнетурон-сенонских отложениях было выделено 9 водно-балансовых участков. Два - в пределах Северо-Приаральского артезианского бассейна, четыре - в пределах Сырдарьинского. В рамках описываемой территории размещаются также Мынбулакский и Арыкумский артезианские бассейны, а также зона контакта Северо-Приаральского и Сырдарьинского артезианских бассейнов. Результаты районирования верхнетурон-сенонского водоносного комплекса показаны на рисунке.



Схематическая карта районирования водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений Восточного Приаралья

1 - Граница водно-балансовых районов и их номера: (1,2, - Северо-Приаральский артезианский бассейн; 3 - зона контакта Северо-Приаральского и Сырдарьинского артезианских бассейнов; 4 - Мынбулакский артезианский бассейн второго порядка; 5 - Арыкумский артезианский бассейн второго порядка; 6,7,8,9, - балансовые участки Сырдарьинского артезианского бассейна: 6-Восточно-Приаральский, Восточно-Кызылкумский и Ергашкудукский артезианские бассейны; 7 - район Северных Кызылкумов; 8 - предгорья Каратау; 9 - Южно-Приаральский артезианский бассейн); 2 - гидроизопьезы, м; 3 - распространение водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений; 4 - выходы верхнетурон-сенонских отложений на дневную поверхность; 5 - отсутствие водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений; 6 - выходы палеозойских отложений на дневную поверхность. Акватория Аральского моря по состоянию на: 7 - 1960 г., 8 - 1989 г.; 9 - тектонические нарушения; 10 - граница района исследований

4. Изменение гидрогеологических условий в результате техногенного воздействия

Подземные воды Приаралья начали интенсивно использовать с 60-х годов, в первую очередь для хозяйственного водоснабжения населенных пунктов региона. Это привело к существенной сработке их напоров. В то же время было введено

в эксплуатацию большое количество орошаемых массивов за счет поверхностных вод, которые в зависимости от их местоположения оказывали не равнозначное влияние на формирование подземных вод. Орошаемые массивы, расположенные в предгорной зоне хр.Каратау, наряду с поверхностным стоком, являются источником формирования ресурсов подземных вод. Потери оросительных вод в верхних частях конусов выноса юго-западных склонов хр.Каратау, по данным полевых экспериментальных исследований различных водохозяйственных организаций, составляют порядка 5.9 куб.м/с. Из них 5.7 куб.м/с теряется в неоген-четвертичных отложениях, а 0.2 куб.м/с - в местах выхода на поверхность меловых отложений [Веселов В.В., 1995].

На территории орошаемых массивов, расположенных в долине р.Сырдарьи, отмечается непрерывный подъем уровней грунтовых вод в многолетнем разрезе. При неглубоком залегании уровня подземных вод (менее 10м) и последующем быстром его подъеме до критической глубины начинается интенсивное испарение, которое замедляет темпы дальнейшего подъема, а затем наступает момент относительной его стабилизации. При относительно глубоком (более 10м) залегании уровня грунтовых вод (Чиилинский, Арыс-Туркестанский массивы) орошение привело к заполнению свободной емкости и увеличению мощности горизонта подземных вод на 3-5 метров не только в районе самих орошаемых массивов, но и на удалении 30-40 км от них. Вследствие этого произошло увеличение ресурсов подземных вод на значительной территории. В тоже время в районах орошаемых массивов в первом от поверхности водоносном горизонте отмечено появление нитратов, нитритов, аммония, аммиака, фенолов, наблюдаются повышенные величины окисляемости. Загрязнение грунтовых вод регистрируется также по ряду водозаборов. В Кызылординской области это Теренозекское, Кызылкумское, Кызылординское, Байхожинское, Толагайское, Шиилинское, Жиделинское месторождения. Загрязняющими компонентами являются: железо (2.0-12.0 ПДК), марганец (2.0 ПДК), хлориды (2.0-6.0 ПДК), сульфаты (1.0-2.0 ПДК), повышенная минерализация (1.0-3.0 ПДК). Влияние техногенных процессов на качество напорных вод верхнемеловых горизонтов отразилось в меньшей степени.

Существенным фактором техногенного воздействия на гидрогеологические условия Приаралья является водоотбор подземных вод. Их роль, как основного источника хоз-питьевого водоснабжения городов, райцентров, сельских населенных пунктов особенно возросла в последние годы в связи с тем, что поверхностные воды р.Сырдарьи практически на всем протяжении стали непригодными для снабжения населения питьевой водой. Для оценки водоотбора подземных вод по действующим водозаборам были использованы данные бассейновых инспекций, проводивших соответствующий учет. Наибольшее практическое значение имеют воды неоген-четвертичного и верхнетурон-сенонского водоносных комплексов.

Неоген-четвертичный водоносный комплекс используется только на приустьевых участках и в районах предгорий хр.Каратау, где подземные воды

пресные или слабосоленоватые. Основными потребителями подземных вод этого комплекса является г. Кзылорда, г. Туркестан, г. Арысь. Кроме того, подземные воды используются для водоснабжения более 20 сельских поселков. В пределах Кзылординской области имеется 14 мелких водозаборов с производительностью от 0.3 до 35 л/сек. Наиболее крупным из них является водозабор г. Кзылорды, эксплуатирующийся с 1977г.

Водоносный комплекс верхнетурон-сенонских отложений имеет важное значение как источник хозяйственного водоснабжения населенных пунктов региона. Основные потребители воды тяготеют к долине р. Сырдарьи и предгорьям Каратау. Подземные воды эксплуатируются, как правило, небольшими водозаборами, состоящими из 2-3 скважин или одиночными скважинами производительностью порядка 10 л/сек. Таких водозаборов насчитывается около сотни. Наиболее крупные из них: Байхожинский (водоотбор около 50 л/сек), водозабор Управления Кзылординского водопровода и канализации (160-180 л/сек). На южном крыле Нижнесырдарьинского свода работает Левобережный водозабор производительностью порядка 0.9 куб.м/с. Эксплуатация подземных вод верхнетурон-сенонских отложений началась в регионе 1964г. К концу 1989г. суммарный водоотбор достиг 2.8 куб.м/с. В пределах распространения комплекса действует несколько сот бесхозных самоизливающихся скважин. По данным обследования (1981-1983г.) в Кзылординской области изливало порядка 900 скважин с суммарным дебитом 1.4 куб.м/с и 260 скважин в Чимкентской области - 1.0 куб.м/с. Эти величины несколько меньше по сравнению с расходом (около 3.4 куб.м/с), который был зафиксирован в регионе по данным обследования 1971г.

На территории Республики Узбекистан, входящей в исследуемый регион, изменение самоизлива скважин выглядит следующим образом: 1964г. - произведено упорядочение эксплуатационных скважин и перевод их на крановый режим, в соответствии с существующей потребностью в воде. В результате этих мероприятий водоотбор уменьшился и составил по состоянию на 1989 год около 1.0 куб.м/с при практически полном прекращении водоотбора на участках оазисного орошения. Приведенные выше данные заимствованы из материалов Южно-Приаральской гидрогеологической партии [Фетисов В.Г., 1988г.].

Водоотбор из верхнеальб-сеноманского водоносного комплекса незначителен по сравнению с другими комплексами и не превышает 50 л/сек.

Интенсификация техногенных факторов привела к снижению уровней подземных вод и изменению их баланса по всем водоносным комплексам. Количественно эти изменения оценивались в процессе проведения математического моделирования гидрогеологических условий Приаралья (см. раздел "Результаты моделирования").

III. МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВОСТОЧНОГО ПРИАРАЛЬЯ

1. Основные концепции моделирования подземных водных ресурсов Восточного Приаралья

2. Краткая характеристика комплекса инструментальных средств

3. Методика создания геоинформационно-математической модели

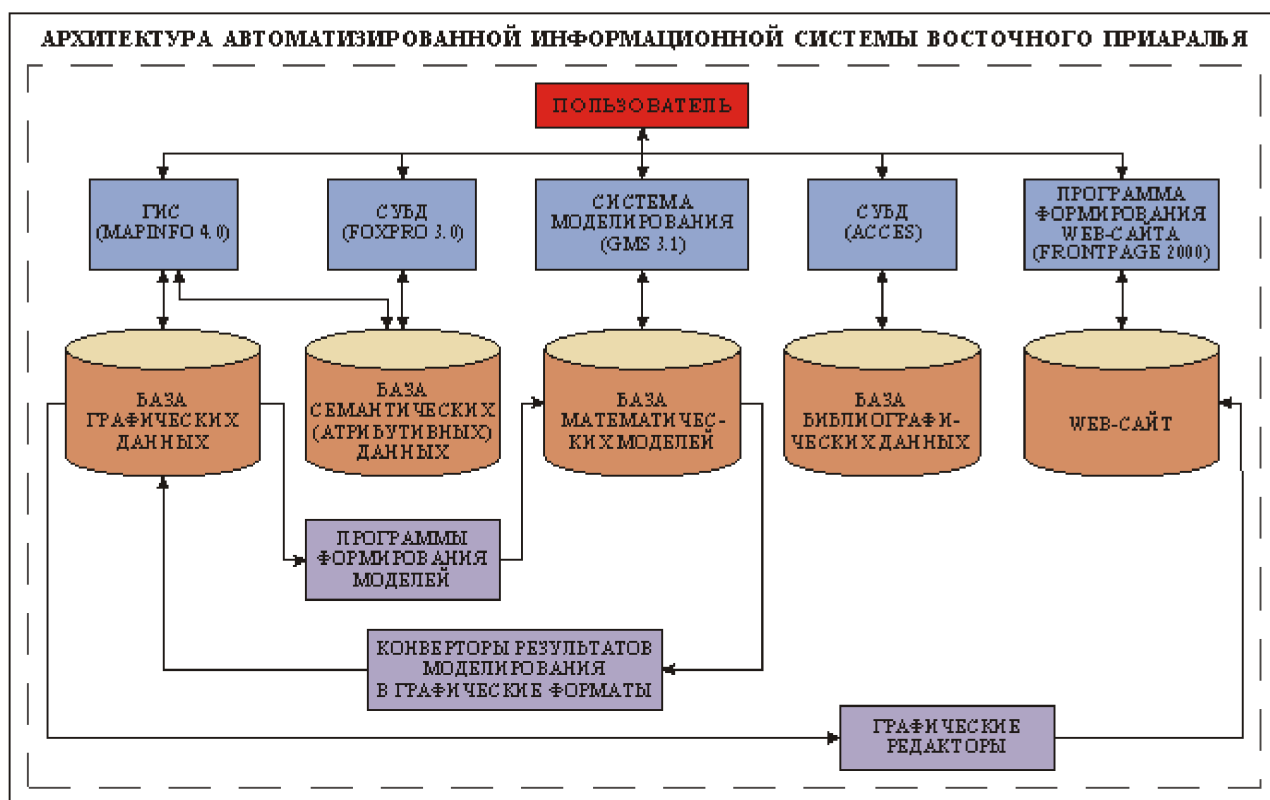
1. Основные концепции моделирования подземных водных ресурсов Восточного Приаралья

Подземные воды существенно отличаются от других полезных ископаемых. Ресурсы подземных вод, их качество, а значит и пригодность для использования могут существенно изменяться во времени. Поэтому важно уметь не только оценивать их текущее состояние, но и прогнозировать будущее. Изменение состояния подземных вод обусловлено их движением в гидролитосфере. Но непосредственное наблюдение движения подземных вод крайне затруднено. Они залегают под поверхностью земли и не видны наблюдателю.

Экспериментальным путем установлено, что движение подземных вод в гидролитосфере происходит в результате взаимодействия динамических полей (давления, температуры, концентрации растворенных в воде компонентов и т.п.) и статических (геологических) полей - водопроницаемости, пористости, водопроводимости и т.д. С математической точки зрения динамические поля - это поля функций, а геологические - поля аргументов, т.е. тех факторов, которые оказывают влияние на функции. Связь параметров может быть описана системой дифференциальных уравнений. Решая эту систему уравнений, можно рассчитывать значения динамических полей на любые моменты времени в любой точке, т.е. решать задачи прогнозирования. Для этого необходимо знать значения статических параметров и исходные значения динамических. Но параметры, характеризующие свойства подземных вод и свойства пород, которые их вмещают, можно измерить только в отдельных точках. С этой целью, например, бурятся скважины, в которых проводятся необходимые измерения. Чтобы выявить закономерности изменения статических и динамических параметров в пространстве для всей исследуемой территории, описать характер взаимосвязи между параметрами, выполняется гидрогеологическая стратификация. Результатом являются специальные графические документы - гидрогеологические карты, сопровождающиеся

гидрогеологическими разрезами и пояснительными записками, включающими текстовые описания, расчеты, таблицы, графики параметров и т.п.

Для Аральского региона к настоящему времени накоплен огромный фактический материал по тысячам скважин, выполнены многочисленные научные работы по изучению гидрогеологических условий региона, составлены сотни разномасштабных гидрогеологических карт и разрезов. Анализ таких больших объемов данных и прогнозирование возможны только на основе применения современных информационных технологий. Поэтому для моделирования гидрогеологических условий Восточного Приаралья Институт гидрогеологии и гидрофизики Министерства образования и науки Республики Казахстан разработал и адаптировал комплекс специальных инструментальных средств, основными частями которого являются геоинформационная система, системы управления базами данных и система моделирования гидрогеологических процессов. Архитектура комплекса показана на рисунке:



Архитектура автоматизированной информационной системы Восточного Приаралья

Как правило, в разработке сложных автоматизированных информационных и обрабатывающих систем принимают участие специалисты различных областей: гидрогеологи, математики, системные и прикладные программисты. Это затрудняет управление проектированием, повышает вероятность получения непредсказуемых результатов. Поэтому большое значение приобретает четкость и однозначность выработки требований к системе. Описание таких требований называется *спецификацией*. Важнейшим этапом разработки систем,

включающих базы данных, является проектирование информационной (концептуальной модели) предметной области. Тем не менее, единой методики составления спецификаций не существует. В таблице приводится классификация средств спецификаций по степени формализации и по методу представления, опубликованная в [Деметрович Я., 1989].

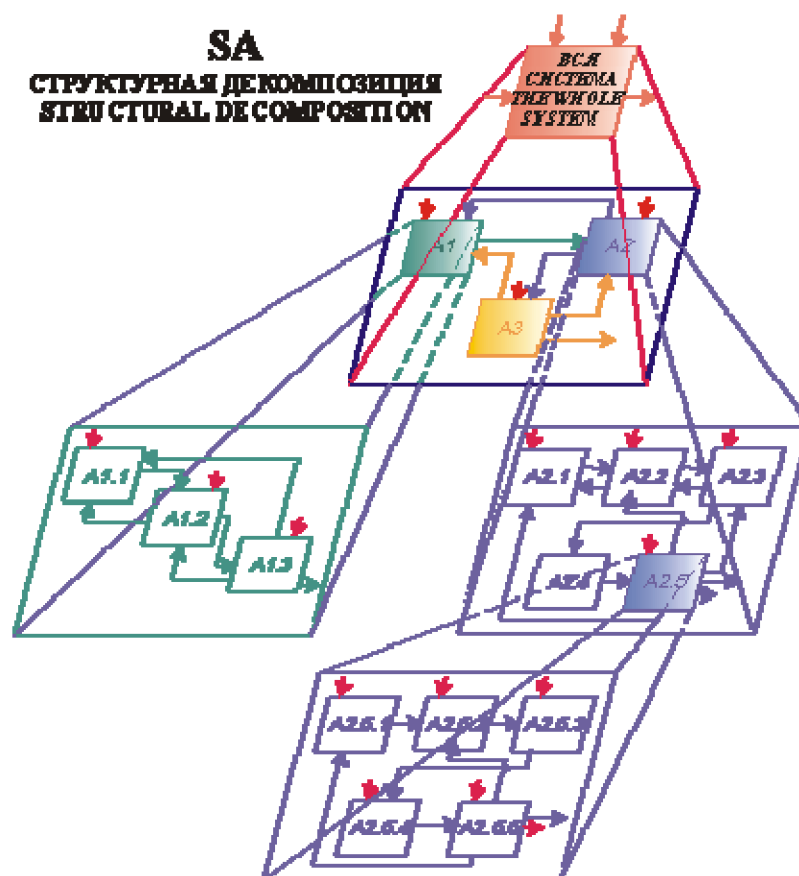
КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ СПЕЦИФИКАЦИЙ
CLASSIFICATION OF AUTOMATED METHODS OF SPECIFICATIONS

УРОВЕНЬ СПЕЦИФИКАЦИИ LEVEL OF SPECIFICATION	СРЕДСТВА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ / MEANS OF PRESENTATION	
	ТЕКСТОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ TEXTUAL PRESENTATION	ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ PRESENTATION WITH THE HELP OF INFORMATIONAL OBJECTS
ВЕРБАЛЬНЫЕ VERBAL		
СТРУКТУРИРОВАННЫЕ STRUCTURED		
ФОРМАЛЬНЫЕ FORMAL		

Учитывая большую сложность рассматриваемой предметной области и ее слабую формализацию, информационное моделирование представляется целесообразным выполнять в два этапа. На первом этапе составляется словесное описание области приложения. На втором этапе уточняются требования к системе. Для их отображения используется язык SA, разработанный Д.Россом. При дальнейшей детализации информационной модели данных, которые должны храниться и обрабатываться в системе, применяется непротесный подход с использованием объектов в качестве исходных конструкций [Спивак Л.Ф., 1982].

Основной принцип SA применяется рекурсивно и приводит к нисходящей иерархической декомпозиции [Росс Д., 1984].

SA
СТРУКТУРНАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ
STRUCTURAL DECOMPOSITION



Полная SA-модель должна описывать как явления, так и объекты моделируемой области. Явления представляются декомпозицией действий, а объекты – декомпозицией данных, отображенные соответствующими диаграммами. Таким образом, в SA имеет место полная двойственность явлений (действий) и объектов (данных). Действие, поступающее на ВХОД блока данных, можно представить как некоторую операцию, создающую этот объект, а действие, помечающее ВЫХОД – как использующее объект данных.

сервисных средств, обеспечивающих обмен данными между основными компонентами системы, а также программы, решающие задачи справочно-информационного обслуживания внешних и внутренних пользователей системы. Ниже приводится их описание.

Система геоинформационного моделирования MAPINFO. Для создания геоинформационной системы Восточного Приаралья использована программа MapInfo. Система обеспечивает прямой доступ к информации, хранимой в форматах dBase, Excel, Lotus, ACCESS. Возможна работа в сети. Комплекс представляет широкие возможности для оформления выходных документов: большое количество шрифтов, контролирование масштаба, работа в режиме WISIWYG. Система поддерживает языки программирования MapBasic, MapCode, создание пользовательских «меню». Программа работает более чем со 150 картографическими проекциями. Имеется аппарат для создания пользовательских проекций, обеспечивается интеграция растрового изображения в векторное и размещение векторного сверху растрового. Поддерживается ввод с дигитайзера, сканера, с систем GPS, по растровой подложке и адресное геокодирование. Инструментальные средства обеспечивают решение задач обработки изображений, пространственной статистики, пространственных измерений, тематической картографии, графического анализа.

MapInfo ориентирована на работу с графическими геоизображениями в векторной форме. Системой поддерживается послойное представление графических данных. MapInfo работает с точечными, линейными, площадными и комбинированными графическими объектами, с каждым из которых может быть связана содержательная информация. Эта информация легко просматривается при работе с ГИС, а также используется для решения задач схематизации гидрогеологических условий и подготовки исходных данных для математической модели.

Система управления базами данных FOXPRO. Для создания баз семантических данных Восточного Приаралья и работы с ними используется СУБД (система управления базами данных) FOXPRO 3.0, более полное название которой - Visual FoxPro 3.0 [М.Д. Антонович, 1996]. Система позволяет достаточно быстро работать на персональном компьютере с таблицами, содержащими миллионы записей. Имеется возможность разрабатывать экраны и отчеты с помощью специальных проектировщиков или мастеров (Screen Designer и Report Designer), используя технологию WYSIWYG – «что видишь, то и получай». Другими важными особенностями FOXPRO 3.0 являются:

- Контейнер базы данных (Database Container), известный под аббревиатурой DBC;
- Представления (view), которые можно определить как обновляемые курсоры SQL. Они предоставляют совершенно новый метод доступа к данным для их обработки, создания графического интерфейса пользователя и составления различных отчетов;

- Технология объектно-ориентированного программирования.

Последующие версии FOXPRO отличаются в основном только возможностью создавать и использовать серверы COM, а также публиковать приложения в Internet. Для доступа к данным Visual FoxPro через WEB имеются следующие возможности:

- Доступ к данным через ODBC (Open Database Connectivity) и инструментальные средства WEB-серверов, такие как Internet Database Connector или Allaire ColdFusion;
- Использование Visual FoxPro в режиме OLE-сервера для реакции на запросы WEB;
- Использование приложений Visual FoxPro в качестве сервера базы данных для обработки запросов WEB-сервера.

Описание одной из последних версий Visual FoxPro приводится в [Базиян, 2001].

Система математического моделирования GMS 3.1. В настоящее время осуществляется перевод математической модели гидрогеологических условий Восточного Приаралья в форматы системы моделирования GMS 3.1 – одной из наиболее совершенной системы моделирования гидрогеологических процессов, имеющей широкие функциональные возможности. Ниже приводится ее краткое описание, составленное на основе эксплуатационной документации на систему.

Система GMS 3.1 предназначена для моделирования в зонах полного и неполного насыщения движения подземных вод и переноса растворенных в воде компонентов, построения линий токов и т.п. Комплекс включает в себя также средства калибровки модели и визуализации результатов моделирования, инструменты для создания триангуляционной нерегулярной сети, конструирования трехмерных моделей стратиграфии и некоторые другие компоненты. Полная версия системы содержит графический пользовательский интерфейс и набор программ - MODFLOW, MT3DMS, RT3D, SEAM3D, SEEP2D, FEMWATER, UTCHEM, NUFT, PEST, MODPATH.

Графический интерфейс поделен на 10 модулей – TIN, Borehole, Solid, 2D Mesh, 2D Grid, 2D Scatter Point, 3D Mesh, 3D Grid, 3D Scatter Point, Map.

Система GMS 3.1 освоена и адаптирована в комплекс геоинформационно - математического моделирования. Ниже приводится краткая характеристика ее основных компонентов.

Программа MODFLOW имитирует трехмерную фильтрацию потока грунтовых вод в гетерогенной и анизотропной среде. Используется метод конечных разностей. Область, в которой моделируется поток, аппроксимируется ортогональной равномерной или неравномерной сетью, включающей строки, столбцы и слои. Слои могут быть напорными, безнапорными и напорно-

безнапорными. Модель может учитывать влияние на подземные воды водозаборных скважин, областей питания и разгрузки, дрен и различных поверхностных водных объектов.

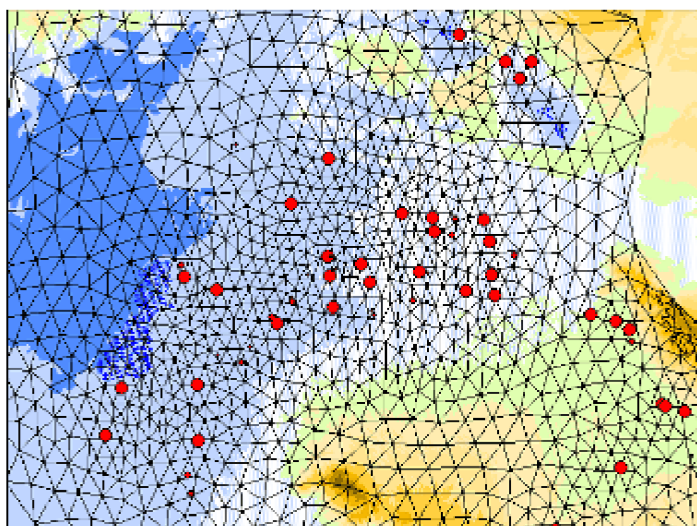
Программа MT3DMS имитирует трехмерный перенос подземными водами растворенных в них загрязняющих компонентов.

Программа RT3D имитирует трехмерный перенос подземными водами твердых и растворенных в ней загрязняющих компонентов с учетом химических и микробиологических реакций.

Программа SEAM3D имитирует транспорт подземными водами растворенных в них компонентов с учетом аэробного и последующего анаэробного разложения.

Программа SEEP2D предназначена для создания плоских плановых и профильных моделей движения подземных вод в изотропной и анизотропной, гомогенной и гетерогенной среде. Моделируются напорные и безнапорные профильные потоки в зоне полного и неполного насыщения, напорные плановые потоки в зоне полного и неполного насыщения. Имитируется работа горизонтального дренажа и скважин.

Программа FEMWATER предназначена для моделирования трехмерного потока подземных вод в зоне полного и неполного насыщения с учетом изменения плотности фильтрующегося флюида. FEMWATER использует метод конечных элементов. Система GMS 3.1 включает графический интерфейс для работы с программой FEMWATER. Сформированная с помощью специальных средств концептуальная модель гидрогеологического объекта в дальнейшем отображается на трехмерную сеть в форматах, используемых FEMWATER.



Вид концептуальной модели гидрогеологического объекта, отображенной на трехмерную треугольную сеть

Программа UTCHEM предназначена для моделирования движения подземного трехмерного грунтового потока многофазного флюида, а также транспорта растворенных в нем компонентов с учетом различных химических превращений.

Программа NUFT предназначена для моделирования многофазных неизотермических процессов влаго- и массопереноса в зоне аэрации. Она может быть использована для имитации испарения, конденсации водяного пара, движения водяного пара в зоне аэрации и т.п.

Программа NUFT предназначена для моделирования многофазных неизотермических процессов влаго- и массопереноса в зоне аэрации. Она может быть использована для имитации испарения, конденсации водяного пара, движения водяного пара в зоне аэрации и т.п.

Программа PEST предназначена для калибровки модели, реализуемой MODFLOW. Программа PEST реализует алгоритм, который приводится в [Бард Й, 1979; Doherty J., 2000]. Программа PEST в качестве исходных использует данные 4-х основных типов (терминология заимствована у разработчиков программы) (Doherty J., 2000):

- **фиксированные данные.** Это данные, которые определяются моделируемым объектом. Например, форма водоносного горизонта, местоположение различных скважин и т.п.

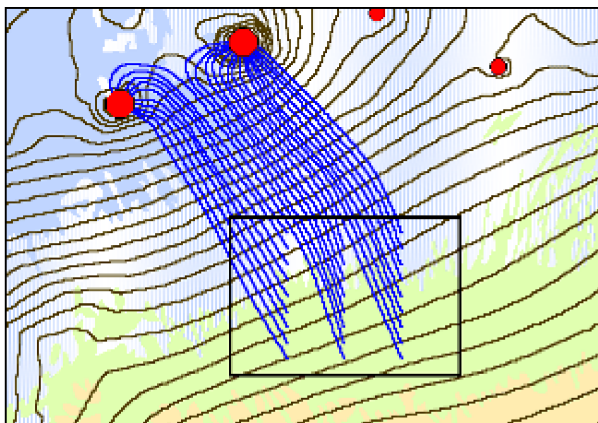
- **параметры.** Это данные, характеризующие фильтрационные и емкостные свойства моделируемого объекта - коэффициент фильтрации, коэффициент водоотдачи. Они рассматриваются как атрибуты системы, реагирующей на внешнее воздействие. Эти параметры могут изменяться в пространстве, быть определены для одной или нескольких областей.

- **воздействие.** Существуют параметры, «управляющие» системой (моделируемым объектом), например, площадное питание, различные источники и стоки, имитирующие работу водозаборных и дренажных сооружений, нагнетательных скважин и т.п. Подобно параметрам, характеризующим свойства моделируемого объекта, воздействие может изменяться в пространстве.

- **управляющие данные.** Эти данные являются управляющими для численного метода, которым решается система уравнений.

Выходные данные, полученные в результате работы PEST, используются для редактирования параметров модели гидрогеологического объекта (набора исходных данных для программы MODFLOW) в процессе ее идентификации.

Программа MODPATH является частью пакета обработки и визуализации результатов моделирования, полученных с помощью программы MODFLOW. MODPATH предназначена для построения линий токов стационарного потока подземных вод. Программа вычисляет траектории движения частиц в потоке подземных вод и отображает их в графическом виде.

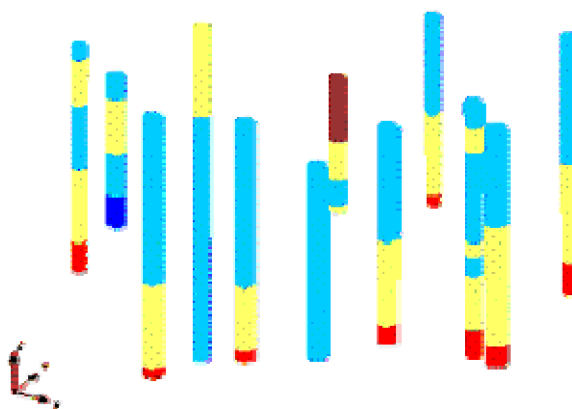


Изображение линий тока, сформированных программой MODPATH

Модуль Tin используется для моделирования поверхностей с помощью треугольной сети. Сеть формируется путем соединения некоторого набора отдельных точек, располагающихся в трехмерном пространстве, сторонами треугольников. Поверхность представляется набором треугольных граней. Tin может быть использован для изображения поверхностей различных геологических тел или поверхностей, определяемых математическими функциями. Высоты или другие параметры, связанные с сетью, могут быть показаны цветными контурными линиями или закрашенными зонами. Сеть, построенная с помощью модуля Tin, может быть использована для конструирования тел или в процессе формирования конечно-элементной модели.

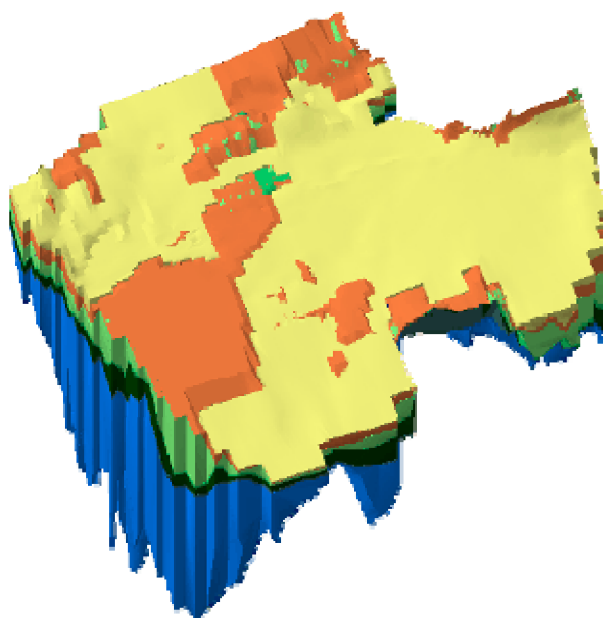
Модуль Borehole предназначен для визуализации и редактирования данных по скважинам. Скважины могут содержать данные по стратиграфии и (или) материалы по результатам опробования. Стратиграфические данные используются для представления слоев пород, которые были вскрыты при бурении. Слои пород изображаются с помощью контактов и сегментов.

Сегмент представляет слой, а контакт – границу между двумя слоями. Контакты и сегменты могут быть использованы при конструировании поверхностей (с помощью модуля Tin), тел и сетей для конечно-разностных моделей гидрогеологических объектов.



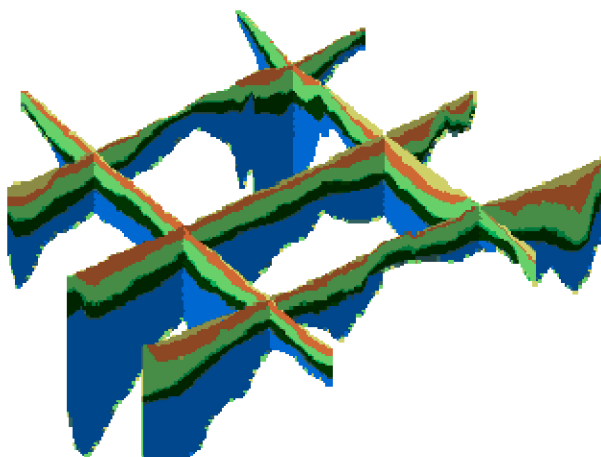
Представление стратиграфии пород с помощью контактов и сегментов

Модуль Solid предназначен для конструирования трехмерных моделей стратиграфии гидрогеологических объектов.



Трехмерная модель стратиграфии гидрогеологического объекта

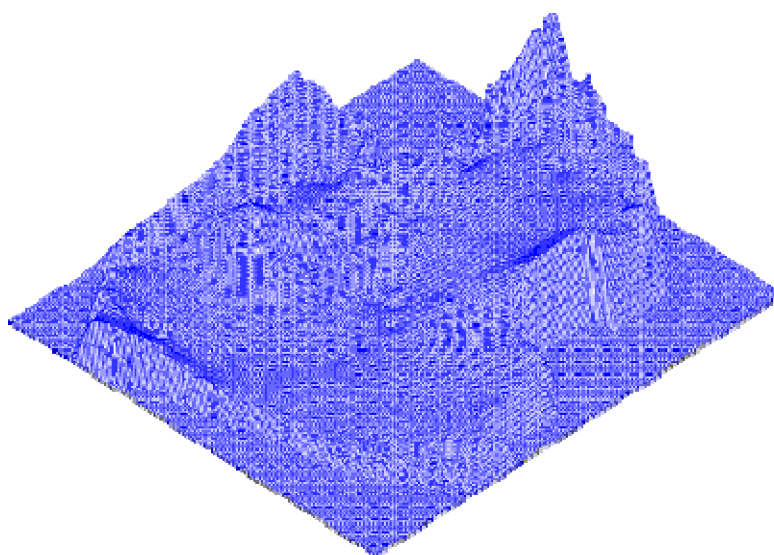
Один раз созданная, такая модель может быть многократно использована для генерации изображений различных разрезов. С помощью модуля Solid можно также рассчитывать объем геологических тел.



Изображение разрезов, сгенерированных модулем Solid

Модуль 2D Mesh используется для конструирования двумерной конечноэлементной сети. Инструмент обеспечивает автоматическую генерацию и редактирование сети. Такая сеть создается при моделировании с помощью программы SEEP2D, а также в процессе конструирования трехмерной треугольной сети для отображения различных поверхностей.

Модуль 2D Grid применяется в процессе создания и редактирования двумерных прямоугольных сетей. Такие сети используются в основном для отображения поверхностей и рельефа. Это осуществляется путем интерполяции на сеть и последующего ретуширования (shading).



Изображение сети, построенное модулем 2D Grid

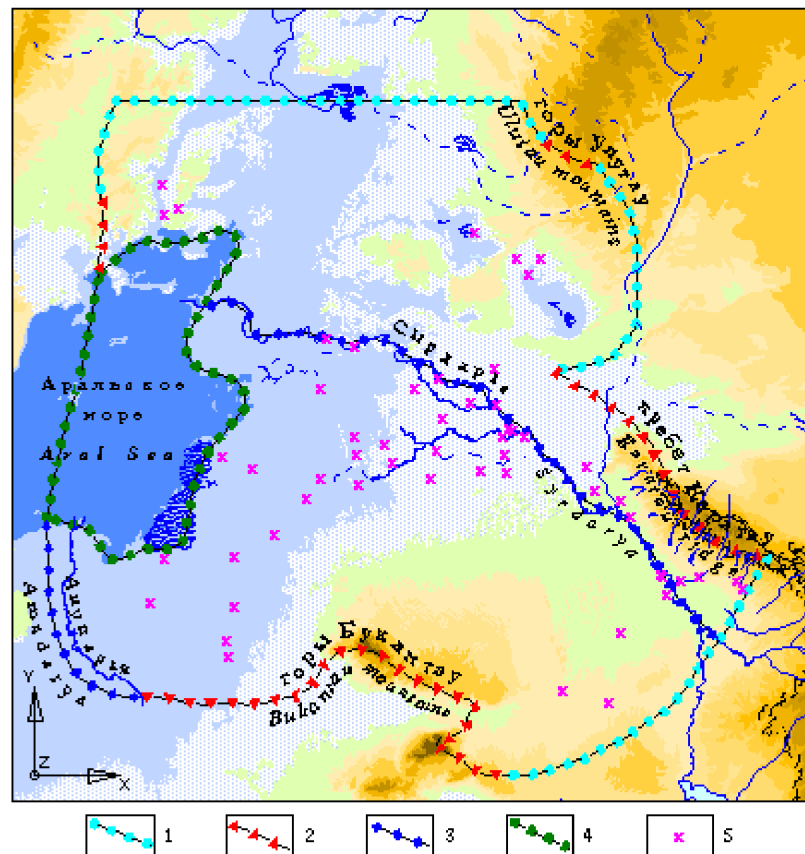
Модуль 2D Scatter Point используется для интерполяции наборов точечных данных на решетки, сети. Поддерживаются различные схемы интерполяции, включая крайгинг. Интерполяция используется в процессе подготовки и ввода исходных данных для моделирования.

Модуль 3D Mesh содержит интерфейс программы FEMWATER и предназначен для создания и редактирования трехмерной конечноэлементной сети. Один раз созданная сеть может использоваться для задания граничных условий и параметров в процессе моделирования программой FEMWATER.

Модуль 3D Grid содержит интерфейс программ MODFLOW, MODPATH, MT3DMS, RT3D, NUFT, UTCHEM и SEAM3D. Модуль используется для создания трехмерной прямоугольной сети. Эти сети предназначены для интерполяции, построения поверхностей, разрезов и в процессе моделирования методом конечных разностей.

Модуль 3D Scatter Point применяется для интерполяции наборов трехмерных точечных данных на сеть или решетку. Используются различные методы интерполяции, включая крайгинг.

Модуль Map предназначен для создания концептуальной модели на основе ГИС-объектов, включающих точки, линии и зоны. Концептуальная модель конструируется независимо от решетки или сетки. Это высокоуровневое описание частей, включающих источники-стоки, границы моделируемой области, зоны питания и разгрузки транспирацией, материала зон внутри каждого слоя .



Схематизация гидрогеологических граничных условий Восточного Приаралья

Типовые объекты системы моделирования GMS 3.1, используемые для описания граничных условий: линии задания: 1 - напоров, 2 - потоков, 3 - рек; зоны задания: 4 - напоров; точки: 5 - водозаборов

Система управления базами данных ACCESS. Программа ACCESS выполняет функции системы управления базой библиографических описаний документов по проблемам Аральского региона. В настоящее время база обслуживает в основном внутренних пользователей системы. Предполагается, что в перспективе доступ к данным будет организован и через сеть Internet.

ACCESS позволяет поддерживать реляционные модели данных. Допускается использование различных форм для ввода данных в базу, выдача их в виде отчетов. Проектирование форм и отчетов осуществляется с помощью мастеров, конструкторов, запросов. Кроме этого имеются так называемые автоформы и автоотчеты. ACCESS позволяет использовать три языка программирования:

- (SQL - Structured Query Language) – структурированный язык запросов. Это формальный стандартизованный язык высокого уровня, содержащий средства непроецедурной (не требующей программирования) спецификации запросов;
- макросы - заранее созданные списки действий;
- VBA (Visual Basic for Application) – объектно-ориентированный язык запросов.

Для организации работы с данными из Internet в ACCESS 2000 используются файлы особого типа - страницы доступа к данным (Data Access Page). Они обеспечивают пользователю доступ к данным и работу с ними, позволяют вести поиск и структуризацию данных в информационных сетях. По своим функциям страницы доступа к данным похожи на классические формы и отчеты. Для их создания в ACCESS 2000 есть специальный пакет – Data ACCESS Page Toolbox. С помощью этого инструмента создаются HTML-страницы, которые содержат динамические ссылки на данные. ACCESS является частью широко распространенного пакета Microsoft Office. Подробное описание ACCESS приводится в многочисленных публикациях, например в [Дубнов П.Ю., 2000] и др.

Программа разработки WEB-страниц FRONTPAGE. Программа FRONTPAGE применяется для разработки и сопровождения WEB-страниц, на которых публикуются сведения по гидрогеологическим условиям Восточного Приаралья, предназначенные для свободного распространения.

WEB-страницы создаются с помощью специального языка форматирования, который называется hypertext markup language (HTML). Они могут включать текст, изображения, звуки, анимацию и видео. Язык HTML может читать любой компьютер, если на нем установлен WEB-браузер, представляющий собой программу, преобразующую инструкции языка HTML в визуальную форму мультимедиа-документа WEB. WEB-страницы обычно объединяются в группы, которые называются WEB-узлами. Перемещение от одной страницы к другой происходит с помощью щелчков на гиперссылках, которые могут быть представлены словами или изображениями. Щелкнув на гиперссылке, можно перейти на другую WEB-страницу.

В процессе разработки WEB-узла определяют цели его создания, планируют структуру, для каждой страницы пишут текст, подбирают графику и другие элементы.

На начальной стадии разработки WEB-узла, при определении целей, обычно уточняют, для кого создается сайт, какую именно информацию предполагается на нем помещать, какие ресурсы (денежные, временные) могут быть затрачены на его разработку и эксплуатацию.

При проектировании структуры сайта уточняются сведения, которые предполагается опубликовать. После этого данные разбиваются на логические группы. Определяется, сколько WEB-страниц необходимо для каждого подраздела, какую информацию должна содержать каждая страница. Продумывается система их связывания с помощью гиперссылок.

Затем выполняется работа над дизайном WEB-страницы (определение стиля публикации, стиля иерархии, размера шрифта, подготовку графики и т.п.).

После завершения проектирования приступают к формированию сайта с помощью FRONTPAGE. В состав этой программы входит три основных компонента, предназначенных для создания и обслуживания WEB-узла: WEB-сервер, FRONTPAGE EXPLORER и FRONTPAGE EDITOR.

FRONTPAGE хранит WEB-узлы на компьютере, на котором работает программа-сервер. С помощью программы FRONTPAGE EXPLORER создается WEB-узел и изменяется его структура. Создание WEB-страниц выполняется с помощью FRONTPAGE EDITOR.

Подробное описание приемов работы с FRONTPAGE приводится, например, в [Microsoft FrontPage 98. Шаг за шагом, 1998].

Сервисные программы. Сервисные программы реализуют функции обмена данными между отдельными компонентами системы, а также задачи справочно-информационного обслуживания внутренних пользователей. Именно эти программы обеспечивают эффективную работу пользователей с системой в процессе геоинформационно-математического моделирования.

Комплекс аппаратных средств. Система геоинформационно-математического моделирования гидрогеологических условий Восточного Приаралья установлена в Институте гидрогеологии и гидрофизики МОН РК в Лаборатории моделирования и гидродинамики. Используется аппаратный комплекс, состоящий из сервера и 5 рабочих станций. Функции рабочих станций выполняют компьютеры РIII-PIV, процессоры которых работают на частотах от 800 МГц до 3.0 ГГц. Оперативная память 128-512 Мб. Сервер – HP NetServer LC 2000 PIII. Все машины объединены в одноранговую локальную сеть, пропускная способность которой 100 Мб/с. Кроме этого в состав комплекса входит несколько принтеров (цветные и черно-белые) формата А4-А2, а также цветной струйный плоттер HP DJ 500 формата А0. Связь с INTERNET осуществляется по выделенной линии.

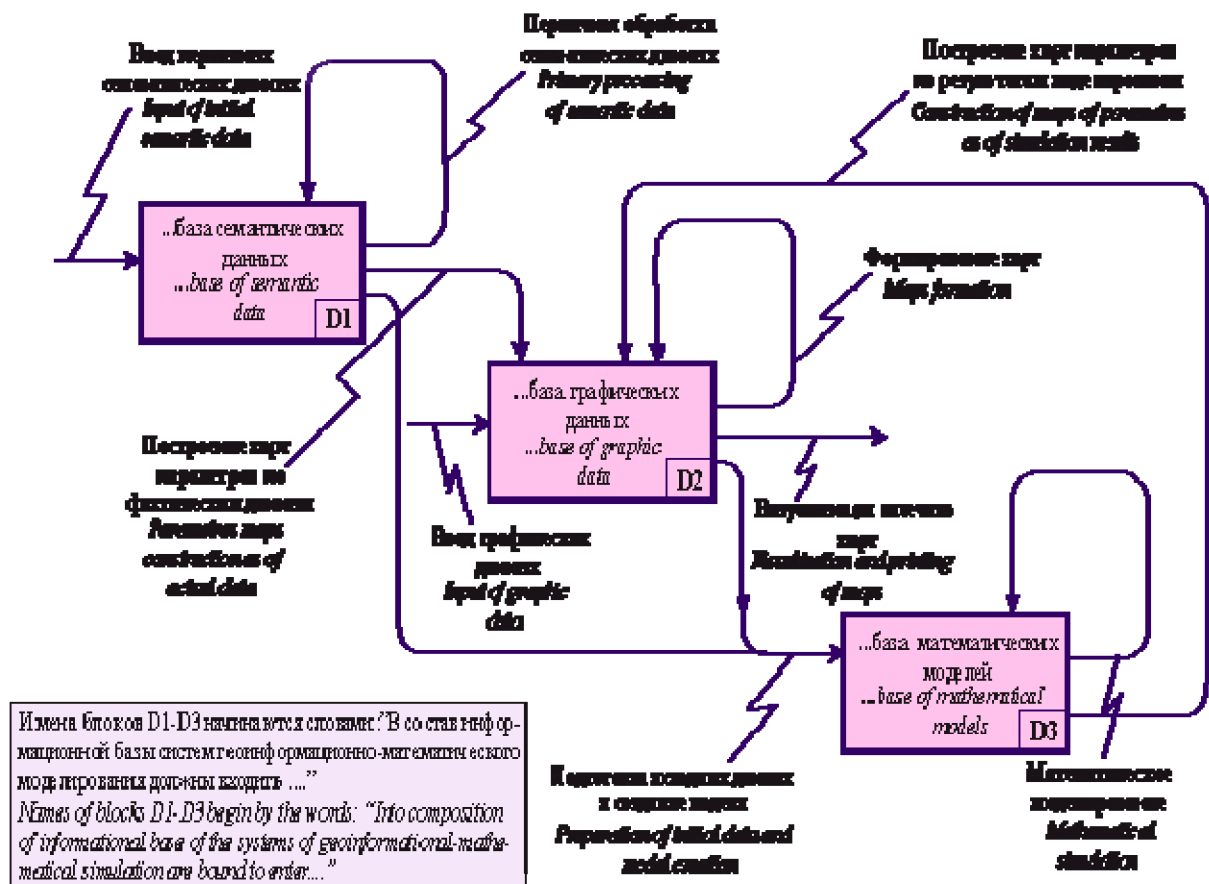
3. Методика создания геоинформационно-математической модели

Геоинформационно-математические модели, создаваемые как основа системы управления рациональным использованием водных ресурсов, могут эксплуатироваться достаточно длительное время. В комплекс вводятся значительные объемы оперативных данных об объекте моделирования и протекающих на нем процессах. Последние многократно используются для уточнения модели, поддержания ее адекватности изменяющимся природным условиям. Исходные данные для создания и эксплуатации модели представляются в графической и семантической форме. После соответствующей обработки они конвертируются в массивы параметров, которые образуют внутримашинную информационную базу системы математического моделирования. Результаты моделирования в свою очередь из числовой формы

преобразуются в графическую, удобную для последующего анализа и использования специалистами. Учитывая вышеизложенное, представляется, что информационная база геоинформационно-математической модели в общем случае должна включать в себя три компоненты:

- базу первичных семантических данных;
- базу графических данных;
- базу математических моделей.

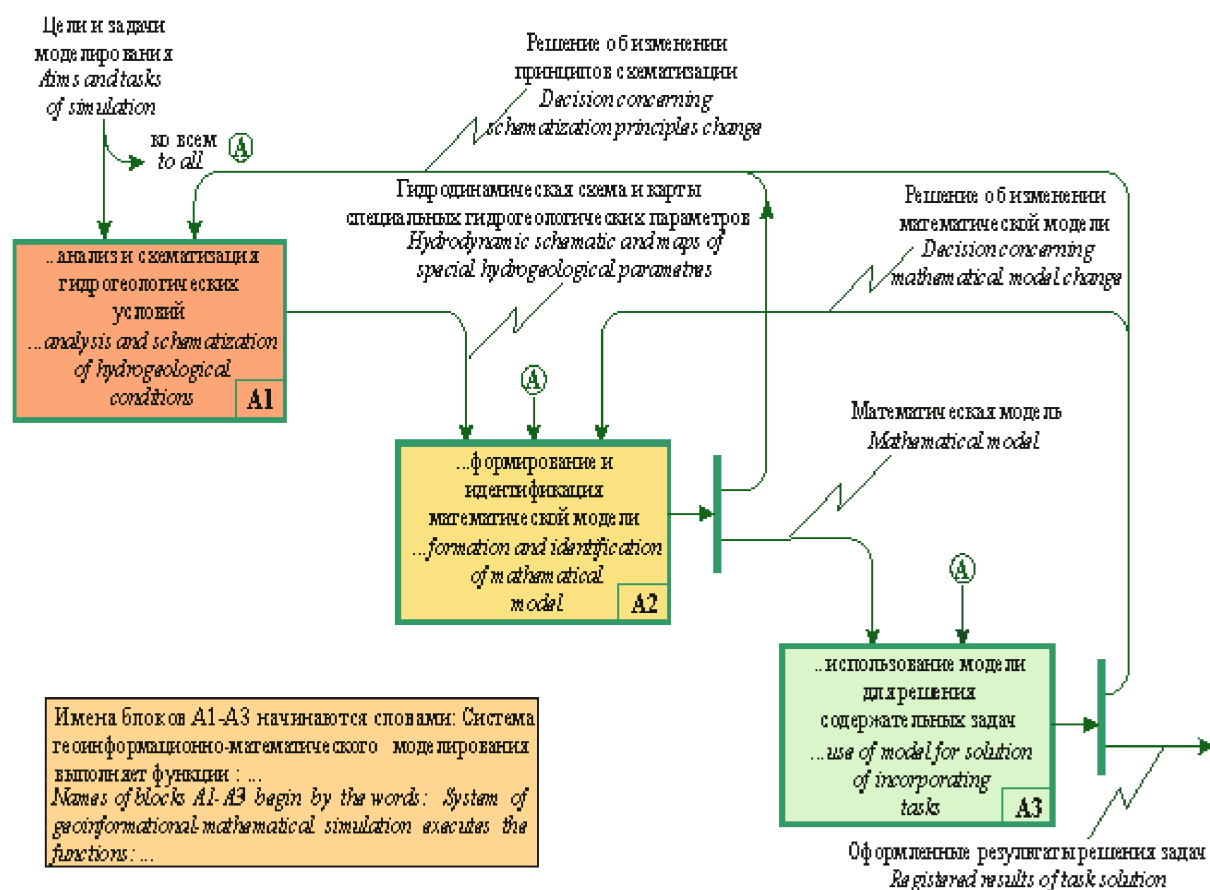
Между компонентами с помощью специальных программных средств необходима организация обмена данными.



Структура информационной базы системы геоинформационно-математического моделирования

Предполагается, что комплекс должен работать следующим образом. Вся семантическая информация об объекте и протекающем на нем процессах вводится в систему (с клавиатуры, с других информационных систем, с систем автоматизированного мониторинга). Это соответствующим образом структурированные описания скважин, шурфов, колодцев и т.п., результаты различных опробований, разовых замеров, стационарных наблюдений и т.д. После первичной обработки эти сведения записываются в базу семантических данных. Картографическая информация с помощью специальных устройств вводится в базу графических данных. В соответствии с заданной

пространственно-временной схематизацией и с учетом особенностей используемых программных средств на основе сведений, хранящихся в базах семантических и графических данных формируются массивы гидрогеологических параметров. Последние записываются в базу моделей и используются в процессе моделирования, результаты которого в цифровой форме накапливаются в этой же базе. С помощью специальных программных средств массивы параметров конвертируются в форматы графической базы данных, после чего могут просматриваться, редактироваться, а затем использоваться для построения различных совмещенных карт. Для эффективного управления процессом моделирования специалист-моделировщик должен также иметь возможность просматривать исходные семантические данные, редактировать их, преобразовывать в графическую форму, более удобную для анализа. Функциональная структура системы, способная реализовать основные принципы геоинформационно-математического моделирования гидрогеологических объектов приведена на рисунке.

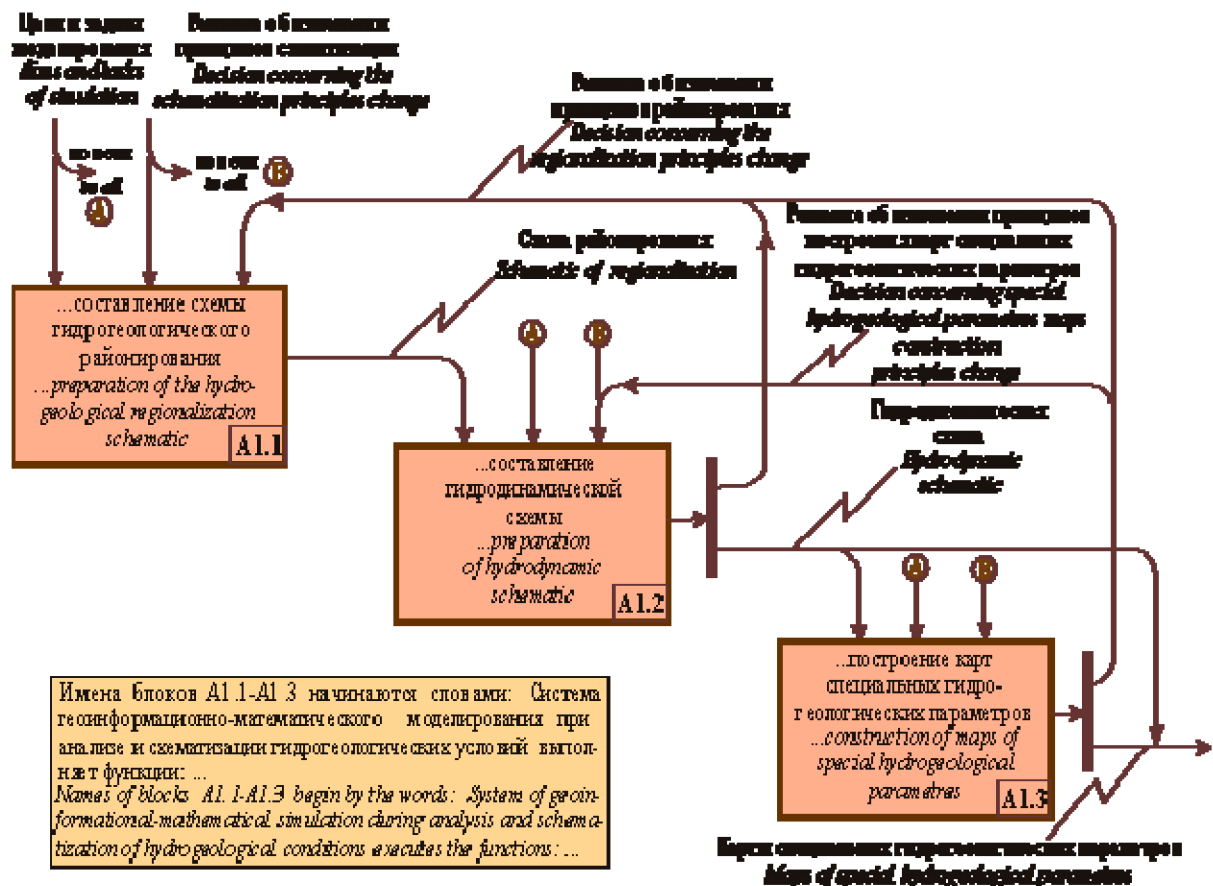


Функциональная структура системы геоинформационно-математического моделирования

Анализ и схематизация гидрогеологических условий (А1) должны выполняться с учетом целей и задач моделирования. В результате создается гидродинамическая схема и карты специальных гидрогеологических параметров, которые используются в качестве исходных данных для формирования и идентификации модели (А2). На процедуру формирования и

идентификации модели оказывают влияние также цели и задачи моделирования. В результате создается откалиброванная математическая модель, которая используется для решения содержательных задач (А3). В процессе выполнения идентификации модели может быть принято решение об изменении принципов схематизации гидрогеологических условий и повторном выполнении процедуры А1. Итогом решения содержательных задач на модели (А3) должны быть оформленные результаты. Вместо этого может быть принято решение об изменении математической модели и (или) принципов схематизации гидрогеологических условий.

Структура функций анализа и схематизации гидрогеологических условий приведена на рисунке.



А1. Структура функций анализа и схематизации гидрогеологических условий

Для реализации функции А1.1 необходимо организовать сбор исходной информации, ее оценку, подготовку и ввод в базу семантических и графических данных.

Введенные в графическую и семантическую базы данных сведения после их проверки и редактирования используются в первую очередь для изучения гидрогеологических условий. При этом определяются примерные границы моделируемой территории. Выполняется ее районирование по условиям формирования режима подземных вод и водного баланса, характеру границ и

граничных условий, литологическому строению и т.п. Итогом является схема гидрогеологического районирования и ее описание. Районирование выполняется обязательно с учетом целей и задач моделирования.

Для реализации функций А.1.2 система должна обеспечивать возможность выполнения гидрогеологом-моделировщиком детального анализа гидрогеологических условий исследуемой территории. Задача схематизации – максимально упростить гидрогеологические условия, учесть только те факторы, которые существенно влияют на имитируемые процессы. При этом необходимо использовать специальные критерии, позволяющие качественно и количественно оценивать допустимость этих упрощений, вычислять погрешность, которая при этом возникает [Гавич И.К., 1980; 1988]. На этом этапе должна быть выбрана модель имитируемого процесса и схематизирована область геофильтрации, итогом является гидродинамическая схема и ее описание.

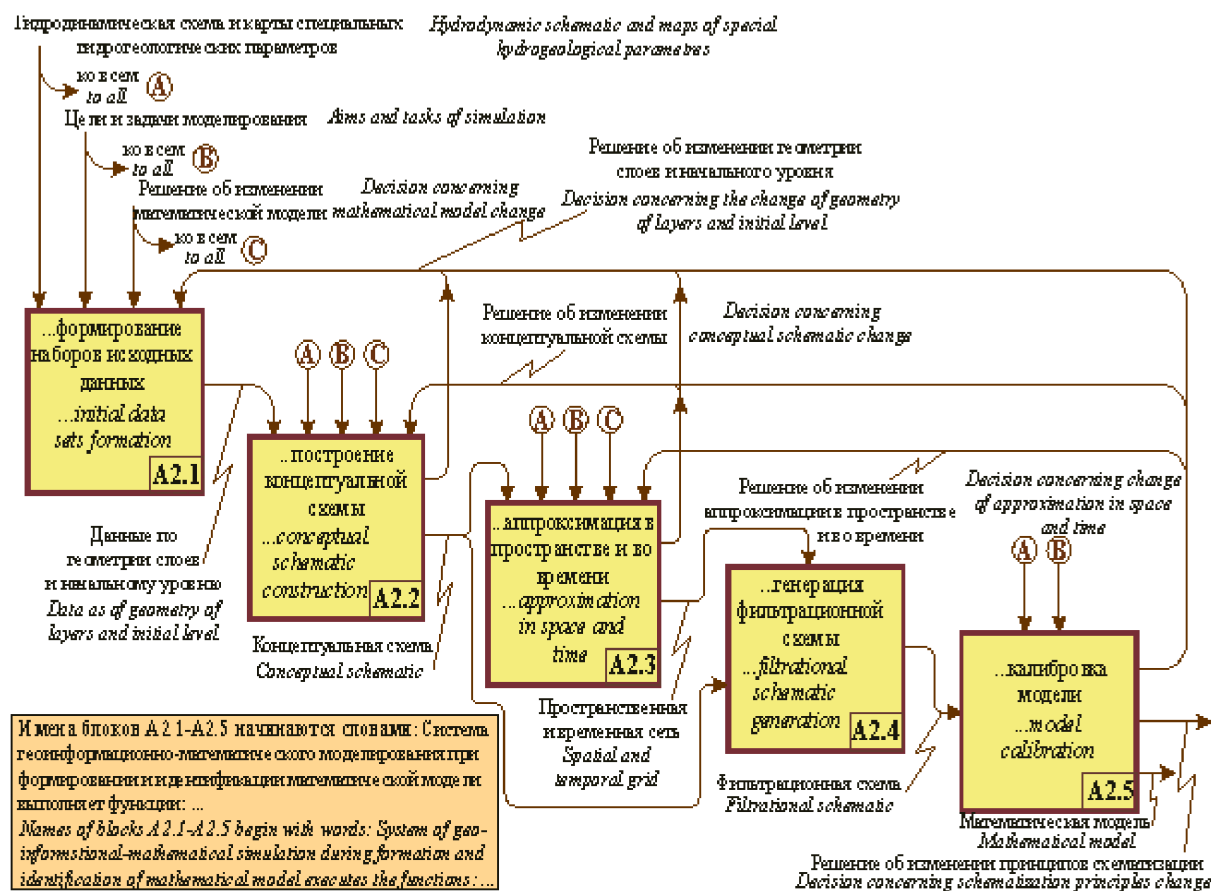
Процесс схематизации моделируемой области можно условно разбить на следующие этапы:

- Построение плановой гидродинамической схемы.
- Построение гидродинамической схемы в разрезе.
- Построение трехмерной модели структуры гидрогеологического объекта.
- Выбор шага аппроксимации моделируемого процесса во времени.
- Определение требований к шагу аппроксимации моделируемой области в плане.

Для реализации функции А.1.3 система должна обеспечивать построение комплекта карт специальных гидрогеологических параметров в автоматизированном режиме. От содержания карты существенно зависит методика ее построения и подход к автоматизации. С известной долей условности можно считать, что карты отображают: свойства водовмещающих пород (коэффициенты фильтрации, гравитационной водоотдачи, сорбционной емкости, распределения и т.п.); свойства подземной воды (давление или абсолютная отметка уровня, температура, концентрации растворенных в воде компонентов и т.п.), процессы взаимодействия моделируемого объекта с окружающей средой (инфильтрация атмосферных осадков, испарение с открытой водной поверхности, разгрузка родниковым стоком, эксплуатация подземных вод водозаборными сооружениями, дренаж и т.п.), а также некоторые интегральные показатели, характеризующие свойства выделенных слоев (водопроводимость, упругая водоотдача пласта, мощность, и т.п.). Для отображения на картах значений параметров, которые изменяются в пространстве непрерывно и закономерно, используют изолинии.

Для отображения на картах значений параметров, которые могут изменяться скачкообразно, используются зоны. С каждой зоной связываются значения параметров, а также задаются интервалы их допустимых изменений. Карты параметров строятся для каждого слоя, выделенного в разрезе.

Функции формирования и идентификации математических моделей показаны на рисунке.



A2. Структура функций формирования и идентификации математической модели

В результате выполнения этих функций должна быть сформирована и откалибрована математическая модель исследуемого гидрогеологического объекта.

Формирование наборов исходных данных – это операция преобразования собранных исходных данных в форматы, используемые системой математического моделирования. Требования к форматам зависят от особенностей системы математического моделирования, входящей в комплекс. В набор должны входить данные по геометрии выделенных в процессе схематизации пластов, сведения по наблюдательным точкам, в которых контролируется совпадение вычисляемых на модели параметров с фактически замеренными по результатам полевых или лабораторных работ, а также расходы эксплуатационных скважин, уровни воды в водоемах и водотоках, концентрации загрязняющих веществ в источниках и т.п. Формирование наборов исходных данных должно осуществляться в автоматизированном режиме с помощью специально разрабатываемых для этого программных средств.

Построение концептуальной схемы. Концептуальная схема является отображением гидродинамической схемы средствами системы математического моделирования. Как и гидродинамическая, она включает в себя плановое и в разрезе изображение концептуальной схемы, а также изображения карт гидрогеологических параметров в форматах системы моделирования.

Числовые модели карт гидрогеологических параметров, хранящиеся в базе графических данных, должны быть преобразованы в форматы системы математического моделирования. Если нужные фактографические сведения в базе данных отсутствуют, то они на этом этапе должны быть дополнены экспертом-моделировщиком на основе анализа косвенной информации или приняты по аналогии с другими, более изученными объектами и т.п.

Аппроксимация по пространству и времени. Для преобразования концептуальной схемы в фильтрационную необходимо задать сеточную аппроксимацию моделируемой области в пространстве (в плане и разрезе), выполнить аппроксимацию моделируемого процесса во времени и отобразить на пространственно-временную сеть все исходные данные (концептуальную схему, карты гидрогеологических параметров и наборы исходных данных).

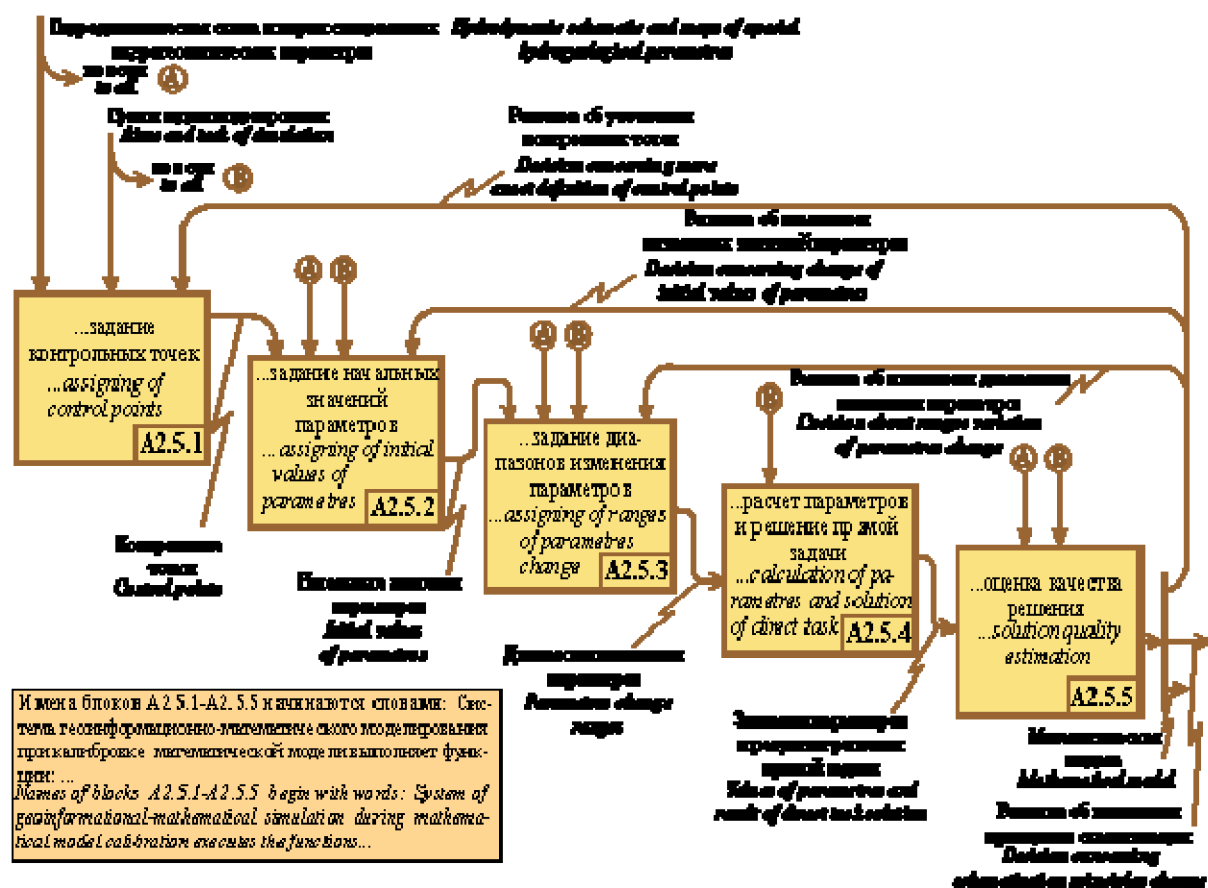
Аппроксимация по пространству должна выполняться с учетом особенностей выбираемых программных средств и метода решения дифференциальных уравнений, описывающих имитируемый процесс. Аппроксимация моделируемой области в разрезе осуществляется на основе сведений о геометрии выделенных слоев (используя абсолютные отметки поверхности земли и подошв выделенных слоев), представленных в концептуальной схеме, или выполняется моделировщиком так же, как и для плановой сети (т.е. описывается с помощью перечисленных выше параметров).

Для осуществления аппроксимации моделируемого процесса во времени используются результаты схематизации - время, которое принимается за начало процесса моделирования, количество и длина стрессовых периодов. Каждый стрессовый период в случае необходимости должен разбиваться на некоторое количество шагов для записи результатов решения задачи на каждом из них.

Генерация фильтрационной схемы. Фильтрационная схема представляет собой отображение концептуальной схемы на пространственную и временную сеть. Фильтрационная схема должна генерироваться системой автоматически. При этом также выполняется интерполяция в ячейки пространственной и временной сети и результаты представляются в форматах, используемых выбранной программой моделирования. С помощью специальных программных средств должна также осуществляться формальная проверка исходных данных и их редактирование в случае обнаружения ошибок. Генерация фильтрационной схемы и интерполяция параметров в узлы пространственной и временной сети завершают этап создания математической модели.

Калибровка модели. Калибровка является важнейшим этапом моделирования и выполняется для доказательства адекватности модели природным условиям. Иногда термин «калибровка» заменяется на другой – «идентификация модели путем решения на ней серии обратных задач». В процессе проведения идентификации должен осуществляться подбор параметров модели. Для гидродинамических задач такими параметрами являются площадное питание, коэффициенты фильтрации, упругой и гравитационной водоотдачи и т.д. Для задач переноса растворенных в воде компонентов – коэффициенты гидродинамической дисперсии, сорбционной емкости, концентрации растворенных в воде компонентов непосредственно в источнике (если ее невозможно измерить опытным путем) и т.п. Качество решения обратных задач должно оцениваться по ряду критериев и ограничений - динамических, диагностических, физического правдоподобия, которые определяются экспертом – моделировщиком (Гавич И.К., 1980, 1988).

Структура функций калибровки модели показана на рисунке.



А 2.5. Структура функций калибровки модели

Обычно в качестве контрольных точек используются режимные или разведочные скважины. Моделировщик должен иметь возможность выбрать в качестве контрольных точек все, или только те из них, которые он считает достоверными. Перед началом калибровки модели необходимо присвоить подбираемым параметрам некоторые начальные значения. Чем ближе эти

значения будут к истинным, тем выше вероятность успеха. Начальные значения подбираемых параметров должны присваиваться по результатам опытных определений - полевых и (или) лабораторных. В случае отсутствия эксперт-моделировщик должен их задать на основе анализа косвенных данных, использования метода аналогий и т.п. Инструментальные средства должны обеспечивать доступ моделировщика к нужной для принятия решения информации, представлять ее в форме, удобной для восприятия и анализа.

Диапазоны возможных изменений значений подбираемых параметров задаются для оценки степени геологического соответствия модели реальному объекту. Начальные значения подбираемых параметров и диапазоны их изменения должны определяться на этапе создания концептуальной схемы. На этапе реализации функции A2.5.2 и A2.5.3 они могут изменяться, дополняться и уточняться. Выявляются и задаются зоны, для которых значения параметров не будут изменяться в процессе моделирования.

Далее должна решаться прямая задача. Качество подбора оценивается по совпадению вычисленных значений динамических функций (абсолютных отметок уровней и расходов потока) с заданными значениями в контрольных точках. В результате экспертом принимается соответствующее решение. При неудовлетворительном результате, например, могут корректироваться диапазоны изменения параметров, конфигурация зон их задания, начальное распределение искомым параметров, значения параметров, которые считаются известными и неизменными в процессе решения данной задачи и т.п. После этого решение прямой задачи и оценка результатов повторяется. Калибровка модели – достаточно трудоемкая процедура. Однако ее полная автоматизация далеко не всегда гарантирует получение приемлемого результата. На наш взгляд, наиболее перспективным является применение методов оптимального управления в сочетании с экспертным подходом [Веселов В.В., Паничкин В.Ю., 1999, 2001, 2002]. Смысл его заключается в следующем. Задание исходных параметров модели, интервалов их возможных изменений, а также грубая калибровка модели осуществляется экспертом. Автоматизированная система должна предоставлять ему для этого всю необходимую информацию в удобной форме, а также обеспечивать реализацию того или иного принимаемого решения. Тонкая калибровка должна осуществляться автоматически с применением методов оптимального управления.

Процесс должен повторяться до получения удовлетворительных с точки зрения эксперта результатов. Если описанным способом невозможно получить приемлемые значения подбираемых параметров, могут приниматься решения, например, об изменении сеточной аппроксимации моделируемой области, внесения изменений в концептуальную модель, в управляющие параметры, принципы схематизации гидрогеологических условий и т.п.

Решение задачи на сформированной и откалиброванной модели осуществляется с помощью программных средств, входящих в систему математического моделирования. Эти средства должны обеспечивать решение

дифференциального уравнения, описывающего имитируемый процесс, численным методом, вычисление балансовых составляющих потока подземных вод и транспорта растворенных в них компонентов, окончательное оформление результатов.

Результаты решения должны представляться в графической форме, в виде карт изолиний и (или) зон, разрезов, изображений поверхностей в изометрии, изображений трехмерных картограмм. Программные средства должны обеспечивать отображение динамических параметров, задаваемых по внешним и внутренним границам модели в виде различных графиков – отдельных и (или) совмещенных.

Обязательно должна быть возможность экспорта результатов моделирования в форматы, используемые геоинформационными системами, графическими редакторами, автоматизированными системами проектирования, специализированными графическими программами (например, SURFER) для построения различных совмещенных карт, отображающих исходные данные, использованные для создания модели и результаты моделирования.

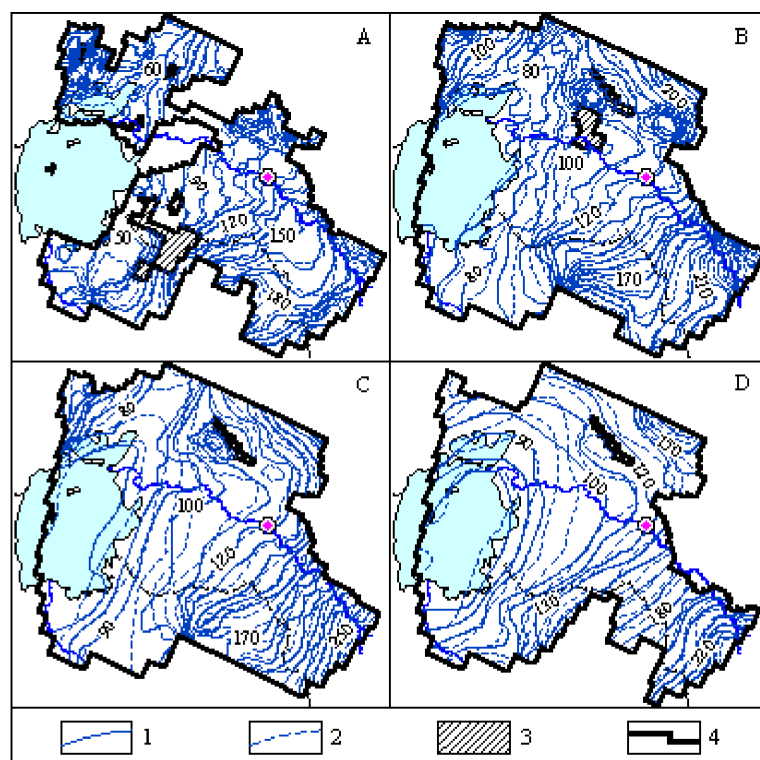
IV. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

1. Результаты решения обратных задач

2. Результаты решения прогнозных задач

1. Результаты решения обратных задач

Обратные задачи решались с целью калибровки модели, а также изучения гидрогеологических условий региона, существовавших на ненарушенный период и на период 1989 г. В процессе решения обратной стационарной задачи подбирались фильтрационные параметры основных водоносных комплексов и разделяющих их слабопроницаемых слоев, питание подземных вод и их разгрузка. Качество решения обратной стационарной задачи оценивалось по совпадению гидроизогипс, построенных по фактическим данным с модельными.



Совмещенные карты гидроизогипс водоносных комплексов:

а - палеоген-неоген-четвертичного, б - верхнетурон-сенонского, с - верхнеальб-сенманского, d - ниже-средне-альб-юрского. Гидроизогипсы, м: 1 - полученные по фактическим данным, 2 - полученные по результатам моделирования. 3 - области отсутствия водоносного комплекса. Береговая линия Аральского моря по состоянию на: 4 - 1961г., 5 - 1989г.

Результаты решения обратной стационарной задачи, полученные на модели, позволили количественно оценить инфильтрационное питание и разгрузку подземных вод. Так, модули питания палеоген-неоген-четвертичного водоносного комплекса изменяются в пределах от 10 до 100 куб.м/сут * кв.км. Максимальные значения инфильтрационного питания приурочены к предгорьям хр.Каратау, минимальные - к песчаным массивам.

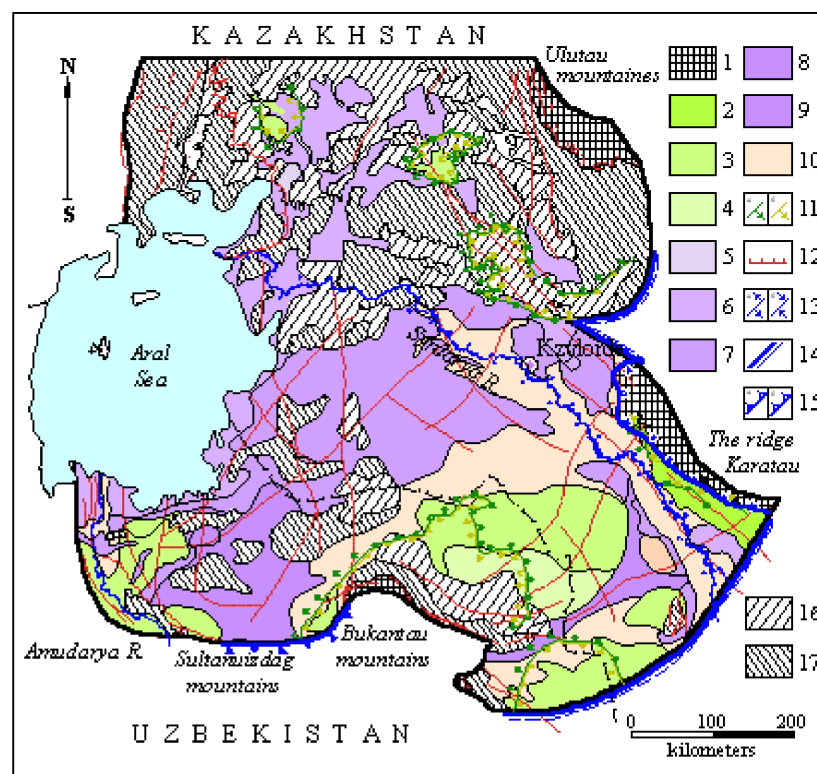


Схематическая карта модулей инфильтрационного питания и разгрузки подземных вод палеоген-неоген-четвертичного водоносного комплекса Восточного Приаралья

(по данным решения обратной стационарной задачи)

Модули питания, куб.м/сут * кв.км: 1 – 0-10; 2 – 10-20; 3 – 20-50; 4 – 50-100. 5 – нулевой модуль (транзит). Модули разгрузки, куб.м/сут * кв.км: 6 – 0-10; 7 – 10-20; 8 – 20-50; 9 – 50-100; 10 – контур распространения верхнеэоценовых отложений; 11 – распространение спорадически обводненных неоген-четвертичных отложений; 12 – отсутствие водоносного комплекса неоген-четвертичных отложений. Выходы отложений на дневную поверхность: 13 – палеозойских, 14 – палеогеновых; 15 – взаимосвязь реки с подземными водами: а-питает, б-дренирует; 16 – граничные условия I рода; 17 – граничные условия II рода: а)-направленность взаимосвязи подземных вод с соседней территорией, б)-приток на контакте рыхлообломочных отложений с палеозойским обрамлением

Интенсивность испарения изменяется от 20-50 куб.м/сут * кв.км в приречной зоне нижнего течения р.Сырдарьи и в Восточных Кызылкумах, до 50-100 куб.м/сут * кв.км в районе Арыкумской и Чушкакольской депрессий. Здесь подземные воды залегают близко к поверхности, либо выклиниваются. Схематическая карта формирования подземных вод палеоген-неоген-четвертичного водоносного комплекса, построенная по данным решения обратной стационарной задачи на 1960-1965 г. показана на рисунке.

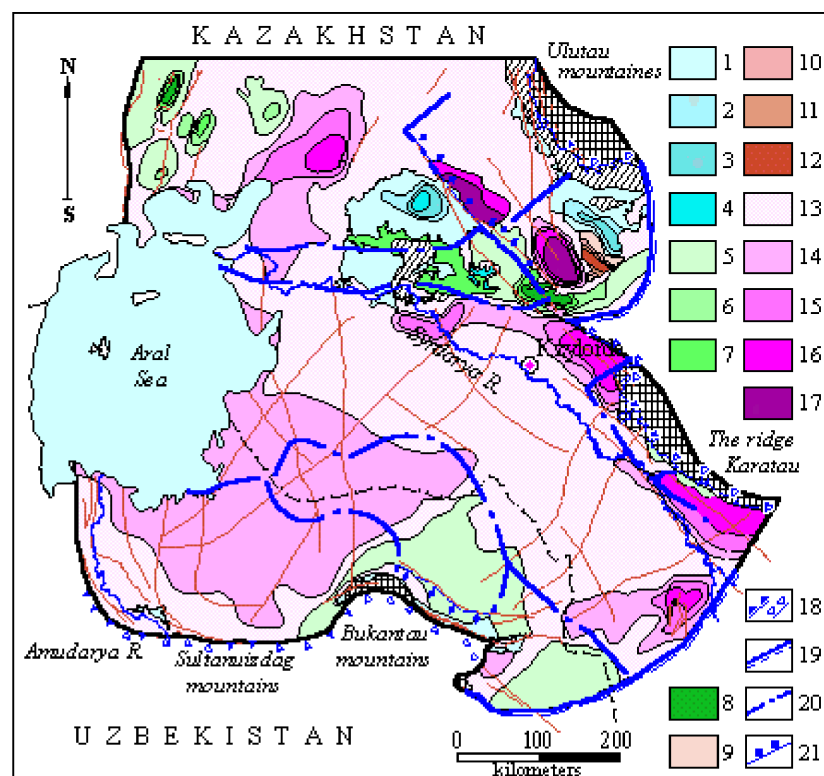


Схематическая карта формирования подземных вод палеоген-неоген-четвертичного водоносного комплекса Восточного Приаралья

(по данным решения обратной стационарной задачи)

Области формирования подземного стока: 1 – глубокой инфильтрации (выход палеозойских отложений на дневную поверхность), 2 – поглощения поверхностных вод и атмосферных осадков (предгорная зона), 3-4 – инфильтрация атмосферных осадков в песчаных массивах (3 – формирование линз пресных подземных вод с минерализацией до 1 г/л, 4 – с минерализацией 1-3 г/л). Области разгрузки подземных вод: 5 – выход подземных вод на дневную поверхность, 6 – суммарного испарения с уровня грунтовых вод с глубиной залегания до 5 м, 7-8 – внутригрунтового испарения с уровня грунтовых вод с глубиной залегания (7 – 5-15 м, 8 – >15 м), 9 – путем десукции (заросли саксаула); 10 – области транзита подземных вод; 11 – а) контур питания неоген-четвертичного водоносного комплекса за счет перетекания из нижележащего мелового водоносного комплекса, б) – контур разгрузки водоносного комплекса путем перетекания в нижележащий комплекс; 12 – контур распространения верхнеэоценовых отложений; 13 – взаимосвязь поверхностных и подземных вод (река: а – питает, б – дренирует); 14 – граничные условия I рода; 15 – граничные условия II рода: а – направленность взаимосвязи подземных вод с соседней территорией, б – приток со стороны палеозойского обрамления; 16 – распространение спорадически обводненных неоген-четвертичных отложений; 17 – отсутствие водоносного комплекса неоген-четвертичных отложений

Инфильтрационное питание подземных вод верхнетурон-сенонских отложений осуществляется на площадях выходов этих отложений на дневную поверхность. Модули питания на этих участках составляют 10-100 куб.м/сут * кв.км.



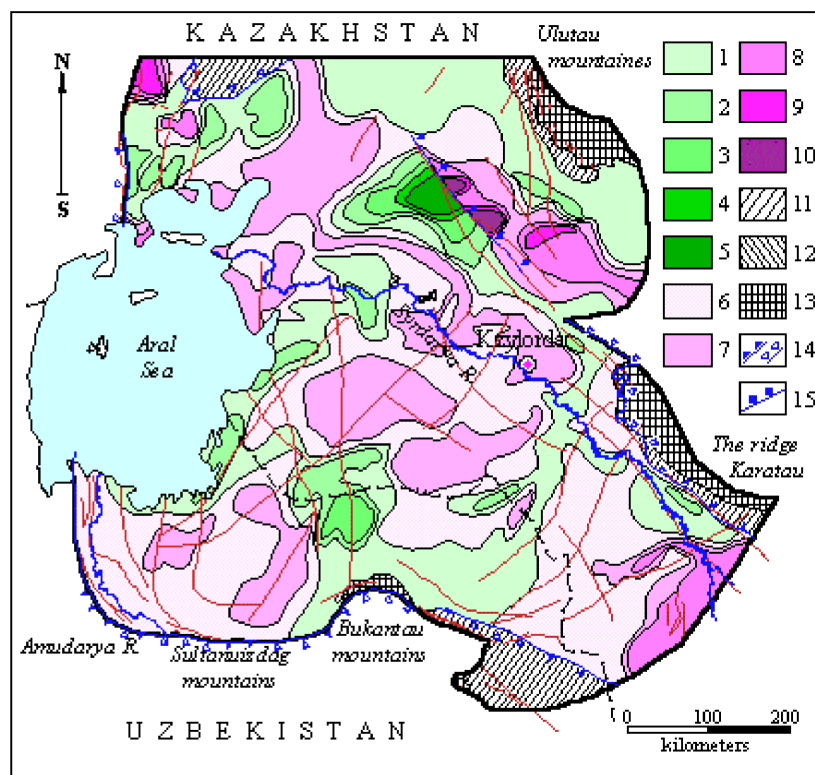
Схематическая карта формирования подземных вод водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений (по состоянию на 1960 г.) Восточного Приаралья

Области питания водоносного комплекса. Области формирования подземного стока за счет поглощения поверхностных вод и атмосферных осадков на площадях выхода палеогена на дневную поверхность. Модули, куб.м/сут * кв.км: 1 – 0-10, 2 – 10-20, 3 – 20-50, 4 – 50-100. Питание водоносного комплекса за счет перетекания из водоносного комплекса неоген-четвертичных отложений. Модули, куб.м/сут * кв.км: 5 – 0-2, 6 – 2-4, 7 – 4-10, 8 – 10-20; Области транзита и разгрузки подземных вод. Области разгрузки испарением на площадях выхода отложений на дневную поверхность. Модули, куб.м/сут * кв.км: 9 – 0-10, 10 – 10-20, 11 – 20-50, 12 – 50-100. Разгрузка подземных вод водоносного комплекса верхнетурон-сенонских отложений перетеканием в неоген-четвертичные отложения. Модули, куб.м/сут * кв.км: 13 – 0-2, 14 – 2-4, 15 – 4-10, 16 – 10-20, 17 – 20-50; 18 - внешние граничные условия: а - отток по разлому за пределы территории (границы II рода); б - приток по разлому с соседней территории (границы II рода); 19 - открытые границы (I род); 20 - граница между балансовыми зонами; 21 - внутренние граничные условия (II род), разлом и разгрузка в него

Испарение с поверхности подземных вод отмечается на южном крыле Нижнесырдарьинского поднятия на незначительной площади выходов меловых отложений на дневную поверхность в районе Арыскупского бассейна. Интенсивность испарения здесь 20-50 куб.м/сут * кв.км. Формирование ресурсов подземных вод верхнетурон-сенонских отложений осуществляется в основном за счет перетекания через слабопроницаемые толщи относительных водоупоров. Площади, где происходит перетекание из неоген-четвертичного комплекса в верхнетурон-сенонский, незначительны. Это предгорья Каратау, южная часть Восточных Кызылкумов, Северные Кызылкумы, отдельные участки в северо-западной части исследуемой территории. Модули перетекания изменяются от 10 до 20 куб.м/сут * кв.км. Остальная территория региона представляет собой область разгрузки подземных вод мелового комплекса. Интенсивность ее по площади различна. Определяется она литологией

слабопроницаемых отложений, их мощностью и градиентом напора. Увеличение модулей перетекания из мелового комплекса в неоген-четвертичный характерно для возвышенных территорий, где они достигают 4-10 куб.м/сут * кв.км. На остальной территории модули перетекания не превышают 2 куб.м/сут * кв.км.

Особенности формирования подземных вод верхнеальб-сеноманского водоносного комплекса на ненарушенный период (по состоянию на 1960 г.) показаны на рисунке.



Схематическая карта формирования подземных вод водоносного комплекса верхнеальб-сеноманских отложений Восточного Приаралья

Питание водоносного комплекса за счет перетекания через водоупорные отложения нижнетурон-сенонских отложений (на площадях выхода – инфильтрационное питание). Модули, куб.м/сут * кв.км: 1 – 0-2, 2 – 2-4, 3 – 4-10, 4 – 10-20, 5 – 20-50. Разгрузка подземных вод водоносного комплекса перетеканием через водоупорные отложения нижнетуронского возраста в вышележащие отложения (на площадях выхода - испарением). Модули, куб.м/сут * кв.км: 6 – 0-2, 7 – 2-4, 8 – 4-10, 9 - 10-20, 10 – 20-50; 11 - отсутствие водоносного комплекса; 12 - выходы водоносного комплекса на дневную поверхность; 13 - области формирования подземного стока глубокой инфильтрации (выход палеозойских отложений на дневную поверхность); 14 - внешние граничные условия: а - отток по разлому за пределы территории (граница II рода), б - приток по разлому с соседней территории (граница II рода); 15 - внутренние граничные условия (II род)

Балансовые расчеты, выполненные на модели, показывают, что основной статьей формирования подземных вод палеоген-неоген-четвертичного водоносного комплекса в естественных условиях является перетекание из нижележащего верхнетурон-сенонского комплекса (11.1 куб.м/с) и инфильтрационное питание (5.6 куб.м/с). По внешним границам поступает 2.7

куб.м/с и порядка 1.5 куб.м/с формируется за счет потерь вод из р.Сырдарьи. Разгружаются подземные воды палеоген-неоген-четвертичного водоносного комплекса преимущественно испарением (15.3 куб.м/с), перетеканием в меловые водоносные комплексы (1.3 куб.м/с) и дренируется р.Сырдарьей (1.1 куб.м/с). Площадная разгрузка через дно Аральского моря составляет 0.8 куб.м/с [*Веселов В.В., Мирлас В.М., Паничкин В.Ю., 1991*].

ВОДОНОСНЫЕ КОМПЛЕКСЫ



Дополнительно



Анализируя общий баланс подземных вод верхнетурон-сенонского водоносного комплекса можно сделать вывод, что основным фактором формирования их ресурсов в естественных условиях являлось перетекание из нижележащего верхнеальб-сеноманского водоносного комплекса (7.4 куб.м/с), а также притоки со стороны внешних границ (9.0 куб.м/с). На локальных участках в их формировании принимала участие инфильтрация, суммарная величина которой составляла 4.8 куб.м/с. Перетекание сверху было незначительным и составляло небольшую величину - 1.3 куб.м/с. В то же время, отток подземных вод происходил в основном за счет перетекания в верхний водоносный комплекс (11.1 куб.м/с). Разгрузка в Аральское море составляла 1.2 куб.м/с.

В результате анализа структуры баланса подземных вод, рассчитанного на модели на ненарушенный период, можно утверждать, что:

- Юго-западные склоны хр.Каратау являются областью питания только в предгорной части региона. Формирующиеся здесь подземные воды меловых отложений практически не попадают в центральные части бассейна, поскольку начинают разгружаться в неоген-четвертичный комплекс непосредственно в предгорьях.
- В центральной части региона в процессах формирования подземных вод основную роль играет рассредоточенное по площади перетекание через слабопроницаемые отложения, а также концентрированная разгрузка по зонам тектонических нарушений.
- В регионе нет единой четко выраженной области питания и разгрузки. На протяжении всего пути движения подземных вод эти процессы чередуются. Роль Аральского моря как основного базиса разгрузки подземных вод невелика. Подземный сток в Аральское море составляет лишь десятую часть от суммы естественных ресурсов подземных вод.

В процессе решения обратной нестационарной (эпигнозной) задачи на модели подбирались значения коэффициентов упругой и гравитационной водоотдачи. При этом воспроизводилась работа водозаборных и самоизливающихся скважин за период с 1961 по 1989 год, снижение уровня воды в Аральском море с 53 до 39 м, отступление его береговой линии.

Интенсификация техногенных факторов, описание которых приведено в разделе “Изменение гидрогеологических условий в результате техногенного воздействия”, привела к снижению уровня подземных вод и изменению их баланса по всем водоносным комплексам. На конец 1989 г. по палеоген-неоген-четвертичному водоносному комплексу водоотбор составил 1.4 куб.м/с. Существенно увеличилась разгрузка подземных вод в Аральское море (с 0.8 куб.м/с до 2.9 куб.м/с) за счет более высокой скорости снижения уровня моря по сравнению со сработкой напоров в палеогеновых водоносных горизонтах.

Водоотбор из верхнетурон-сенонского водоносного комплекса достиг к 1989 году 2.8 куб.м/с. Суммарный расход бесхозных самоизливающихся скважин - 1.7 куб.м/с. Разгрузка подземных вод комплекса в Аральское море увеличилась

на 0.6 куб.м/с по сравнению с ненарушенным режимом и составила порядка 1.8 куб.м/с. Сократился отток в смежные горизонты. Увеличилась сумма приходных статей (с 22.3 до 25.1 куб.м/с) в связи с возрастанием перетекания из нижележащих и вышележащих водоносных комплексов.

2. Результаты решения прогнозных задач

Прогноз изменения гидрогеологических условий в пределах моделируемой территории производился сроком на 50 лет. Выполнялось два варианта расчетов: первый - при условии сохранения производительности водозаборных скважин на уровне 1989 г., второй - с учетом водозабора в рамках утвержденных запасов (по сумме категорий), а также работы водозаборных сооружений по состоянию на 1989 г. на неутвержденных запасах.

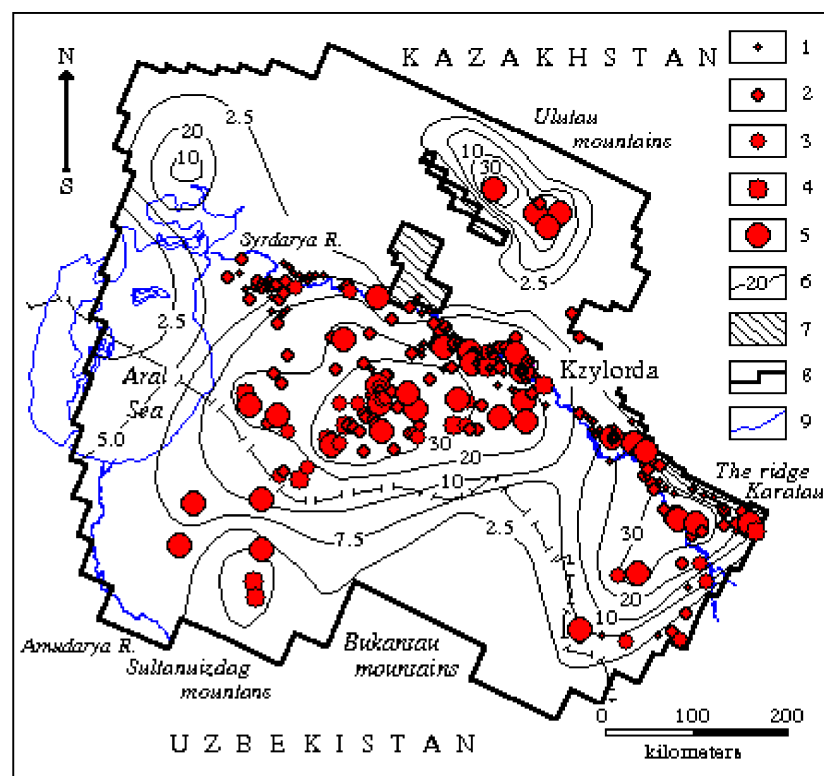
В соответствии с первым вариантом прогноза на конец 2039 года произойдет снижение уровня подземных вод во всех комплексах. В палеоген-неоген-четвертичном - в среднем на 3-5 м, в верхнетурон-сенонском и верхнеальб-сеноманском на 5-15 м.

Понижение напоров в отдельных водозаборах достигнет 40 м, хотя и не превысит допустимой величины. Таким образом, водоотбор на уровне 1989 г. является обеспеченным. Снижение напоров произойдет преимущественно в центральной части территории. При этом, на незначительной площади, охватывающей среднее течение р.Сырдарьи, будет отмечаться изменение направления перетекания и палеоген-неоген-четвертичный водоносный комплекс здесь начнет питать меловые водоносные горизонты. Разница в соотношении напоров между этими комплексами достигнет 3-5 м. Модуль перетекания составит порядка 2 куб.м/сут * кв.км. На остальной площади, где направленность перетекания между верхнетурон-сенонским и палеоген-неоген-четвертичными водоносными комплексами сохранится, интенсивность ее снизится. Соотношение напоров между верхнетурон-сенонским и верхнеальб-сеноманскими водоносными комплексами практически не изменится. Величина понижения уровня подземных вод в нижне-среднеальб-юрском водоносном комплексе не превысит 5 м. Максимальные понижения будут отмечаться в центральной части исследуемой территории.

В результате изменения направленности перетекания между палеоген-неоген-четвертичным и меловым водоносными комплексами следует ожидать ухудшения качества подземных вод верхнемеловых отложений, так как верхний водоносный комплекс содержит соленые подземные воды (до 30-50 г/л и более). Анализ режима работы самоизливающихся скважин позволяет сделать вывод, что за период с 1960 по 1989 гг. произошло сокращение площади и соответственно перемещение изолинии нулевого избыточного напора в центральной части территории на 10-50 км, а в южном Приаралье на 50-60 км на отдельных участках по сравнению с ненарушенным режимом. При сохранении водоотбора на уровне 1989 г. к 2039 году в центральной части территории

произойдет дальнейшее сокращение площади и перемещение этой линии на такую же величину, здесь следует ожидать прекращения работы самоизливающихся скважин. Однако, в южном Приаралье, из-за того, что практически все водозаборы, эксплуатирующие меловой комплекс к 1989 г. были остановлены, начнется восстановление самоизлива. Суммарная величина расходов скважин на самоизливе в целом по всему водоносному комплексу к 2039 г. сократится на 0.4 куб.м/с и составит 1.3 куб.м/с. Величина ущерба поверхностному стоку будет составлять незначительную величину. Разгрузка подземных вод первого от поверхности водоносного комплекса в Аральское море снизится до 2.3 куб.м/с в связи со сработкой напоров подземных вод в палеогеновых отложениях. По меловому водоносному комплексу она наоборот возрастет с 1.8 до 2 куб.м/с [Веселов В.В., Спивак Л.Ф., 1997].

При решении прогнозной задачи по второму варианту имитировалось существенное увеличение водоотбора до 32.2 куб.м/с, в том числе по палеоген-неоген-четвертичному водоносному комплексу до 10.0 куб.м/с, а по меловому - до 22.7 куб.м/с. К концу прогнозного периода суммарный расход скважин на самоизливе сократится до 0.5 куб.м/с, произойдет снижение напоров по всем водоносным комплексам. По верхнему водоносному комплексу региональное понижение уровня составит порядка 3 м, а в Прикаратауской части территории - до 5-10 и более метров. Эти понижения будут меньше допустимых, за исключением района г.Кызылорды. Здесь они будут сопоставимы с допустимыми. В водоносных комплексах меловых отложений снижение напоров произойдет практически повсеместно. На отдельных водозаборах оно достигнет 60-80 м, оставаясь в пределах допустимой величины.



Карта прогнозных понижений уровня подземных вод верхнетурон-сенонского водоносного комплекса (по состоянию на 2040г.)

Эксплуатационные запасы месторождений подземных вод по сумме категорий и производительность водозаборов, действующих на неутвержденных запасах (л/с): 1 - от 1 до 10, 2 - от 10 до 30, 3 - от 30 до 50, 4 - от 50 до 100, 5 - более 100. 6 - изолинии прогнозных понижений; 7 - области отсутствия водоносного комплекса; 8 - граница области моделирования. Береговая линия Аральского моря по состоянию на: 9 - 1961г., 10 - 1989г.

Изменение соотношения напоров приведет к смене направленности перетекания. В Восточном Приаралье это вероятно повлечет за собой изменение качества подземных вод мелового водоносного комплекса. Следует ожидать существенного изменения структуры баланса подземных вод. Значительно сократятся площади разгрузки подземных вод из мелового водоносного комплекса в палеоген-неоген-четвертичный. В то же время увеличится разгрузка из нижележащих меловых водоносных комплексов в верхнетурон-сенонский. По палеоген-неоген-четвертичному водоносному комплексу сократится величина испарения, значительно возрастет перетекание из него в меловой, уменьшится отток по внешним границам. Суммарная разгрузка подземных вод в Аральское море снизится до 2.6 куб.м/с. В этой связи, вероятно сократится привнос солей в акваторию моря за счет подземных вод.

Результаты моделирования подтвердили техническую возможность извлечения подземных вод в объемах утвержденных запасов по сумме категорий. Вместе с тем не до конца ясным остался вопрос оценки влияния массированного отбора подземных вод на их качество, а также на состояние окружающей среды. Был сделан вывод, что решение этих задач возможно только на более детальном

моделях, которые представляется целесообразным создавать для отдельных участков исследуемой территории.

V. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Подземные воды в Приаралье развиты практически во всех литолого-генетических комплексах, начиная с палеозойских и кончая современными четвертичными отложениями. Результаты выполненного моделирования подтвердили возможность их извлечения в объемах, утвержденных Государственной комиссией по запасам. Это полностью покрывает текущую и перспективную потребность региона в хозяйственных водах. На Казахской части этой территории проблема снабжения населения качественной питьевой водой наиболее остро стоит в Кызылординской области. По данным Министерства экологии и природных ресурсов эксплуатационные запасы подземных вод, разведанные для использования на территории Кызылординской области оцениваются в 1372.7 тыс. м³/сут., в том числе для хозяйственно-питьевого водоснабжения - 1060.8 тыс. м³/сут. Из них запасы подземных вод мелового комплекса - 680.6 тыс. м³/сут (по состоянию на 1.1.97г.). Суммарный водоотбор подземных вод по области составляет порядка 500 тыс. м³/сут., из них около 150 тыс. м³/сут приходится на бесхозный самоизлив скважин. Таким образом, лишь 350 тыс. м³/сут используется в народном хозяйстве преимущественно для хозяйственных целей. Заявленная потребность области в питьевой воде составляет порядка 531.8 тыс. м³/сут. Сопоставление приведенных выше данных позволяет сделать вывод, что эта потребность может быть удовлетворена полностью за счет использования подземных вод. В то же время нельзя не учитывать того, что интенсивное хозяйственное освоение Приаралья в последние 25-30 лет крайне негативно сказались на состоянии окружающей среды в целом и подземной гидросферы, как ее составляющей. Наиболее уязвимы оказались неглубоко залегающие грунтовые воды.

Влияние техногенных процессов на состояние напорных вод верхнемеловых горизонтов отразилось в меньшей степени. Поэтому использование их для решения проблемы водоснабжения населения Приаралья представляется достаточно обоснованным. Комплекс наименее подвержен техногенному загрязнению, имеет практически повсеместное распространение и удовлетворительное качество приуроченных к нему вод. В настоящее время основными водопотребителями на территории Кызылординской области являются четыре города - Кызылорда, Байконур, Аральск и Казалинск, восемь поселков городского типа - Новоказалинск, Казалинск, Жосалы, Жолаташ, Теренозек, Тасбугет, Шиили и Жанакорган и более 380 мелких сельских населенных пунктов. Общая численность населения по области составляет около 665 тыс. человек. Из них в сельской местности проживает 232.8 тыс. человек. Водообеспечение крупных городов уже сегодня частично

осуществляется за счет подземных вод разведанных месторождений (Кызылординское, Толагайское, Теренозекское, Байхожинское, Левобережное, Чиилийское, Шалкия, по групповым водоводам.

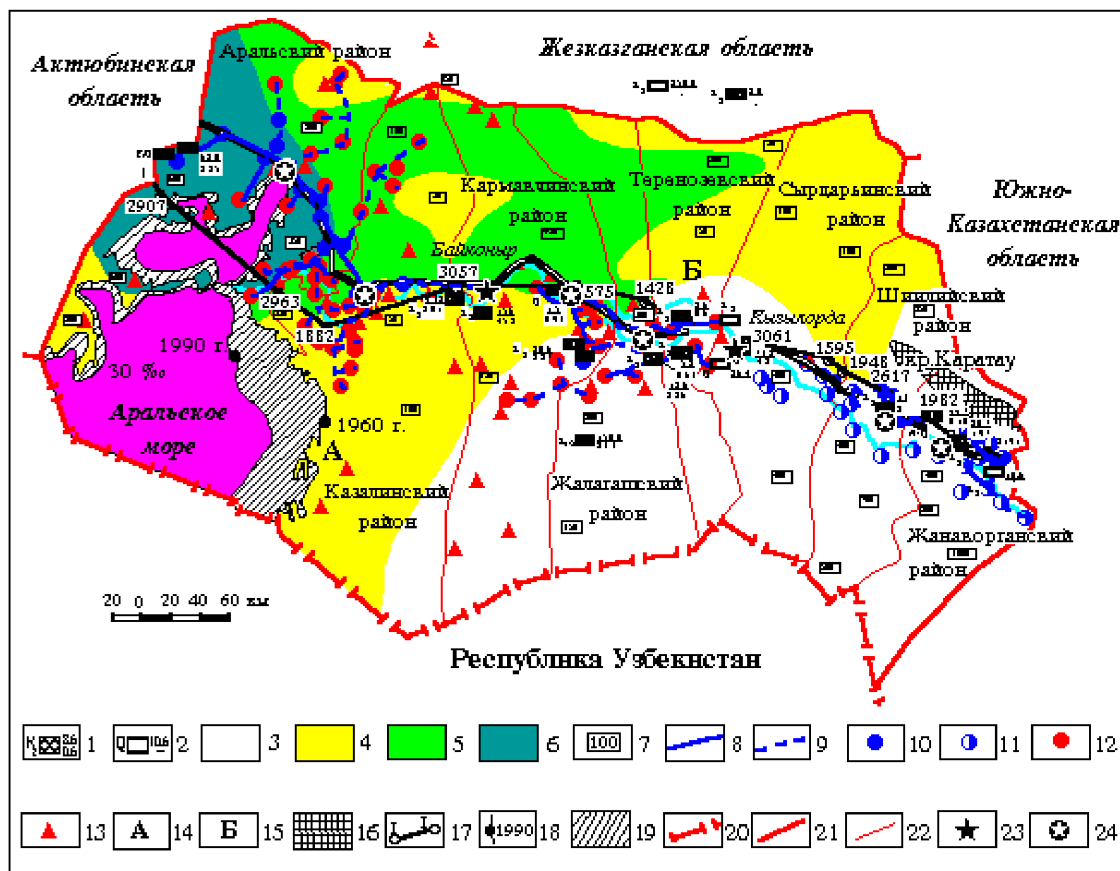


Схема условий водообеспечения населенных пунктов подземными водами перспективных верхнемеловых отложений

I. Месторождения (участки) подземных вод: разведанные для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов: 1 - эксплуатируемые (слева от знака - индекс геологического возраста водовмещающих пород; справа: в числителе - утвержденные эксплуатационные запасы по категориям А + В + С1; в знаменателе - фактический водоотбор, тыс. м³/сут; 2 - неэксплуатируемые.

II. Области распространения подземных вод верхнемеловых отложений с различной: а) минерализацией, г/куб дм 3 - до 1.5, 4 - 1.5-3, 5 - 3-5, 6 - больше 15; б) глубиной залегания водоносного комплекса. 7 - глубина залегания водоносного комплекса.

III - Трассы магистральных водопроводов и их разводящих сетей: 8 - построенные по состоянию на 01.09.94 г.; 9 - намечаемые к строительству до 2005 г. 10 - населенный пункт обеспеченный хозяйственно-питьевой водой; 11 - населенный пункт частично обеспеченный хозяйственно-питьевой водой; 12 - населенный пункт, подключение которого к групповым водопроводам предусмотрено схемой развития сельскохозяйственного водоснабжения области; 13 - населенный пункт, подключение которого к групповым водопроводам не предусмотрено схемой развития сельскохозяйственного водоснабжения области.

IV. Зоны экологического бедствия Приаралья, установленные "Законом Республики Казахстан о социальной защите" от 30.06.92г. №1968 А-ХП: 14 - зоны экологической катастрофы (Аральский и Казалинский районы). 15 - зоны экологического кризиса (остальные районы Кызылординской области).

V. Дополнительные обозначения: 16 - выход на поверхность палеозойских отложений, 17 - линия схематического гидрогеологического разреза, скважина на разрезе и ее номер, 18 - береговая линия Аральского моря по состоянию на: а) 1960 г., б) 1990 г., 19 - осушенная часть Аральского моря.

Границы: 20 - государственная, 21 - административных областей, 22 - административных районов, 23 - областной центр, города областного значения, 24 - районный центр.

Порядка 250 сельских населенных пунктов используют для питьевых целей подземные воды посредством одиночных скважин и колодцев, вода которых зачастую по качеству не соответствует требованиям ГОСТа "Вода питьевая". Более 50 населенных пунктов воду вынуждены завозить. Для остальных сельских населенных пунктов проблема питьевого водоснабжения стоит еще более остро. Еще в 1991 году Институтом Казгипроводхоз была предложена "Схема развития сельскохозяйственного водоснабжения Кызылординской области...", включающая ряд альтернативных вариантов, в том числе централизованное, децентрализованное (локальное) водоснабжение с применением и без применения опреснительных установок и др. Позднее, в 1996 году специалистами Министерства геологии и охраны недр РК была разработана "Программа по радикальному улучшению условий хоз-питьевого водоснабжения сельских населенных пунктов Кызылординской области". В ней авторы предлагали экономически более выгодный в настоящее время вариант, предусматривающий централизованное водоснабжение лишь крупных потребителей, т.е. городов и поселков городского типа за счет эксплуатации разведанных месторождений подземных вод путем завершения строительства групповых водопроводов - Арало-Сырдарьинского и Кызылординского правобережного. Для водоснабжения остальных населенных пунктов предлагалась организация локальных водозаборов, оборудованных опреснительными установками для эксплуатации слабоминерализованных вод верхнетурон-сенонского комплекса непосредственно вблизи потребителей. Последняя "Программа..." вызывает больший практический интерес, поскольку рассчитана на значительно меньшие финансовые затраты. Таким образом, очевидно, что улучшение водоснабжения населения Приаралья за счет более полного использования подземных вод является вполне возможным. В тоже время нужно отметить, что конкретные пути реализации этого проекта требуют дополнительной проработки.

Выводы и рекомендации

- В результате загрязнения в отдельные периоды года поверхностные воды реки Сырдарьи не могут являться стабильным источником хоз-питьевого водоснабжения;
- Решить проблему снабжения населения Приаралья питьевой водой можно за счет более широкого использования подземных вод региона;
- Результаты, полученные на региональной модели Восточного Приаралья подтвердили техническую возможность извлечения подземных вод в объемах, утвержденных Государственной комиссией по запасам. Вместе с тем не до конца ясным остался вопрос оценки влияния массивированного отбора подземных вод на их качество, а также на состояние окружающей среды. Решение этих задач возможно только на более детальных моделях, которые представляется целесообразным создавать для отдельных участков исследуемой территории.

VI. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КЫЗЫЛЖАРМИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЫРДАРЬИНСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г.КЫЗЫЛОРДЫ

1. Создание математической модели гидрогеологических условий Кызылжарминского месторождения подземных вод

1.1 Цели моделирования

Целью моделирования являлось решение задачи хозяйственно-питьевого водоснабжения г.Кызылорды. Для достижения этой цели необходимо было спрогнозировать на модели уровни воды (понижения уровней) и минерализацию отбираемой воды в существующих и проектируемых водозаборных скважинах на конечный срок их эксплуатации.

Вопросам снабжения г.Кызылорды качественной питьевой водой было посвящено выступление А.Г.Сатпаева, директора Института гидрогеологии и геоэкологии им.У.М.Ахмедсафина, опубликованное в газете «Казахстанская правда» 15 марта 2011 года.

1.2 Схематизация гидрогеологических условий

Структура системы моделей и соотношение слоев региональной модели Восточного Приаралья и локальной модели Кызылжарминского месторождения подземных вод

На исследуемой территории подземные воды приурочены к четвертичным, неогеновым и меловым отложениям. Подземные воды в четвертичных и неогеновых отложениях подвержены загрязнению и не могут быть надежным

источником хозяйственно-питьевого водоснабжения г.Кызылорды. От залегающих ниже меловых водоносных горизонтов они отделены мощной толщей водоупорных палеогеновых глин, перетекание через которые практически отсутствует и им можно пренебречь.

Меловые водоносные горизонты и комплексы разделены между собой слабопроницаемыми глинистыми отложениями, через которые возможно перетекание подземных вод. Наиболее перспективным для использования является верхнетуронский водоносный горизонт. При моделировании учитывалось влияние на состояние подземных вод существующих и проектируемых эксплуатационных скважин.

Для моделирования был использован программный комплекс GMS 6.0.

Математическая модель Кызылжарминского месторождения подземных вод создавалась как локальная модель, входящая вместе с региональной моделью Восточного Приаралья в систему взаимосвязанных разномасштабных математических моделей.

Гидрогеологические условия в плане были схематизированы в виде прямоугольной области размером 61.3 x 50 км, в центральной части которой располагаются все существующие и проектируемые скважины, эксплуатирующие подземные воды верхнетуронского водоносного горизонта Кызылжарминского месторождения. Моделируемая область в плане аппроксимирована ортогональной неравномерной сеткой размером $M \times N = 143 \times 122$, шаг которой изменяется от 250 м в центральной части области до 750 м по периферии модели. Конфигурация сети и ее положение в пространстве было выбрано так, что в углах модели и в отдельных точках по ее внешней границе узлы сетки совпадали с узлами сетки региональной модели Восточного Приаралья.

При схематизации гидрогеологических условий в разрезе учитывалось, что одной из целей моделирования является прогнозирование изменения качества подземных вод. Поэтому было принято решение о создании трехмерной модели. Разрез схематизирован в виде пяти напорных водопроницаемых слоев, разделенных тремя слабопроницаемыми. Каждому проницаемому слою на модели в разрезе соответствовал один блок, а каждому слабопроницаемому – три.

Водозаборные скважины задавались на модели как стоки с изменяющимся во времени расходом.

Схематизация гидрогеологических условий в разрезе

* Слой №1 модели соответствует непроницаемым палеогеновым глинам

* Layer № 1 of the model corresponds to impermeable Paleogene clays

При решении обратной стационарной задачи по внешним границам всех водоносных горизонтов и комплексов задавались граничные условия I рода (изменяющийся во времени напор). При решении эпигнозной и прогнозной задач по границам маастрихтского водоносного горизонта задавался постоянный во времени расход потока подземных вод, который рассчитывался по результатам решения стационарной задачи. По внешним границам всех остальных водоносных горизонтов и комплексов задавались граничные условия I рода.

Абсолютные отметки уровней, задаваемых по внешним границам I рода, рассчитывались с учетом понижений уровней, вычисленных в соответствующих блоках региональной модели Восточного Приаралья.

Схематизация процессов геофильтрации

Трехмерная стационарная фильтрация потока подземных вод в гетерогенной и анизотропной среде в общем случае описывается уравнением

с граничными условиями

где K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} – коэффициенты фильтрации по направлению координатных осей x , y , z (ЛТ-1); h – напор (L); W – объемный поток на единицу объема, представляет источники и/или стоки воды (Т-1). В общем случае функции K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} , W могут быть функциями пространственных координат ($K_{xx}(x,y,z)$ и т.д.).

– моделируемая область, – граница с заданным напором, $H(x,y,z)$ – значение напора вдоль границы; – граница с заданным расходом воды, K_n – коэффициент фильтрации по нормали к границе, $Q(x,y,z)$ – расход воды на единицу объема; - граница, вдоль которой задана зависимость между расходом воды и градиентом напора; – коэффициент, характеризующий взаимосвязь с внешней фильтрационной средой, h_B – уровень воды во внешней фильтрационной среде.

Трехмерная нестационарная фильтрация потока подземных вод в гетерогенной и анизотропной среде в общем случае описывается уравнением

с начальными условиями

,

с граничными условиями

,

,

,

где K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} – коэффициенты фильтрации по направлению координатных осей x , y , z (LТ-1); h – напор (L); W – объемный поток на единицу объема, представляет источники и/или стоки воды (Т-1); S_s – коэффициент водоотдачи пористого материала (L-1); t – время (Т). В общем случае функции S_s , K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} могут быть функциями пространственных координат ($S_s = S_s(x, y, z)$, $K_{xx}(x, y, z)$ и т.д.) и W – функцией пространственных координат и времени ($W = W(x, y, z, t)$).

– моделируемая область, $H_0(x, y, z)$ – известное распределение напора в начальный момент времени; – граница с заданным напором, $H(x, y, z, t)$ – значение напора вдоль границы; – граница с заданным расходом воды, K_n – коэффициент фильтрации по нормали к границе, $Q(x, y, z, t)$ – расход воды на единицу объема; – граница, вдоль которой задана зависимость между расходом воды и градиентом напора; – коэффициент, характеризующий взаимосвязь с внешней фильтрационной средой, h_B – уровень воды во внешней фильтрационной среде.

Математическая модель переноса потоком подземных вод растворенных в них компонентов в общем случае описывается уравнением

с начальными условиями

,

с граничными условиями

,

,

,

где C_k – концентрация растворенного k -го компонента (ML-3); – пористость фильтрационной среды, безразмерная величина; t – время; x_i – координата,

соответствующая i -ой декартовой оси координат, (L) ; D_{ij} – тензор коэффициента гидродинамической дисперсии (L^2T^{-1}) ; v – скорость фильтрации (LT^{-1}) , она определяется как поток Дарси через отношение $v = q_s / H$; q_s – объемный поток на единицу объема водоносного горизонта, представляющий источник (положительный) или сток (отрицательный) (T^{-1}) ; C_k – концентрация растворенного k -го компонента в источнике или стоке (ML^{-3}) ; λ – элемент, отвечающий за химические реакции (сорбцию, радиоактивный распад или процессы биodeградации) $(L^{-3}T^{-1})$.

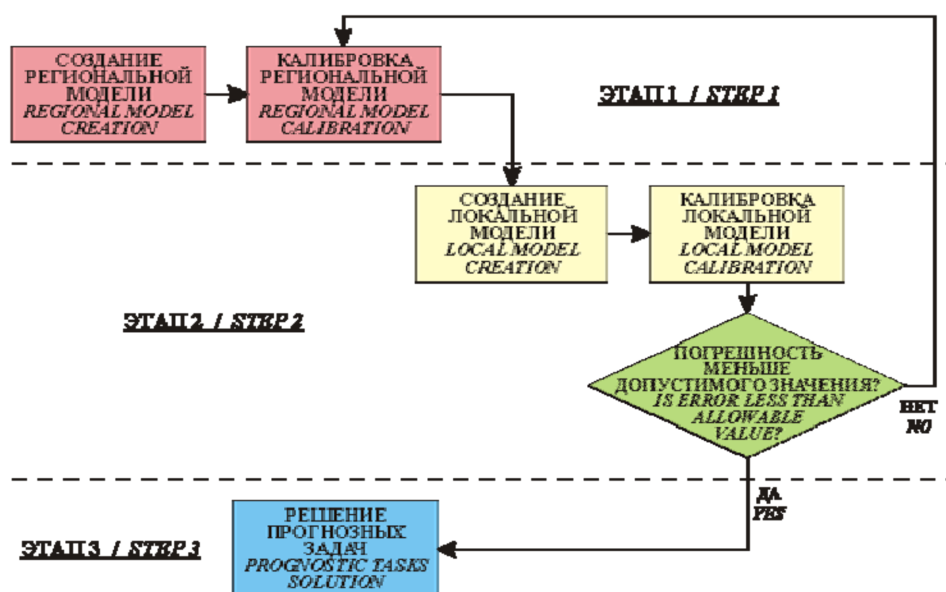
Ω – моделируемая область; $C_0(x, y, z)$ – известное распределение концентрации в начальный момент времени; $C(x, y, z, t)$ – граница с заданной концентрацией, $C(x, y, z, t)$ – значение концентрации по границе; $Q(x, y, z, t)$ – граница с заданным потоком массы вещества, $Q(x, y, z, t)$ – поток массы по границе; Γ – граница, вдоль которой происходит взаимодействие между гидрогеологическим объектом m и окружающей средой, Q_m – суммарный поток массы (за счет дисперсии и адвекции) по нормали к границе.

1. Создание математической модели гидрогеологических условий Кызылжарминского месторождения подземных вод

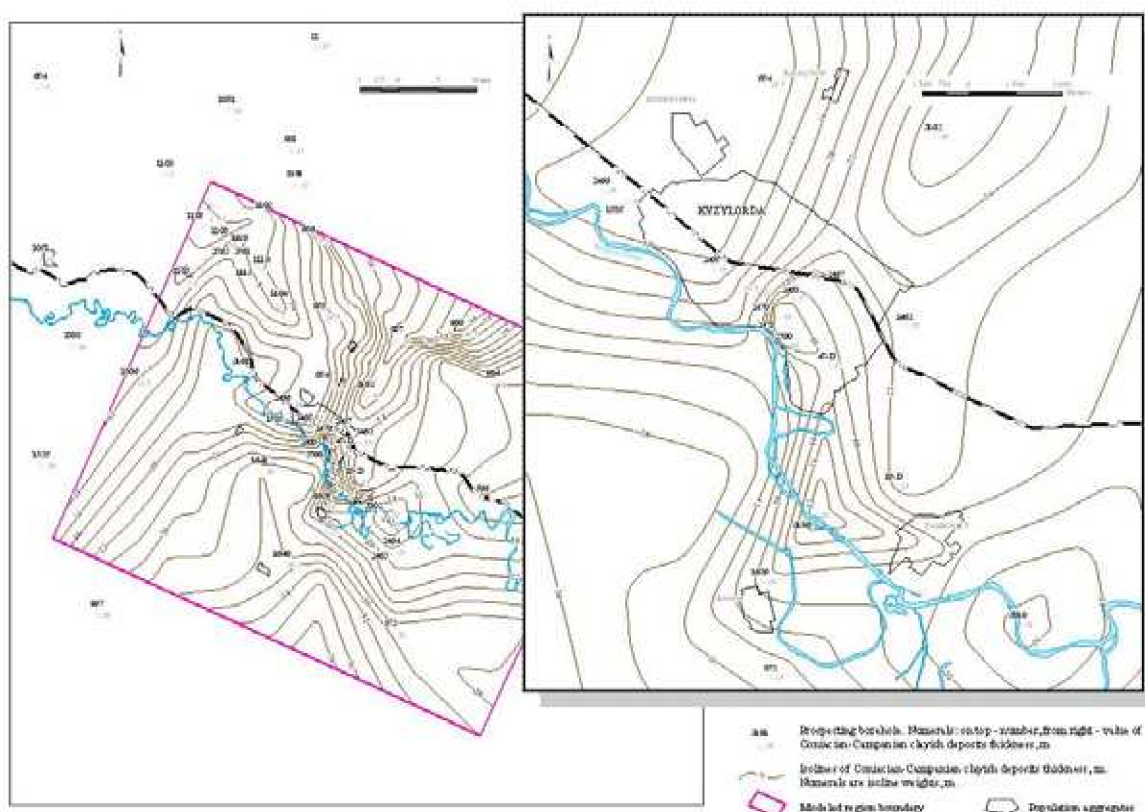
1.3 Создание математической модели

Подготовка исходных данных для моделирования включала в себя построение и оцифровку карт фактического материала, абсолютных отметок подошвы (кровли) выделенных на модели слоев, карт мощности разделяющих слоев, карт гидроизопьез, карт минерализации подземных вод. Для этого использовались *ArcGIS* и *MapInfo*. Числовые модели карт преобразовывались в специальные форматы данных, которые затем прочитывались системой моделирования *GMS*.

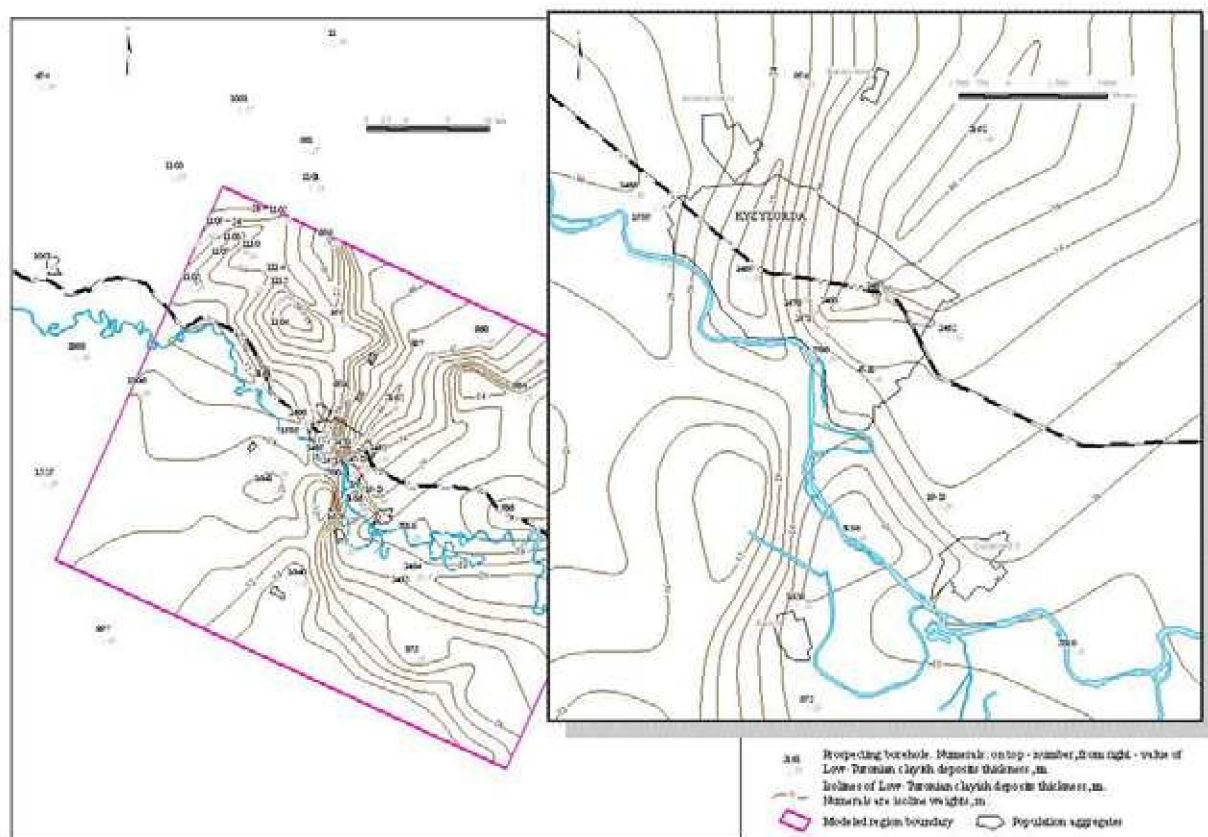
Основные этапы моделирования



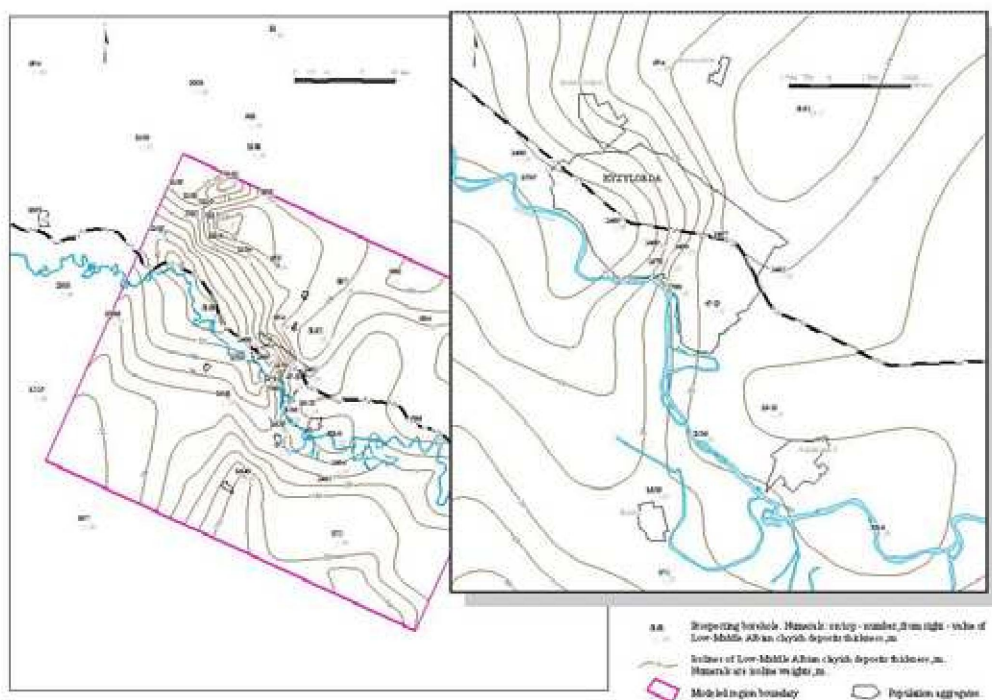
Карта мощности коньяк-кампанских глинистых отложений Кызылжарминского месторождения подземных вод



Карта мощности нижнетуронских глинистых отложений Кызылжарминского месторождения подземных вод



Карта мощности ниже-среднеальбских глинистых отложений
Кызылжарминского месторождения подземных вод



1. Создание математической модели гидрогеологических условий Кызылжарминского месторождения подземных вод

1.4 Калибровка модели

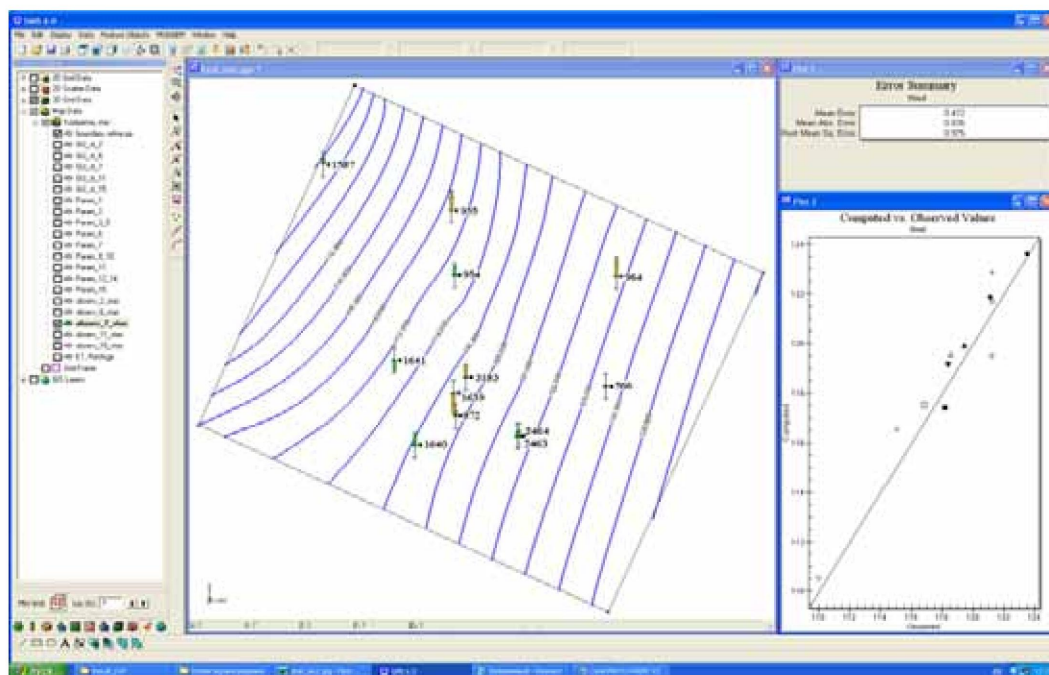
Калибровка модели включала решение обратной стационарной задачи, обратной нестационарной задачи, а также расчет и анализ балансовых составляющих потока подземных вод.

Решение обратной стационарной задачи

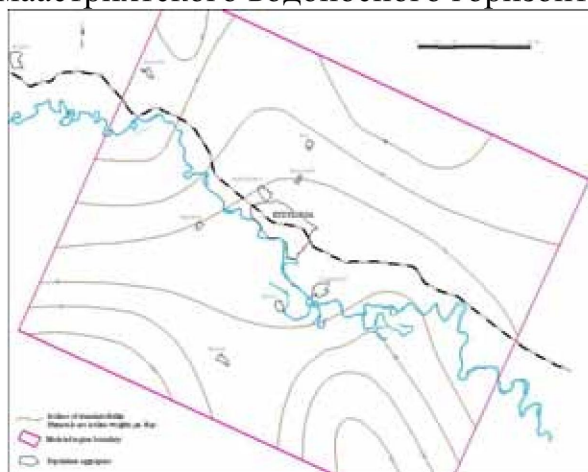
Целью решения обратной стационарной задачи являлось уточнение построенных карт водопроницаемости проницаемых слоев и коэффициентов фильтрации разделяющих их слабопроницаемых слоев. При решении обратной стационарной задачи на модели воспроизводились гидрогеологические условия, существовавшие на условно ненарушенный период по состоянию на начало 1974 года.

В качестве начальных принимались значения водопроницаемости, полученные в результате обработки опытно-фильтрационных работ. Решение повторялось до удовлетворительного совпадения расчетных и фактически замеренных по скважинам уровней. По опыту моделирования принималось, что допустимая погрешность решения задачи относительно напоров не должна превышать 10-15% от требуемых значений.

Погрешность решения обратной стационарной задачи для верхнетуронского водоносного горизонта

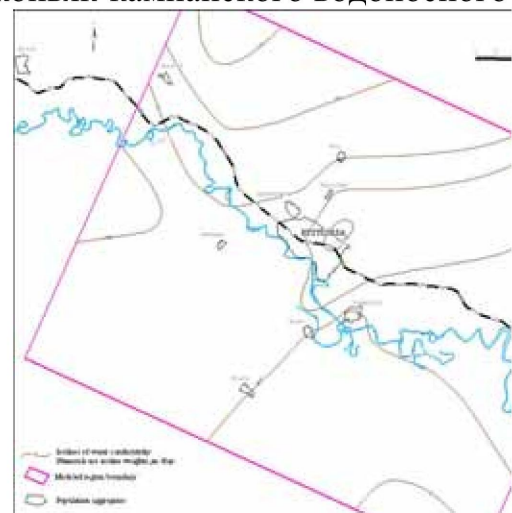


Схематическая карта водопроводимости
маастрихтского водоносного горизонта

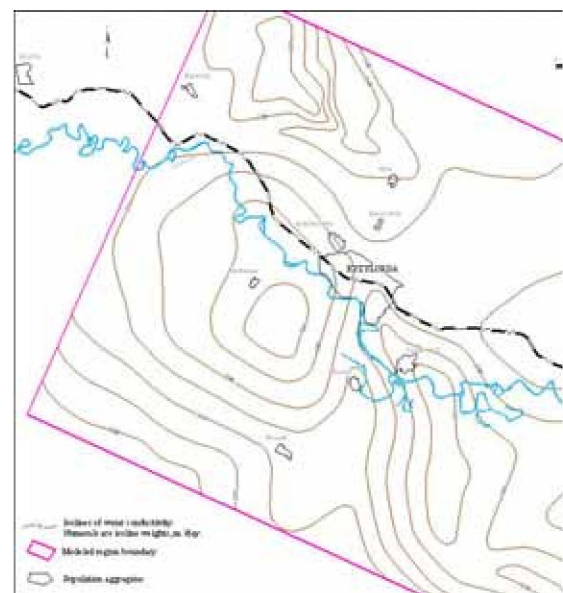
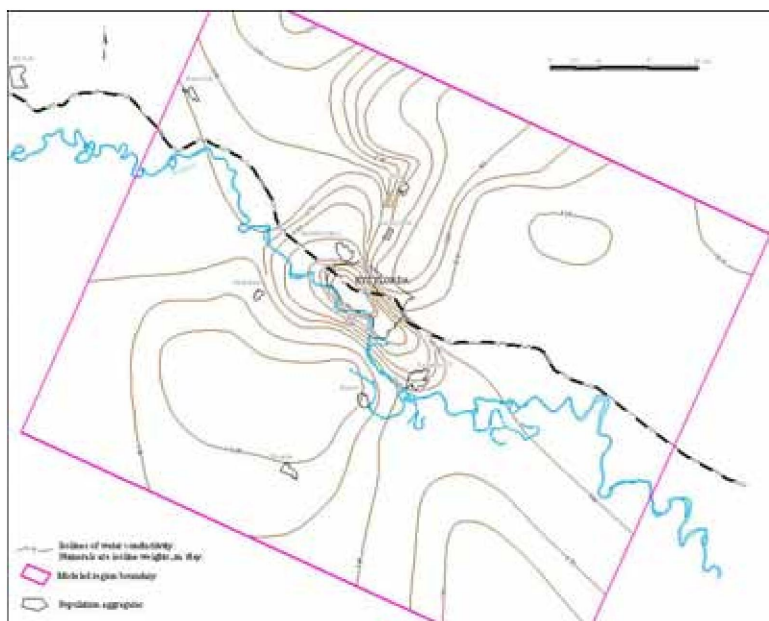


Схематическая карта водопроводимости
верхнетуронского водоносного горизонта

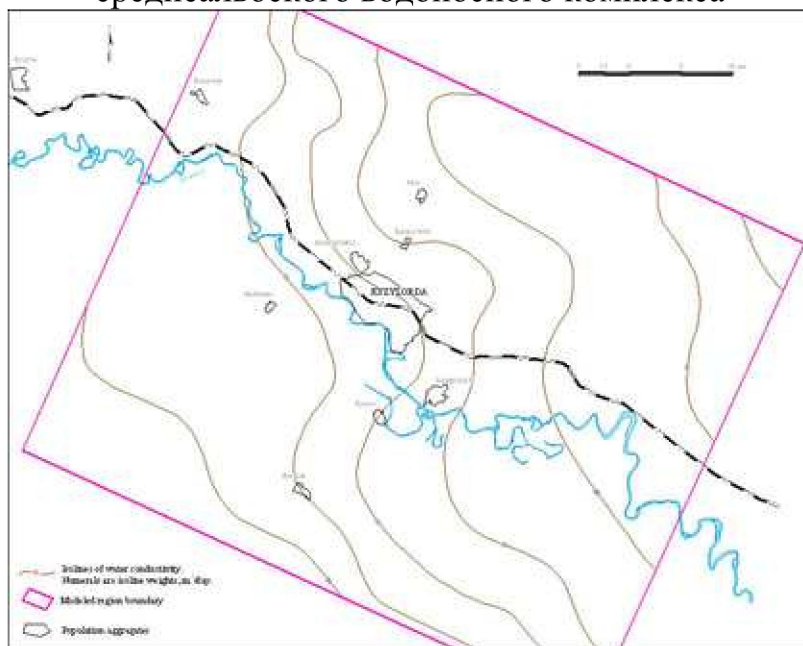
Схематическая карта водопрово
коньяк-кампанского водоносного



Схематическая карта водопрово
верхнеальб-сеноманского водоо
комплекса

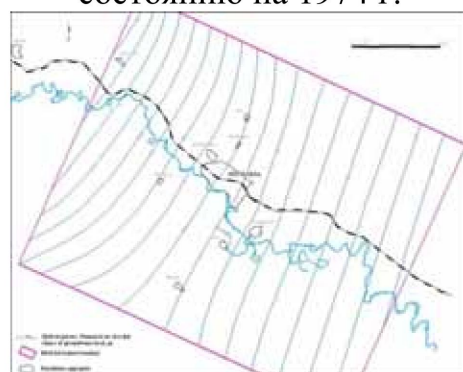


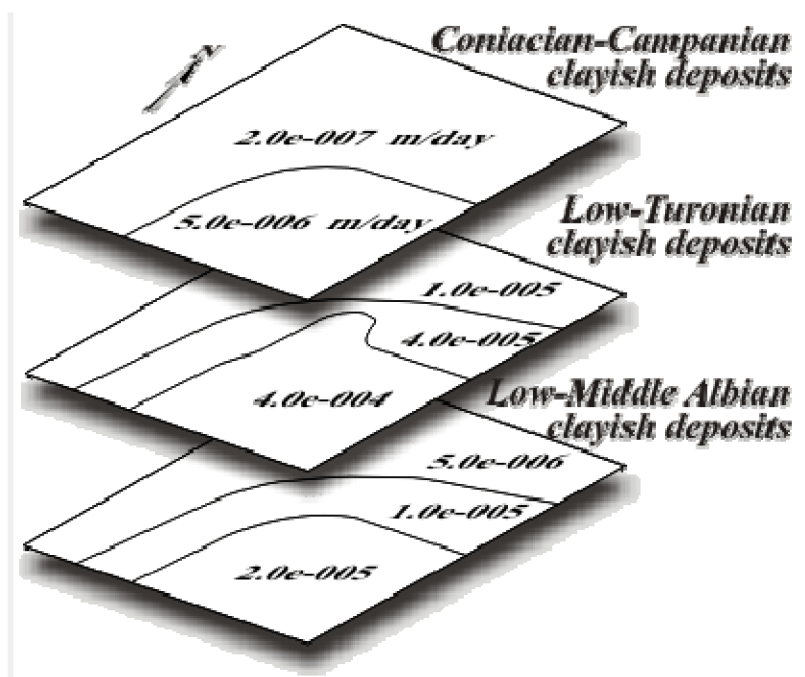
Схематическая карта водопроводимости ниже-
среднеальбского водоносного комплекса



Значения коэффициентов фильтрации
разделяющих слоев

Карта гидроизопьез
верхнетуронского
водоносного горизонта по
состоянию на 1974 г.





Подобранные по результатам решения обратной стационарной задачи значения **водопроницаемости** маастрихтского, коньяк-кампанского, верхнетуронского водоносных горизонтов, верхнеальб-сеноманского и ниже-среднеальбского водоносных комплексов не противоречат опытным данным и результатам проведенных ранее исследований.

Минимальные **коэффициенты фильтрации** ($2 \cdot 10^{-7}$ – $5 \cdot 10^{-6}$ м/сут) соответствуют слою коньяк-кампанских глинистых отложений. Для слоя нижнетуронских глин значения коэффициента фильтрации выше. Они изменяются от $4 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-5}$ м/сут. Для слоя ниже-среднеальбских глинистых отложений коэффициенты фильтрации колеблются от $5 \cdot 10^{-6}$ до $2 \cdot 10^{-5}$ м/сут. Для моделируемой области наблюдается тенденция увеличения коэффициентов фильтрации глинистых отложений с северо-запада на юго-восток. Подобранные на модели значения коэффициентов фильтрации разделяющих глинистых слоев не противоречат опытным данным и результатам проведенных ранее исследований.

Можно сделать вывод, что **точность решения обратной стационарной задачи** соответствуют предъявляемым требованиям к модели Кызылжарминского месторождения подземных вод.

Решение обратной нестационарной задачи

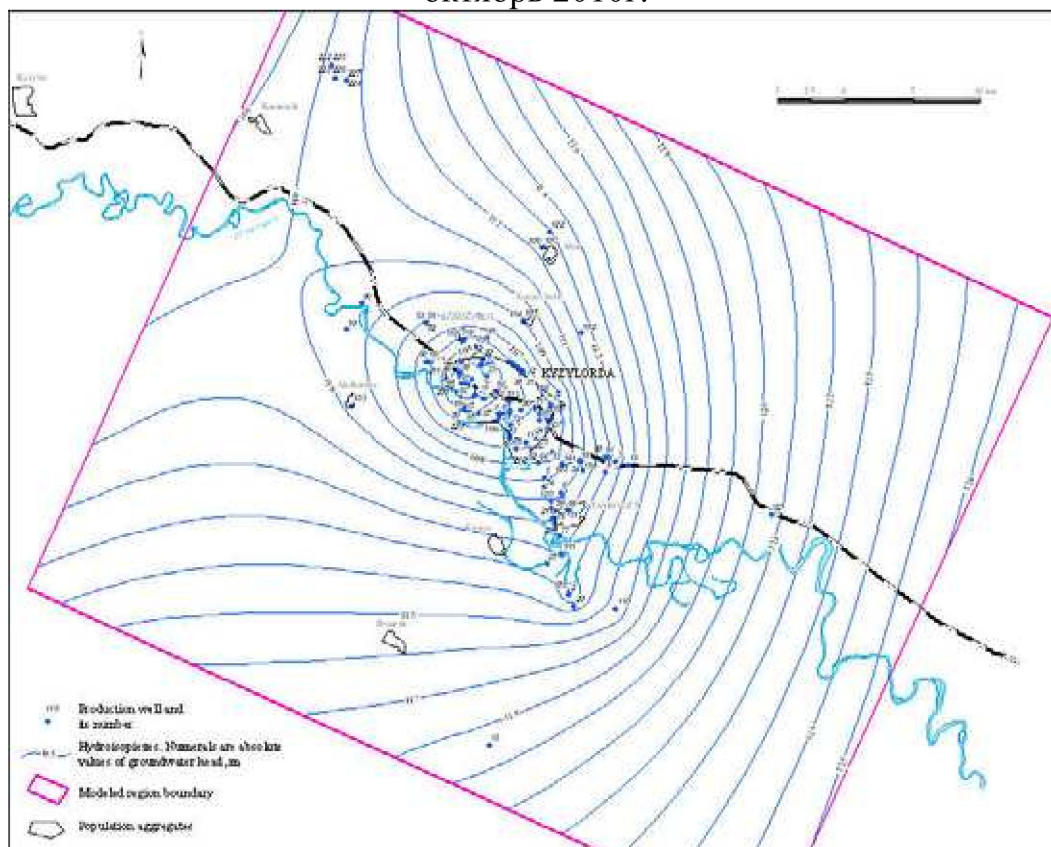
Целью решения обратной нестационарной задачи являлось уточнение упругой водоотдачи

водовмещающих пород. При ее решении на модели воспроизводилось изменение гидрогеологических условий с 1974 г. (условно ненарушенный период) по 1.10.2010 г. Шаг решения обратной нестационарной задачи – 1 год. Отбор воды эксплуатационными скважинами осуществлялся из коньяк-кампанского, верхнетуронского и верхнеальб-сеноманского горизонтов.

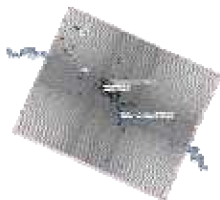
Рассчитанные на модели уровни подземных вод сравнивались с фактически замеренными по режимным скважинам. Подбирались значения коэффициента упругой водоотдачи пород. В качестве начальных принимались значения, полученные в результате обработки опытно-фильтрационных работ. Решение повторялось до удовлетворительного совпадения расчетных и фактически замеренных по скважинам уровней. По опыту моделирования принималось, что допустимая погрешность решения задачи относительно напоров не должна превышать 10-15% от требуемых значений.

Подобранные значения **коэффициента упругой водоотдачи породы** составляют: для маастрихтского водоносного горизонта – $7 \cdot 10^{-6}$ 1/м, для коньяк-кампанского водоносного горизонта – $1 \cdot 10^{-5}$ 1/м, для верхнетуронского водоносного горизонта – $1 \cdot 10^{-5}$ 1/м, для верхнеальб-сеноманского водоносного комплекса – $1.1 \cdot 10^{-6}$ 1/м, для ниже-среднеальбского водоносного комплекса – $4 \cdot 10^{-6}$ 1/м.

Карта гидроизопьез верхнетуронского водоносного горизонта по состоянию на октябрь 2010г.



Рассчитанные уровни в целом удовлетворительно **совпадают** с результатами режимных наблюдений.



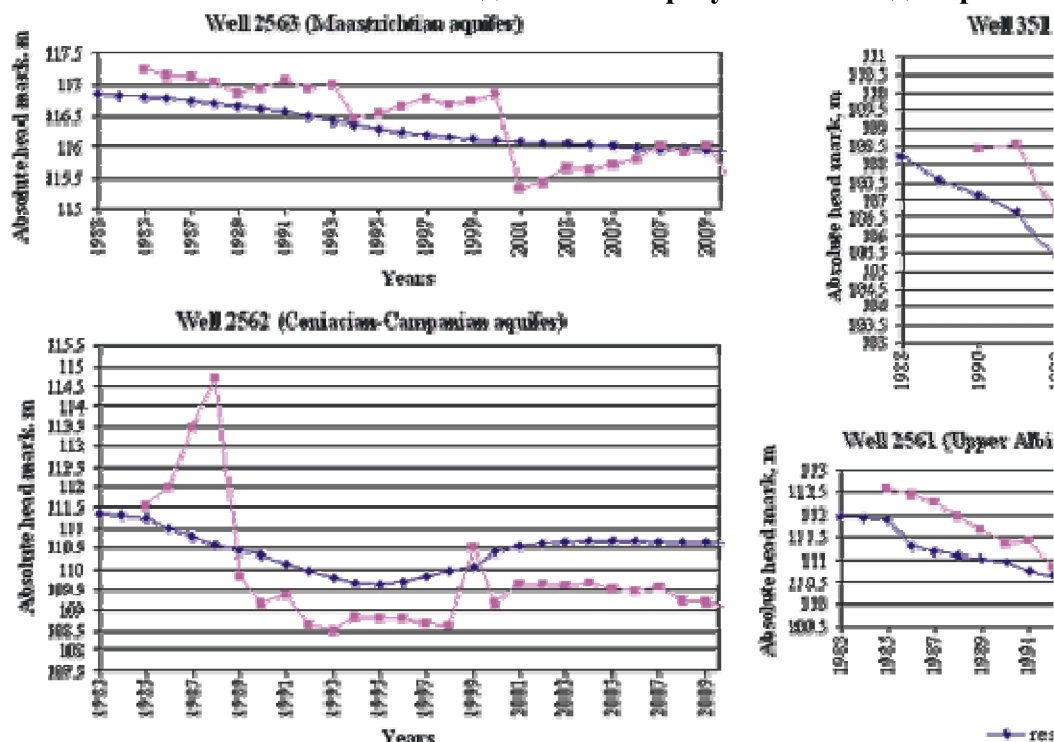
Подобранные на модели значения коэффициентов упругой водоотдачи породы не противоречат опытным данным и результатам проведенных ранее исследований.

В процессе решения обратной нестационарной задачи на модели был воспроизведен водоотбор с 1974 по 2010гг. по фактическим данным.

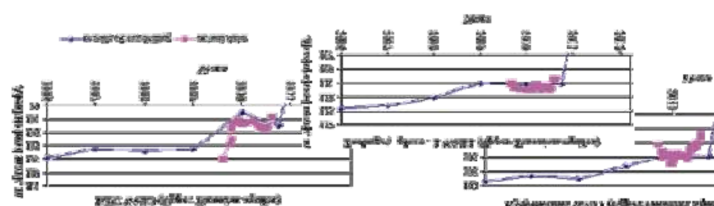
Можно сделать вывод, что точность решения обратной нестационарной задачи соответствует предъявляемым требованиям к модели Кызылжарминского месторождения подземных вод.

Модель адекватно отражает гидрогеологические условия, существовавшие на ненарушенный период (1974г.), их изменения, произошедшие в результате эксплуатации подземных вод с

Совмещенные графики изменения уровня подземных вод, построенные наблюдениям и по результатам моделирования



Совмещенные графики изменения уровня подземных вод, построенные по режимным наблюдениям и по результатам моделирования за август 2009



1974 по 2010г.
и может быть
использована для
решения
прогнозной
гидродинамической
задачи.

2. Решение прогнозной гидродинамической задачи и задачи прогноза качества эксплуатируемых подземных вод

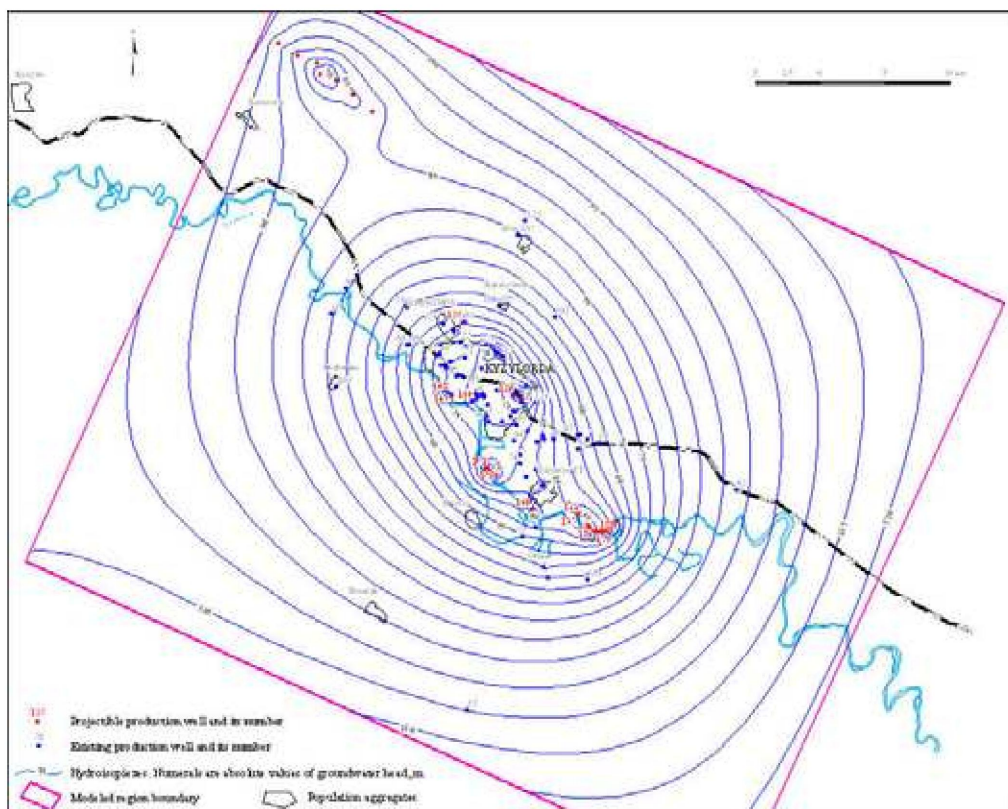
2.1 Постановка прогнозной гидродинамической задачи

Прогноз изменения гидрогеологических условий Кызылжарминского месторождения под воздействием эксплуатации подземных вод выполнялся на период с 1.10.2010г. по 16.02.2038г. Продолжительность прогнозного периода 10000 суток. Учитывалась работа **113** существующих и **67** проектируемых скважин, эксплуатирующих верхнетуронский водоносный горизонт. Суммарная производительность всех скважин порядка 100 тыс.куб м /сутки.

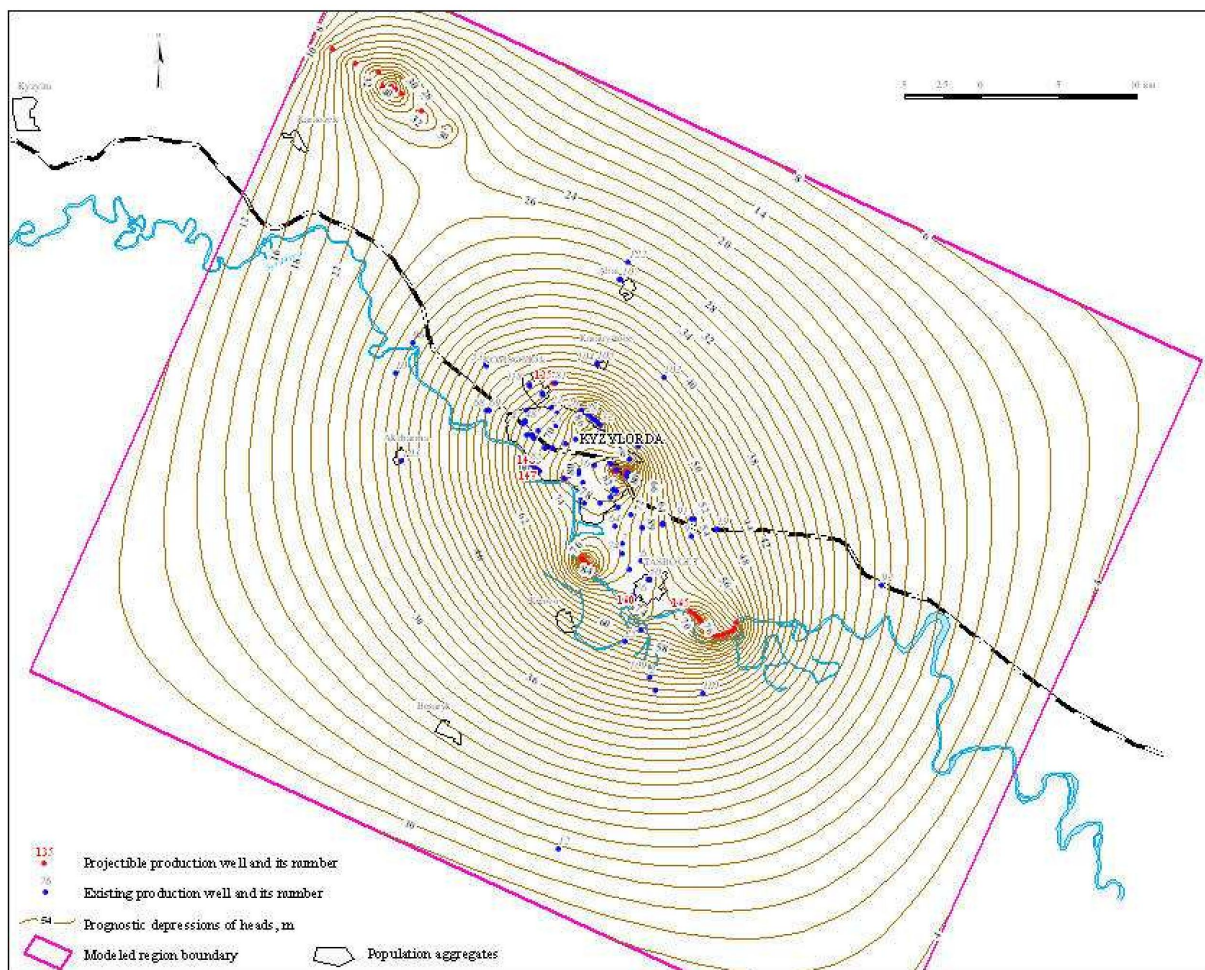
Влияние работы водозаборов, расположенных за пределами моделируемой области, учитывалось заданием соответствующих абсолютных отметок уровней по внешним границам I рода. Отметки уровней рассчитывались с учетом понижений уровней, вычисленных в соответствующих блоках региональной модели Восточного Приаралья

2.2 Решение гидродинамической задачи и расчет балансовых составляющих потока подземных вод

Прогнозная карта гидроизопьез для верхнетуронского водоносного горизонта, построенная по результатам моделирования на 16.02.2038 г.

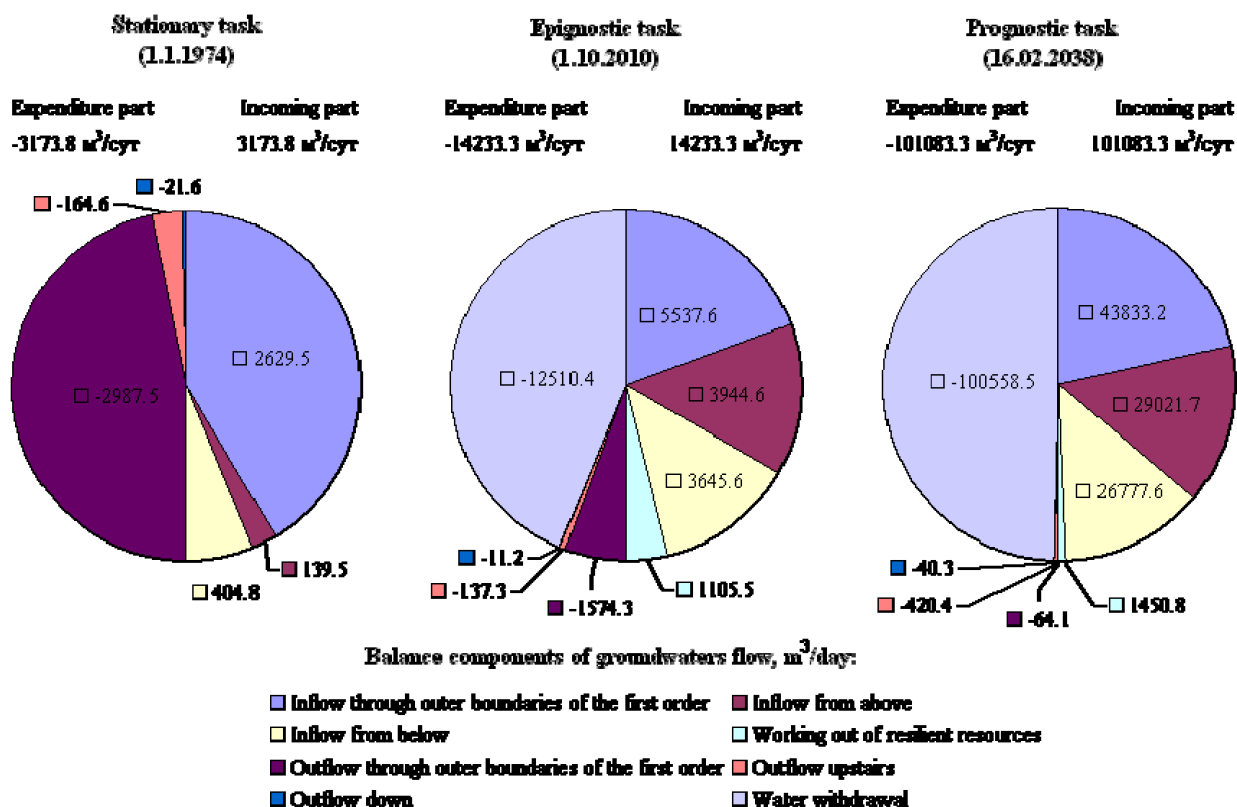


Карта прогнозных понижений напоров верхнетуронского водоносного горизонта,
построенная по результатам моделирования на 16.02.2038 г.



По результатам моделирования можно сделать вывод, что на конец прогнозного периода в эксплуатируемом верхнетуронском водоносном горизонте сформируется депрессионная воронка, охватывающая всю исследуемую область. По сравнению с 1.10.2010г. уровни понизятся на 90-100м в центре депрессионной воронки. По границам моделируемой области уровни снизятся на 4-10м. Максимальные глубины залегания динамического уровня в эксплуатационных скважинах достигнут 130 м, однако не превысят допустимых 150 м.

Диаграммы балансовых составляющих потока подземных вод для
верхнетуронского водоносного горизонта
на различные моменты времени (по результатам моделирования)



2. Решение прогнозной гидродинамической задачи и задачи прогноза качества эксплуатируемых подземных вод

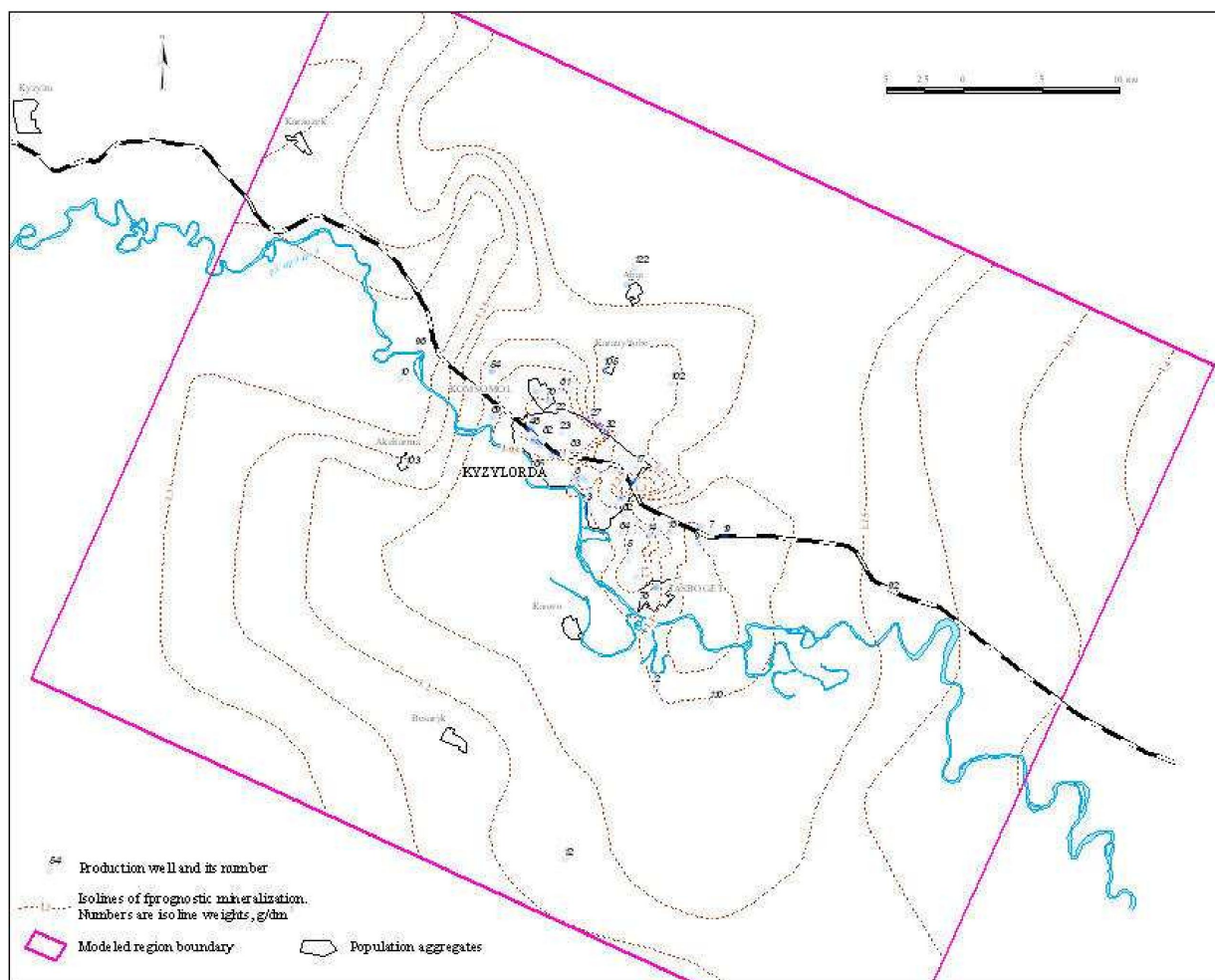
2.3 Постановка и решение задачи прогноза качества эксплуатируемых подземных вод

Ухудшение качества подземных вод эксплуатируемого верхнетуронского водоносного горизонта Кызылжарминского месторождения возможно в основном за счет перетекания солоноватых подземных вод из маастрихтского, коньяк-кампанского и верхнеальб-сеноманского горизонтов. С целью прогнозирования изменения качества подземных вод Кызылжарминского месторождения на созданной модели была решена задача переноса потоком подземных вод растворенных в ней компонентов. Для этого был использован модуль *MT3D* системы моделирования *GMS*. Математическая модель имитировала конвективный перенос растворенных в подземной воде компонентов. Считалось, что минерализация подземных вод маастрихтского

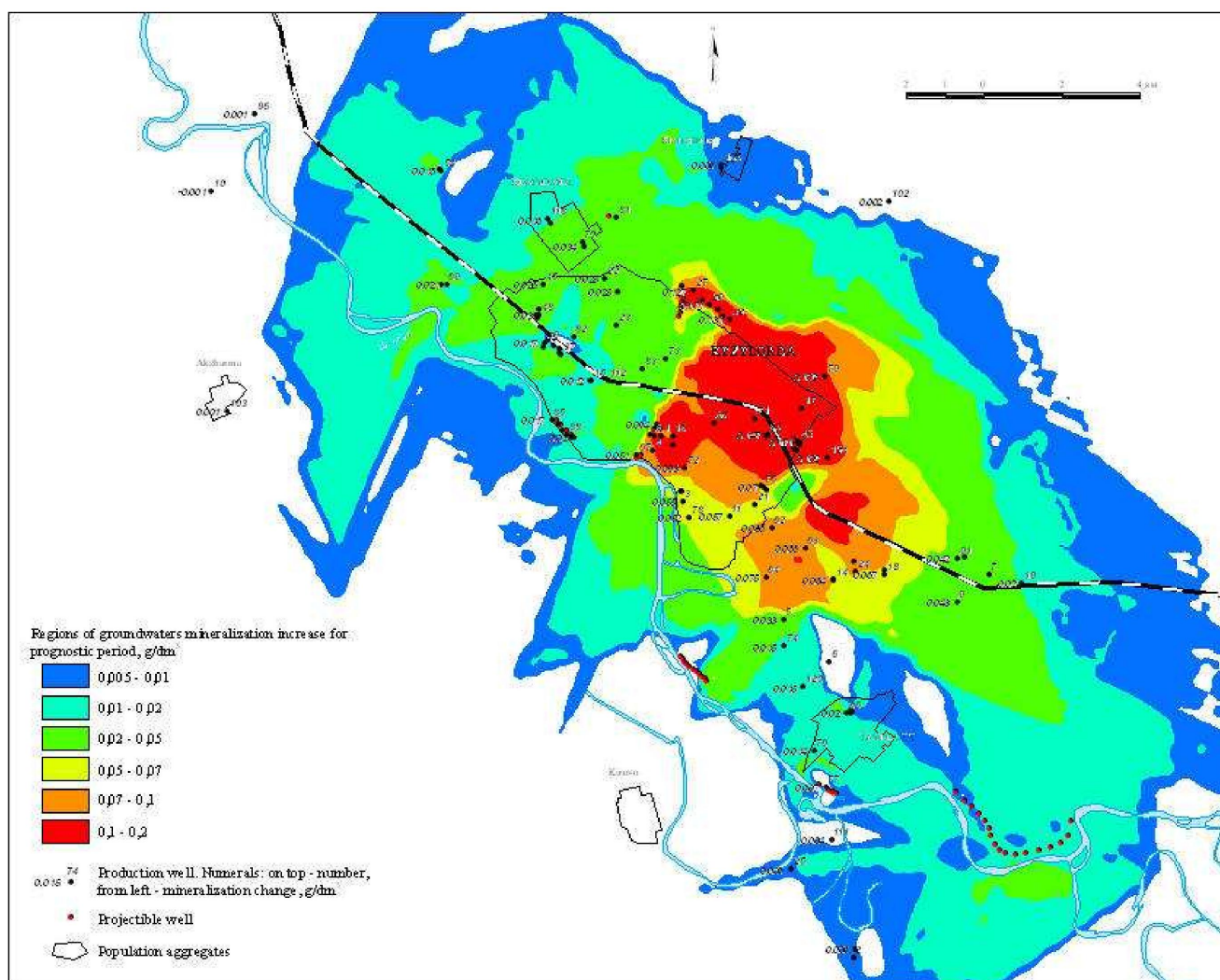
водоносного горизонта равна 4 г/дм^3 и не изменяется в процессе решения прогнозной задачи. Начальные значения минерализации подземных вод коньяк-кампанского, верхнетуронского водоносных горизонтов и верхнеальб-сеноманского водоносного комплекса для решения прогнозной задачи задавались на основании соответствующих карт, построенных на 1.10.2010 г.

Карта прогнозной минерализации подземных вод верхнетуронского водоносного горизонта была рассчитана на 16.02.2038г. Наибольшая минерализация подземных вод достигнет 1.33 г/дм^3 к концу прогнозного периода. Наибольшее увеличение минерализации (0.22 г/дм^3) будет в скважинах, для которых прогнозируется максимальная глубина залегания динамического уровня (130 м) на конец прогнозного периода.

Карта прогнозной минерализации подземных вод
верхнетуронского водоносного горизонта (по состоянию на 16.02.2038 г.)



Карта изменения минерализации подземных вод
верхнетуронского водоносного горизонта с 1.10.2010 г. по 16.02.2038 г.



Расчет концентрации сульфатов в подземных водах верхнетуронского водоносного горизонта по эксплуатационным скважинам Кызылжарминского месторождения выполнялся аналитическим методом на основе рассчитанной методом моделирования прогнозной минерализации.

По результатам расчетов можно сделать вывод, что вследствие массированного водоотбора из верхнетуронского водоносного горизонта Кызылжарминского месторождения произойдет ухудшение качества подземных вод, но их минерализация не превысит 1.5 г/дм^3 на конец прогнозного периода. Максимальная концентрация сульфатов в подземных водах достигнет $0,40 \text{ г/дм}^3$, но не превысит максимально допустимой 0.5 г/дм^3 .

Авторы

**Казахстан. Институт гидрогеологии и геоэкологии
им.У.М.Ахмедсафина Министерства образования и
науки**



*Работы по созданию
сайта были начаты
под руководством
Академика НАН РК
Веселова В.В.
(1940-2005)*



д.т.н. Паничкин В.Ю.



*профессор Сатпаев
А.Г.*



*к.т.н.
Мирошниченко О.Л.*



*к.г.-м.н. Трушель
Л.Ю.*



*к.г.-м.н. Захарова
Н.М.*



*к.г.-м.н. Калмыкова
Н.В.*



*к.г.-м.н. Винникова
Т.Н.*