

Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет имени
К.И. Сатпаева

УДК 556.3.001.33

На правах рукописи

РАХИМОВ ТИМУР АЙТКАЛИЕВИЧ

**Научно-методические принципы анализа
эксплуатации и мониторинга месторождений подземных вод с
применением ГИС-технологий и компьютерного моделирования
гидрогеологических систем**

6D075500 - Гидрогеология и инженерная геология
Диссертация на соискание ученой степени
доктора философии (PhD)

Научный руководитель
Кандидат геолого-минералогических
наук, доцент Д.К.Калитов

Республика Казахстан

Алматы 2017

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....		4
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....		5
ВВЕДЕНИЕ.....		6
1	МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	9
	1.1 Общие положения ведения гидрогеологического мониторинга	9
	1.2 Цели и задачи гидрогеологического мониторинга	11
	1.3 Основные функции, объекты наблюдения и наблюдаемые показатели системы мониторинга подземных вод	12
	1.4 Классы ведения мониторинга месторождений подземных вод.....	16
	Выводы по 1 разделу.....	25
2	ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ, ОБОСНОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	26
	2.1 Основные требования при построении геоинформационных систем	26
	2.2 Принципы построения и функционирования ГИС.....	28
	2.2.1 Систематизация исходной пространственной информации...	30
	2.2.2. Содержание тематических блоков данных	32
	2.2.3 Основные принципы составления цифровых карт	33
	2.3 Функциональная структура геоинформационной системы.....	34
	2.4 Атрибутивные и пространственные запросы к базе данных	37
	2.5 Анализа данных наблюдений оп результатам мониторинга и визуализация результатов исследований средствами ГИС.....	38
	Выводы по 2 разделу.....	44
3	ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РАЗРАБОТАННОЙ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ ГИС ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ КАСКЕЛЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	45
	3.1 Обоснование структуры математической модели.....	45
	3.2 Построение математической модели на примере Каскеленского месторождения подземных вод.....	47
	3.2.1 Общая характеристика района.....	47
	3.2.2 Геолого-гидрогеологическая характеристика месторождения	50
	3.2.3 Обоснование построения математической модели.....	57
	3.2.4 Схематизация природных гидрогеологических условий месторождения.....	58

	3.2.5 Дискретизация расчётной области.....	59
	3.2.6 Решение обратной стационарной задачи.....	63
	3.2.7 Решение прямой нестационарной задачи.....	66
	3.2.8 Решение прогнозной нестационарной задачи.....	76
	Выводы по 3 разделу.....	81
4	СИСТЕМА «ВОДОЗАБОР-ГИС-МОДЕЛЬ» ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКСПЛУАТАЦИИ И МОНИТОРИНГА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	82
	4.1 Описание автоматизированной системы мониторинга «Водозабор-ГИС-Модель»	82
	4.1.1 Состав оборудования НП.....	82
	4.1.2 Состав оборудования ДП	83
	4.1.3 Шкаф управления	85
	4.1.4 Контроллер	85
	4.1.5 Блок питания	86
	4.1.6 Модем для передачи данных по линиям связи	87
	4.1.7 Датчики температуры воздуха	87
	4.1.8 Датчик уровня воды в скважине.....	87
	4.1.9 Аккумуляторная батарея	88
	4.1.10 Требования к электропитанию	88
	4.1.11 Программное обеспечение и вывод данных на персональный компьютер диспетчерского пункта	89
	4.2 Гидрогеологическое обоснование оптимального управления эксплуатацией месторождения подземных вод на основе разработанной гидродинамической модели	92
	4.3 Рекомендации по проведению гидрогеологических исследований и обработке данных для решения задачи оптимального управления эксплуатацией действующего водозабора.....	96
	Выводы по 4 разделу.....	99
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	100
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	101

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 7.0.4-2006 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Издания. Выходные сведения. Общие требования и правила оформления

ГОСТ Р 7.0.5-2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления

ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам

ГОСТ 7.1-2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления

ГОСТ 7.11-2004 (ИСО 832:1994) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках

ГОСТ 7.12-93 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила

ГОСТ 7.80-2000 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

b – параметр перетекания;
 $h(x,y,z)$ - напор подземных вод (УПВ), м;
 H, h - напор подземных вод, м;
 K – коэффициент фильтрации, м/сутки;
 K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} - коэффициенты фильтрации по направлению координатных осей x, y, z ;
 L - длина / ширина блока, м
 M – мощность донных отложений водотока;
 Q – расход скважины (водозабора), м³/сутки
 $Q_{исп}$ - суммарное испарение;
 $Q_{ос}$ - инфильтрация атмосферных осадков;
 $Q_{пов.}$ - инфильтрация поверхностного стока;
 $Q_{пр}$ - приток подземных вод по внешним границам;
 S – понижение, м
 SQL – structured query language — язык структурированных запросов;
 S_s - коэффициент водоотдачи пласта;
 T – водопроницаемость горизонта, м²/сут;
 W - источник или сток подземных вод в пределах области фильтрации (скважина, инфильтрация, испарение, перетекание), м³/сут;
 x, y, z – Декартова система координат;
 μ^* - коэффициент упругоёмкости или водоотдачи пласта (безразмерный);
 Ω - моделируемая область;
БВ- блок верификации;
БД – база данных;
БО – блок оптимизации;
БС – блок сопоставления;
ГИС – геоинформационные системы;
ГОСТ – государственный стандарт;
ДП – диспетчерский пункт;
НП – наблюдательный пункт;
МОД – модель;
МПВ – месторождение подземных вод;
МС – мониторинговая сеть;
ПВ - подземные воды;
ПДМ – постоянно действующие модели;
ПК – персональный компьютер;
ПО – программное обеспечение;
РК – Республика Казахстан;
СП – санитарные правила;
СПЕЦГЕО – спецгеологоразведка;
СУБД – система управления базами данных;
ЭЗПВ – эксплуатационные запасы подземных вод;

ВВЕДЕНИЕ

Одним из препятствий интенсивного развития Республики Казахстан и использования ее богатейших природных ресурсов является отсутствие крупных источников пресной воды. Большая часть территории Казахстана расположена в аридной зоне, в условиях дефицита поверхностных водных источников. Проблема водоснабжения населения качественной питьевой водой во многих регионах стоит особенно остро и одним из путей ее решения является более широкое использование ресурсов подземных вод. В процессе их изучения, поиска, оценки и мониторинга, а также решения ряда других прикладных задач в настоящее время широко используются методы ГИС-технологий и математического моделирования [1-4]. Важнейшим этапом моделирования является создание ГИС-базы данных и ее применения для обоснования адекватности модели природным условиям. Разработка методики, адаптированной к геолого-гидрогеологическим условиям Казахстана, а так же научно обоснованных методов организации и повышения эффективности функционирования систем эксплуатации подземных вод, построения ГИС-систем и гидрогеологических моделей является актуальной тематикой проведенных исследований. Особенно актуальна проблема создания систем мониторинга водных ресурсов, в первую очередь подземных вод как наиболее важных для обеспечения жизнедеятельности человечества. При мониторинге водных ресурсов собираются и обрабатываются данные для оценки состояния окружающей среды, путем оценки влияния водоотбора на подземные воды и возможном загрязнении или изменении химического состава. К таким исследованиям относятся геофизические, гидрологические, гидро-геохимические исследования с применением различных методов для их оценки. Их результаты представляются в виде наборов атрибутивной и пространственной информации, которую следует в рамках той или иной системы мониторинга хранить, анализировать и отображать в удобном для пользователя виде. Учитывая тенденции развития современных информационных технологий, решать поставленные задачи мониторинга следует с применением геоинформационного подхода, который заключается в применении геоинформационных систем (ГИС) для создания технологий обработки результатов наблюдений в виде атрибутивных и пространственных данных. В настоящее время сделаны только первые шаги в разработке таких геоинформационных технологий [5-10].

Важным аспектом проблемы организации мониторинга подземных вод является необходимость решать задачи прогноза состояния геологической среды и находящихся в ней водных ресурсов, которые подвергаются техногенному воздействию. Для этого в рамках детерминированного подхода к ведению мониторинга подземных вод применяются методы математического моделирования, набор которых в настоящее время достаточно велик.

Актуальность работы. Вышеизложенное позволяет считать, что, несмотря на достигнутые результаты в области разработки и ведения систем гидрогеологического мониторинга, актуальной является задача создания и

применения современных технологий для ведения автоматизированного мониторинга подземных вод на месторождении, увязки полученной информации для последующего моделирования гидродинамических процессов в геологической среде, позволяющей, в рамках рационального геоинформационного подхода, оценивать и прогнозировать состояние подземных вод на перспективу, в том числе и на постоянно действующих гидродинамических моделях.

Цель работы. Основной целью диссертационной работы является разработка современных методов получения и обработки информации для ведения мониторинга и анализа эксплуатации месторождений подземных вод с применением ГИС-технологий и компьютерного моделирования.

Основные задачи исследований. Для реализации поставленной цели решены следующие задачи:

1. Определены принципы построения и структура ГИС для ввода, хранения, обработки, анализа данных мониторинга гидрогеологической среды с целью прогноза ее состояния для обеспечения безопасного функционирования гидрогеологической системы.

2. Разработаны основные научно-методические принципы создания баз данных, на основе которых проводится построение гидродинамических моделей и выполняется анализ эксплуатации гидрогеологических систем.

3. Разработана система «Водозабор-ГИС-Модель» позволяющая вести удаленный мониторинг на месторождении или участке водозабора, для решения ряда практических гидрогеологических задач.

4. Показаны результаты применения системы в рамках выполнения работ по доразведке с целью переоценки эксплуатационных запасов подземных вод на примере Каскеленского месторождения.

Научную новизну полученных в работе результатов определяют:

1. Принципы построения структуры баз данных для ведения гидрогеологического мониторинга месторождений подземных вод в программном комплексе ArcGIS.

2. Алгоритмы построения геофильтрационных моделей месторождений подземных вод на базе современного программного комплекса VisualModFlow и его постпроцессоров.

3. Результаты исследования эффективности применения системы «Водозабор-ГИС-Модель» для проведения гидрогеологического мониторинга, и анализа эксплуатации подземных вод на месторождениях.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Практически значимыми являются созданные алгоритмы построения ГИС и математических моделей. Разработанные научно-исследовательские принципы успешно используются и внедрены при выполнении работ по заказу Комитета Геологии Министерства Инвестиций и Развития Республики Казахстан, в рамках доразведки с целью переоценки эксплуатационных запасов подземных вод для ряда месторождений, в системе ведения государственного мониторинга подземных вод, а так же для мониторинга гидрогеологических параметров предвестников землетрясений в скважинах специализированной режимной

сети. Результаты, полученные в данной работе, могут быть применены в различных областях, для решения ряда практических задач, обоснования геолого-гидрогеологической базы данных для будущих исследований в области эксплуатации подземных гидросооружений, разработки недр, ведении мониторинга при выявлении предвестников землетрясений, химическом, бактериологическом и других видах загрязнений подземных вод.

Положения, выносимые на защиту

1. Разработанная структура базы данных ГИС, построенная на основе программного обеспечения ArcGIS как основа для анализа и обработки результатов гидрогеологического мониторинга и построения геофильтрационной модели;

2. На базе построенной гидрогеологической модели в программном комплексе Visual Modflow, разработанный алгоритм оптимизации работы эксплуатационных водозаборов.

3. Разработанная автоматизированная система «Водозабор-ГИС-Модель» для ведения наблюдений за изменением параметров состояния подземных вод режимной сети.

Апробация работы. Результаты работ докладывались на 10 международных конференциях, которые состоялись в Австралии, Грузии, России, Казахстане. Результаты математического моделирования прошли апробацию и защиту на межрегиональной комиссии по запасам Комитета геологии и недропользования РК, соответствие математической модели природным гидрогеологическим условиям подтверждено независимым экспертом в области гидрогеологии.

Личный вклад автора заключался непосредственно в выполнении экспериментальной части работы, участии в анализе, обобщении и интерпретации полученных результатов.

Публикации. В результате исследований по теме диссертационной работы было опубликовано, в соавторстве 13 статей, в том числе 1 в международном журнале, входящем в базу данных Scopus (Metallurgical and mining industry), 3 статьи в республиканских специализированных изданиях, рекомендованных комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, а так же материалы и тезисы 9 докладов на республиканских и международных конференциях, форумах и конгрессах, в том числе на Международном Геологическом Конгрессе в Австралии.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 109 страницах машинописного текста и включает введение, 4 раздела и заключение, 12 таблиц, 19 рисунков, список использованных источников из 94 наименований.

1 МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

1.1 Общие положения ведения гидрогеологического мониторинга

Под геологической средой понимается верхняя часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамичная система, находящаяся под воздействием инженерной деятельности человека, и которая, в свою очередь, в известной степени определяет эту деятельность [11]. Подземные воды, являющиеся одновременно частью геологической среды и частью общих водных ресурсов, представляют собой ценнейшее полезное ископаемое, использование которого для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения, а в отдельных случаях и для технических нужд, с каждым годом возрастает. В условиях постоянно нарастающей антропогенной нагрузки на природную среду и прогрессирующего загрязнения поверхностных вод, расширение использования подземных вод не имеет альтернативы. Постоянное увеличение антропогенной нагрузки на природную среду и, в том числе, на подземную гидросферу, может приводить и приводит к загрязнению и истощению подземных вод. Кроме того, отбор подземных вод из недр может вызывать изменения других компонентов природной среды (ландшафтов, поверхностных вод и др.) и может являться причиной возникновения или активизации негативных экзогенных геологических процессов [12].

Наиболее эффективным методом обеспечения рационального использования подземных вод, контроля состояния подземных вод и взаимосвязи с различными компонентами окружающей природной среды, а также получения необходимой информации для обоснования и принятия управляющих решений - является создание системы и проведения мониторинга месторождений подземных вод. Мониторинг представляет собой систему наблюдений и сбора информации, оценки и прогнозирования пространственно-временных изменений состояния месторождения под воздействием антропогенных и природных естественных факторов. Мониторинг месторождений подземных вод (МПВ) является одной из разновидностей мониторинга подземных водных объектов [12,13].

Специфичность проведения мониторинга месторождений подземных вод предопределяет своеобразие в понятии запасов подземных вод. В отличие от запасов твердых полезных ископаемых (статических запасов) или извлекаемых запасов нефти и газа в месторождениях углеводородов, в гидрогеологии принято понятие эксплуатационных запасов, т.е. количество подземных вод, которое может быть получено в пределах месторождения с помощью водозаборных сооружений, размещение которых обосновано с геолого-технических позиций при заданном режиме и условиях эксплуатации, а также количества воды, удовлетворяющего требованиям ее целевого использования, с учетом природоохранных ограничений [14]. Необходимо так же учитывать, что эксплуатационные запасы подземных вод (ЭЗПВ) не только формируются естественным путем за счет использования части естественных запасов и ресурсов или искусственных запасов и ресурсов при изменении водохозяйственной обстановки в зоне влияния МПВ, но могут формироваться в

процессе эксплуатации месторождений (привлекаемые ресурсы). Поскольку ЭЗПВ могут возобновляться и формироваться в процессе эксплуатации МПВ, их количественная оценка определяется в соответствии с заявленной потребностью в воде и на определенный срок эксплуатации МПВ.

Учитывая взаимосвязь эксплуатируемого водоносного горизонта с сопредельными водоносными горизонтами, поверхностным стоком и атмосферными осадками, а также возможность трансформации естественных граничных условий при вводе месторождения в эксплуатацию, необходимо проведение наблюдений за режимом подземных вод, на основании которого возможно составление модели эксплуатируемого месторождения, обеспечивающее количественную оценку эксплуатационных запасов и предоставляющее возможность прогнозирования соответствия качества добываемых подземных вод их целевому назначению на весь срок эксплуатации месторождения [15].

Эксплуатация месторождений подземных вод – вопрос комплексный, здесь связываются воедино экономика, геология, гидрогеология, современные средства проведения изысканий и обработки исходных данных, применение методов математического моделирования при выполнении расчетов, по результатам которых принимаются оптимальные решения и инженерные рекомендации. Наиболее актуальны вопросы рационального использования подземных вод в регионах, где запасы их ограничены. Это особенно относится к аридным районам Казахстана, где пресные подземные воды практически отсутствуют, а для хозяйственно-бытового водоснабжения используются слабоминерализованные подземные воды. Под рациональным использованием ресурсов подземных вод понимаем выбор на основе выявленных критериев (зависящих от ряда факторов, в том числе и экономических) такого варианта размещения и режима работы водозабора (или водозаборов), при котором достигается поставленная цель водоотбора и заданная гидрогеологическая и экологическая обстановка. В этом случае, в задачи мониторинга и эксплуатации подземных вод входят следующие положения:

- определение предельных понижений уровней воды в водозаборных скважинах на расчетный срок эксплуатации.

- определение планируемого суммарного водоотбора из скважин водозабора.

Режим подземных вод - закономерное изменение во времени уровня, температуры, химического и газового составов подземных вод под влиянием естественных и искусственных факторов. Мониторинг дает знания о режиме подземных вод. По данным мониторинга подземных вод дают общие рекомендации по среднегодовому оптимальному режиму работы водозабора. Кроме того, на стадии эксплуатации месторождения одной из важных задач является переоценка эксплуатационных запасов подземных вод, основными данными для выполнения которой, так же являются анализ опыта эксплуатации месторождения и результаты мониторинга подземных вод месторождения в период эксплуатации. При проведении работ по переоценке возможно расширение водозабора путем бурения новых скважин на месте старых, с

увеличением производительности участка/ов добычи. Новые условия водоотбора, совместное использование других водоносных горизонтов, изменение граничных условий в процессе расширения депрессионной воронки и другие факторы приводят к изменению выработанного долгосрочного оптимального варианта эксплуатации месторождения. Возникает необходимость в регулировании эксплуатации месторождения путем сохранения оптимального режима эксплуатации при заданном суммарном водоотборе. В таких случаях управление месторождением осуществляется на основе информации, полученной путем создания геоинформационной системы и математической модели месторождения подземных вод.

Мониторинг месторождений и участков водозаборов питьевых подземных вод представляет собой систему [12]:

- регулярных наблюдений за подземными водами, водозаборными сооружениями, а также за отдельными компонентами окружающей природной (в том числе, геологической) среды, в границах соответствующих подземных водных объектов, на которые оказывает влияние эксплуатация водозаборных сооружений; регистрации наблюдаемых показателей и обработки полученной информации.

- оценки пространственно-временных изменений состояния подземных вод и связанных с ними компонентов окружающей природной среды на основе полученных в процессе мониторинга данных

- прогнозирования изменения состояния подземных водных объектов под влиянием водоотбора и других антропогенных и природных факторов, а также предупреждение о вероятных изменениях состояния подземных вод и необходимой коррекции режима эксплуатации.

Таким образом, в настоящей работе под мониторингом месторождений подземных вод понимается система, охватывающая как собственно водозаборы месторождения, так и зону существенного влияния от их эксплуатации, а также и другие компоненты природной, в том числе геологической, среды, оказывающие влияние на формирование эксплуатационных запасов подземных вод и (или) испытывающие воздействие их отбора.

1.2 Цели и задачи гидрогеологического мониторинга

Основной целью мониторинга месторождений подземных вод является информационное обеспечение процессов управления эксплуатацией подземных вод, их охраны от загрязнения и истощения, предотвращения негативных последствий влияния водоотбора на окружающую среду, а также контроль за соблюдением требований, установленных при предоставлении недр для добычи подземных вод.

Для реализации указанной цели в системе мониторинга месторождений подземных вод осуществляется решение следующих основных задач [12]:

- оценка состояния месторождения подземных вод, включая зону существенного влияния его эксплуатации, а также связанных с ним других

компонентов окружающей природной среды и соответствия этого состояния требованиям нормативов, стандартов и лицензионных соглашений.

- составление краткосрочных и долгосрочных прогнозов изменения состояния месторождения;

- разработка рекомендаций по рационализации эксплуатации подземных вод и предотвращению или ослаблению негативных последствий отбора подземных вод, а также техногенного воздействия на подземные воды;

- выдача информации о состоянии месторождения подземных вод и взаимосвязанных с ним компонентов окружающей природной среды;

- контроль и оценка эффективности мероприятий по рациональному использованию подземных вод и их охране от загрязнения и истощения.

Одной из актуальных гидрогеологических проблем является охрана пресных подземных вод от загрязнения, поскольку они представляют собой важнейший источник питьевого водоснабжения. Поэтому изучение условий загрязнения, оценка их масштабов, изучение закономерностей движения загрязняющих веществ в геологических структурах относятся к числу основных задач мониторинга подземных вод [16].

Качество питьевых вод определяется, как правило, следующими показателями: бактериологическими, органолептическими и изменениями химического состава. Основные типы загрязнения подземных вод [17-20]:

- химическое (увеличение общей минерализации подземных вод, рост концентрации отдельных микро- и макрокомпонентов, появление в подземных водах несвойственных им минеральных и органических соединений);

- бактериологическое (появление в воде патогенных и санитарно-показательных микроорганизмов);

- тепловое (увеличение температуры подземных вод может быть обусловлено, во-первых, фильтрацией с поверхности сточных нагретых вод, во-вторых, закачкой в глубокие водоносные горизонты промышленных сточных вод, в-третьих, влиянием населенного пункта в целом);

- радиоактивное (повышение содержания в подземных водах радиоактивных веществ с различным периодом полураспада).

Сбор и последующий анализ информации по качеству подземных вод осуществляется в рамках гидрогеологического мониторинга по основным нормируемым показателям [19,12].

1.3 Основные функции, объекты наблюдения и наблюдаемые показатели системы мониторинга подземных вод

С учетом сформулированных целей и основных задач мониторинг месторождений подземных вод в общем случае включает выполнение следующих функций:

1. Проведение систематических наблюдений с целью получения данных, характеризующих:

- водоносные горизонты и заключенные в них подземные воды;

- техногенную нагрузку на месторождение, в т.ч. величину и режим отбора подземных вод водозаборными сооружениями и поступления воды в водоносные горизонты при искусственном пополнении запасов подземных вод;
- компоненты окружающей природной среды, испытывающие влияние эксплуатации подземных вод или влияющие на подземные воды, в т.ч. поверхностные водные объекты;
- экзогенные процессы, возникающие или изменяющиеся при эксплуатации подземных вод;
- техническое состояние водозаборных сооружений и сооружений по искусственному пополнению запасов подземных вод;
- состояние зон санитарной охраны водозаборов подземных вод, источников антропогенного загрязнения подземных и поверхностных вод.

2. Документацию данных наблюдений;

3. Сбор материалов наблюдений других систем мониторинга (метеоусловия, поверхностные воды и др.);

4. Первичную обработку и обобщение данных наблюдений и учета отбора подземных вод;

5. Подготовку и ведение информационных баз данных, обеспечивающих оценку состояния месторождения, его пространственно-временных изменений за период наблюдений и проведение прогнозов его изменения на краткосрочную и долгосрочную перспективу;

6. Текущую оценку изменения состояния месторождения подземных вод и отдельных компонентов окружающей природной среды и контроль за результатами ранее выполненных прогнозов;

7. Регулярное прогнозирование изменения состояния наблюдаемых объектов;

8. Разработку рекомендаций по рационализации системы эксплуатации подземных вод и предотвращению ее негативных последствий;

Система мониторинга месторождений подземных вод в общем случае включает в себя две взаимосвязанные подсистемы:

а) подсистему проведения наблюдений и их документации, а также сбора данных наблюдений мониторинга других компонентов окружающей природной среды;

б) подсистему обработки информации и прогнозирования.

Подсистема проведения наблюдений и их документации, сбора данных наблюдений мониторинга других компонентов окружающей природной среды включает в себя наблюдения за объектами, перечисленными в п.1-8. Кроме того, в отдельных случаях дополнительными объектами наблюдений могут быть зона аэрации, слабопроницаемые разделяющие отложения и метеорологические условия.

Все проводимые в системе мониторинга месторождений подземных вод наблюдения можно разделить на две группы - стандартные (обязательные), осуществляемые на всех или в большинстве месторождений, и специальные (дополнительные) - проводимые на отдельных месторождениях и требующие специальных видов исследований, в ряде случаев - нестандартного,

оборудования и организации специальных пунктов наблюдений. В таблицы 1.1 и 1.2 были сведены стандартные и специальные объекты наблюдений и наблюдаемые показатели.

Документация наблюдений должна включать журналы учета добываемых из недр подземных вод и подаваемых на сооружения для искусственного пополнения поверхностных вод и журналы наблюдений за уровнем, качеством и температурой подземных вод по всем пунктам наблюдений, а также - наблюдений за другими объектами, входящими в систему мониторинга.

Таблица 1.1 - Стандартные объекты наблюдения и наблюдаемые показатели системы мониторинга подземных вод

№ п.п.	Объект наблюдения	Пункты наблюдений	Наблюдаемые показатели
1	Эксплуатируемый водоносный горизонт	Водозаборные сооружения (скважины, колодцы, галереи, каптируемые источники)	- величина отбора воды, дебиты водозаборных сооружений; - уровень подземных вод; - химический состав; - физические свойства и температура подземных вод
		Наблюдательные пункты (скважины, колодцы, неиспользуемые источники)	- уровень подземных вод; - химический состав; - физические свойства и температура подземных вод; - дебит родников.
2	Смежные и первый от поверхности водоносные горизонты	Наблюдательные пункты такие же, что и в эксплуатируемом горизонте	- уровень подземных вод; - химический состав; - физические свойства и температура подземных вод; - дебит источников.
3	Поверхностные водоёмы и водотоки	Гидрометрические створы	- расходы и уровни поверхностных вод; - химический состав; - физические свойства и температура; - водоотбор и сброс; - перемерзание и пересыхание.
4	Техническое состояние водозаборных и наблюдательных скважин	Водозаборные и наблюдательные скважины	- состояние устьев, фильтров и обсадных труб водозаборных и наблюдательных скважин; - состояние насосного оборудования; - мутность откачиваемой воды.
5	Состояние зоны санитарной охраны	Территория ЗСО	- санитарное состояние территории; - соблюдение регламента хозяйственной деятельности; - потенциальные антропогенные источники загрязнений.
6	Сооружения для искусственного пополнения запасов подземных	Сооружения для искусственного пополнения - инфильтрационные	- величина подачи воды в инфильтрационные бассейны или нагнетательные скважины; - расход инфильтруемой воды;

вод	бассейны, нагнетательные скважины и т.д. Система подачи воды.	- химический состав воды; - физические свойства (в т.ч. мутность) инфильтруемой воды, ее температура; - состояние фильтрующего слоя на дне бассейна и его закальматированность. Состояние устьев, фильтров и обсадных труб нагнетательных скважин.
-----	---	---

Таблица 1.2 - Специальные объекты наблюдения и наблюдаемые показатели системы мониторинга подземных вод

№ п.п.	Объект наблюдения	Пункты наблюдений	Наблюдаемые показатели
1	Зона аэрации	Лизиметрические установки, специальные скважины и другие наблюдательные пункты для измерения плотности, влажности и отбора образцов почвогрунтов.	Инфильтрационное питание и испарение с уровня грунтовых вод, влажность пород, химический состав почвогрунтов, всасывающее давление
2	Слабопроницаемые разделяющие слои	Наблюдательные пункты специальной конструкции	Пластовое давление, физико-механические свойства пород
3	Положение земной поверхности	Специальные реперы	Величина оседания земной поверхности
4	Состояние ландшафтов	Геоботанические площадки	Размеры водно-болотных угодий, видовой состав и состояние растительности (показатели увлажнения)
5	Экзогенные геологические процессы (карстово-суффозионные, кольматация и декольматация русловых отложений и др.)	Специальные наблюдательные площадки, водозаборные скважины, репера	Количество и величина карстовых воронок, изменение их размеров, изменение плотности и электросопротивления пород, вынос твёрдого стока, химический состав откачиваемых вод, гранулометрический состав и пьезометрия русловых отложений, плано-вертикальное движение реперов

Обязательным элементом подсистемы обработки информации и прогнозирования является база данных, содержащая данные как по постоянным (условно-постоянным), так и по переменным (наблюдаемым) показателям. База данных может вестись как в автоматизированном, так и в ручном режиме, в зависимости от количества наблюдательных пунктов и количества получаемой информации. Для крупных месторождений подземных вод, находящихся в сложных гидрогеологических условиях и являющихся базой хозяйственно-питьевого водоснабжения крупных и средних городов, может быть создана

специальная автоматизированная система управления, включающая в себя в качестве одной из подсистем базу данных наблюдаемого объекта.

1.4 Классы ведения мониторинга месторождений подземных вод

По содержанию и структуре мониторинг месторождений подземных вод, эксплуатируемых крупными групповыми водозаборами, можно разделить на несколько классов.

Основными факторами, определяющими отнесение мониторинга таких месторождений к тому или другому классу являются:

1. Тип месторождения подземных вод и сложность его гидрогеологических условий, в т.ч. масштабы антропогенной нагрузки.

2. Соотношение фактической величины водоотбора и общей величины эксплуатационных запасов подземных вод, и величины эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод.

Эти факторы определяют:

а) Возможные изменения уровня режима и баланса подземных вод под влиянием техногенной деятельности, и в первую очередь - в связи с эксплуатацией подземных вод и изменением водохозяйственной обстановки, а также степень достоверности прогнозов этих изменений по данным разведочных работ;

б) Возможные изменения качества подземных вод в процессе эксплуатации, в т.ч. под влиянием антропогенной деятельности, и степень достоверности прогнозов этих изменений по данным разведочных работ;

в) Возможное влияние водоотбора на другие компоненты природной среды и степень достоверности прогнозов этого влияния.

В таблицах 1.3, 1.4 приведены гидрогеологические условия основных типов месторождений подземных вод (в том числе их защищенность от поверхностного загрязнения) и возможные изменения уровня режима, баланса и качества подземных вод, а также других компонентов природной среды при эксплуатации водозаборных сооружений.

Таблица 1.3 - Изменение гидрогеологических условий при эксплуатации месторождений подземных вод

Тип месторождения	Изменение гидродинамических условий				Изменение качества подземных вод*				
	Изменение условий питания и разгрузки	Изменение уровней эксплуатируемого водоносного горизонта	Изменение уровней первого от поверхности водоносного горизонта	Степень достоверности прогнозирования изменения гидродинамических условий	Возможность загрязнения подземных вод с поверхности из антропогенных источников	Возможность подтока некондиционных вод из смежных водоносных горизонтов	Возможность латерального подтока некондиционных вод	Возможность привлечения некондиционных поверхностных вод	Степень достоверности прогнозирования качества подземных вод
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I. В речных долинах (на прибрежных участках)	Сокращение или полное прекращение разгрузки в реки, испарения с уровня подземных вод и родниковой разгрузки. Увеличение инфильтрационного питания, превращение рек из областей разгрузки в область питания	При эксплуатации формируются ограниченные по площади воронки депрессии, максимальные понижения уровней не превышают 15-20 м. В многолетнем разрезе режим подземных вод совпадает с режимом реки. В отдельных случаях в меженный период отмечается постоянное снижение	В тех случаях, когда продуктивный горизонт является первым от поверхности, изменение условий охарактеризовано в графе 3. В остальных случаях в первом от поверхности горизонте может сохраняться режим, соответствующий режиму реки, или его режим будет соответствовать режиму	Достаточно высокая, за исключением случаев, связанных с процессами кольматации декольматации русловых отложений	Возможно в связи с недостаточной защищённостью подземных вод	Возможен подсос минерализованных вод из более глубоких и грунтовых неэксплуатируемых горизонтов	Процесс маловероятен	Возможен подток некондиционных поверхностных вод. Возможно также улучшение качества подземных вод при подтоке поверхностных (обезжелезивание)	Возможные изменения качества устанавливаются приблизительно

* Для всех типов месторождений подземных вод изменение их качества может быть связано с проникновением загрязняющих веществ через устья скважин или нарушения целостности обсадных труб, а также в результате физико-химических процессов взаимодействия в системе «вода-порода».

		уровней с последующим их подъемом в процессе паводков	продуктивного горизонта						
II. В артезианских бассейнах	Сокращение или полное прекращение разгрузки в смежные горизонты, увеличение перетекания подземных вод в эксплуатируемый горизонт. Сокращение испарения и увеличение инфильтрационного питания первого от поверхности водоносного горизонта	Формируются обширные воронки депрессии радиусом в десятки км. Максимальное понижение уровня достигает 70-100 и более м. В течение длительного периода времени происходит увеличение понижения уровня. При расположении водозаборов в краевых частях бассейнов, если их дебит не превышает поступление воды из областей питания - уровни стабилизируются	Уровни подземных вод первого от поверхности горизонта в многолетнем разрезе, как правило, не изменяются. Несколько увеличивается амплитуда годовых колебаний уровня. Исключение составляют участки гидрогеологических окон, где снижение уровня может достигать нескольких метров	Достаточно высокая	Возможно через техногенные окна (неликвидированные разведочные и неправильно оборудованные эксплуатационные скважины)	Возможен подсос минерализованных вод из смежных горизонтов	Процесс возможен при наличии зон с некондиционными водами в продуктивном горизонте	Процесс маловероятен. Возможен в краевых зонах бассейнов	Возможные изменения качества устанавливаются приблизительно

<p>III. В конусах выноса предгорных шлейфов и внутригорных впадин</p>	<p>Уменьшение (до полного прекращения) разгрузки испарением и родниковым стоком. Инфильтрационное питание не изменяется</p>	<p>Формируются ограниченные воронки депрессии, максимальное понижение - первые десятки метров. Режим изменения уровней в первый период - неустановившийся, в дальнейшем - стационарный</p>	<p>Основной водоносный горизонт, как правило, является первым от поверхности</p>	<p>Достаточно высокая</p>	<p>Процесс возможен при малой мощности зоны аэрации</p>	<p>Процесс маловероятен</p>	<p>Процесс возможен при наличии очагов техногенного загрязнения</p>	<p>Процесс возможен</p>	<p>Возможные изменения качества устанавливаются приблизительно</p>
<p>IV В ограниченных по площади структурах</p>	<p>Уменьшение (полное сокращение) разгрузки испарением и родниковым стоком. При наличии поверхностных водотоков и водоёмов - сокращение разгрузки в них и привлечение транзитного поверхностного стока. Инфильтрационное питание не изменяется</p>	<p>Депрессионная воронка обычно не выходит за пределы структуры. Максимальное понижение уровня 20-30 и более м. В зависимости от соотношения водотоков и восполняемых источников формирования эксплуатационных запасов режим уровня - неустановившийся или установившийся.</p>	<p>При двухслойном или трёхслойном строении разреза, когда над продуктивным горизонтом расположен первый от поверхности водоносный горизонт, его режим может быть близким к режиму в ненарушенных условиях, либо повторять режим продуктивного горизонта</p>	<p>Невысокая в структурах с трещинным и трещинно-карстовым коллекторами, высокая - в структурах с песчаными коллекторами</p>	<p>Процесс возможен. Менее вероятно в погребённых долинах</p>	<p>Возможен подсос загрязнённых вод из первого от поверхности водоносного горизонта</p>	<p>Процесс возможен при наличии очагов техногенного загрязнения</p>	<p>Процесс возможен</p>	<p>Возможное изменение качества устанавливается весьма ориентировочно</p>

V В бассейнах и потоках грунтовых вод	Уменьшение (полное сокращение) разгрузки испарением и родниковым стоком, усиление инфильтрационного питания	Формируются ограниченные по площади депрессионные воронки с понижением уровней 10-20м. В зависимости от соотношения водоотбора и восполняемых источников формирования - режим изменения уровней неустановившийся или установившийся	Продуктивный водоносный горизонт является первым от поверхности	Невысокая в структурах с трещинным и трещинно-карстовым коллекторами, высокая при песчаном коллекторе	Процесс возможен	Возможен подсос некондиционных вод из нижележащих водоносных горизонтов	Возможен, особенно при эксплуатации линз пресных вод	Процесс маловероятен	Устанавливаются приблизительно для песчаных коллекторов и весьма ориентировочно для остальных
VI. В бассейнах и потоках субнапорных вод	Сокращение или прекращение разгрузки в смежные горизонты, увеличение подземных вод эксплуатацию горизонтов. Сокращение испарения и разгрузки в реки из первого от	Формируются ограниченные по площади воронки депрессии с понижением уровней до 20-30 м. Режим уровней в первый период - неустановившийся. В дальнейшем - достаточно быстрый переход к стационар-	Режим близкий к естественному с увеличением годовой амплитуды колебаний уровней. При наличии гидрогеологических окон в первом от поверхности горизонте может наблюдаться общее снижение уровня с его последующей	Достаточно высокая	Возможно, главным образом, на участках гидрогеологических окон	Процесс возможен	Процесс возможен при наличии техногенных очагов загрязнения в продуктивном горизонте	Процесс возможен	Возможные изменения качества могут быть установлены приближённо

	поверхности горизонта, увеличение его инфильтрационного питания	ному режиму	стабилизацией						
VII. В потоках трещинно-жильных вод	Сокращение или прекращение родниковой разгрузки или разгрузки в речную сеть. Привлечение транзитного поверхностного стока. Инфильтрационное питание не изменяется.	Депрессионные воронки весьма ограничены. При отборе подземных вод в количестве, не превышающем естественные и привлекаемые ресурсы - режим уровня установившийся	Часто эксплуатируемый горизонт является первым от поверхности. В тех случаях, когда зона развития трещинно-жильных вод перекрыта рыхлыми отложениями, содержащими грунтовые воды, их режим близок к естественному.	Весьма приближённая	Возможно на участках, где зоны развития трещинно-жильных вод не перекрыты глинистыми слабопроницаемыми отложениями.	Возможен подсос минерализованных вод из более глубоких частей водоносной системы.	Процесс возможен.	Процесс возможен.	Возможные изменения качества могут быть установлены весьма ориентировочно.

Таблица 1.4 - Возможные изменения отдельных компонентов природной среды при эксплуатации месторождений подземных вод

Тип месторождения	Изменение поверхностного стока	Активизация экзогенных геологических процессов	Изменение ландшафтов	Оседание земной поверхности
I В речных долинах	Происходит сокращение речного стока. В долинах крупных рек это сокращение, как правило, практического значения не имеет	Усиление кольматации русловых отложений. При эксплуатации подземных вод, приуроченных к	При неглубоком (до 3м) естественном уровне подземных вод возможно осушение	Процесс маловероятен

	(особенно с учётом сброса возвратных вод). В долинах небольших рек, особенно в меженный период, сокращение может быть значительным	закарстованным карбонатным отложениям, может наблюдаться активизация карстово-суффозионных процессов, главным образом, на площадках водозаборных скважин при снижении уровня подземных вод ниже кровли, а также в руслах рек	болот, угнетение растительности, обмеление старичных озёр	
II В артезианских бассейнах	Сокращение меженного поверхностного стока возможно на участках гидрогеологических окон при неглубоком залегании водоносного горизонта, главным образом, в краевых частях бассейна	Возможна активизация карстово-суффозионных процессов при наличии карбонатных водовмещающих пород	Возможно в краевых зонах бассейнов и на участках гидрогеологических окон при неглубоком залегании уровня грунтовых вод	Возможно при больших понижениях уровней, если в разрезе имеются сильнопористые недоуплотнённые глинистые отложения.
III В конусах выноса предгорных шлейфов и внутригорных впадин	Сокращение поверхностного стока (Кара-су), формирующегося из родников	Процесс маловероятен	Возможно в зонах неглубокого залегания уровней (в зонах кара-су)	Процесс возможен
IV В ограниченных по площади структурах	Сокращение поверхностного стока	Активизация карстово-суффозионных процессов возможна при наличии карбонатных пород, особенно в руслах рек и вблизи эксплуатационных скважин.	Возможно в зонах неглубокого залегания уровней.	Процесс маловероятен.
V В бассейнах и потоках грунтовых вод	Существенных изменений поверхностного стока, как правило, не происходит	Возможна активизация карстово-суффозионных процессов при наличии карбонатных пород.	При неглубоком залегании уровней подземных вод в естественных условиях возможно осушение	Процесс маловероятен.

			болот, угнетение растительности, снижение влажности почв.	
VI В бассейных и потоках субнапорных вод.	Возможно изменение поверхностного стока, особенно при размещении водозаборов долинах малых рек	Возможна активизация карстово-суффозионных явлений в зонах развития карстующихся пород	При неглубоком залегании уровней подземных вод в естественных условиях возможно осушение болот, угнетение растительности, снижение влажности почв.	Процесс маловероятен
VII В потоках трещинно-жильных вод	Возможно изменение поверхностного стока	Возможна активизация карстово-суффозионных явлений в местах пересечения обводненными разломами крутозалегających маломощных пластов мраморов в метаморфических комплексах	При неглубоком залегании уровней подземных вод в естественных условиях возможно осушение болот, угнетение растительности, снижение влажности почв	Процесс маловероятен

С учетом приведенных данных, в таблице 1.5 выделены основные классы мониторинга месторождений подземных вод, эксплуатируемые крупными групповыми водозаборами.

Таблица 1.5 – Классы мониторинга месторождений подземных вод

Класс	Тип месторождения	Наблюдаемые объекты	Система обработки
I	Месторождения, где отбор подземных вод существенно ниже их эксплуатационных запасов. Как правило, относятся к 1-й группе по сложности гидрогеологических условий. Надежно определены основные источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод. Отсутствуют потенциальные источники загрязнения (или подземные воды надежно защищены от поверхностного загрязнения).	Эксплуатируемый и смежные водоносные горизонты, техническое состояние водозаборных скважин и состояние ЗСО	База данных, которая используется для оценки состояния месторождения и прогнозирования ее изменения
II	Месторождения, эксплуатация которых, может оказать влияние на поверхностные водные объекты. Месторождения, где по результатам разведки недостаточно надежно были оценены основные источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод, а также на месторождениях с недостаточно защищенными подземными водами, особенно при наличии потенциальных источников загрязнения	Эксплуатируемый и смежные водоносные горизонты, техническое состояние водозаборных скважин и состояние ЗСО и поверхностные водные объекты	По аналогии с системой класса I, отличается плотностью размещения наблюдательной сети и составом наблюдаемых показателей качества подземных вод (наблюдение за специфическими показателями). Помимо базы данных, целесообразно построение математических моделей
III	Месторождения, эксплуатация которых может оказать существенное влияние на другие компоненты	Кроме стандартных наблюдаемых объектов могут входить специальные наблюдаемые объекты	По аналогии с системой класса I и класса II. Для обработки информации и прогнозирования в мониторинге класса III

	<p>окружающей природной среды (ландшафтные условия, активизация экзогенных геологических процессов и оседание земной поверхности). Месторождения с весьма сложными гидрогеологическими условиями, в том числе - на месторождениях с искусственным пополнением запасов подземных вод (III группа сложности).</p>	<p>(зона аэрации, разделяющие слабопроницаемые отложения, ландшафтные условия, экзогенные геологические процессы, земная поверхность). В пределах этих месторождений могут быть также организованы специальные наблюдения за очагами загрязнения подземных вод</p>	<p>целесообразно в отдельных случаях создание постоянно действующих моделей</p>
--	---	--	---

Отнесение мониторинга конкретного месторождения подземных вод в тому или иному классу должно проводиться по результатам проведенных по результатам проведенных на месторождении разведочных работ и анализу опыта эксплуатации подземных вод. В тех случаях, когда имеющиеся материалы не позволяют уверенно выделить класс мониторинга, целесообразно отнести его к более низкому классу с последующим уточнением по данным наблюдений за первый период эксплуатации.

Выводы по 1 разделу

- 1 Проанализированы цели и задачи ведения гидрогеологического мониторинга на месторождениях подземных вод.
- 2 Представлены основные функции, объекты наблюдения и наблюдаемые показатели системы мониторинга подземных вод.
- 3 Дано описание разделения гидрогеологического мониторинга на классы с приведением систем обработки за наблюдаемыми объектами, в зависимости от сложности гидрогеологических условий.

2 ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ, ОБОСНОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

2.1 Основные требования при построении геоинформационных систем

1. ГИС должна позволять осуществлять ввод и хранение результатов геологических, гидрологических и гидрогеохимических исследований с созданием баз данных (БД). Требованиями к содержанию БД ГИС являются: полнота исходных и получаемых в результате мониторинга данных, их комплексность, то есть возможность совместной обработки больших групп параметров и их взаимосвязь между блоками, что важно для изучения сложных гидрогеологических явлений и процессов, имеющих координатную привязку.

2. Средства ГИС должны позволять анализировать атрибутивную и пространственную информацию. Под анализом понимается:

- возможность выполнять запросы к атрибутивным и пространственным данным;

- накапливать статистику и формировать отчетные документы и тематические карты.

3. Разрабатываемая ГИС должна стать информационной основой для последующего моделирования на основе изученных литолого-стратиграфических данных, опытно-фильтрационных работ в скважинах, и результатов прочих гидрогеологических и гидрогеохимических исследований.

4. Основными критериями, которым должен удовлетворять конечный продукт пользователя разрабатываемой ГИС подразумевает: автоматизацию процесса ввода исходных данных посредством удобной и понятной системы меню и диалогов; вывод исходных данных и результатов в привычном для пользователя виде (в виде серии векторных карт изолиний, изоконтуров, профилей и гидрогеологических разрезов, текстовых отчетов, таблиц).

В гидрогеологии принято представлять объекты исследований, обладающие набором пространственных данных в виде серии гидрогеологических карт (графических изображений различных гидрогеологических элементов и факторов в плане в пределах изучаемого объекта/ месторождения подземных вод) [11,43].

Различают гидрогеологические карты по масштабу, назначению, целевому содержанию, по видам картируемых показателей, по методам построения и другим признакам [21,30-32]. Картирование гидрогеологических параметров и показателей свойств и состояний подземных вод и водоносных пластов (горизонтов) выполняется обычно методом изолиний, изоконтуров [37].

Основные этапы изучения и стадии геологического картирования для различной детальности исследования территорий, применяемые при разведке и промышленном освоении недр с последующим отражением в структуре ГИС, приведены на рисунке 2.1.[4, 33]

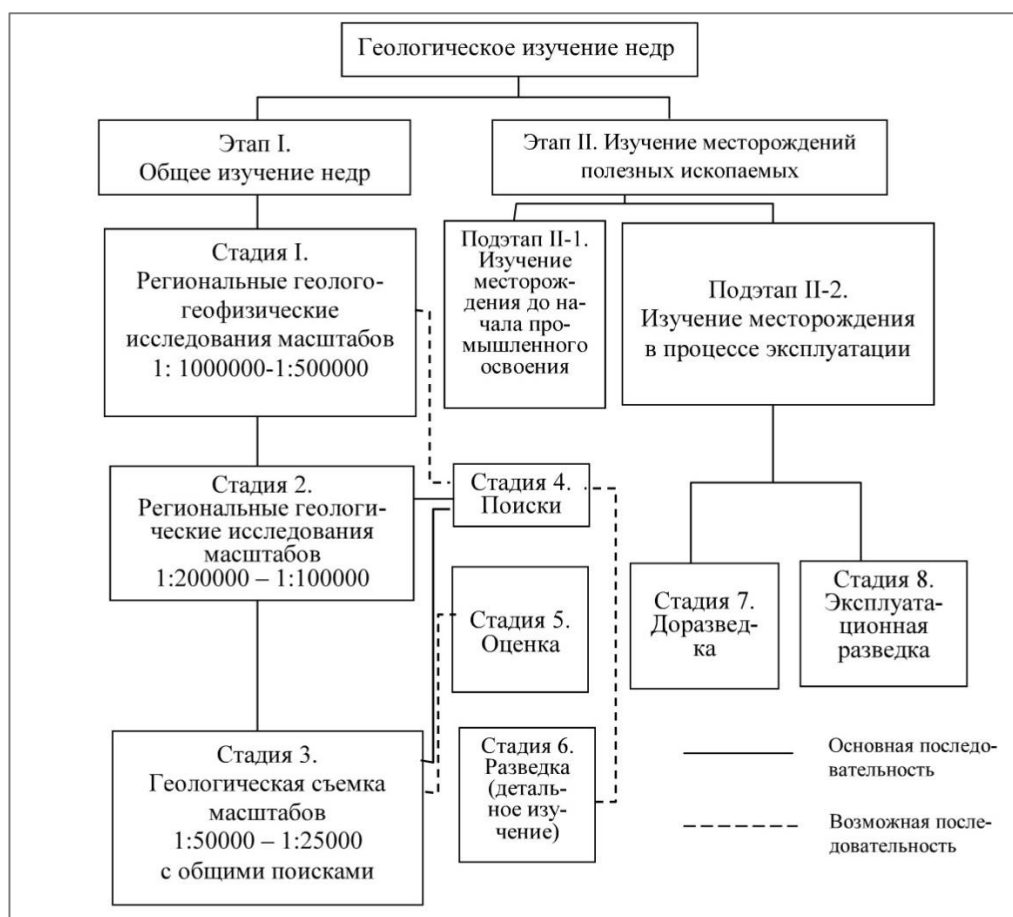


Рисунок 2.1- Основные этапы изучения недр и стадии геологического картирования[4]

Рассмотрим способы представления некоторых из перечисленных выше карт. Карты изолиний — это тематические карты, описывающие поверхности в виде линий равных уровней. Поверхности могут характеризовать, как рельеф местности, так и содержание различных элементов на участке исследования и т.п. Карты изоконтуров — это тематические карты, построенные на основе карт изолиний, но площадь между соседними изолиниями представлена в виде полигона, а картируемый параметр определяется диапазоном [34, 35].

В гидрогеологии, как и в геологии, принято информацию о геологической среде описывать в виде серии гидрогеологических разрезов, которые являются тематическими материалами, отображающими сечение геологической среды по заданному профилю, проводимому на рельефе изучаемой местности. Разрез строится на основе информации по данным бурения, на скважинах проводят геологические, гидрогеологические, геофизические и гидрогеохимические исследования - данная информация, так же является базовой основой мониторинга гидрогеологической среды.

Традиционным в гидрогеологии является отображение схемы расположения скважин различного назначения. Такие технологические схемы служат основой для построения тематических карт (картограмм, картодиаграмм, карт изолиний и изоконтуров, карт зон влияния).

Разрабатываемая ГИС для обработки данных гидрогеологического мониторинга должна осуществлять анализ, обработку и визуализацию данных гидрогеологического мониторинга в виде описанных выше карт и графических приложений с учетом стадии гидрогеологической изученности по исследуемому объекту. Рассмотрим основные принципы построения ГИС, которые должны быть положены в основу этой системы.

2.2 Принципы составления и функционирования ГИС

Создаваемая ГИС призвана обеспечить проводимые исследования необходимым картографическим материалом и инструментами для формирования логических умозаключений о процессах, протекающих при эксплуатации и мониторинге месторождений подземных вод и влияющих на их состояние объектов.

Основной задачей в построении ГИС являются - сбор, отображение и хранение информации по состоянию наблюдаемого объекта. Достигается это за счет логичного построения базы исходных пространственных данных, коррелирующих со структурой ГИС и содержанием слагающих ее карт.

В геоинформационном плане задача выполняется путем:

- составления предварительных баз пространственных данных с цепочкой системообразующих связей между отдельными группами объектов;
- выбора системы управления базой данных (СУБД) и прочих программных решений.

С точки зрения картографии решению поставленной задачи способствуют:

- единые основы тематических карт (геологические, экологические и пр.);
- конечный ряд масштабов и их кратность друг другу для обеспечения удобного сопоставления;
- единые принципы генерализации и оформления и т.п. [26].

При выборе программного обеспечения для обработки информации и сопоставления с другими источниками – это удобная программная реализация базы данных с целью отображения цифровых карт, обеспечения их сравнительного анализа, как визуального, так и автоматизированного, а также вывода отдельных карт для печати на бумажных носителях или сохранения в отдельный файл. Сегодня доступен огромный ассортимент коммерческих и открытых геоинформационных продуктов, выполняющих эти функции. Это могут быть и комплексные программы для работы со всем спектром географической информации, такие как ArcInfo (ESRI inc.), MapInfo или QGIS, или же только для просмотра цифровой картографической информации, в том числе и в форме веб-приложений, например, ArcGISOnline, MapViewer, GeoMixer, CartoDB и др [27-30].

Основные поставленные задачи перед построением ГИС предполагают реализацию на основе проектирования двух вариантов БД: собственно картографической базы данных и базы пространственных данных. Обе они должны работать согласованно в рамках единой системы геоинформационного картографирования, схема функционирования которой представлена на рис 2.2.

Поскольку характер исходных материалов может быть разным, от готовой пространственной информации, цифровых карт, космических снимков до текстовых и статистических данных, то резонно провести ее обработку с помощью специализированного программного обеспечения, представленного ГИС-продуктами. Обычно исходная пространственная информация нуждается в предварительном анализе и обработке, поэтому ее следует переложить в базу пространственных данных, где она будет храниться в форме растровых и векторных объектов. В самом ограниченном количестве случаев исходные данные могут непосредственно войти в состав БД, если удовлетворяют ее содержанию и принципам составления.



Рисунок 2.2 - Схема функционирования геоинформационной системы [31].

Базу пространственных данных составляет совокупность данных о пространственных объектах, организованных по определенным правилам, устанавливающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными [26, 37]. Следует уточнить, что объектом в такой БД является цифровое представление объекта реальности вместе с его свойствами и информацией о местоположении, причем в самой БД он содержится в форме растровых или векторных моделей, которые в свою очередь по

пространственной размерности могут представляться в виде совокупности ячеек, точек, линий, полигонов, объемных фигур.

С помощью БД можно провести систематизацию всех источников картографирования, выполнить заполнение атрибутивных таблиц данными об изучаемых явлениях, привести геометрию объектов к некоторой базовой основе и масштабу исследования, а также установить связи между ними. Все это должно работать на основе выбранной системы управления базами данных (СУБД). При этом полученная БД наряду с возможностями программного обеспечения должна обеспечить геоинформационное картографирование и составление цифровых карт. Кроме того в случае необходимости к ней может обращаться сам пользователь для получения информации в отличной от карты форме. Так же с помощью встроенных инструментов в таких программах всегда можно провести сравнительный анализ карт, их наложение друг на друга, увеличить необходимые участки и т.п.

2.2.1 Систематизация исходной пространственной информации

Геоинформационная система должна служить информационной основой и инструментом для создания цифровых гидрогеологических карт для обеспечения мониторинга и анализа эксплуатации наблюдаемого объекта. Ее содержание составляет совокупность пространственной информации, которая должна быть организована по определенным правилам в соответствии с системой тематических блоков информации, организацией связей между ними посредством выбранной СУБД и содержанием этих блоков.

Как было сказано выше, объектами БД являются цифровые представления объектов исследуемой реальности. В нашем случае, это координатно-привязанная информация объектов месторождения подземных вод (одиночные, кустовые и групповые водозаборы). В базе данных информация представлена в виде двух основных типов: векторной и растровой. В первом случае это такие пространственно-размерные единицы, как точечные, линейные и полигональные объекты, хранящие в себе помимо своей геометрии и координатной привязки атрибутивную информацию о свойствах реальности, которую они представляют. Во втором случае это ячеистые объекты или объекты раstra, имеющие одинаковый размер, координатную составляющую и атрибуты территории месторождения подземных вод.

Пространственные объекты базы данных могут группироваться в определенные блоки в связи с тематическим содержанием входящих в них данных. Общая тематика базы данных обуславливает характер исходной информации для ее составления. Независимо от территории исследования, но в зависимости от целей составления ГИС, база данных может состоять из следующих тематических блоков (рис. 2.3):

- базовый блок;
- природные условия территории;
- показатели гидрогеологического и геоэкологического состояния;

ГИС содержит сведения в основном в форме отдельных объектов векторных (точки, линии и полигоны) и растровых (ячейки растра) данных. Каждый из них помимо позиционной составляющей несет в себе атрибутивную информацию, поэтому важно в процессе наполнения базы данных новыми сведениями определить структуру атрибутивных таблиц входящих данных, где одному объекту соответствует одна строка записи в таблице, а его атрибутам – записи в колонках. Такой подход предполагает, что проектируемая БД имеет реляционную модель функционирования, которая свободна от всех ограничений хранения данных [37,38].

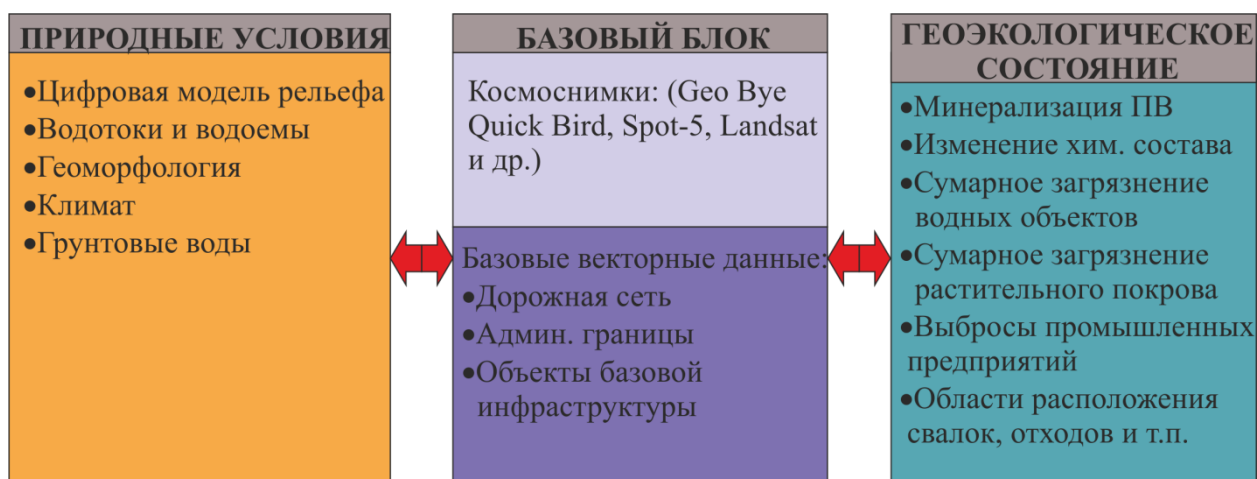


Рисунок. 2.3 -Тематические блоки

Данные в ГИС регистрируются в виде слоев пространственных объектов, представляющих собой концептуально взаимосвязанные типы слоев, например, слой дорог, слой гидрографической сети, слой водоносных горизонтов, слой водопунктов и т.п. При этом каждому такому слою соответствует своя атрибутивная таблица с информацией об объектах слоя.

Важным шагом на пути разработки логической структуры БД является установление связей между отдельными элементами базы данных, необходимые для построения математических запросов. Часто БД являются простым хранилищем пространственных объектов, однако для целей качественного геоинформационного картографирования важны операции сопоставительного анализа разносторонней информации. Для этого и формируются связи между отдельными организованными по единой схеме данными. Правила установления связей определяет система управления базой данных (СУБД).

Основное назначение СУБД заключается в обеспечении пользователя программными средствами, дающими возможность оперировать данными вне зависимости от способов их хранения, выполнять функции по управлению хранением и использованием данных. Самые распространенные СУБД, такие как PostGIS, ArcGIS, Oracle и др. позволяют строить запросы на основе языка SQL и не требуют от пользователя значительных знаний программных особенностей построения баз данных. Как уже было сказано выше, такие СУБД

определяют модель данных реляционного типа, позволяющую хранить многопараметрическую географическую информацию в виде системы связанных таблиц.

Связи между атрибутивными таблицами осуществляются по уникальным полям, называемым ключами. Удобнее всего, если такими полями являются колонки идентификационных номеров (ID) пространственных объектов в пределах слоя, которые должны быть едиными для отдельных взаимосвязанных слоев данных. Этот подход определяет необходимость использования некоторой базовой основы элементарных территориальных ячеек для хранения информации.

2.2.2 Содержание тематических блоков данных

Базовый блок включает основные растровые и векторные данные, которые служат источниками и топографической основой при создании карт.

Данные дистанционного зондирования. Продолжительное время источником для создания и обновления гидрогеологических карт служила аэрофотосъемка. Современные космические снимки благодаря высокому пространственному разрешению (0,5–10 м) и регулярности съемок (от одного дня до нескольких суток) стали важным источником при изучении и картографировании.

Снимки в тепловом диапазоне со спутников Landsat 5/7/8, несмотря на низкое пространственное разрешение (60-120 м), дают возможность определения [36-38]:

- водоносности различных геологических образований и структур;
- условий питания/разгрузки первых от поверхности водоносных толщ и связи между ними и поверхностными водами;
- влияния на подземные воды различных искусственных факторов: действующих горных выработок, крупных водозаборов, водохранилищ, оросительных и дренажных систем, сбросов жидких и твердых отходов производства и др.

В состав базового блока данных целесообразно включить космические снимки с охватом, соответствующим локальному и региональному уровням исследования. Первые, как правило, являются изображениями с пространственным разрешением до 500м. Такие снимки позволяют распознавать основные структурные элементы изучаемой территории, которые составляют базовую географическую основу карт. Снимки с разрешением 1000-5000 м имеют более широкий охват, позволяющий учитывать примыкающие к изучаемой территории участки поверхности. Обычно их дешифрирование выполняется автоматизированными методами, а результаты способствуют составлению ряда слоев данных, необходимых для оценки состояния гидрогеологической среды.

Природные условия. Основные в этом блоке – цифровые модели рельефа, слои поверхностных водотоков, грунтовые воды, генезис и морфология форм рельефа. Изначально чаще всего все эти слои представлены в виде

картографических источников для создания БД, путем оцифровки карт получают их пространственное представление в базе данных, проводят геоинформационную обработку, заполнение атрибутивных таблиц и получают согласованные слои данных.

Основные слои, характеризующие природную структуру территории, позволяют получить множество другой информации, которая дополняет содержание БД и входит в состав ГИС в виде цифровых карт. Это, например, слои границ бассейнов, слои классов водной миграции, подтопляемость территории грунтовыми водами, такие характеристики рельефа как крутизна и экспозиция склонов и др. [34, 35,39].

Показатели геоэкологического состояния среды. Мегалополисы и крупные промышленные города характеризуются наибольшим загрязнением всех компонентов окружающей среды. Выбросы вредных веществ, и в том числе ряда токсичных и тяжелых металлов (ТМ), активно депонируются на снежном покрове, водных объектах и поверхностном слое почв многих городов. Опробование атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, растительности, почвенного и снежного покрова изучаемой территории дает возможность определить уровни загрязнения в пределах изучаемой территории. При этом сеть опробования размещается таким образом, чтобы обеспечить достаточно точную оценку границ техногенных аномалий загрязнителей и выявить особенности их распределения по площади месторождения. Местоположение точек обычно выбирается на основе анализа карты функциональных зон с использованием космических снимков. Данные отбора всех проб представляют собой точечные слои с характеристиками содержания веществ в пробах и рассчитанными интегральными показателями в атрибутивных таблицах. Территориальное распределение загрязнителей принято получать путем интерполяции значений показателей по отдельным ячейкам, через которые осуществляется связь с атрибутивными таблицами карт других блоков базы данных. Содержание тематических блоков исходных данных представлено на рис. 2.4

2.2.3 Основные принципы составления цифровых карт

Основными объектами ГИС являются цифровые карты или цифровые модели карт, составляемые в отличие от пространственных данных ГИС путем оцифровки картографических источников, обработки космических снимков и данных полевых исследований. Проектирование ГИС базы данных во многом соответствует основным принципам составления атласов [40-42], но в то же время имеет свои дополнения, исходя из свойств программ-выюеров и методов геоинформационного картографирования (таблица 2.1). Список картографического материала, который может быть получен в результатеа наполнения структуры ГИС исходными данными, представлен на рис. 2.4

2.3 Функциональная структура геоинформационной системы

В проектировании структуры и содержания базы данных следует выделить три уровня: концептуальный, логический и физический. Состав слоев БД, определяемый на концептуальном уровне, формируется данными о рельефе и гидрографии. Целесообразно разделить слои на три функциональные группы: базовые, вспомогательные (производные) и аналитические. В зависимости от исследовательской задачи состав вспомогательных и аналитических слоев может быть расширен.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС



КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

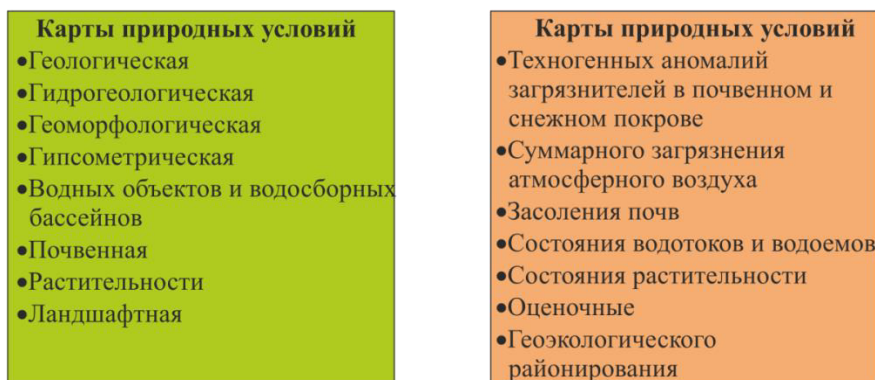


Рисунок.2.4 - Исходные данные и полученный картографический материал ГИС

Таблица 2.1 - Основные принципы составления цифровых гидрогеологических карт [43]

Используемые принципы классической картографии	Дополнительные положения цифровой картографии
<i>Математическая основа</i>	
<p>Используется масштабный ряд общегеографической карты-основы</p> <ul style="list-style-type: none"> - Выбор плановых проекций для крупномасштабных - Единые проекции для собрания карт 	<p>Масштабный ряд мультимасштабной карты (численный ряд зависит от разрешения экранов мониторов)</p> <ul style="list-style-type: none"> - В случае геопорталов, обычно используется проекция Меркатора на сфере или эллипсоиде - Программное сохранение картометрических функций непосредственно на эллипсоиде или сфере, несмотря на искажения проекции
<i>Географическая основа</i>	
<p>Географическая основа общегеографических карт, с содержанием и оформлением, не ухудшающим читаемость основного содержания</p>	<p>Программы-вьюеры часто имеют готовую базовую основу, на которую послойно накладываются тематические карты – необходимо создать соответствие между ними</p>
<i>Генерализация карт</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Географические принципы генерализации при ручном цифровании карт - Соответствие принципов генерализации собранию карт в атласах 	<ul style="list-style-type: none"> - Методы автоматизированной генерализации - Генерализация мультимасштабных карт - Генерализация на уровне слоев БД
<i>Компоновка карты и составление легенд</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Элементы карты должны группироваться в удобную компоновку, не «оторванную» от изображения карты - Составление легенды опирается на географические принципы (классификации, группировки и т.п.) с достижением читаемости и быстрым поиском соответствия с объектами на карте 	<ul style="list-style-type: none"> - Элементы карты обычно закреплены в программных меню, окнах или могут быть скрыты/открыты - Преобладают интерактивные легенды карт с наличием всплывающих подсказок по объектам карты
<i>Оформление карты</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Грамотный выбор способов изображения - Гармоничный подбор знаковых систем - Выбор красочного оформления с учетом бумажного представления карты - Согласованность оформления для собрания карт 	<ul style="list-style-type: none"> - Способы изображения в случае мультимасштабной карты могут сменять друг друга от масштаба к масштабу - Выбор интерактивных знаковых систем с наличием всплывающих подсказок по объекту - В случае доступа к карте через Интернет, стоит учитывать полный объем загружаемого материала из-за ограничений скорости передачи данных в сети - Красочное оформление подбирается с учетом цветопередачи мониторов

Продолжение таблицы 2.1

1	2
	<p>компьютеров или мобильных устройств</p> <ul style="list-style-type: none"> - Отсутствие единой цветопередачи у различных устройств – опытный подбор оформления - Программные возможности изменять оформление карты непосредственно в программе-вьюере - Достижение наиболее близкого соответствия экранного подбора цветов цветам бумажного издания при наличии функций печати карт

На логическом уровне проектирования базы данных должно быть определено ее разделение на уровни детализации [43-45]. Высокая чувствительность изображения рельефа к изменению масштаба обуславливает необходимость выделения для каждого масштаба ряда своего уровня детализации БД. Генерализация векторных слоев выполнена путем отбора объектов, упрощения их очертаний и обобщения характеристик. В результате была получена база геоданных, обладающая искомой структурой и наполнением (рисунок 2.5).

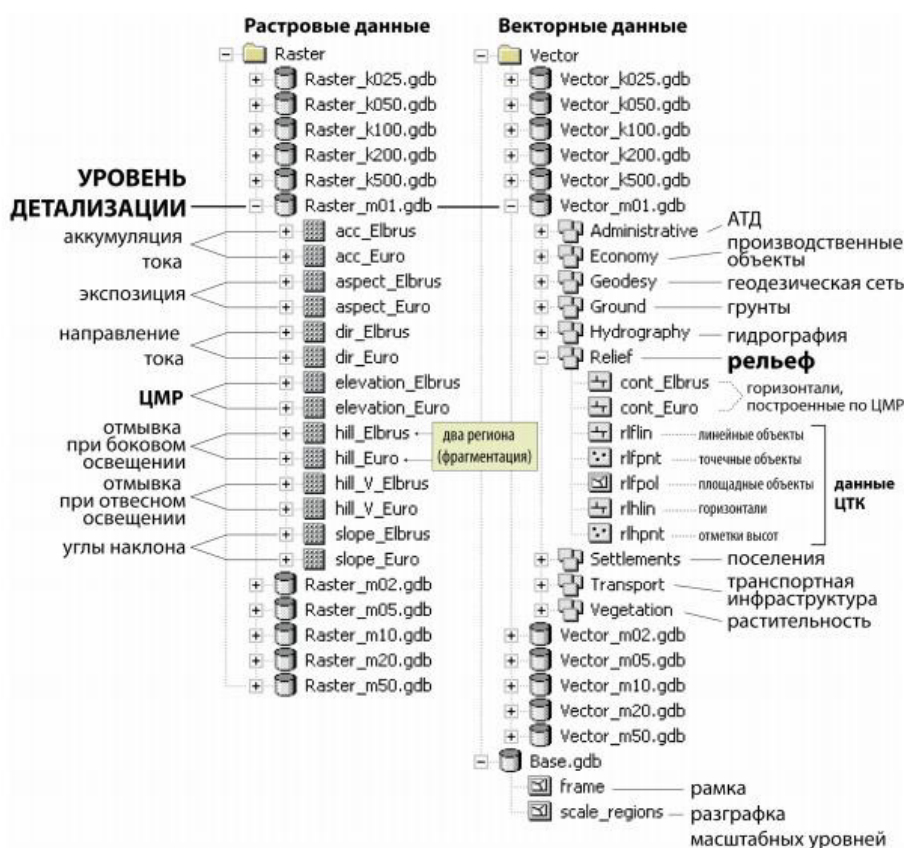


Рисунок 2.5 - Структура и состав базы данных ГИС для ведения мониторинга на месторождении подземных вод в ArcGIS

2.4 Атрибутивные и пространственные запросы к базе данных

Логические связи внутри базы пространственных данных обеспечивают возможность построения различных вариантов логических запросов к данным. Обычно такие запросы создаются на основе языка SQL, являющегося стандартным для реляционных СУБД. Он позволяет пользователю в простых формулировках и операторах проводить выборки из взаимосвязанных атрибутивных таблиц слоев БД. Формулировки вместе с операторами часто организуют в программных пакетах в виде некоторых шаблонов, основанных на реляционной алгебре и реляционном исчислении. Поскольку большинство пользователей ГИС не владеют достаточными навыками программирования, в них реализованы простые функции в виде калькулятора запросов, представляющего собой совокупность шаблонов запросов и список необходимых атрибутов [44].

Часто запросы из БД следует проводить не в пределах одной таблицы атрибутов слоя, а из нескольких связанных таблиц. Для этих целей существуют операции соединения (union) и слияния (join), которые соответственно через систему логических связей комбинируют таблицы с разным числом записи с наличием пустых ячеек в объединенной таблице и создают новую таблицу, поля которой скомбинированы из двух других, используя общее ключевое поле [37].

Результатом атрибутивного запроса является некоторая выборка объектов базы данных, атрибуты которых удовлетворяют заданным условиям. Эту группировку объектов можно сохранить в другой слой БД и использовать как основу для составления карт.

В стандартных ГИС-пакетах на принципах построения атрибутивных запросов работают способы изображения объектов при составлении карт. Они, как правило, соответствуют традиционным представлениям объектов на картах и позволяют из набора слоев БД создать цифровую карту. Такие способы изображения основаны на выборках значений из одного или нескольких полей атрибутивной таблицы:

- отдельный символ позволяет в системе условных обозначений изобразить значения одного поля атрибутов;
- уникальные значения – также позволяют оформить сочетания значений из нескольких полей таблицы;
- цветовая шкала использует непрерывное отображение какого-либо явления по полю атрибутивной таблицы в виде наборов шкал, в классической картографии ей соответствует способ картограмм;
- локализованная диаграмма позволяет учитывать значения из множества атрибутивных полей, к примеру, размером диаграммы указывая на один параметр содержания, а структурой – на другой;
- плотность точек основана на точечном способе изображения и также позволяет учитывать значения из нескольких полей таблицы;

- метод масштабируемых символов используют обычно для показа явлений, локализованных в точках, где размер символа указывает на числовой интервал значений из поля атрибутивной таблицы.

Пространственные запросы к базе данных основаны на пространственных связях организованных должным образом объектов БД (рис. 2.6). Единая система координат и надежная координатная привязка способствуют пространственной идентичности отдельных слоев базы данных. Благодаря этому в ГИС-пакетах можно проводить запросы, касающиеся позиционной составляющей данных, основанных на анализе географического положения объектов слоев. Их работа по аналогии с атрибутивными запросами заключается в функциях СУБД. Атрибутивные запросы к БД определяют процесс создания практически всех карт, формирующих картографическую базу данных.

2.5 Анализ данных наблюдений по результатам мониторинга и визуализация результатов исследований средствами ГИС

Оценка изменения состояния подземных вод и других компонентов природной среды выполняется путем анализа рядов последовательных наблюдений за изучаемыми показателями. Основными из них являются дебиты водозаборных скважин и всего водозабора в целом, уровни подземных вод эксплуатируемого, смежных с ним и первого от поверхности водоносных горизонтов, показатели химического состава и физических свойств подземных вод, те же данные по поверхностным водотокам и водоемам, а также показатели, характеризующие состояние ландшафтов и интенсивность экзогенных геологических процессов.

После составления структуры ГИС и наполнения ее исходной информацией, осуществляется ввод данных по результатам специальных наблюдений. В первую очередь в качестве данных служат результаты химического и санитарно-бактериологического анализа проб воды из водозаборных скважин и результаты анализа проб воды, взятых по сети контрольных точек на открытых водоемах [46]. Ввод и хранение информации о состоянии подземных вод осуществляется на основе результатов наблюдений за изменением проб воды, отобранных из эксплуатационных и разведочных скважин [47]. Совокупность точек сбора информации образует сеть наблюдения при мониторинге.

На рис 2.7 показан пример схемы расположения контрольных точек мониторинга для ГИС Каскеленского месторождения подземных вод в Алматинской области, с примером заполнения базы данных «Мониторинг» и отображением контрольных параметров в виде карт, таблиц и графиков.

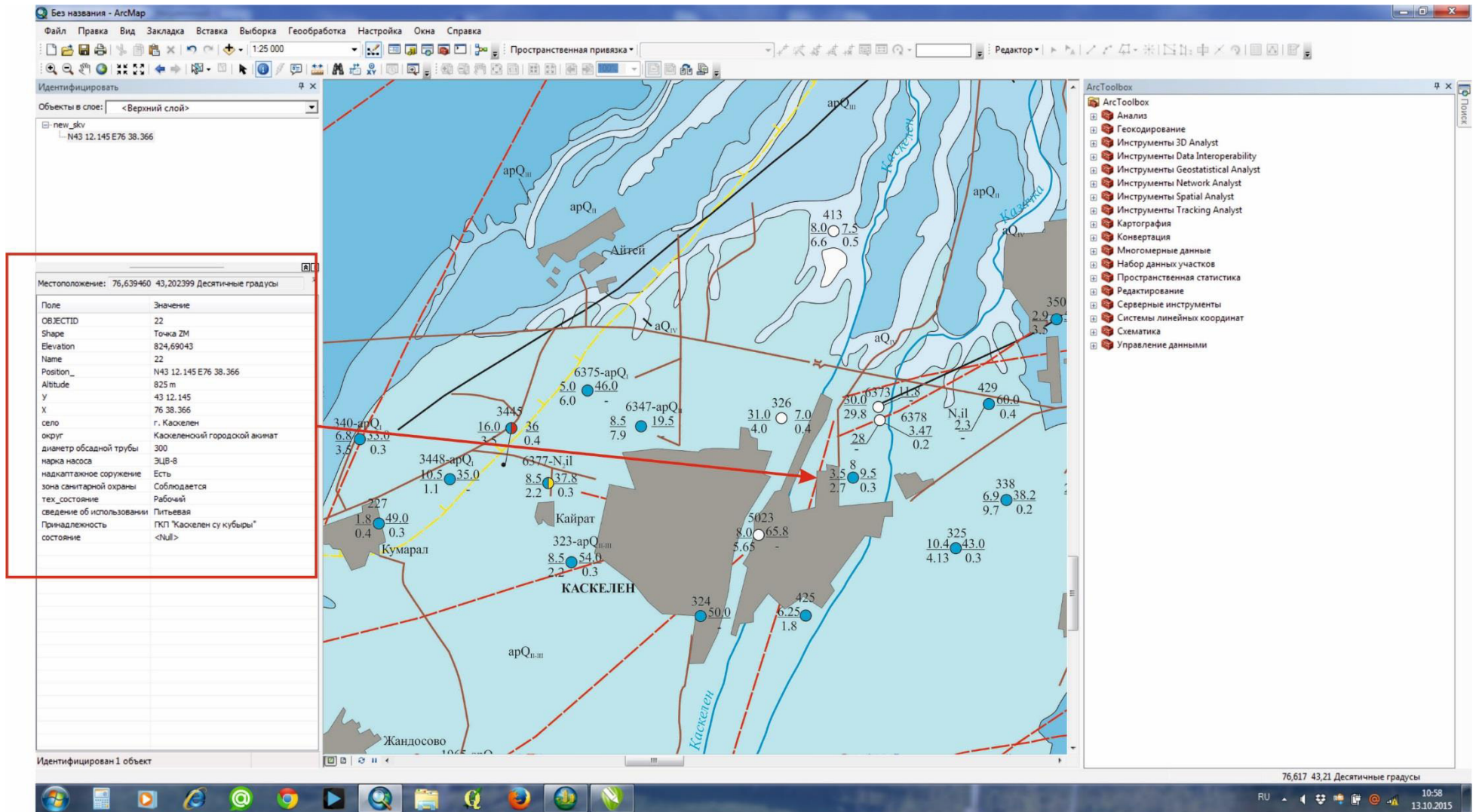


Рисунок 2.6-Пример использования атрибутивного запроса к БД с использованием функции «Выборка» в ГИС

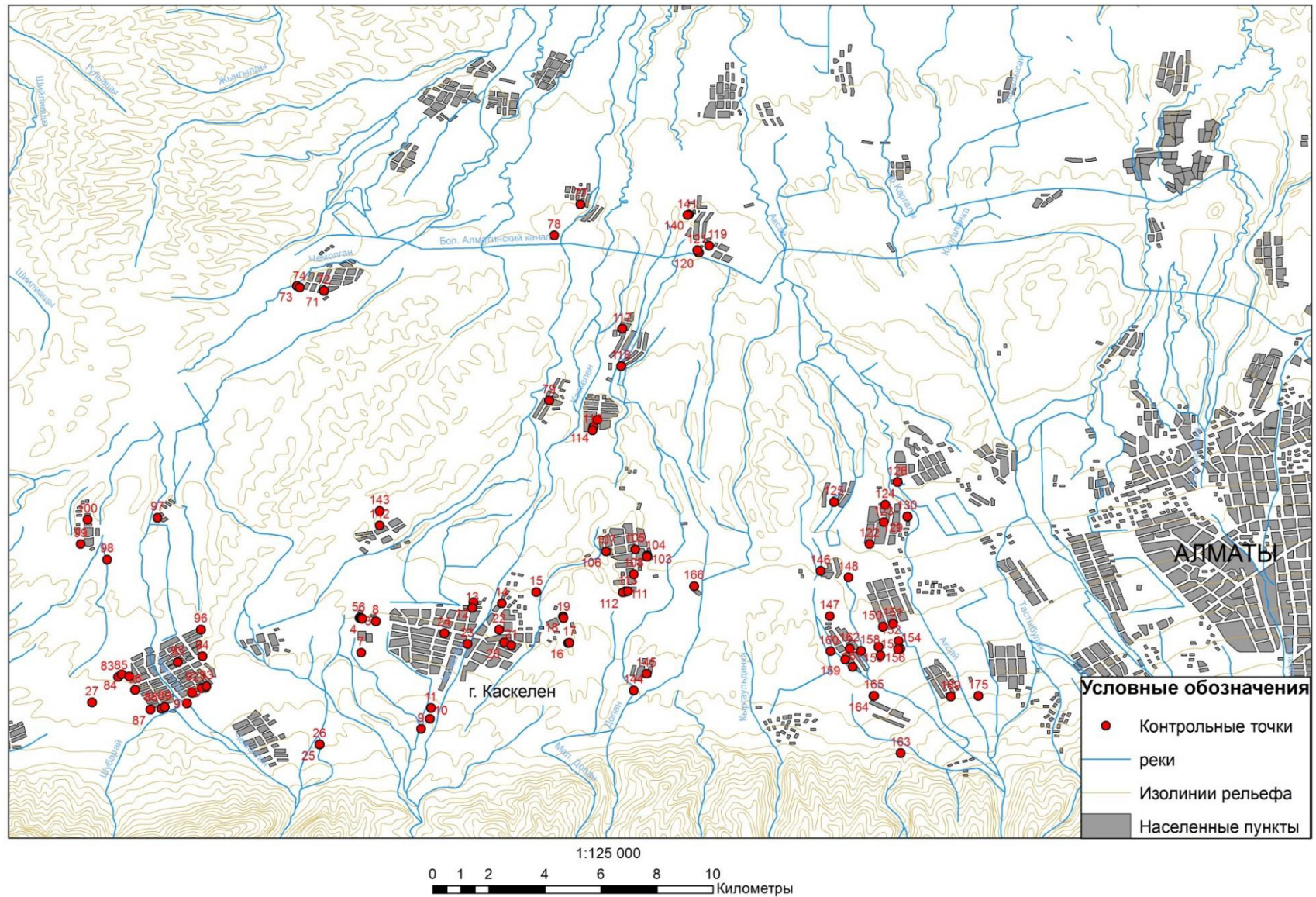


Рисунок 2.7- Схема расположения контрольных точек мониторинга

На основе данных о пространственном расположении скважин строится карта, характеризующая схему расположения разведочных и эксплуатационных скважин, в которых производился отбор проб воды из разных водоносных горизонтов. Как видно, на карте обозначены одиночные и групповые скважины, используя вкладку «Выборка», кликнув на объект можно получить паспорт скважины, данные о ее назначении, вскрытых водоносных горизонтах, результатах мониторинга и опытно-фильтрационных работ.

Известно [47], что подземные воды, особенно в аридных районах Казахстана, содержат специфические компоненты, затрудняющие использование воды в питьевых и хозяйственных целях. Это прежде всего нитраты NO_3 , железо Fe, фтор F и марганец Mn.

Для решения этих задач введенная в БД ГИС информация анализируется с помощью функции «Выборка», ведется последующее построение значений параметров, характеризующих состояние водоносных пластов. Обычно исследования проводятся по ряду нормируемых по СанПиН параметров. В качестве примера на рис. 2.8 приведены результаты построенных карт изолиний, характеризующих содержание нитратов в эксплуатируемых водоносных пластах Каскеленского МПВ. В составе ГИС для решения гидрогеологических задач на основе базового ПО разработаны базы данных: «Мониторинг», «Уровень», «Отбор», «SurfMapper», «Mapper3D».

Построенные серии карт позволяют выявить пространственное распределение в водоносном пласте любого компонента, установить закономерности этого распределения. Результаты пространственного анализа позволяют также установить фоновые и аномальные концентрации компонента для региона или его отдельных участков, выяснить происхождение аномалий и перейти к задачам охраны подземных вод и корректировке антропогенной нагрузки на территорию. По результатам такого анализа также создается и уточняется сеть мониторинга и состав наблюдений по ней.

Контроль за динамикой понижения уровня и величиной водоотбора осуществляется по сети наблюдательных скважин, расположенных в пределах месторождения. Фактическое положение динамического уровня и водоотбора за период мониторинга так же вносится в базу данных ГИС и выводится на рабочую область. Помимо этого, исходные данные в виде таблиц можно сохранить в табличном виде файла формата excel. Результаты режима эксплуатации и изменения уровня выведенные на рабочую область ГИС, приведены на рис.2.9.

Представленная в работе структура базы данных ГИС позволяет выполнять обработку данных мониторинга месторождения подземных вод для решения следующих задач:

- оценки соответствия режима и условий эксплуатации требованиям геологической экспертизы (протокол утверждения эксплуатационных запасов подземных вод, разрешение на специальное водопользование);
- оценки изменения состояния подземных вод и других компонентов окружающей природной среды;

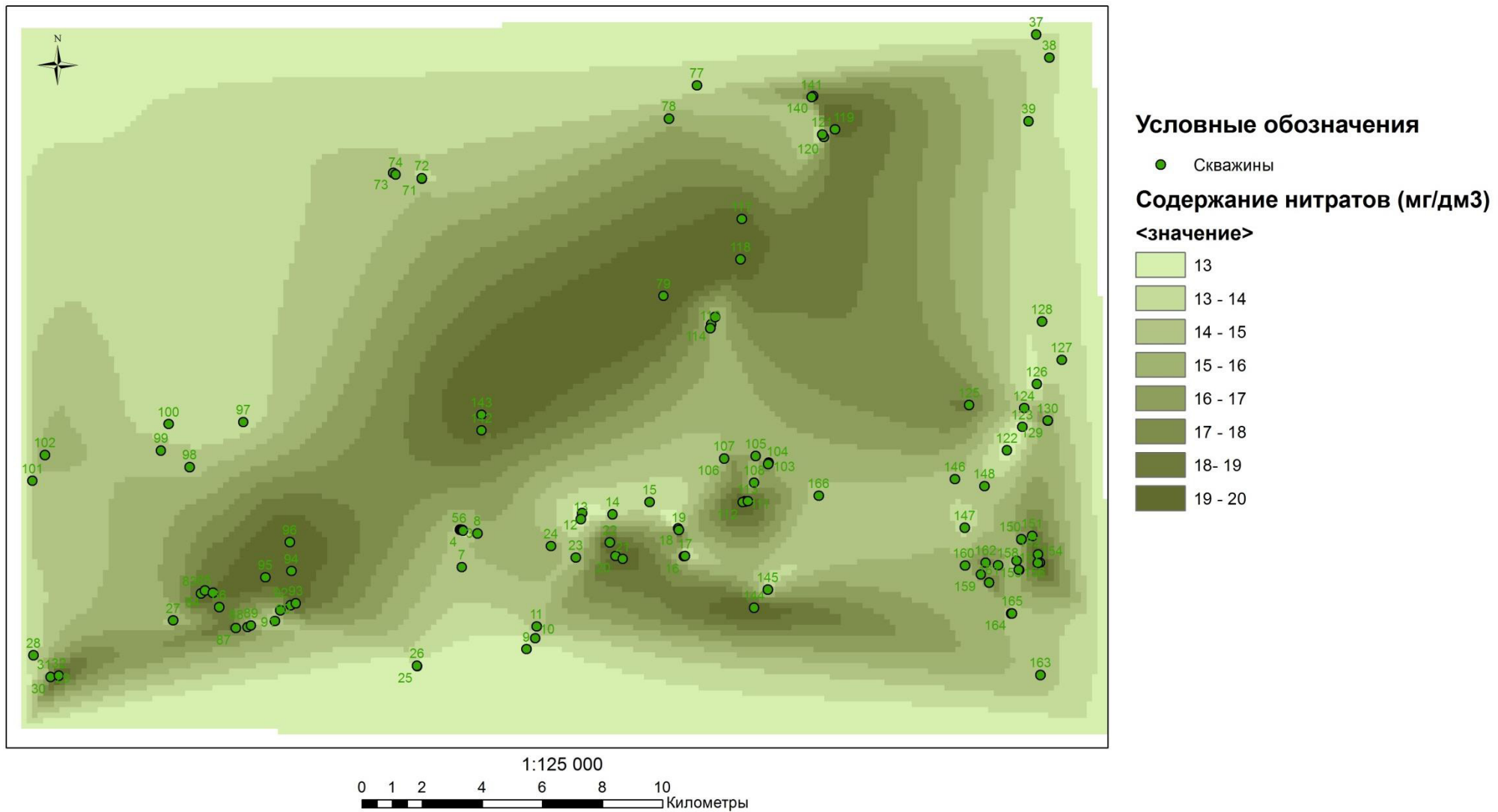


Рисунок 2.8 Содержание нитратов в подземных водах Каскеленского МПВ

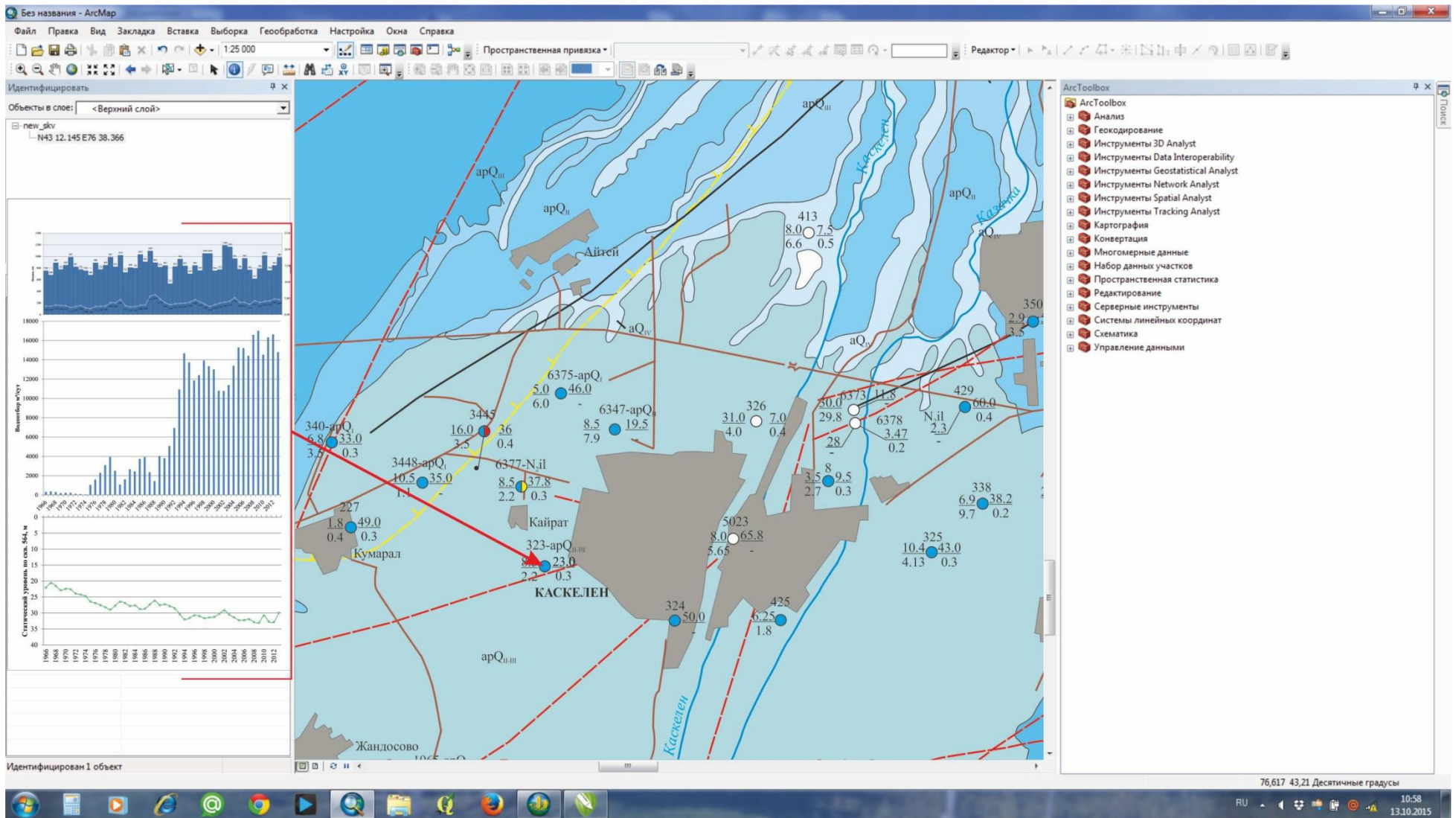


Рисунок 2.9 Режим эксплуатации и изменение уровня подземных вод.

- прогноза изменения состояния подземных вод и окружающей среды;
- оценки эффективности мероприятий по охране подземных вод и других компонентов окружающей среды;
- разработки рекомендаций по рационализации режима эксплуатации и мероприятиям по охране подземных вод и других компонентов окружающей среды, а также принятия других управленческих решений;
- подготовки обобщенных данных для передачи информации в территориальный центр Государственного мониторинга.

Выводы по 2 разделу:

1. Разработана структура ГИС и построена база данных для решения гидрогеологических задач мониторинга Каскеленского месторождения подземных вод в программном комплексе ArcGIS.

2. В составе ГИС для решения гидрогеологических задач на основе базового ПО разработаны структуры баз данных: «Мониторинг», «Уровень», «Отбор», «SurfMapper», «Mapper3D».

3. Разработанная ГИС апробирована при решении следующих задач:

- Ввод, хранение, анализ и визуализация атрибутивных данных, полученных в результате геологических, гидрологических и гидрогеохимических и мониторинговых исследований месторождения подземных вод.

- Разработанная структура баз данных для решения перечисленных задач была успешно использована при проведении работ по доразведке с целью переоценки Каскеленского, Боралдайского и Узынагашского месторождений подземных вод.

- Полученная в результате ГИС является базовой основой для успешного построения математической модели месторождения.

3 ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РАЗРАБОТАННОЙ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ ГИС ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ КАСКЕЛЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

3.1 Обоснование структуры математической модели

Существующая методика моделирования фильтрационных процессов включает в себя [48-53]:

1 Определение пространственной структуры и граничных условий водоносных систем в плане и разрезе, фильтрационных свойств гидрогеологических подразделений, режима фильтрации.

2 Схематизацию гидрогеологических условий. Схематизация предполагает переход от реального объекта к фильтрационной схеме. При схематизации устанавливается характер протекания процесса во времени, пространственная структура потока, граничные и начальные условия.

3 Моделирование геофильтрации основывается главным образом на принципах математического подобия. При этом описание дается дифференциальными или конечно-разностными уравнениями процесса (движения, неразрывности и состояния), а также условиями однозначности (граничные и начальные условия).

Гидрогеологическая модель строилась по результатам ранее проведенных геологических, гидрогеологических, геофизических и других видах исследований, данных наблюдений за режимом подземных вод.

В основу модели положено уравнение, описывающее неустановившийся упругий режим фильтрации подземных вод в неоднородном анизотропном водоносном горизонте [50,51]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (3.1)$$

где

K – коэффициент фильтрации горизонта, м²/сут;

W – источник или сток подземных вод в пределах области фильтрации (скважина, инфильтрация, испарение, перетекание), м³/сут;

x, y, z – Декартова система координат;

$h(x, y, z)$ – напор или уровень подземных вод (УПВ), м.

S_s – коэффициент упругой емкости пласта

Решение матрицы уравнений описывает: а) характеристику строения фильтрационной среды и числовые или функциональные значения ее физических параметров; б) характеристику геометрических размеров исследуемой области фильтрации; в) исходные граничные условия; г) при нестационарной фильтрации начальные условия, описывающие форму пьезометрической поверхности в момент времени принятый за начало отсчета.

Начальные условия задаются на начальный момент времени изучаемого процесса во всех точках области фильтрации в виде известной функции координат [50,52]:

$$H(x,y,z,t)|_{t=0} = H(x,y,z,0) = f(x,y,z) \quad (3.2)$$

Граничные условия задаются для всех граничных точек области фильтрации (x,y,z) .

При выполнении гидрогеологических расчетов используют три основных вида граничных условий (ГУ). ГУ I рода задается в виде [53,54]:

$$H = f(x_r, y_r, z_r) = \text{const} \text{ или } H = f(x_r, y_r, z_r) = f(t), \quad (3.3)$$

т.е. оно может быть постоянным или переменным во времени.

Граничные условия II рода представляется как известный закон изменения расхода потока на его границах:

$$Q = Q(t)_r \quad (3.4)$$

Расход может быть задан как дебит скважины ($Q_c = \text{const}$), может быть равен нулю ($Q_r = 0$), если рассматривать непроницаемую границу или представлен известной величиной инфильтрационного питания, не зависящего от уровня грунтовых вод.

Граничные условия III рода выражает зависимость между изменением расхода потока на его границе от изменения уровня в самом потоке [53,54]:

$$Q = f(H_t) \text{ или } \left(\frac{dh}{dn} \right)_r = f(x_r, y_r, z_r, t) \quad (3.5)$$

Таким условием задается величина фильтрационных потерь из водоемов, водотоков, приток в дрены или отток в смежные водоносные горизонты. Конечно-разностные методы построены на принципе сеток, т.е. замены дифференциальных уравнений их конечно-разностными аналогами, а область фильтрации – сеточной дискретизацией. Впервые метод конечных разностей использован для решения гидрогеологических задач Г.Н. Каменским [55], которым была разработана гидрогеологическая теория метода и дана методика решения прогнозных задач применительно к исследованию подпора грунтовых вод, водопритока к шахтам и обратных задач с целью определения инфильтрационного питания и водоотдачи. Этот метод позднее применен Н.К. Гиринским [56] для решения задач водопритока к скважинам, а затем получил развитие в 60-е годы в работах В.М. Шестакова [57]. Для изучения подпора грунтовых вод и фильтрации из водохранилищ, а также определения различных параметров метод был применен и развит в работах М.А. Вевиоровской, Н.Н. Биндемана, А.В. Лебедева, И.К. Гавич и многих других [11,12,58,59]. В настоящее время численные методы и программное обеспечение для них совершенствуется и развивается.

В данной работе для моделирования фильтрации использован программный комплекс VisualModflow, который обладает следующими возможностями моделирования [52,53- 69]:

- создавать модели с количеством водоносных слоев до 200;
- проводить неравномерную сеточную разбивку области фильтрации;
- задавать анизотропию водоносного горизонта;
- проводить моделирование в установленном и не установленном режимах фильтрации;
- задавать переменные во времени граничные условия I, II и III рода.

Для обоснования модели и подготовки исходных файлов для программной системы ModFlow необходима следующая исходная информация:

- абсолютные отметки поверхности земли, подошвы и кровли каждого водоносного слоя, начального распределения уровней и напоров каждого водоносного слоя, уровней водотоков, дренажных систем;
- карты фильтрационных параметров каждого водоносного слоя (коэффициентов фильтрации, коэффициентов упругой и гравитационной водоотдачи, коэффициентов фильтрации для разделяющих относительно слабопроницаемых слоев);
- гидрологические данные по водотокам;
- данные режимных наблюдений на мониторинговых скважинах и другая гидрогеологическая, геологическая, водохозяйственная информация, которая может понадобиться для выяснения гидродинамических особенностей моделируемой области.

3.2 Построение математической модели Каскеленского месторождения подземных вод

3.2.1 Общая характеристика района

Описываемый район расположен в пределах листов К-43-IV и К-43-Х масштаба 1:200 000 международной разграфки и по административному делению входит в состав Карасайского района Алматинской области [39,60].

В физико–географическом отношении – район исследований приурочен к южной центральной части Илийской межгорной депрессии к полосе предгорного шлейфа конусов выноса рек Каскелен, Шамалган, Аксай. Естественными его границами являются: на юге – водораздельная линия хр. Заилийский Алатау, на севере – региональный Николаевский разлом, западная граница проходит по р. Шамалган, восточная – по р. Аксай (рис 3.1).

Крупным населенным пунктом на участке работ является г. Каскелен – районный центр Карасайского района. Население г. Каскелен на 2014г. составляет около 64,2 тыс. чел. Карасайский район относится к регионам аграрно-промышленной направленности. Структура экономики является многоотраслевой с преобладанием сельскохозяйственного производства и его переработки.

Климат района резко континентальный с большим разнообразием микрозон, обусловленных сменой геоморфологических условий и гипсометрическим положением отдельных участков. Наиболее резко это отличие проявляется между горным хребтом и предгорной равниной.

Количество выпадающих в горах осадков значительно больше, чем на равнине и изменяется от 743-943 мм/год в горных районах до 497-576 мм/год на равнине, где и расположено Каскеленское месторождение подземных вод.

На юге района возвышается горный хребет Заилийский Алатау. Абсолютные отметки достигают 4300-5017 м. Вершины покрыты вечными ледниками и снежниками. Северный склон хребта опускается к равнине, образуя 5-6 уступов. У подножия хребта хорошо выражена предгорная ступень, так называемые прилавки, представляющая два тектонических уступа. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 900 до 1600 м.

Ниже предгорной ступени располагаются конуса выноса, образующие предгорный шлейф, протягивающийся вдоль всего северного предгорья шириной 15-18 м. Поверхность конусов выноса образует холмистую покатую на север равнину. Абсолютные отметки 650-1100 м.

Севернее конусов выноса простирается обширная предгорная наклонная равнина, поверхность которой имеет также слабый уклон от гор к долине р. Или. Абсолютные отметки поверхности равнины 500-480 м. Уклон – 0,004-0,005.

Гидрографическая сеть в районе хорошо развита и принадлежит Балхашскому водному бассейну. К рекам горного типа относятся – Каскелен, Аксай, Шамалган. Непосредственно на участке месторождения гидрографическая сеть представлена рекой Каскелен и ее притоками. Река относится к горному типу. Она берет начало с северного склона хребта Заилийский Алатау на высоте 3580 м и впадает в Капшагайское водохранилище. Длина реки 177 км, площадь водосбора 3620 км². Ширина у устья около 30 м, глубина до 1,5 м. Она формируется за счет питания ледниковых вод и спускается с гор на предгорную равнину. Русло реки сложено галечником и валунами различной величины, дно имеет значительный уклон (4-12⁰). При выходе из гор поперечный профиль становится ящикообразным, сохраняя эту форму и на равнине. Гидрограф реки имеет два паводка: весенний и летний, причем весенний паводок плавно, без резкого понижения уровня, переходит в летний. Весенний паводок связан с таянием предгорных и горных снегов, летний – с таянием высокогорных снежников и ледников. Воды реки Каскелен используются для водоснабжения и орошения. В горной части река принимает притоки Емеген, Касымбек, Копсай и др. На равнине в нее впадают притоки Шамалган, Аксай, Кокозек.

В целом питание рек смешанное: снеговое, ледниковое, дождевое и грунтовое. Максимальные среднемесячные расходы рек наблюдаются в мае-июле, минимальные в феврале-марте.

Среднегодовой за многолетие расход р. Каскелен при выходе из гор составляет 4,14 м³/с, а р. Шамалган – 1,33 м³/с. Эти реки в значительной мере вносят вклад на формирование стока подземных вод.

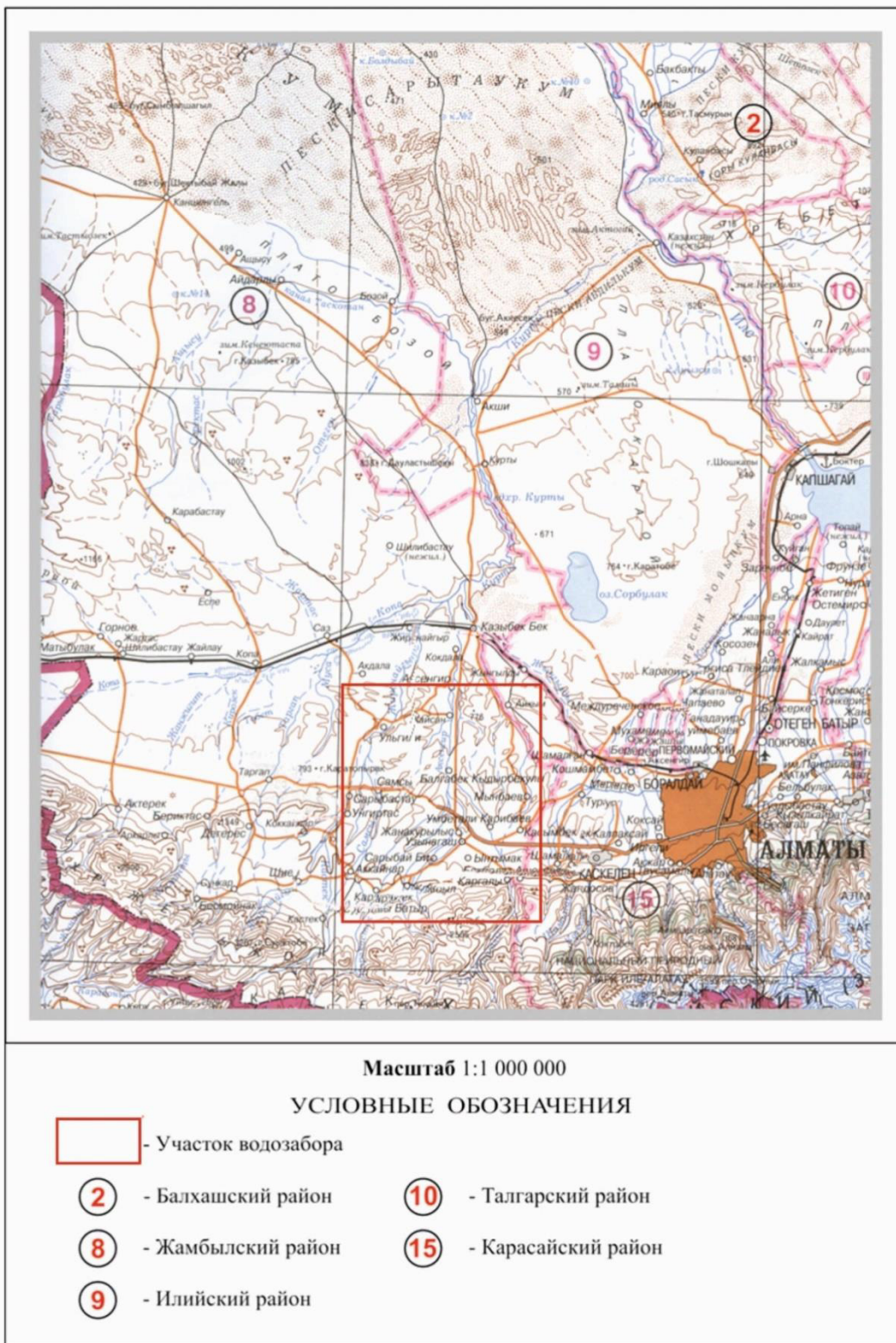


Рисунок 3.1-Обзорная карта района работ

3.2.2 Геолого-гидрогеологическая характеристика месторождения

Каскеленское месторождение находится в юго-западной части обширной Илийской впадины и в структурно-тектоническом отношении тяготеет к зоне максимального погружения ее консолидированного фундамента, известной под названием Алматинская впадина. Последняя представляет собой структуру III порядка возникшую и сформировавшуюся (как и Илийская депрессия) в эпоху альпийского орогенеза в результате неоднократно повторявшихся блоковых тектонических подвижек и в силу постоянной тенденции к опусканию, являющуюся областью аккумуляции мощной толщи терригенных осадков.

Возникновение конусов выноса в предгорьях хребта Заилийский Алатау является закономерным процессом геологического развития данного региона и отражением их структурного положения.

Основную часть месторождения занимают Каскеленский и Чемолганский конусы выноса, площадью 88 кв. км, и предгорная равнина, площадью около 178,4 кв.км. Общая площадь месторождения 266,4 кв.км.

Отложения конусов выноса характеризуются однородной литологией. Содержащиеся в них подземные воды обладают тесной гидравлической связью. Поэтому эти конуса выноса гидрогеологически рассматриваются как единое целое. Протяженность конусов с юга на север (от горного хребта до зоны выклинивания подземных вод) достигает 8 км. Общая ширина в поперечном сечении 13,5 км.

В целом, месторождение имеет отчетливо выраженные геологические и гидрогеологические границы. На юге эта граница проходит по контакту рыхлых валунно-галечниковых отложений современных конусов выноса с нижнечетвертичными отложениями предгорной ступени, выраженной в рельефе уступами высотой 100-300 м.

На востоке граница проходит по контуру отложений среднечетвертичного возраста, слагающих междуречье Аксай - Каскелен, а также по серии останцев нижнечетвертичного возраста. Те и другие отложения представлены преимущественно суглинками.

На западе граница месторождения совпадает с контуром нижнечетвертичных отложений, сохранившихся в виде останцев, сложенных суглинками и образующих гряду северо-восточного простирания. Общая мощность рыхлых отложений в пределах конуса выноса по геофизическим данным равна 500 и более метров.

Гидрогеологические условия Каскеленского месторождения определяются геологическим строением, тектоникой, литологией, геоморфологическими и климатическими условиями территории. Горы Заилийского Алатау по сути являются областью питания подземных вод, откуда выпавшие атмосферные осадки в дальнейшем формируют поверхностный сток горных рек и подземные воды. Общее направление движения подземных вод от гор в сторону долины р. Или (на север).

По гидрогеологическому районированию Каскеленское месторождение подземных вод расположено в пределах Илийской системы артезианских бассейнов, расположено в его южной части и приурочено к одноименному конусу выноса.

Каскеленское месторождение, как и другие месторождения в предгорьях Заилийского Алатау, оказалось исключительно благоприятным для накопления запасов подземных вод, чему способствовал целый ряд географических и геологических факторов, таких, как:

- значительные мощности четвертичных рыхлообломочных накоплений;
- высокая проницаемость отложений;
- наличие значительного поверхностного стока;
- сравнительно большое количество атмосферных осадков.

В прелеах конусов выноса распространен водоносный средне-верхнечетвертичный аллювиально-пролювиальный комплекс (apQ_{II-III}), на предгорной равнине - водоносный современный аллювиальный горизонт (aQ_{IV}), среднечетвертичный (apQ_{III}), и нижнечетвертичный (apQ_I) аллювиально-пролювиальные комплексы.

Включение участка на предгорной равнине связано с гидравлической связью этих водоносных комплексов и нахождением нескольких населенных пунктов (Улан, Батан, Жамбыл, Жалпаксай, Айтей) эксплуатирующих напорные подземные воды месторождения. Возрастная граница выделена с учетом данных геофизических исследований в скважинах.

Водоносный современный аллювиальный горизонт (aQ_{IV}). Горизонт имеет широкое распространение и приурочен к долинам рек. Сложен комплекс гравийно-галечниками и галечниками, разнозернистыми песками с прослоями супесей и суглинков. Глубина залегания уровня грунтовых вод 0,5-7,0 м. Мощность водоносного горизонта 10-15 м. Дебиты скважин составляют 0,1-1,5 л/с при понижении уровня подземных вод 2,0-1,3 м соответственно. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 0,2-0,4 г/л. Питание водоносного горизонта происходит, в основном, за счет потерь поверхностного стока и перетекания из ниже залегающих водоносных горизонтов и комплексов.

Водоносный средне-верхнечетвертичный аллювиально-пролювиальный комплекс (apQ_{II-III}) распространен в пределах Каскеленского конуса выноса. В южной части месторождения комплекс сложен грубообломочными хорошо проницаемыми отложениями, которые через предгорные ступени-"прилавки" примыкают к интрузивным и палеозойским породам горного обрамления, что создает благоприятные условия для перетекания трещинных вод горных сооружений, фильтрации поверхностных вод и инфильтрации атмосферных осадков. В западном и восточном направлении он прослеживается вдоль северных подножий хребта Заилийский Алатау на сотни километров. На севере наблюдается сокращение мощности обломочных отложений, некоторое ухудшение фильтрационных свойств, уменьшение живого сечения потока и

т.д., вызывающие выклинивание подземных вод. В связи с этим в северном направлении распространение комплекса ограничивается зоной выклинивания.

Гидрогеологические особенности описываемого комплекса полностью определяются особенностями геологического строения слагающих его пород.

На большей части месторождения водоносный комплекс представлен толщей грубокластического материала, к которой приурочен мощный единый поток подземных вод, направленный от гор к равнине.

Вещественный состав и свойства слагающих его пород изучались при разведке Каскеленского месторождения. По данным анализов содержание валунов изменяется в пределах 25,6-45,8 %, в среднем 35,4 %. Отмечается уменьшение количества валунов с глубиной. Содержание гальки составляет в пределах 38,2-66,4 %, в среднем 46,69 %, гравия - 2,1-11,97 % (среднее 5,25 %), песка - 10,2-20,3 % (среднее - 13,52 %), пылеватых и глинистых частиц - 0,28-2,47 % (среднее - 0,93 %).

Верхняя часть зоны аэрации на большей части территории сложена суглинками, реже супесями, мощность которых варьирует в широких пределах от 0,3-0,7 м до 5-10 м. Наряду с этим суглинки и супеси слагают линзы и линзовидные прослои среди толщи валунно-галечников.

Водопроницаемость пород зоны аэрации зависит от их механического состава. Коэффициент фильтрации суглинков по результатам опытных наливов составляет 0,078-0,957 м/сут, по данным испытаний монолитных образцов - 0,093-0,165 м/сут, для песков - по данным наливов - 0,843-2,38 м/сут, по результатам испытаний в трубке СПЕЦГЕО - 1,21-3,62 м/сут [61].

Зеркало подземных вод имеет общий уклон от гор к равнине. Величина его значительно изменяется на отдельных участках, но в целом намного меньше уклона поверхности, Глубина залегания увеличивается к горному массиву, где достигает 130,9 м (скв.1965). В средней части конуса выноса глубина залегания подземных вод составляет 30-54 м (скв.658,323).

В нижней части конуса выноса происходит пересечение зеркала подземных вод с дневной поверхностью. В связи с этим, а так же в силу изменения геолого-гидрогеологических условий здесь развита зона выклинивания, выраженная наличием родников, мочажин, дающих начало рекам типа «Карасу». По геолого-гидрогеологическому строению и гидрогеологическим условиям она является переходной между собственно конусом выноса и предгорной равниной. К югу от зоны выклинивания подземных вод в разрезе явно преобладают валунно-галечники и галечники, к северу - пески, гравийно-галечники, переслаивающиеся с суглинками.

Достаточно полное представление о вещественном составе пород комплекса, их мощностях и изменчивости по площади и в разрезе дают гидрогеологические профили (Рис.3.2,3.3), пересекающие Каскеленский конус выноса в субширотном и субмеридиональном направлениях.

При количественном опробовании водоносного горизонта наименьшие удельные дебиты получены в восточной части участка, при этом получены удельные дебиты соответственно 1,0-2,2 л/с.

Наибольшие удельные дебиты получены при откачках из скважин в центральной части водозабора. Фактически полученные удельные дебиты колеблются от 8,0 до 17,9 л/с. Соответственно изменяются и величины коэффициентов фильтрации, рассчитанные по данным откачек. Они изменяются в пределах от 10-15 до 134 м/сут. Максимальная водообильность и водоотдача характерна для толщ галечников и валунно-галечников, слагающих нижнюю половину территории конусов выноса вплоть до зоны выклинивания. В вертикальном разрезе максимальная водообильность отложений конуса выноса характерна для галечников и валунно-галечников, слагающих верхние части разреза в интервале от 10,0 до 100 м.

С глубиной и в этом интервале водообильность пород несколько снижается, что можно объяснить повышением степени уплотненности пород. Это подтверждается наличием слоев песчаников и конгломерата, а также увеличением количества глинистого материала в заполнителе.

В западной части участка фильтрационные свойства также несколько ухудшаются. По данным откачек из скважин удельный дебит равен 2,57 л/с, коэффициент фильтрации 16 м/сут. Объясняется это тем, что на северо-западе средне- и верхнечетвертичные отложения Чемолганского и Каскеленского конусов выноса сочленяются с нижнечетвертичными отложениями межконусного участка, сложенного в основном суглинками и глинами. Наличие подобного поднятия резко тормозило водные потоки подземных вод и поворачивало их русло. Все это способствовало накоплению мелкозернистого материала, что нашло выражение в вертикальном разрезе в виде мощных прослоев суглинка в едином комплексе водопроницаемых пород. На этом же участке зеркало подземных вод плавно поворачивает на северо-восток, что также подтверждает наличие поднятия из водоупорных пород.

Подземные воды комплекса пресные с минерализацией 0,2-0,5 г/л, по химическому составу гидрокарбонатные, иногда сульфатно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые и натриево-кальциевые (более подробная характеристика качества подземных вод приведена далее в специальном разделе).

Водоносный среднечетвертичный аллювиально-пролювиальный комплекс (арQII) пользуется широким распространением в пределах предгорной равнины. Он содержит напорные и безнапорные водоносные горизонты. На предгорной равнине единый поток, развитый в теле конуса выноса, делится на ряд напорных водоносных горизонтов, гидравлически тесно между собой связанных.

Севернее конуса выноса водоносный комплекс характеризуется наличием напорных водоносных горизонтов, которые распространены практически повсеместно. Северная граница самоизливающихся вод проходит по Николаевскому разлому, за которым напоры заметно снижаются. Гидростатические напоры увеличиваются с глубиной. Напорные водоносные горизонты залегают на глубине от 13,7 до 150-180 м. Дебиты скважин

составляют в пределах 4,3-40,0 л/с при понижениях уровня на 2,2-15,6 м. Удельные дебиты скважин - 1,9-2,6 л/с.

На участках равнины, прилегающих к долинам рек и конусу выноса, рассматриваемый водоносный комплекс представлен галечниками и гравийно-галечниками с мощностью до 50-75 % от всей мощности разреза. Грунтовые воды на этих участках имеют лучшие условия питания. Они залегают на глубинах 5-10 м и характеризуются значительной водообильностью. Дебиты скважин составляют 1-5 л/с. У периферии конуса выноса отчетливо выражена зона выклинивания подземных вод, где встречаются родники с дебитами до 20-25 л/с.

Напорные водоносные горизонты на таких участках залегают на глубинах 10-25 м и более. Сложены они галечниками, реже валунно-галечниками и песками, переслаивающиеся с суглинками и супесями. Мощность отдельных водоносных горизонтов изменяется от 2 до 25 м, а суммарная их мощность достигает 100-125 м. Водоупорные прослои не выдержаны по простиранию и мощности и характеризуются линзовидным строением. Гидравлическая связь между горизонтами тесная. Увеличение гидростатического напора с глубиной свидетельствует о возможности вертикальной разгрузки напорных вод и о подпитывании верхних водоносных горизонтов водами глубокой циркуляции.

Водоносный нижнечетвертичный аллювиально-пролювиальный комплекс (арQ₁) распространен в нижней части разреза конуса выноса и залегает на эродированной поверхности плиоценовых отложений. Выходы нижнечетвертичных отложений сохранились в виде отдельных останцев, они образуют возвышенности, изрезанные овражной сетью.

Литология комплекса изменяется от валунно-галечников, галечников в пределах конуса выноса, до супесей и тонкозернистых песков гравийных, и конгломератов с прослоями суглинков, супесей и глин на предгорной равнине. Увеличение водосодержащих прослоев и линз происходит с глубиной, мощность отдельных слоев изменяется от 0,5- 1,0 до 12-20 м.

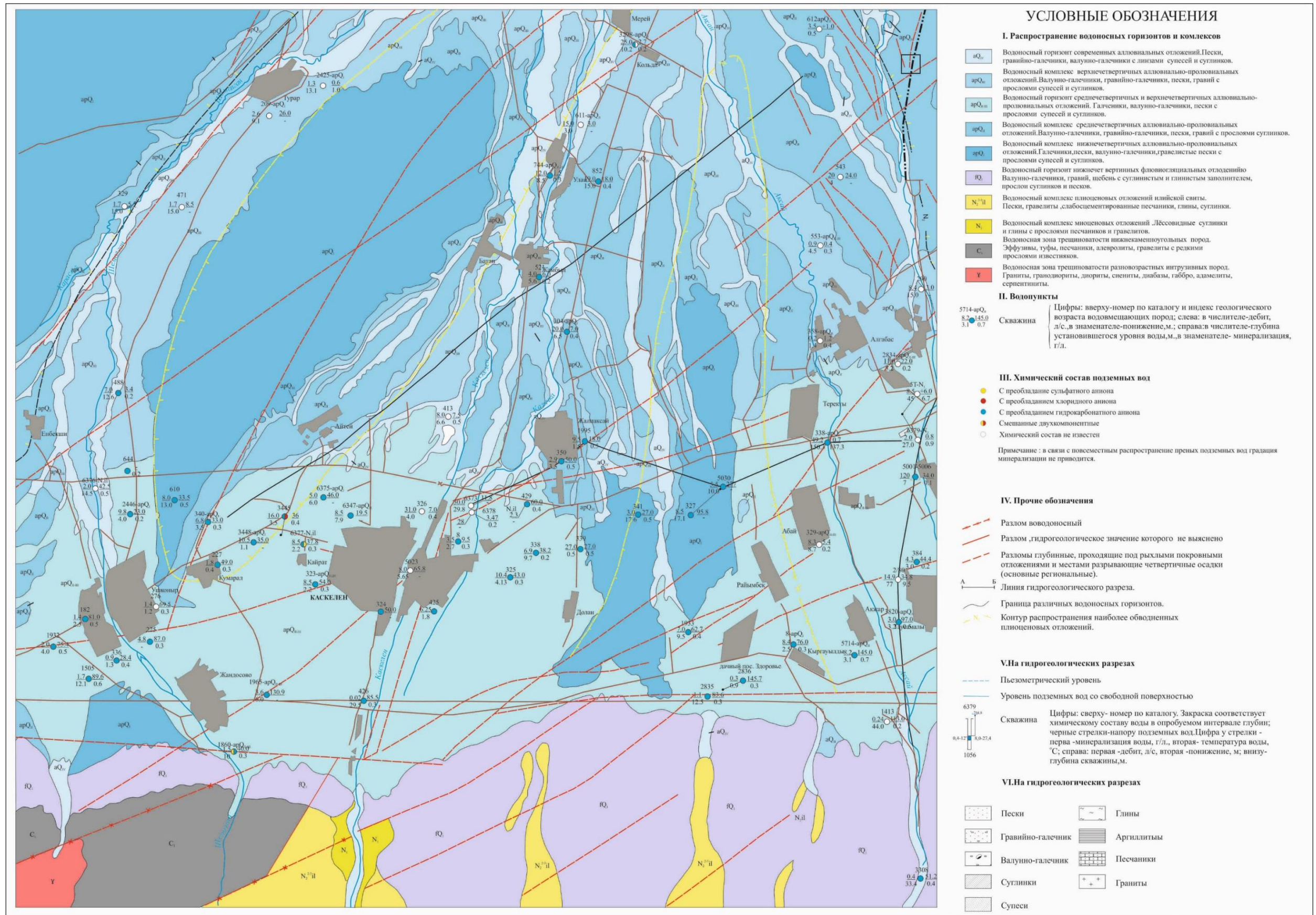


Рисунок 3.1-Гидрогеологическая карта Каскеленского месторождения подземных вод

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А-Б

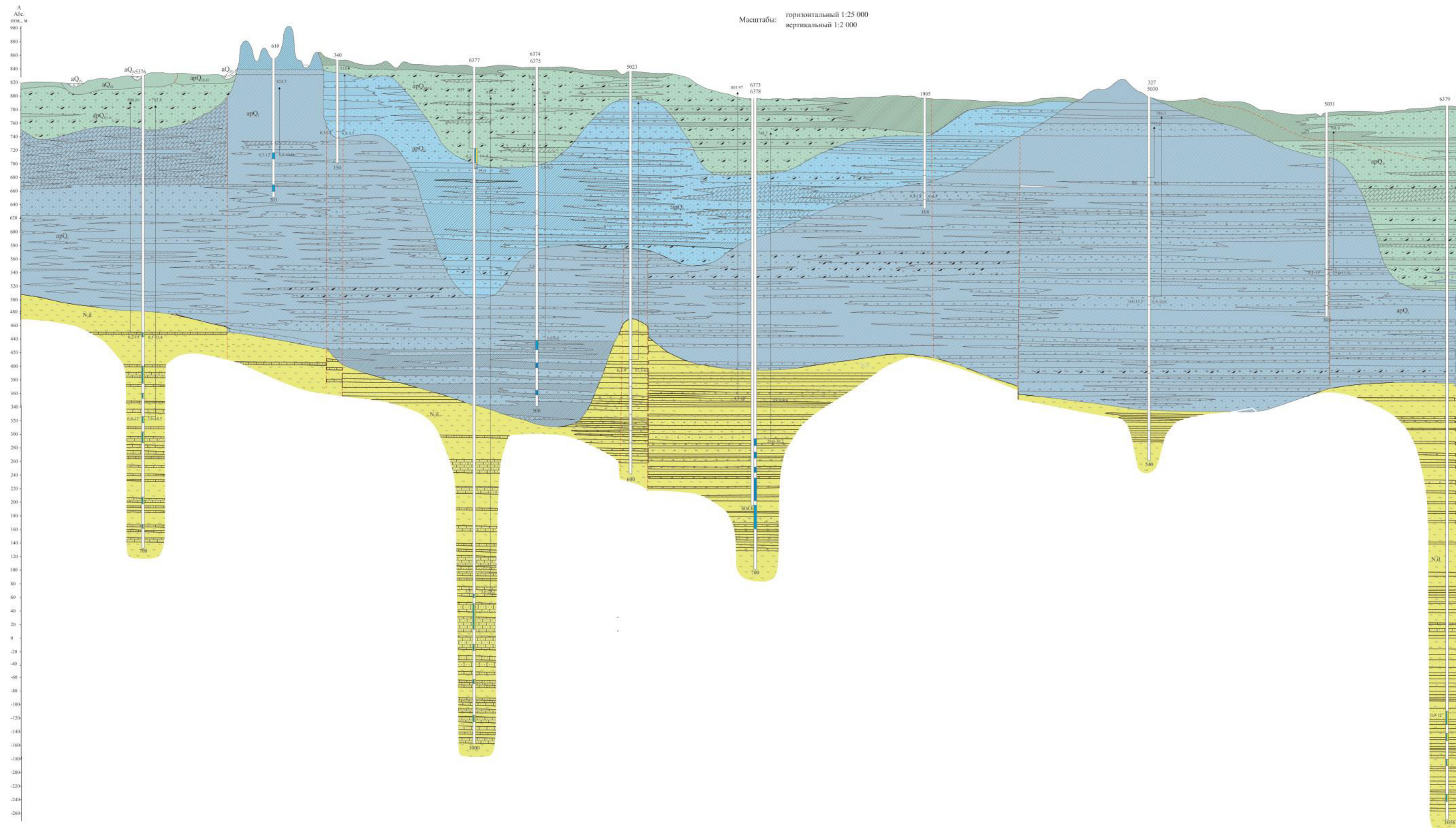


Рисунок 3.2-Гидрогеологический разрез Каскеленского месторождения подземных вод по линии А-Б

Севернее зоны выклинивания для водоносного комплекса характерно частое переслаивание водоносных горизонтов и слабопроницаемых водоупоров. Мощность водоносных прослоев составляет от 2-15 м.

На предгорной равнине (на расстоянии 13 км от зоны выклинивания) водоносный комплекс вскрыт и опробован скважиной № 253.

Скважина № 253, глубиной 350 м, вскрыла напорные воды комплекса на глубине 254 м, интервал опробования 255-287 м. Количество горизонтов - 5. Мощность отдельных горизонтов в пределах 2-6 м, суммарная мощность горизонтов - 12 м. Дебит скважины - 50,0 л/с при понижении уровня воды на 17,2 м. Уровень подземных вод при опробовании составил +7,5 м выше поверхности земли.

Подземные воды нижнечетвертичного комплекса имеют тесную гидравлическую связь с вышележающим водоносным комплексом, особенно в пределах конуса выноса. Подземные воды нижнечетвертичного водоносного комплекса пресные с минерализацией 0,15-0,5 г/л. По химическому составу воды гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные, натриево-кальциевые. Температура подземных вод 10-12°C.

3.2.3 Обоснование построения математической модели

Геофильтрационная модель Каскеленского месторождения подземных вод выполнена с использованием программного комплекса VisualModFlowPremium 2012.2. Моделирование геофильтрационных процессов месторождения позволяет решить следующие задачи :

- 1 Определить распределение элементов баланса подземных вод в пределах исследуемой территории.
- 2 Оценить современную и прогнозную гидрогеологическую обстановку на исследуемой территории.
- 3 Дать оценку возможности требуемого водоотбора, при допустимом понижении на конец срока эксплуатации (10 000 суток). Таким образом, переоценить эксплуатационные запасы месторождения подземных вод.

В качестве исходных данных, при создании гидродинамической модели месторождения использованы материалы построения ГИС Каскеленского месторождения подземных вод в программном комплексе ArcGIS, а так же использованы данные других фондовых геологических, гидрогеологических и гидрологических исследований [39,60,62-65], в основу расчётов приняты следующие материалы:

- гидрогеологическая карта района масштабов 1:200 000 , 1:100 000 и разрезы к ней;
- топографическая карта для всей площади моделируемой области М 1: 100 000 ;
- карта фактического материала с расположением участков водозаборов;
- геолого-технические разрезы эксплуатационных и наблюдательных скважин и ситуационные планы участков водозаборов;

- водопотребность г.Каскелен и близлежащих населенных пунктов, расположенных в пределах границ месторождения на 2014г. составляет 22,9 тыс. м³/сутки.

- расчетный срок эксплуатации принят равным 10000 суток.

- качество воды в период эксплуатации должно соответствовать санитарным требованиям СП РК № 104 от 18.01.12г.

- величина допустимого понижения уровня подземных вод принята равной 40м.

Для создания гидродинамической модели исследуемой территории проведены:

- схематизация природной гидрогеологической обстановки;

- фильтрационная схематизация толщи водовмещающих пород, на основе анализа литолого-фациальных данных и данных опробования водоносных комплексов;

- дискретизация моделируемой области по результатам анализа особенностей геологической и гидрогеологической стратификации и литологического состава водовмещающих отложений;

При моделировании работы выполнены со следующей стадийностью:

1. Решена и откалибрована геофильтрационная модель с решением обратной стационарной задачи фильтрации на период оценки запасов 1966гг.

2. Выполнена калибровка модели с решением эпигнозной нестационарной задачи на период 1966-2013гг.

3. Решена прогнозная нестационарная задача на 2040г. (10 000 суток) с целью переоценки эксплуатационных запасов подземных вод, с учетом заявленной водопотребности.

3.2.4 Схематизация природных гидрогеологических условий месторождения

Эксплуатация Каскеленского месторождения подземных вод ведется в условиях взаимовлияния с Алматинским, Узынагашским, Боралдайским и Каройским месторождениями подземных вод. Данные условия вызвали необходимость создания модели регионального уровня, включающей участки водозаборов вышеупомянутых месторождений подземных вод. При этом, в модель введены данные эксплуатационных скважин, находящихся в пределах радиуса влияния. Всего обработана информация по 180 скважинам района работ [39,60-66].

Гидрогеологические условия в плане были схематизированы в виде области фильтрации размерами 41x56,3 км, общей площадью 2308,3 км². Внешние границы моделируемой области приняты в соответствии с ранее описанными гидрогеологическими условиями [39,60].

На юге принята граница по контакту рыхлых валунно-галечниковых отложений современных конусов выноса с нижнечетвертичными отложениями предгорной ступени, представленными плотными суглинками. На востоке

граница проходит по контуру отложений среднечетвертичного возраста, слагающих междуречье Аксай - Каскелен, а также по серии останцев нижнечетвертичного возраста. Те и другие отложения представлены преимущественно суглинками. На северо-западе граница месторождения проходит по выходу палеозойских отложений гор.

Моделируемая область в плане аппроксимирована ортогональной сеткой с шагом $M \times N = 100 \times 200$ м.

Гидрогеологические условия в разрезе приняты по результатам анализа геологической и гидрогеологической информации, с учетом особенностей литологического строения разреза, изменения фильтрационных свойств водовмещающих отложений, закономерности движения подземных вод. Всего выделены два гидродинамических этажа и созданы 3 слоя модели [66]:

слой 1 – водоносный горизонт среднечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений ($арQ_{II-III}$), в зоне предгорной равнины ($арQ_{III}$);

слой 2 – прослой плотных суглинков (водоразделяющий слой);

слой 3 – водоносный горизонт нижнечетвертичных отложений ($арQ_I$);

Внешние граничные условия расчётной области определены следующим образом:

Внутренние граничные условия схематизированы следующим образом:

- по руслам рр.Чемолган, Каскелен, Аксай, Большая Алматинка, Малая Алматинка – граничное условие II рода ($H = \text{const}$).

- точечные стоки от работы водозаборов – переменный во времени расход [$Q_v = f(t)$] в точках расположения водозаборных скважин. Нагрузки на водозаборы распределены в соответствии с фактическими данными о среднегодовом водоотборе. Карта-схема распределения по расчётной области граничных условий представлена на (Рис. 3.4, 3.5).

Величина питания подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков принята равной 58 мм/год [66].

3.2.5 Дискретизация расчётной области

Контур расчётной области аппроксимируется многоугольником, стороны которого совпадают со схематизированными границами месторождения [69].

Расчётная область, путем наложения на неё ортогональной прямоугольной сетки с шагом 100 х 200 м разбита на 35742 блоков. Дискретизация нестационарного процесса при решении прогнозной задачи предусматривает вывод на печать информацию по временному интервалу, равному 10000 суток.

Величина мощности водоносных комплексов задана в соответствии с картами мощностей четвертичного водоносного комплекса Алматинского, Каскеленского и Боролдайского месторождений, отметки на модели распределены с помощью интерполяции методом «NearestNeighbouring».

Трёхмерная стационарная фильтрация потока подземных вод в гетерогенной и анизотропной среде в общем случае описывается уравнением [70,71]:

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = 0$$

с начальными условиями

$$h(x, y, z) = H_0(x, y, z) \quad \text{на } \Omega$$

с граничными условиями

$$h(x, y, z) = H(x, y, z) \quad \text{на } \Gamma_1$$

$$K_n \frac{\partial h(x, y, z)}{\partial n} = Q(x, y, z) \quad \text{на } \Gamma_2$$
(3.6)

где K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} - коэффициенты фильтрации по направлению координатных осей x, y, z ; h - напор (L); W - источник или сток подземных вод в пределах области фильтрации (скважина, инфильтрация, испарение, перетекание), м³/сут; S_s - коэффициент упругой емкости пласта. В общем случае функции $S_s, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}, W$ могут быть функциями пространственных координат ($S_s = S_s(x, y, z), K_{xx}(x, y, z)$ и т.д.), Ω - моделируемая область, $H_0(x, y, z)$ - известное распределение напора в начальный момент времени; Γ_1 - граница с заданным напором, $H(x, y, z, t)$ значение напора вдоль границы Γ_1 ; Γ_2 - граница с изменением расхода воды, K_n - коэффициент фильтрации по нормали к границе $\Gamma_2, Q(x, y, z)$ - расход воды.

Трехмерная нестационарная фильтрация потока подземных вод в гетерогенной и анизотропной среде в общем случае описывается уравнением [70,72]:

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

с начальными условиями

$$h(x, y, z, t) = H_0(x, y, z) \quad \text{на } \Omega, t = 0$$

с граничными условиями

$$h(x, y, z, t) = H(x, y, z, t) \quad \text{на } \Gamma_1, t \geq 0$$

$$K_n \frac{\partial h(x, y, z, t)}{\partial n} = Q(x, y, z, t) \quad \text{на } \Gamma_2, t \geq 0$$
(3.7)

где K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} - коэффициенты фильтрации по направлению координатных осей x, y, z ; h - напор (L); W - источник или сток подземных вод в пределах области фильтрации (скважина, инфильтрация, испарение, перетекание), м³/сут; S_s - коэффициент упругой емкости пласта. В общем случае функции $S_s, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}, W$ могут быть функциями пространственных координат ($S_s = S_s(x, y, z), K_{xx}(x, y, z)$ и т.д.), Ω - моделируемая область, $H_0(x, y, z)$ - известное распределение напора в начальный момент времени; Γ_1 - граница с заданным напором, $H(x, y, z, t)$ значение напора вдоль границы Γ_1 ; Γ_2 - граница с изменением расхода воды, K_n - коэффициент фильтрации по нормали к границе $\Gamma_2, Q(x, y, z)$ - расход воды.

Интенсивность инфильтрационного питания, оцененная по результатам проведенных исследований [73,74], задавалась в первый слой через граничное условие - "Питание".

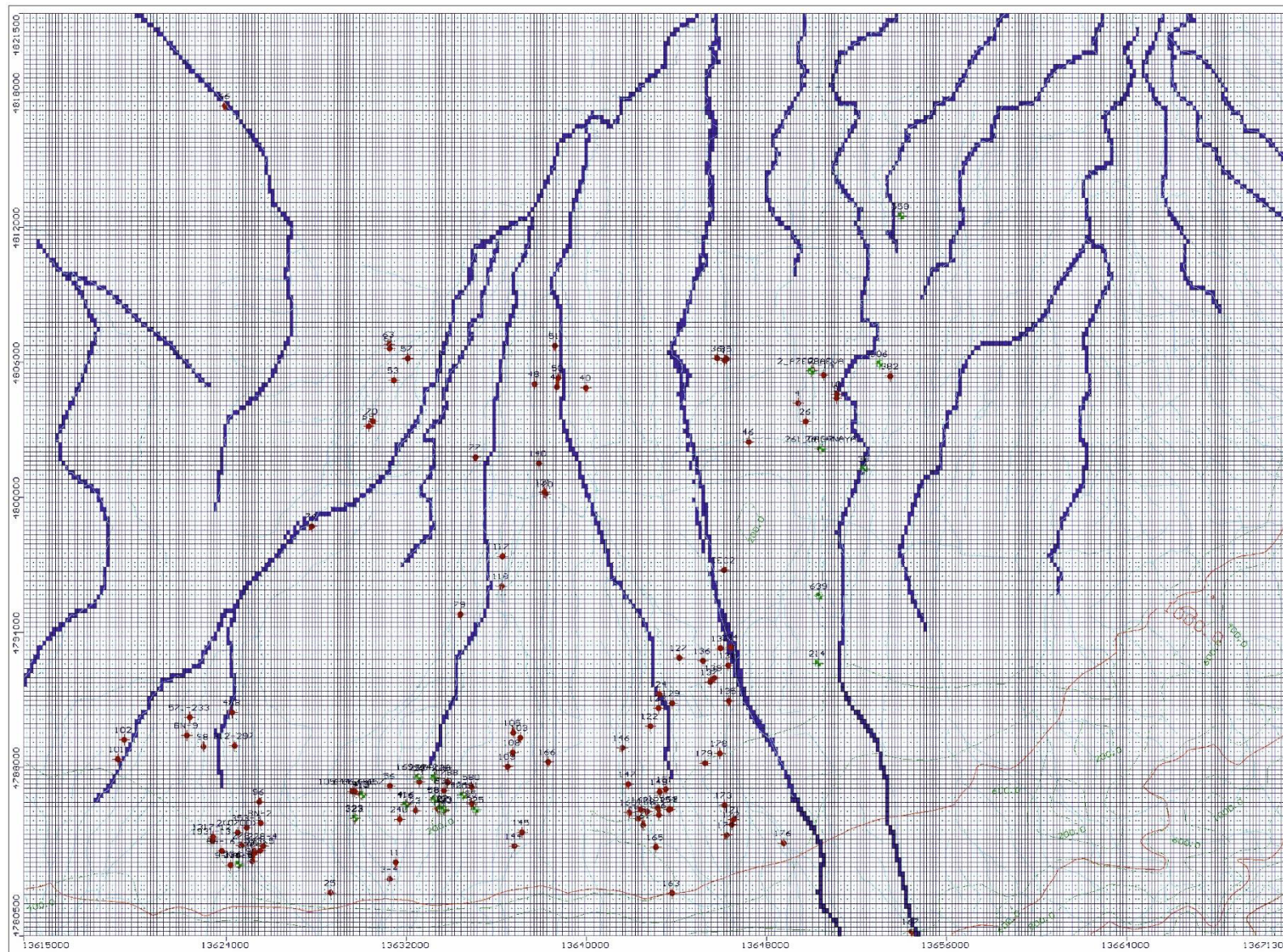


Рисунок 3.4 - Карта-схема распределения граничных условий второго порядка на модельной области

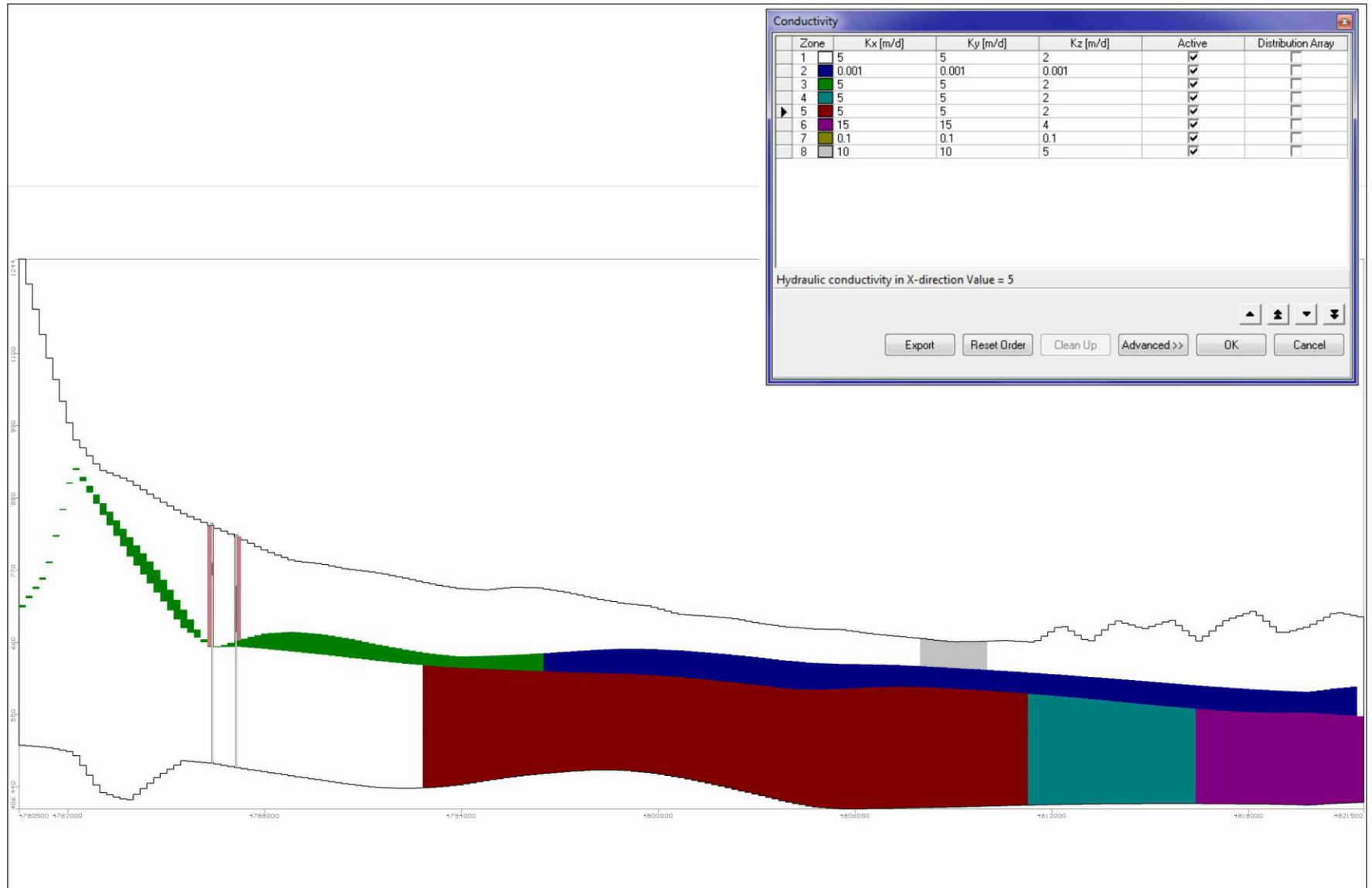


Рисунок 3.5 - Схематический разрез модели

Реки с постоянным стоком (рр.Чемолган, Каскелен, Аксай, задавались граничным условием «Река» в слой 1 - условие II рода через задание абсолютных отметок уровня воды в реке и коэффициента проводимости ложа, оцениваемого по формуле[75-77]:

$$C = \frac{KLW}{M}, \quad (3.8)$$

где:

K – коэффициент фильтрации слабопроницаемого слоя ложа реки (задан в модели от 0,001 до 0,1 м/сутки);

M – мощность донных отложений, принятая равной 0,5 м;

L - длина / ширина блока, равная 200 м/100 м;

W – ширина русла реки в блоке, от 3-10 в предгоной части до 20-30 м на равнине.

Реки заданы по данным установленных 23 гидрометрических постов, установленных в период проведения работ, по данным РГП «Казгидромет», а так же по результатам ранее проведенных работ по созданию математической модели Алматинского месторождения подземных вод, гидрографическая сеть и расходы приняты по данным разработанной ГИС.

3.2.6 Решение обратной стационарной задачи

Соответствие сформированной гидродинамической модели природным условиям доказывается решением обратной стационарной задачи (калибровкой модели), выполняемой с целью:

- создания сбалансированной модели;
- уточнения отдельных гидрогеологических параметров и граничных условий;
- оценки естественных ресурсов подземных вод; определения величины балансовых составляющих подземных вод и их распределения по площади;
- получения начальных условий для решения прогнозной задачи.

Критерием адекватности модели натурным условиям является совпадение или близкое соответствие уровней, полученных на модели, с фактической уровенной поверхностью, а также правдоподобные количественные оценки отдельных элементов баланса подземных вод и распределение их по площади. Сопоставление модельных и натуральных абсолютных отметок по 18 опорным скважинам показано на рис. 3.6 и сведено в таблицу 3.1.

Таблица 3.1-Расхождения между фактическими и модельными отметками подземных вод при решении обратной стационарной задачи за период 1965-1966гг

№ п/п	№№ скважин	Абсолютная отметка исходного уровня по данным за 1965-66гг., м	Абсолютная отметка уровня, по результатам моделирования, м	Погрешность	
				Абсолютная, м	Относительная, (%)
	1	2	3	4	5
1	323	817.41	817.70	0.29	0.54
2	410	822.05	816.70	5.35	2.31
3	169/442(257)	804.38	803.90	0.48	0.69
4	25/128(5)	803.17	802.00	1.17	1.08
5	325	799.77	804.60	4.83	2.20
6	422	819.27	807.00	12.27	3.50
7	423	818.84	807.00	11.84	3.44
8	58	819.71	806.70	13.01	3.61
9	416	815.56	810.30	5.26	2.29
10	84Д	813.56	803.60	9.96	3.16
11	56	814.79	809.80	4.99	2.23
12	1209	800.20	802.70	2.50	1.58
13	1317/12(182)	851.29	852.80	1.51	1.23
14	336/8	867.97	846.90	21.07	4.59
15	236/6	858.08	843.30	14.78	3.84
16	228/4	845.86	840.80	5.06	2.25
17	353/3	847.16	841.10	6.06	2.46
	Среднее			7.08	2.41

Результаты расчета погрешности решения обратной стационарной задачи: средняя ошибка (*MeanError*), средняя ошибка по абсолютной величине (*MeanAbs. Error*) и среднеквадратическая ошибка (*RootMeanSq. Error*) в метрах определены по следующим зависимостям:

Средняя ошибка определяется из выражения [53,54]:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_c - h_0)_i \quad (3.9),$$

где, n - количество наблюдательных скважин, h_c и h_0 - рассчитанное и замеренное значение уровня воды в скважине.

Средняя ошибка по абсолютной величине рассчитывается по формуле[53,54]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|h_c - h_0|)_i \quad (3.10),$$

Среднеквадратическая ошибка вычисляется из соотношения [53,54]:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_c - h_o)_i^2} \quad (3.11),$$

На рис. 3.6 приведена копия экрана, сделанная в процессе работы с ModFlow и отображающая результаты расчета погрешности решения обратной стационарной задачи. График показывает соотношение вычисленных (*Computed*) и фактически замеренных уровней (*Observed*) по наблюдательным скважинам [77, 78].

Балансовое уравнение по месторождению имеет следующий вид [60]:

$$Q_{\text{пов}} + Q_{\text{ос}} + Q_{\text{пр}} = Q_{\text{исп}} + Q_{\text{отб}} + Q_{\text{эвп}} + Q_{\text{под.отт}} \quad (3.12),$$

где, $Q_{\text{пов}}$ - фильтрация поверхностного стока, складывающаяся из фильтрации из русел рек;

$Q_{\text{пр}}$ - приток подземных вод по внешним границам;

$Q_{\text{ос}}$ - инфильтрация атмосферных осадков;

$Q_{\text{исп}}$ - суммарное испарение;

$Q_{\text{отб}}$ - величина отбора действующих подземных водозаборов;

$Q_{\text{исп.п}}$ - эвапотранспирация;

$Q_{\text{под.отт}}$ - подземный отток за границы месторождения;

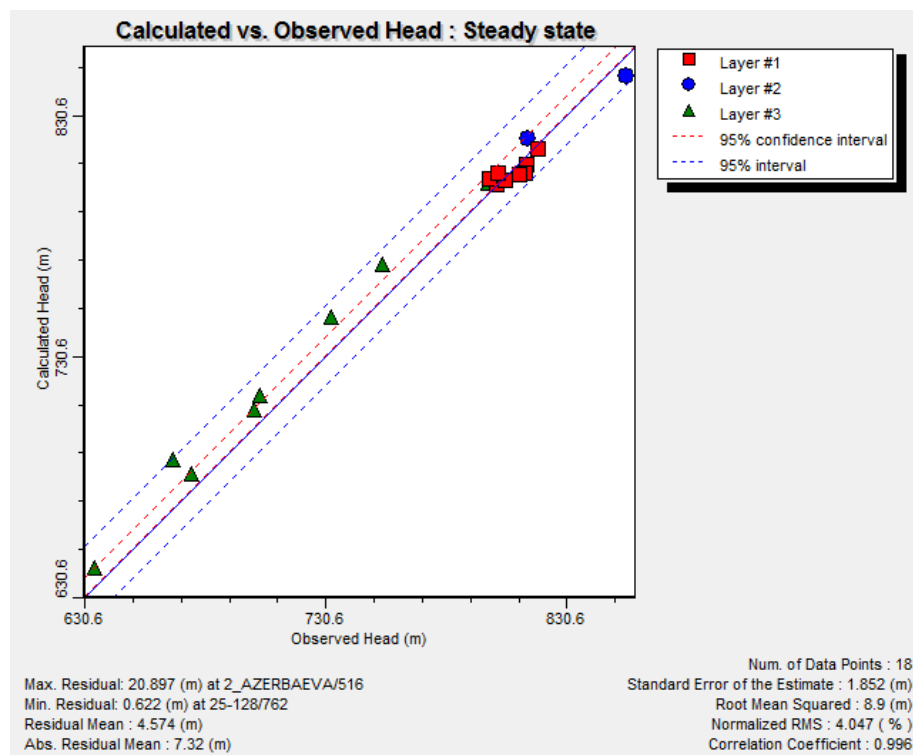


Рисунок 3.6-График распределения среднеквадратичной ошибки по данным решения обратной стационарной задачи

Таблица 3.2-Элементы баланса подземных вод по состоянию на 1966г.

Элементы баланса подземных вод	По результатам расчетов на 1966г., м ³ /с	По результатам моделирования, м ³ /с
<i>Приходные составляющие</i>		
Питание из поверхностных водотоков	1,38	4,22
Инфильтрация атмосферных осадков	5,19	1,05
Приток по внешним границам	0,47	2,79
Всего	7,04	8,06
<i>Расходные составляющие</i>		
Выклинивание в реки	3,91	4,80
Отток подземных вод по внешним границам	3,13	3,26
	7,04	8,06

По результатам решения обратной стационарной задачи можно сделать следующие выводы:

1 Полученные на модели результаты залегания уровней подземных вод по состоянию на 1966 г. имеют достаточную сходимость, что подтверждает верность выбранной схематизации, заданных граничных условий и гидрогеологических параметров;

2 Естественные ресурсы подземных вод составляют 8,06 м³/с. Основная часть их (52%) формируется за счет потерь речного стока. На приток по внешним границам приходится 35% общего водного баланса, на инфильтрацию атмосферных осадков приходится 13% баланса.

3 В расходных статьях баланса преобладает разгрузка подземных вод в сопредельные части бассейнов (всего приходится 60%), на отток в речную сеть (40%).

4 По результатам решения обратной стационарной задачи, можно сделать заключение, что модель достаточно адекватно отражает существующие природные условия.

Полученные значения напоров принимаются в качестве начальных для решения эпигнозной и прогнозной задач.

3.2.7 Решение прямой нестационарной задачи

Прямая нестационарная (эпигнозная) задача решалась с целью уточнения ёмкостных параметров модели. Для оценки изменений гидрогеодинамических условий в связи с работой водозаборов на модели задавались величины среднегодового водоотбора на эксплуатируемых водозаборах в соответствии со

временем ввода в эксплуатацию каждого из них. С увеличением количества эксплуатационных скважин увеличивалась суммарная нагрузка на водозабор. По модельным временным шагам нагрузки на эксплуатационные скважины задавались методом равномерного распределения.

Критерием сходимости модели природным условиям и величинам водоотбора при решении прямой нестационарной задачи является совпадение или же получение близких по значениям понижений уровня подземных вод в наблюдательных скважинах [54, 68,79,80].

Результаты сравнения модельных понижений и фактических данных о понижениях в скважинах наблюдательной сети представлены на рис. 3.10, 3.11 и в таблице 3.3. Элементы баланса подземных вод приведены в рис.3.12.таблице 3.4,

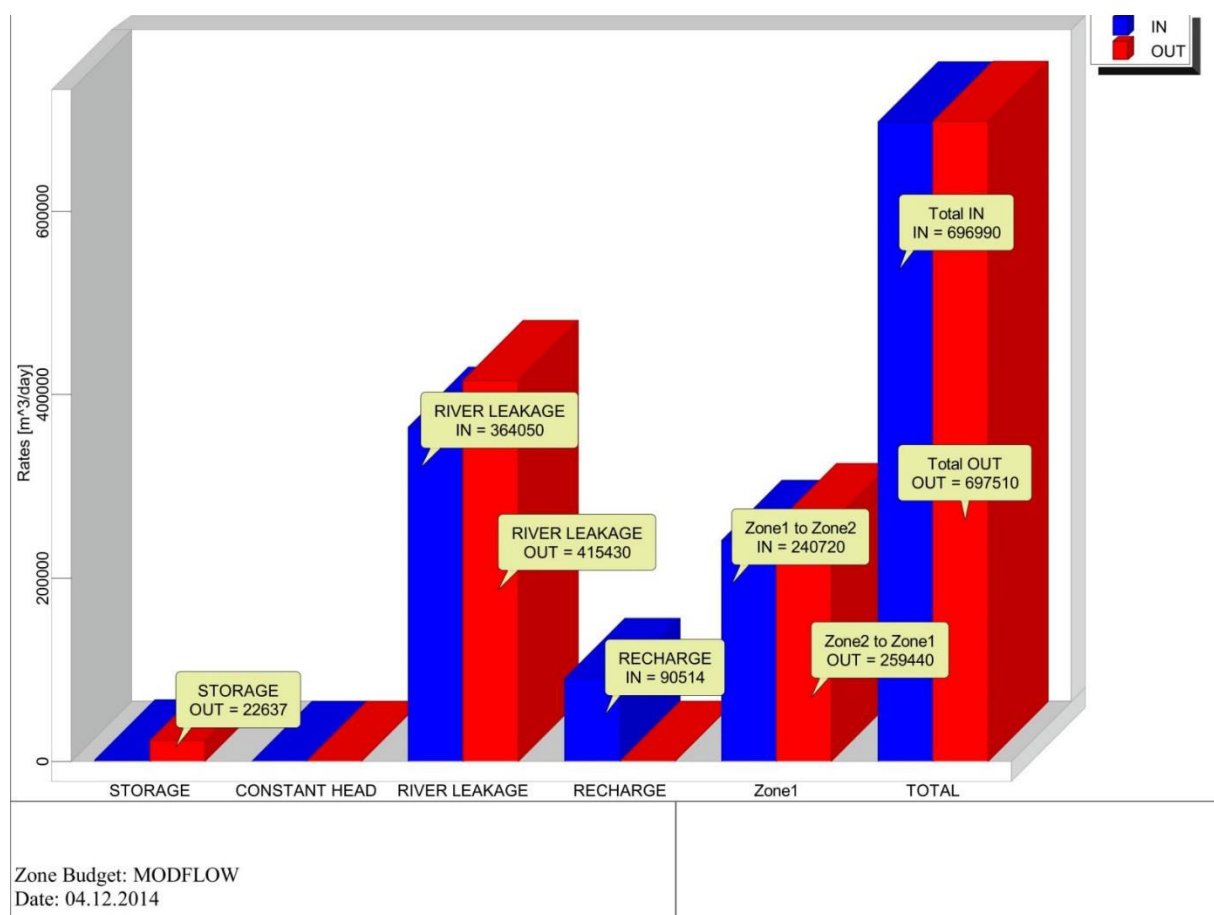


Рисунок 3.7 - Элементы баланса подземных вод по результатам решения обратной стационарной задачи

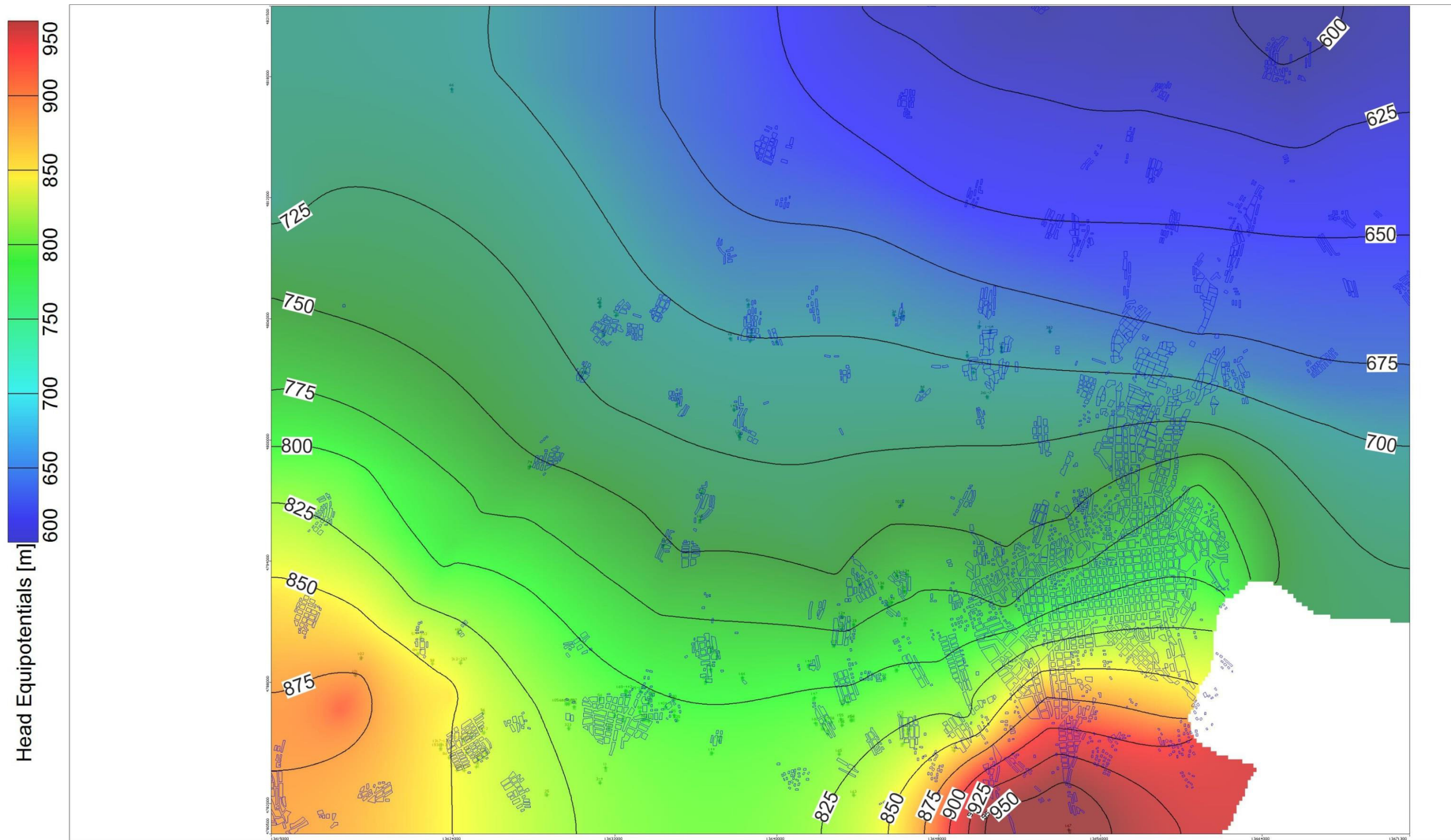


Рисунок 3.8-Карта гидроизогипс по данным решения обратной стационарной задачи (региональная модель)

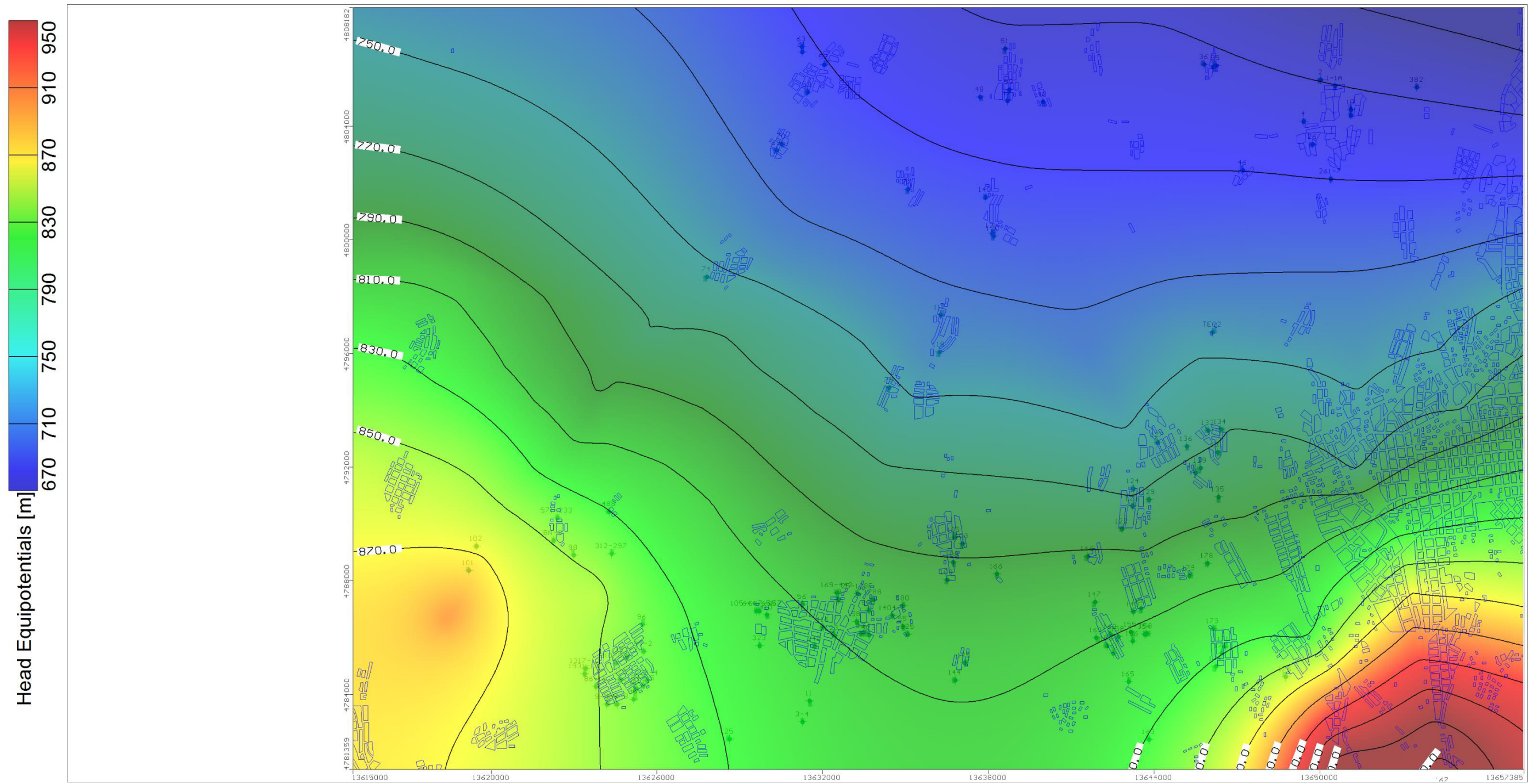


Рисунок 3.9-Карта гидроизогипс по данным решения обратной стационарной задачи для Каскеленского месторождения подземных вод

Таблица 3.3-Распределение модельных нагрузок по временным шагам на Каскеленском подземном водозаборе за период эксплуатации 1966-2013 гг, м³/сут

Год	Время работы водозабора, сут	84Д	83Д	56	169/442	25/128	580	109д/5	667/4	657/3	644/2	658/1	410	58	416	422	423	323	24д	4	3	1209	1788	325	БН2	353/3	228/4	543/5	236/6	336/8	БН9	1317/12	86/16	700	353	Среднегодовой водозабор, м³/сут
1966	365			15.2	19.2	19.2							19.2	9.7	64.3	63.9	82.1	19.2				15.3				0.6	6.1		3.7	11.0						355.8
1967	730			17.7	22.3	22.3							22.3	11.2	74.8	74.3	95.4	22.3				17.8				0.6	7.0		4.3	12.7						413.4
1968	1095			14.3	18.0	18.0							18.0	9.1	60.4	60.0	77.1	18.0				14.4				0.6	6.5		4.0	11.9						338.1
1969	1460			9.5	12.0	12.0							12.0	6.1	40.3	40.0	51.4	12.0				9.6				0.6	6.1		3.7	11.0						233.4
1970	1825			11.1	13.9	13.9							13.9	7.0	46.8	46.5	59.7	13.9				11.2				0.6	6.1		3.7	11.0						266.4
1971	2190			10.4	13.2	13.2							13.2	6.6	44.2	43.9	56.3	13.2				10.5				0.5	5.1		3.1	9.3						248.8
1972	2555			5.7	7.1	7.1							7.1	3.6	23.9	23.8	30.5	7.1				5.7				0.5	5.1		3.1	9.3						145.8
1973	2920			4.6	5.8	5.8							5.8	2.9	19.4	19.3	24.7	5.8				4.6				0.5	5.1		3.1	9.3						122.8
1974	3285			2.7	3.3	3.3	8.4						3.3	1.7	11.2	11.2	14.3	3.3				2.7				0.5	5.1		3.1	9.3						89.7
1975	3650			33.0	41.7	41.7	105.1				103.6	131.4	41.7	21.0	139.8	138.9	178.3	41.7				33.3				0.8	8.9		5.4	16.1						1092.7
1976	4015			50.2	63.3	63.3	159.7				157.4	199.6	63.3	31.9	212.3	211.0	270.9	63.3				50.6				1.0	10.7		6.6	19.5						1647.2
1977	4380			72.3	91.2	91.2	230.0				226.7	287.5	91.2	46.0	305.9	303.9	390.2	91.2				72.9				1.3	13.5		8.3	24.6						2363.9
1978	4745			97.4	122.8	122.8	309.8				305.4	387.3	122.8	62.0	412.1	409.4	525.6	122.8				98.3				1.6	16.8		10.3	30.5						3177.6
1979	5110			123.7	156.0	156.0	393.6				387.9	492.0	156.0	78.7	523.4	520.1	667.7	156.0				124.8				1.9	20.1		12.3	36.4						4030.3
1980	5475			79.0	99.7	99.7	251.5				247.9	314.4	99.7	50.3	334.5	332.3	426.7	99.7				79.8			56.8	1.3	14.5	56.2	8.8	26.2	26.2	17.1	37.0		130.4	2889.9
1981	5840			34.0	42.9	42.9	108.2				106.6	135.2	42.9	21.6	143.9	142.9	183.5	42.9				34.3			34.8	0.8	8.9	34.5	5.4	16.1	16.1	10.5	22.7		79.9	1311.5
1982	6205			50.8	64.1	64.1	161.6				159.3	202.0	64.1	32.3	214.9	213.6	274.2	64.1				51.3			42.1	1.0	10.7	41.7	6.6	19.5	19.5	12.7	27.4		96.8	1894.2
1983	6570			83.8	105.7	105.7	266.6				262.8	333.2	105.7	53.3	354.6	352.3	452.3	105.7				84.5			76.9	1.8	19.6	76.2	12.0	35.6	35.6	23.2	50.1		176.7	3173.8
1984	6935			76.8	96.8	96.8	244.2				240.7	305.3	96.8	48.8	324.8	322.7	414.3	96.8				77.5			73.3	1.7	18.7	72.6	11.4	33.9	33.9	22.1	47.7		168.3	2926.0
1985	7300			117.5	148.2	148.2	373.8				368.5	467.3	148.2	74.8	497.2	494.0	634.2	148.2				118.6			75.1	1.8	19.1	74.4	11.7	34.7	34.7	22.7	48.9		172.5	4234.3
1986	7665			112.4	141.8	141.8	357.6				352.5	447.0	141.8	71.5	475.6	472.6	606.7	141.8				113.4	204.4	151.8	73.3	1.7	18.7	72.6	11.4	33.9	33.9	22.1	47.7		168.3	4416.2
1987	8030			65.7	82.9	82.9	209.0				206.0	261.3	82.9	41.8	278.0	276.2	354.6	82.9				66.3	119.4	151.8	49.5	1.2	12.6	49.0	7.7	22.9	22.9	14.9	32.2		113.6	2688.0
1988	8395			23.9	30.2	30.2	76.2	241.9	241.9	75.1	95.2	30.2	15.2	101.3	100.7	129.3	30.2				24.2	43.5	151.8	29.3	0.7	7.5	29.0	4.6	13.5	13.5	8.8	19.1		67.3	1634.4	
1989	8760			72.1	91.0	91.0	229.6	728.7	728.7	226.3	286.9	91.0	45.9	305.3	303.3	389.4	91.0				72.8	131.2	151.8	53.1	1.3	13.5	52.6	8.3	24.6	24.6	16.0	34.6		122.0	4386.5	
1990	9125			63.1	79.6	79.6	200.8	637.5	637.5	198.0	251.0	79.6	40.2	267.1	265.4	340.7	79.6	99.6	79.6	79.6	63.7	114.8	151.8	49.5	1.2	12.6	49.0	7.7	22.9	22.9	14.9	32.2		113.6	4135.2	
1991	9490			85.0	107.2	107.2	270.3	858.1	858.1	266.5	337.9	107.2	54.1	359.5	357.2	458.6	107.2	134.0	107.2	107.2	85.7	154.5	151.8	58.6	1.4	14.9	58.1	9.1	27.1	27.1	17.7	38.2		134.6	5461.1	
1992	9855			109.5	138.2	138.2	348.5	435.6	435.6	343.5	435.6	138.2	69.7	463.5	460.5	591.2	138.2	172.8	138.2	138.2	110.5	199.1	151.8	71.4	1.7	18.2	70.8	11.1	33.0	33.0	21.6	46.5		164.1	7404.6	
1993	10220			174.0	219.5	219.5	553.6	692.1	1757.4	1757.4	545.7	692.1	219.5	110.7	736.3	731.6	939.2	219.5	274.4	219.5	219.5	175.6	316.4	151.8	102.6	2.4	26.1	101.6	16.0	47.4	47.4	31.0	66.8		235.6	11602.1
1994	10585	21.3	22.9	233.9	295.1	295.1	744.3	930.4	2362.7	2362.7	733.7	930.4	295.1	148.9	989.9	983.6	1262.7	295.1	369.0	295.1	295.1	236.0	425.3	151.8	131.9	3.1	33.6	130.6	20.5	61.0	61.0	39.8	85.8		303.0	15550.0
1995	10950	19.9	21.4	218.7	275.9	275.9	695.9	869.9	2209.0	2209.0	686.0	869.9	275.9	139.2	925.5	919.6	1180.6	275.9	345.0	275.9	275.9	220.7	397.7	151.8	124.6	2.9	31.7	123.4	19.4	57.6	57.6	37.6	81.1		286.1	14556.8
1996	11315	17.1	18.4	188.6	237.9	237.9	600.1	750.1	1904.8	1904.8	591.5	750.1	237.9	120.0	798.1	793.0	1018.0	237.9	297.5	237.9	237.9	190.3	342.9	151.8	109.9	2.6	28.0	108.9	17.1	50.8	50.8	33.2	71.5		252.5	12589.8
1997	11680	17.9	19.3	197.2	248.7	248.7	627.4	784.2	1991.5	1991.5	618.4	784.2	248.7	125.5	834.4	829.0	1064.3	248.7	311.0	248.7	248.7	199.0	358.5	151.8	113.6	2.7	28.9	112.5	17.7	52.5	52.5	34.3	73.9		260.9	13146.6
1998	12045	20.2	21.7	221.8	279.8	279.8	705.8	882.3	2240.6	2240.6	695.8	882.3	279.8	141.2	938.7	932.7	1197.4	279.8	349.9	279.8	279.8	223.8	403.3	151.8	124.6	2.9	31.7	123.4	19.4	57.6	57.6	37.6	81.1		286.1	14750.8
1999	12410	19.3	20.8	212.4	267.9	267.9	675.8	844.8	2145.3	2145.3	666.2	844.8	267.9	135.2	898.8	893.1	1146.5	267.9	335.0	267.9	267.9	214.3	386.2	151.8	120.9	2.9	30.8	119.8	18.8	55.9	55.9	36.5	78.7		277.7	14140.7
2000	12775	18.8	20.2	207.0	261.1	261.1	658.6	823.3	2090.7	2090.7	649.2	823.3	261.1	131.7	875.9	870.3	1117.3	261.1	326.5	261.1	261.1	208.9	376.4	151.8	100.7	2.4	25.7	99.8	15.7	46.6	46.6	30.4	65.6		231.4	13671.9
2001	13140	15.6	16.7	171.4	216.2	216.2	545.3	681.6	1730.9	1730.9	537.5	681.6	216.2	109.1	725.2	720.6	925.0	216.2	270.3	216.2	216.2	172.9	311.6	151.8	100.7	2.4	25.7	99.8	15.7	46.6	46.6	30.4	65.6		231.4	11459.8
2002	13505	15.6	16.7	171.1	215.8	215.8	544.4	680.5	1728.1	1728.1	536.6	680.5	215.8	108.9	724.0	719.4	923.6	215.8	269.9	215.8	215.8	172.6	311.1	151.8	100.7	2.4	25.7	99.8	15.7	46.6	46.6	30.4	65.6		231.4	11442.7
2003	13870	16.4	17.7	180.8	228.1	228.1	575.4	719.3	1826.5	1826.5	567.2	719.3	228.1	115.1	765.3	760.4	976.1	228.1	285.2	228.1	228.1	182.5	328.8	151.8	106.2	2.5	27.1	105.2	16.5	49.1	49.1	32.1	69.2		244.0	12084.0
2004	14235	19.4	20.8	213.1	268.8	268.8	678.2	847.7	2152.7	2152.7	668.5	847.7	268.8	135.6	901.9	896.1	1150.4	268.8	336.2	268.8	268.8	215.1	387.5	151.8	120.9	2.9	30.8	119.8	18.8	55.9	55.9	36.5	78.7	246.9	277.7	14433.1
2005	14600	22.1	23.8	243.5	307.2	307.2	774.9	968.6	2459.7	2459.7	763.8	968.6	307.2	155.0	10																					

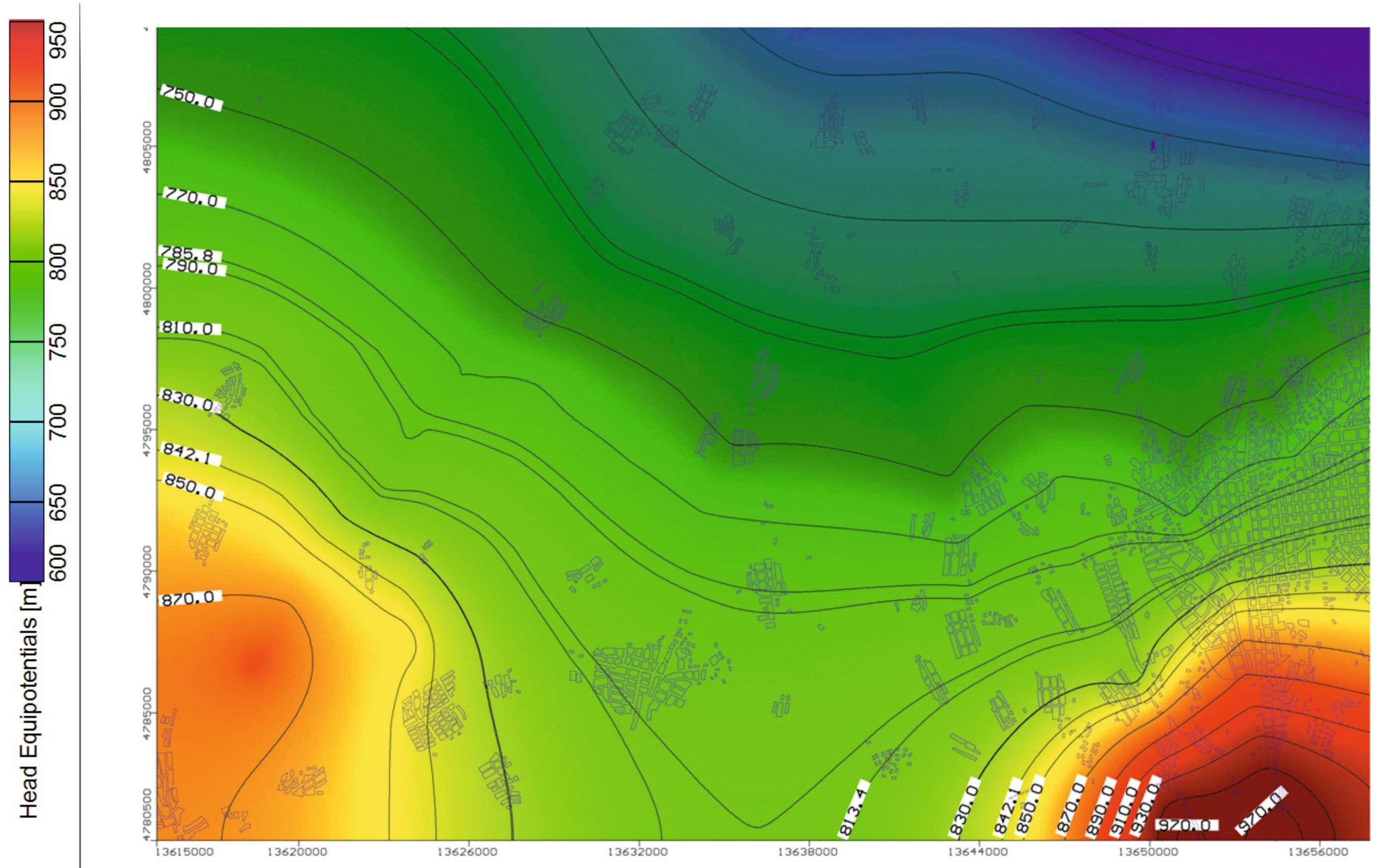


Рисунок 3.10-Карта гидроизогипс по данным решения прямой нестационарной задачи для Каскеленского месторождения

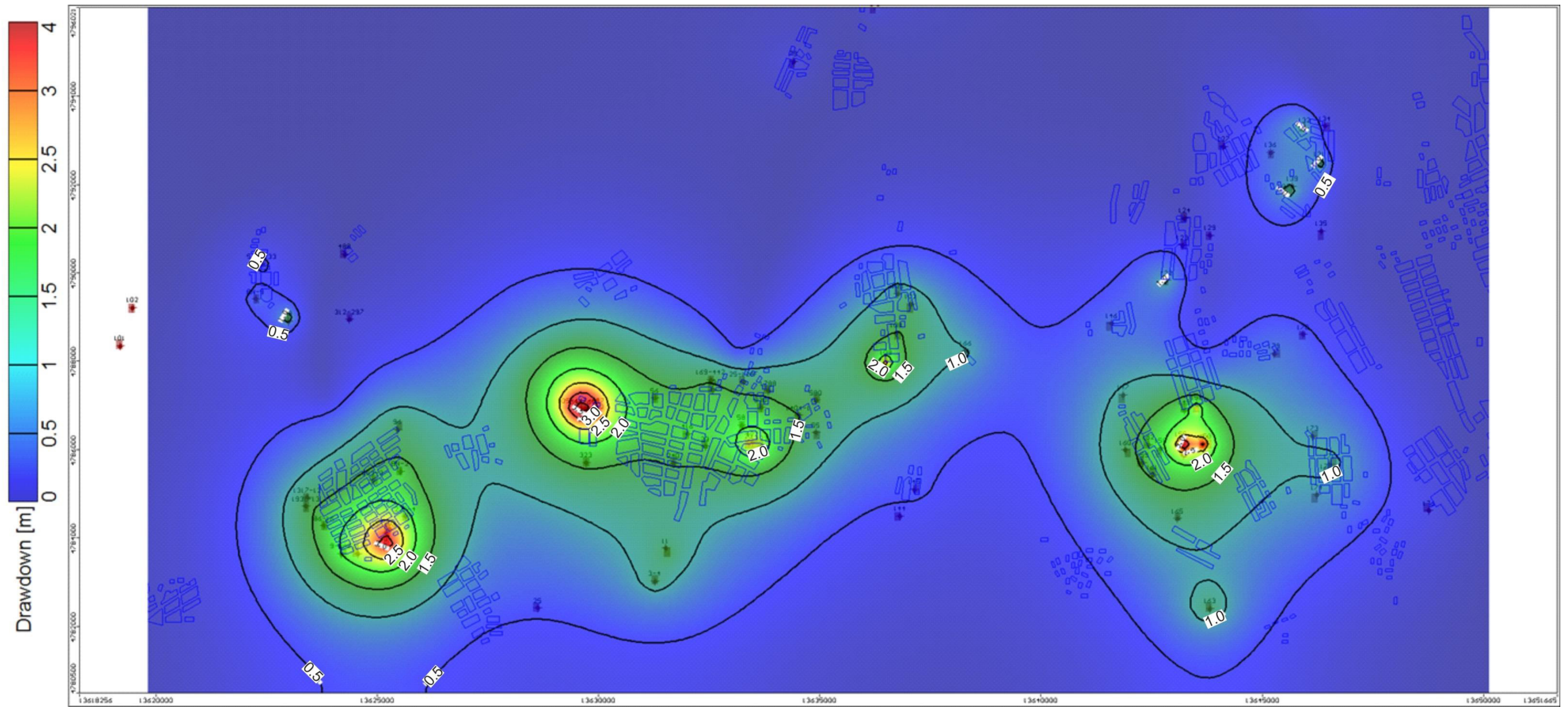


Рисунок 3.11-Карта понижений уровней подземных вод по данным решения прямой нестационарной задачи для Каскеленского месторождения подземных вод

Таблица 3.4 Таблица фактических и модельных понижений уровня по наблюдательным скважинам на 2013г.

№ п/п	№ скв	Абс. отм. статич.у уровня,м	Абс. отм. динам. уровня,м	Модельное понижение на 2013г.	Фактическое понижение на 2013г.	Невязка,м
1	83Д	803.6	799.8	3.80	3.45	0.35
2	84Д	803.6	799.8	3.80	3.45	0.35
3	56	809.8	805.8	4.00	4.21	-0.21
4	169/442ф	803.9	800.8	3.10	3.00	0.10
5	25/128	802	799.1	2.90	3.10	-0.20
6	580	800.5	797.2	3.30	3.50	-0.20
7	109Д/5	817.9	813.2	4.70	2.20	2.50
8	667/4	817.9	812.6	5.30	5.90	-0.60
9	657/3	817.9	812.6	5.30	5.90	-0.60
10	644/2	817.9	812.6	5.30	5.00	0.30
11	658/1	817.9	813.2	4.70	3.80	0.90
12	410	816.7	812.1	4.60	4.10	0.50
13	58	806.7	801.9	4.80	4.40	0.40
14	416	810.3	805.8	4.50	4.00	0.50
15	422	807	802.1	4.90	4.12	0.78
16	423	807	801.9	5.10	5.50	-0.40
17	323	820.7	816.2	4.50	4.20	0.30
18	24Д	813.4	808.8	4.60	5.00	-0.40
19	3	819.8	814.8	5.00	5.25	-0.25
20	1209	802.7	798.8	3.90	3.70	0.20
21	1788	801.6	798.3	3.30	2.95	0.35
22	325	804.6	800.5	4.10	4.45	-0.35
23	336/8	846.9	842.4	4.50	4.70	-0.20
24	228/4	840.8	835.8	5.00	5.12	-0.12
25	353/3	841.1	840	1.10	0.80	0.30
26	БН/2	840.5	836.5	4.00	4.40	-0.40
27	86/16	850.7	846.5	4.20	4.36	-0.16
28	БН/9	848.7	844.4	4.30	4.36	-0.06
29	1317/12	852.8	849.2	3.60	3.57	0.03
30	2(0700)	846.9	842.1	4.80	4.50	0.30
31	543/5	841.6	836.5	5.10	4.98	0.12
32	236/6	843.3	838.5	4.80	4.65	0.15
33	797/1	839.9	836.5	3.40	3.55	-0.15
34	1931/13	853.1	849.2	3.90	3.45	0.45
35	258	846	841.2	4.80	5.00	-0.20
36	5308(79)	752.9	752.8	0.10	0.45	-0.35
37	341(166)	793.9	792.2	1.70	1.45	0.25
38	3201(108)	791.7	789.3	2.40	2.52	-0.12
39	2777(103)	787.2	785.8	1.40	1.60	-0.20
40	1-Ц(118)	739.6	739.4	0.20	0.15	0.05
41	3463(117)	739.7	734.7	5.00	4.98	0.02

Сравнивая модельные понижения уровня воды с фактическими, можно констатировать, что достигнута приемлемая сходимость. Максимальные расхождения получены по скважинам № 109Д – -2,50 м, № 664/2 – 0,3 м. Расхождения данных по наблюдательным скважинам, центральной части водозабора объясняются, вероятнее всего, неравномерным распределением нагрузок в течение года по водозаборному ряду. По скважинам водозабора с.Ушконыр расхождения величин понижения объясняются вероятностью неоднородного распространения фильтрационных параметров по площади участка водозабора. Данные по остальным скважинам дают вполне приемлемые величины сходимости.

Таблица 3.5 - Элементы баланса подземных вод по результатам решения эпигнозной нестационарной задачи

Элементы баланса подземных вод	По результатам моделирования, м ³ /с	По результатам моделирования, м ³ /сутки
<i>Приходные составляющие</i>		
Питание из поверхностных водотоков	4,14	357460
Инфильтрация атмосферных осадков	1,05	90514
Приток по внешним границам	2,79	252350
Всего	7,98	700324
<i>Расходные составляющие</i>		
Выклинивание в реки	4,80	421560
Водоотбор	0,27	23404
Отток подземных вод по внешним границам	2,91	255876
Всего	7,98	700840

Решение эпигнозной задачи по моделированию работы действующих водозаборов подтвердило возможность использования созданной модели для решения прогнозной задачи.

Распределение элементов баланса подземных вод по результатам решения эпигнозной задачи свидетельствует о неизменности величин притока и оттока по границам модельной области. Перераспределение элементов баланса хорошо коррелируется с суммарной величиной водоотбора, составляющей 23404 м³/сутки.

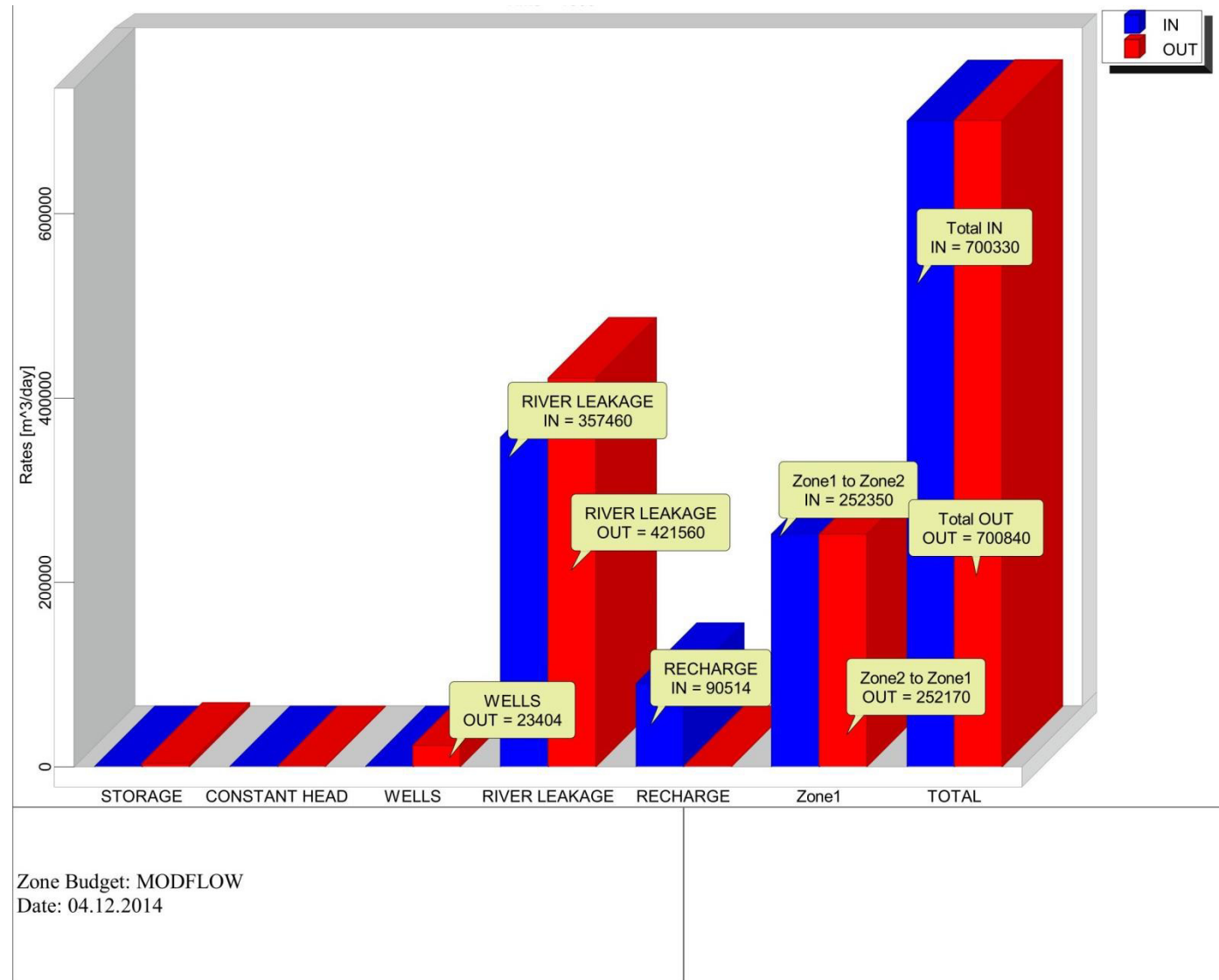


Рисунок 3.12-Элементы баланса подземных вод по результатам решения эпигнозной нестационарной задачи

3.2.8 Решение прогнозной нестационарной задачи

Решение прогнозных задач геофильтрации заключалось в определении величин понижения подземных вод на расчетный период эксплуатации (10000 суток) и сравнения их с величиной допустимого понижения подземных вод, полученной по результатам аналитических расчетов [81,82].

При решении прогнозной задачи определены:

- проектные дебиты скважин на период эксплуатации;
- глубины залегания уровня грунтовых вод в колодцах и скважинах;
- определена степень влияния водоотбора на территорию месторождения за прогнозный период.

При моделировании учтено взаимодействие водозаборов Узынагашского, Каройского, Боролдайского и Алматинского месторождений подземных вод, расположенных в пределах радиуса влияния водозаборов Каскеленского месторождения на модели. Распределение величин нагрузок по водозаборах при решении прогнозной нестационарной задачи приведено в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Модельное распределение величин нагрузок на действующих водозаборах и понижении подземных вод при решении прогнозной задачи

№ п/п	№ скв	Q м ³ /сут	Абсолютная отметка уровня, по результатам моделирования, м	Модельное понижение на 2041г.	Понижение по результатам аналитических расчетов, м
	1	2	3	4	5
1	83Д	1560	786,5	17,10	22,02
2	84Д	1560	786,5	17,10	
3	56	1560	803,6	6,20	
4	169/442ф	1560	798,8	5,10	
5	25/128	3840	786,3	15,70	
6	580	1560	796,4	4,10	
7	109Д/5	6000	804,1	13,80	
8	667/4	6000	804,1	13,80	
9	657/3	6000	804,1	13,80	
10	644/2	6000	804,1	13,80	
11	658/1	6000	804,1	13,80	
12	410	1560	804,9	11,80	
13	58	3840	803,6	3,10	
14	416	6000	802,3	8,00	
15	422	6000	797,6	9,40	
16	423	6000	798,8	8,20	
17	323	6000	812,2	8,50	

Продолжение таблицы 3.4

	1	2	3	4	5
18	24Д	3840	806	7,40	
19	3	6000	815,6	4,20	
20	1209	3840	787,1	15,60	
21	1788	3840	795,4	6,20	22,2
22	325	6000	800,7	3,90	
23	336/8	1560	842,7	4,20	
24	228/4	1560	836,6	4,20	
25	353/3	1560	839,9	1,20	
26	БН/2	1560	837,2	3,30	10,58
27	86/16	1560	847,1	3,60	
28	БН/9	1560	845	3,70	
29	1317/12	1560	849,8	3,00	
30	2(0700)	1560	842,9	4,00	
31	543/5	1560	836,9	4,70	
32	236/6	1560	837,2	6,10	
33	797/1	1560	837,2	2,70	
34	1931/13	1560	850	3,10	
35	258	1560	841,5	4,50	
36	5308(79)	1560	750,1	2,80	4,90
37	341(166)	1560	792,5	1,40	6,83
38	3201(108)	1560	789,2	2,50	7,80
39	2777(103)	1560	779,2	8,00	7,55
40	1-Ц(118)	1560	739,1	0,50	8,31
41	3463(117)	1560	729,9	9,80	6,46

За исходное состояние уровня подземных вод принято его положение по результатам решения эпигнозной нестационарной задачи. Внешние и внутренние граничные условия оставались неизменными.

Модельные понижения не превышают величину допустимого понижения в скважинах. Сравнение модельных понижений с расчетами, полученными по результатам вычислений гидродинамическим методом показывают, что величины расчетных понижений несколько завышены. Результаты решения прогнозной задачи представлены на картах-схемах (рисунок 3.13,3.14).

Распределение элементов баланса по результатам решения прогнозной задачи на 2041г. (10000 суток) представлено нижеследующей разностью приходных и расходных статей (табл.3.7). Водоотбор был задан с учетом максимальной производительности скважин 124200 м³/сут. Распределение элементов баланса по результатам решения прогнозной задачи приведены в на рисунке 3.15.

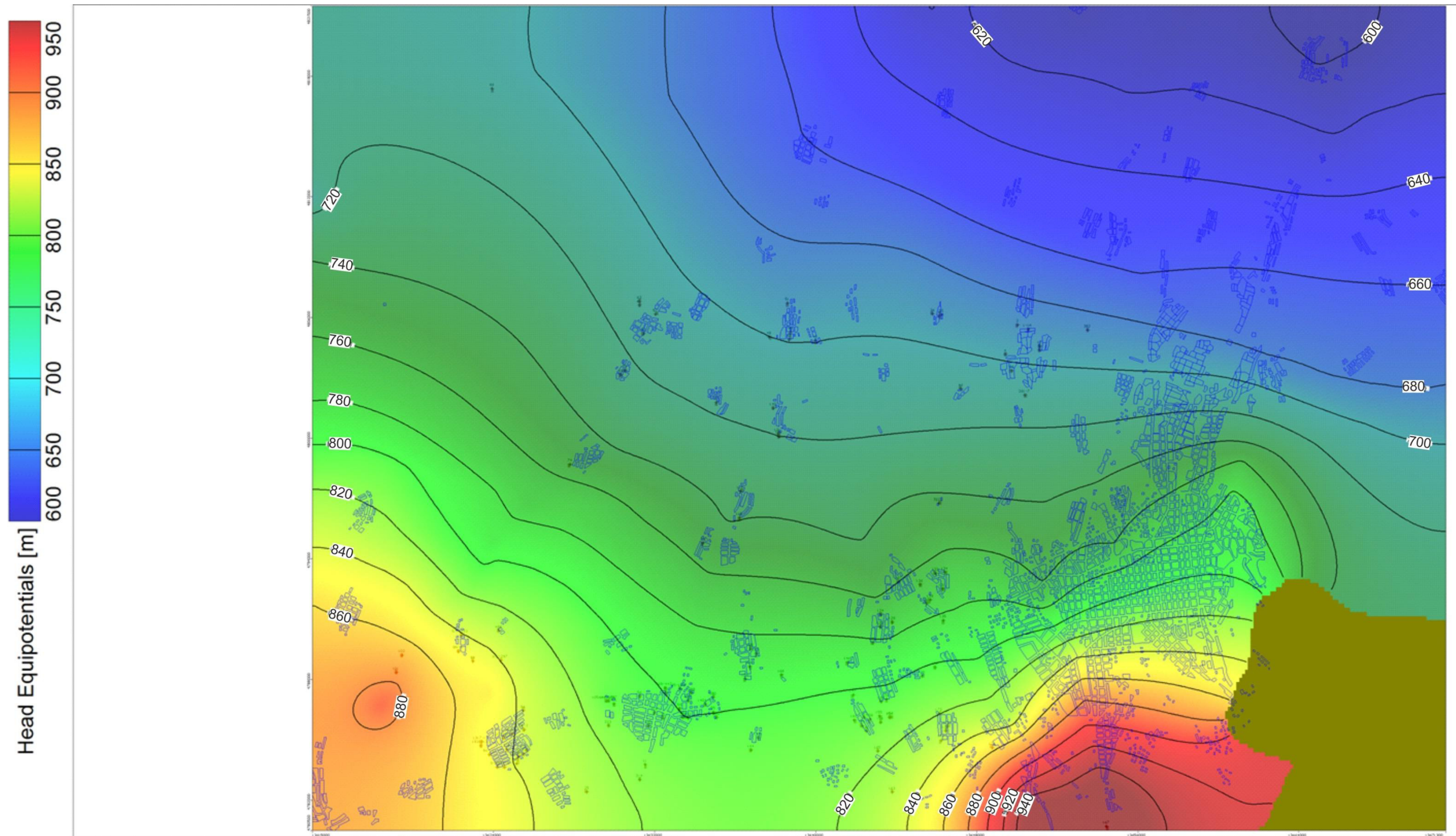


Рисунок 3.13 - Карта гидроизогипс по данным решения прогнозной задачи (региональная модель)

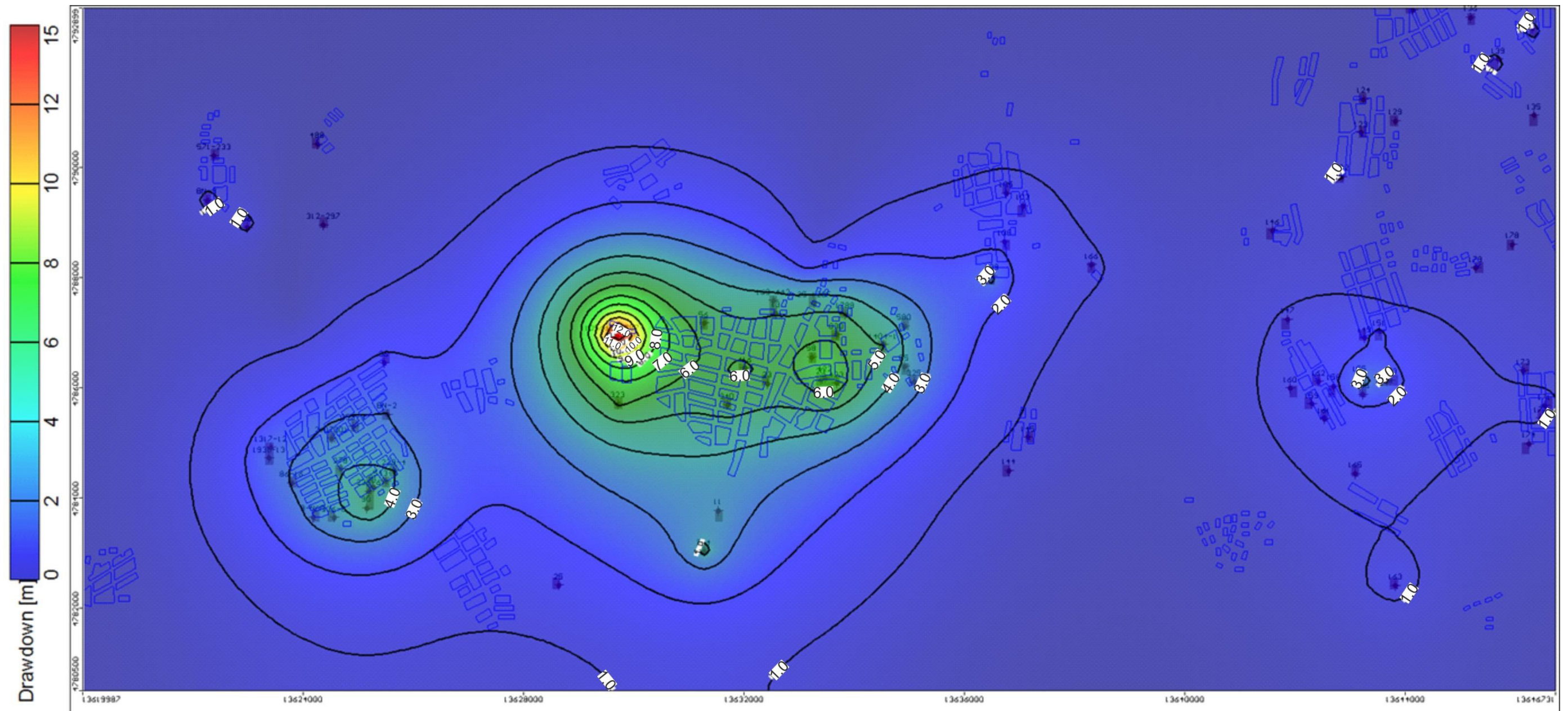


Рисунок 3.14 - Карта понижений по данным решения прогнозной задачи для Каскеленского месторождения подземных вод

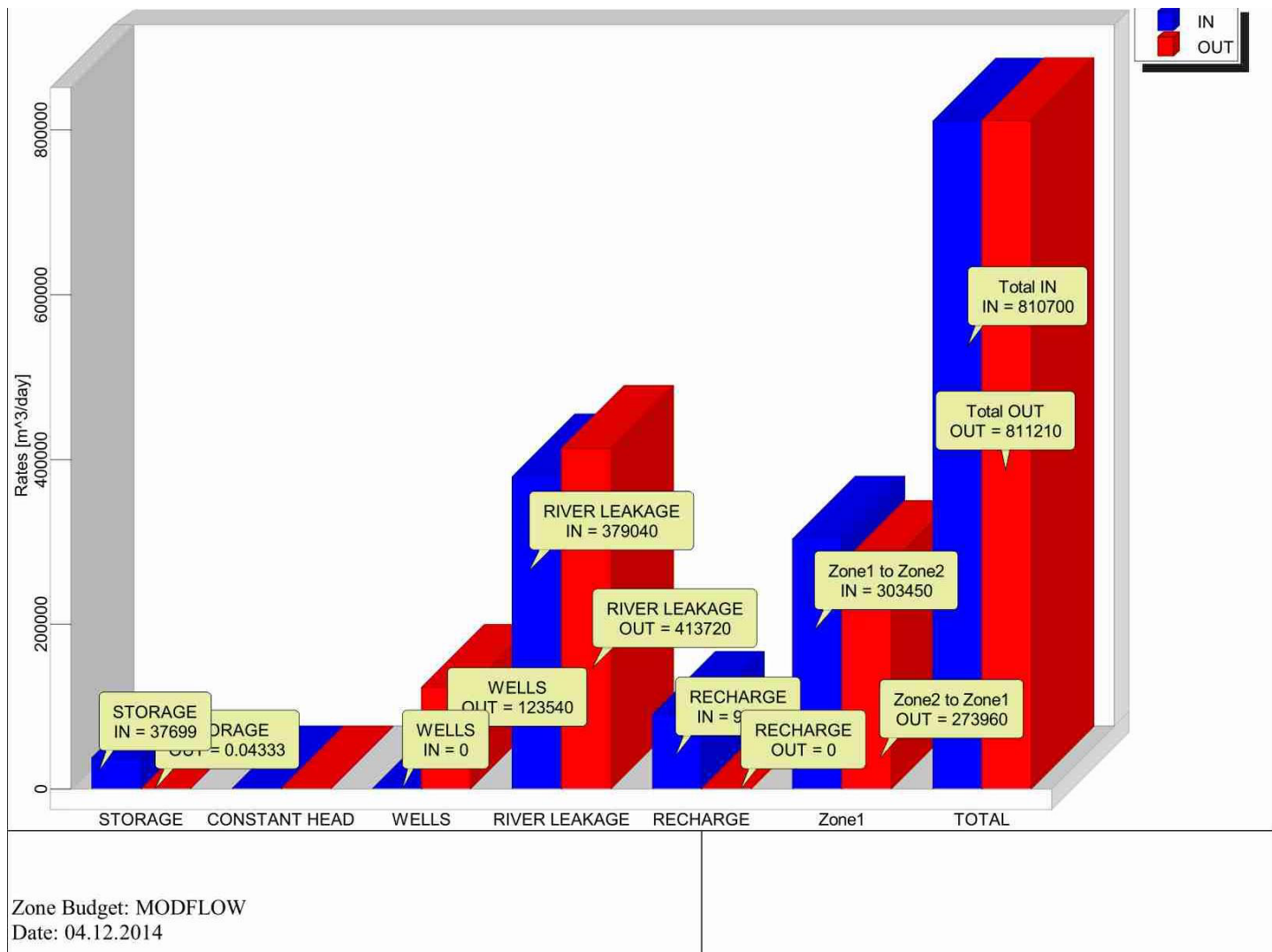


Рисунок 3.15 - Элементы баланса подземных вод по результатам решения прогнозной задачи

Таблица 3.7 Элементы баланса подземных вод по состоянию на 2041г.

Элементы баланса подземных вод	По результатам моделирования на 2041г., м ³ /сут	По результатам моделирования, м ³ /с
<i>Приходные составляющие</i>		
Питание из поверхностных водотоков	357696	4,14
Инфильтрация атмосферных осадков	93710	1,05
Приток подземных вод по внешним границам	241056	2,79
Всего	689472	7,98
<i>Расходные составляющие</i>		
Выклинивание в реки	414720	4.80
Водоотбор	123540	1.43
Отток подземных вод по внешним границам	151200	1,75
Всего	689472	7,98

Согласно данным математического моделирования, увеличение водоотбора на месторождении приводит к интенсификации вертикального водообмена внутри модельной области. Это не сказывается на значительном изменении водообмена Каскеленского месторождения и Илийского бассейна в целом. Наиболее заметно влияние от работы водозабора проявляется на центральном водозаборе г.Каскелен.

Анализ результатов решения прогнозной задачи эксплуатации месторождения подземных показывает, что прогнозный водоотбор в количестве 124,0 тыс. м³/сутки обеспечен естественными ресурсами, а прогнозное понижение на конечный срок эксплуатации намного меньше допустимой величины.

Выводы по 3 разделу:

1. Выполнена оценка запасов подземных вод для Каскеленского месторождения методом математического моделирования. Приведены балансовые исследования и расчеты с решением прямой, обратной и прогнозной расчетных задач.

2. При создании модели учитывались реальные природные условия месторождения: изменчивость мощности водоносных и слабопроницаемых комплексов, сток и питание рек, инфильтрация атмосферных осадков, наличие областей питания водоносного комплекса и т.д. Понижения уровней воды в водоносном комплексе, полученные методом математического моделирования.

3. Обоснование построения математической модели выполнено на базе разработанной системы ГИС, которая позволяет значительно сократить процесс построения геофильтрационной модели.

4. СИСТЕМА «ВОДОЗАБОР-ГИС-МОДЕЛЬ» ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКСПЛУАТАЦИИ И МОНИТОРИНГА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

4.1 Описание автоматизированной системы мониторинга «Водозабор-ГИС-Модель»

На стадии эксплуатации месторождения подземных вод ставится задача управления режимом работы действующих водозаборов при заданных ограничениях на суммарный водоотбор, допустимом понижении уровня и требованиях к качеству отбираемой воды. Разработанная автоматизированная система мониторинга «Водозабор-ГИС-Модель» позволяет выполнять данное управление за счет автоматической передачи данных режимных наблюдений в систему ГИС и возможности отображения данных мониторинга на модели. Автоматизированная система мониторинга «Водозабор-ГИС-Модель» предназначена для измерения, накопления и передачи результатов с наблюдательных постов (НП) в диспетчерский пункт (ДП) – базу ГИС и далее на модель. Отличительной ее особенностью от существующих систем на рынке – являются низкая стоимость и возможность дополнения и переоборудования, на случай изменения контролируемых параметров в процессе мониторинга.

Базовая комплектация системы «Водозабор-ГИС-Модель» позволяет на наблюдательном пункте измерять следующие параметры:

- 1) уровень воды в скважине;
- 2) температуру воды в скважине на уровне фильтров;
- 3) атмосферное давление;
- 4) температуру воздуха;
- 5) вспомогательные параметры:
 - температура в помещении, где установлено оборудование;
 - напряжение питания =12В,
 - напряжение аккумуляторной батареи (далее АБ).

На случай удаленности наблюдательного пункта от населенных объектов для передачи информации в диспетчерский пункт используются различные телекоммуникационные каналы, такие как сотовая, спутниковая или модемная связи по телефонным каналам общего пользования.

Все измеряемые параметры с выбранной периодичностью записываются в файлы базы данных на контроллере. Периодичность записи фиксированная, с дискретностью в 1 час. Передача накопленной информации в ДП производится по каналам связи по запросу с ДП.

Система состоит из комплектов оборудования наблюдательного и диспетчерского пунктов.

4.1.1 Состав оборудования НП:

1. Шкаф управления.
2. Датчик уровня воды в скважине.
3. Датчик температуры воды в скважине.

4. Датчик атмосферного давления (барометр).
5. Датчик температуры наружного воздуха.
6. Датчик температуры в помещении.
7. Модем передачи данных в ДП (с наружной антенной для сотовой связи)
8. Аккумуляторная батарея =12В/60 А-Час.
9. Зарядное устройство для аккумуляторной батареи.
10. Соединительные кабели.
11. Для отображения результатов наблюдений может использоваться персональный компьютер или ноутбук с предустановленным программным обеспечением.

4.1.2 Состав оборудования ДП:

1. Персональный компьютер (далее ПК) с разработанным специализированным программным обеспечением (ПО).
2. Модем с блоком питания и антенной.
3. Источник бесперебойного питания (при необходимости).

Специализированное программное обеспечение установленное на контроллере, обеспечивает функционирование системы в непрерывном, круглосуточном режиме. Реализуются функции измерения, обработки, накопления и передачи информации в ДП для последующей обработки, хранения, анализа и распечатки результатов. Предусмотрено непосредственное подключение к ноутбуку/ПК на НП, что позволяет отображать текущие результаты измерений в реальном масштабе времени, а также сохранять результаты предыдущих измерений. Обмен информацией осуществляется через USB/COM порт. Структурная схема системы приведена на рисунке 4.1. Список контролируемых на НП параметров приведен в таблице 4.1.

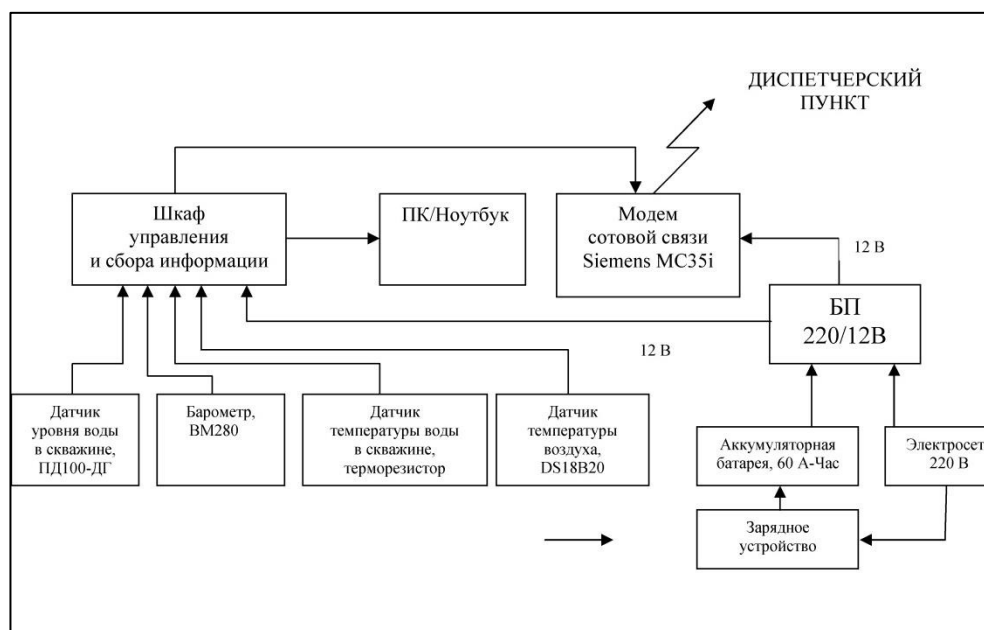


Рисунок 4.1 - Структурная схема комплекса технических средств на НП

Таблица 4.1 – Контролируемые параметры и средства измерения на наблюдательном пункте системы «Водозабор-ГИС-Модель»

№	Наименование параметра	Значение	Средства измерения
1	Уровень воды в наблюдательной скважине		Погружной гидростатический датчик уровня ПД100-ДГ фирмы ОВЕН.
1.1	Погрешность измерения уровня, %	0,5	
1.2	Диапазон регистрации уровня, м	0 .. 4	Зависит от годовой амплитуды колебаний уровня
1.3	Глубина установки датчика, м	1,5	На глубине всегда ниже уровня воды
2	Атмосферное давление		Барометр BM280 фирмы Bosch
2.1	Диапазон регистрации, гПа	800..1200	
2.2	Погрешность измерения давления, гПа	± 1	
2.3	Место установки		Шкаф управления
3	Температура воды в скважины		Терморезистор в защищенном корпусе на 2-х жильном несущем кабеле
3.1	Диапазон регистрации, °С	20..36	Глубина установки датчика – на уровне фильтров. Диапазон измерения устанавливается в зависимости от температуры воды в месте установки датчика.
3.2	Погрешность измерения, °С	±0,2	
3.3	Глубина установки датчика, м	480	
4	Температура воздуха		Интегральный датчик DS18B20 в защищенном корпусе с кабелем длиной 5 м.
4.1	Диапазон регистрации, °С	-50..+50	
4.2	Погрешность измерения, °С	±0,5	
5	Дополнительные служебные параметры		
5.1	Температура в шкафу, °С	-20..+80	Датчик DS18B20. Погрешность измерения ± 0.5 °С
5.2	Температура в помещении, °С	-20..+50	
5.3	Напряжение сетевого питания 12В	0..20	Погрешность измерения 0.5%
5.4	Напряжение аккумуляторной батареи, В	0..15	
5.5	Температура в корпусе барометра, °С	0..70	Температура используется для расчета температурной компенсации барометрического давления

4.1.3 Шкаф управления

Шкаф управления является ядром системы и состоит из следующих узлов и блоков:

- 1) контроллер MEGA 256R3
- 2) барометр или преобразователь давления и температуры BM280 фирмы Bosch;
- 3) блок сопряжения датчиков с АЦП;
- 4) часы реального времени - DS1302 фирмы Dallas Semiconductor;
- 5) micro SD накопитель информации емкостью 4 Gb;
- 6) преобразователь напряжения 12В/5В;
- 7) клеммный блок;
- 8) модем Siemens MC35i,
- 9) соединительные провода и кабели.

Все основные блоки установлены на стандартных 35 мм Din-шинах в настенном шкафу размерами 400x400x200 мм.

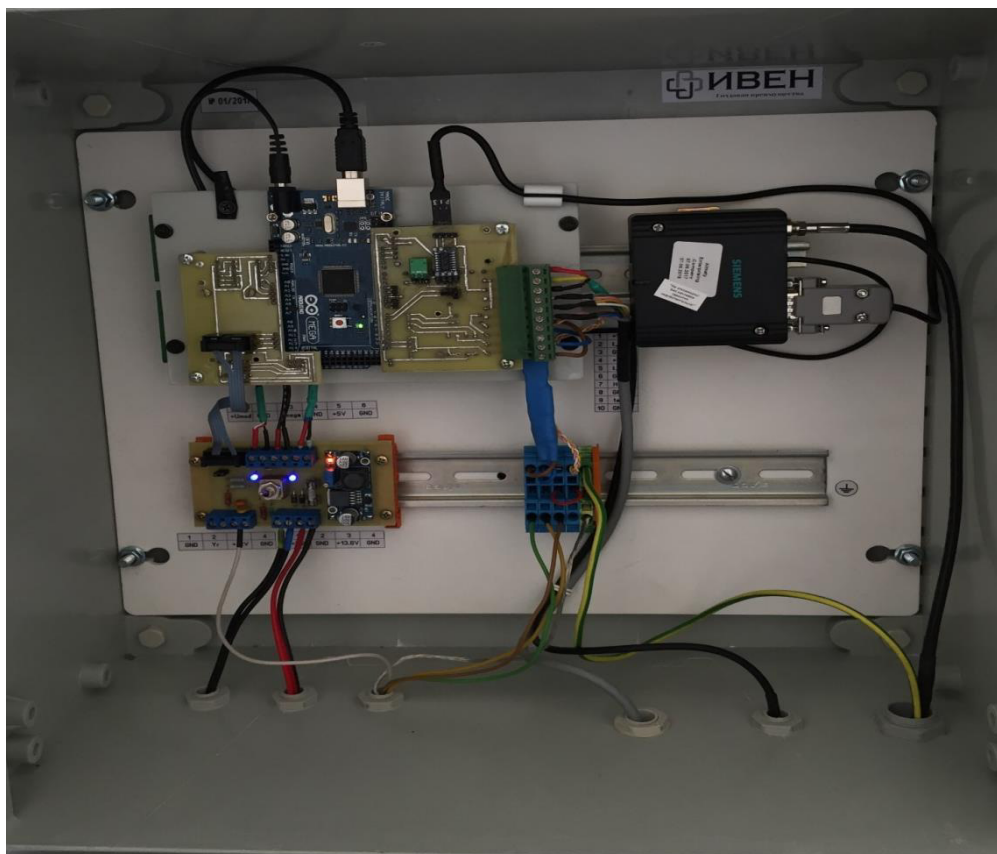


Рисунок 4.2 - Схема расположения блоков в шкафу управления

4.1.4 Контроллер

В качестве контроллера (CPU) применен одноплатный MEGA 256R3 Arduino. Подробное описание аппаратной части и правил программирования контроллера приведено в техническом описании на контроллер [87].

Внешние цепи контроллера включают цепи питания +5 В и +12 В, последовательные коммуникационные порты COM0..COM3 и входы для взаимодействия с блоками по интерфейсам: I2C, SPI, входы встроенного 16 канального АЦП.

Порт COM0 через USB порт используется для установки программы и обмена данными между контроллером и ноутбуком. Для подключения к модему используется порт COM3.

Питание контроллера осуществляется от двух источников: с общего блок питания = 12В плюс аккумуляторная батарея и +5 В от отдельного преобразователя 12В/5В на плате питания.

В качестве аналогово-цифрового преобразователя используется 4 канальный 12 разрядный АЦП ADS1015 в дифференциальном включении.

Программа для контроллера написана на языке С.

Все необходимое программное обеспечение автоматически загружается в контроллер при включение питания и перезапускается при нажатии кнопки Reset на плате MEGA. Время перезагрузки составляет 2-3 секунды.

Функция Watchdog с временем задержки около трех секунд перезапускает контроллер в случае зависания программного обеспечения.

4.1.5 Блок питания

Для питания всех блоков и подзарядки дополнительного аккумулятора 12В/9А - Час используется отдельный блок питания в своем корпусе.

Таблица 4.2. - Параметры блока питания

№	Наименование параметра	Значение	Примечание
1	Входное напряжение переменного тока, В	140..240	
2	Максимальный потребляемый ток, А	0.15	
3	Выходное напряжение регулируемое, В (V1)	12..15	Устанавливается на 1-2 В выше напряжения аккумуляторной батареи
4	Максимальный ток нагрузки БП V1=12В, А	1.5	
5	Режим работы		Круглосуточный
6	Потребляемый оборудованием ток, мА	120	
7	Время автономной работы от встроенного аккумулятора емкостью 9 А-Час, час	48	
8	Время автономной работы от внешнего аккумулятора емкостью 60 А-Час, сут	12	

Блок питания не имеет отдельного выключателя и включается при подключении вилки в розетку. При пропадании сетевого напряжения, автоматически осуществляется переход на питание от аккумуляторов.

Для отключения питания системы необходимо выключить тумблер на плате питания в шкафу.

Блок питания отключается только отключением вилки сетевого питания из розетки и снятием одной из клемм аккумуляторных батарей.

Основная аккумуляторная батарея подзаряжается от автономного, отдельного зарядного устройства, имеющего функцию автоматического заряда.

4.1.6 Модем для передачи данных по линиям связи

В качестве модема используется сотовый Siemens MC35i. Описание модема приведено в [88]. Модем используется в режиме передачи данных с набором выделенных номеров. Коммуникационный интерфейс между модемом и контроллером или ноутбуком – RS-232. Используется режим «точка-точка». В качестве второго абонента используется аналогичный модем, установленный в помещении ДП и подключенный к базовому компьютеру. Питание модема осуществляется от встроенного источника 12В в шкафу управления. В качестве антенны используется внешняя направленная антенна на мачте высотой 6 метров.

При установлении соединения между модемами используется набор AT команд. Инициатива соединения должна исходить как со стороны ДП. Скорость передачи данных 9600 бит/с, реальная 7000 бит/с. Время дозвона до установления соединения – 10-12 секунд.

4.1.7 Датчики температуры воздуха

В качестве первичного преобразователя температуры воздуха на улице и в помещении применены полупроводниковые датчики DS18B20 Dallas Semiconductor. Уличный датчик встроен в защищенный пластиковый корпус, датчик температуры в помещении установлен в шкафу с выносом чувствительного элемента в помещение. Датчик температуры воды, терморезистор ММТ-4 вмонтирован в корпус из нержавеющей стали и залит эпоксидной смолой. В качестве линии связи используется провод П274М2 длиной 485 метров.

4.1.8 Датчик уровня воды в скважине

В качестве датчика уровня воды в скважине использован гидростатический датчик уровня ПД100-ДГ производства фирмы ОВЕН [89]. Основные характеристики датчика сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Технические характеристики преобразователя ПД100-ДГ [89]

№	Наименование параметра	Значение
1	Диапазон измерения уровня воды в скважине ,м	0..4
2	Выходной сигнал, мА	4..20
3	Напряжение питания, В	10..36
4	Защита от переплюсовки	Есть
5	Защита от повышенного напряжения	Есть
6	Ток потребления, А	(Uп-10V)/0.02
7	Диапазон рабочих температур, °С	0..+80
8	Погрешность, % от FS	0.5
9	Диаметр датчика, мм	27
10	Длина кабеля, м	6
11	Схема питания - по токовой петле	

Датчик устанавливается под уровень воды в скважине, на глубину, зависящей от диапазона регистрации уровня (0,5 диапазона). После выдержки кабеля датчика в течение нескольких часов на «обвисание», проводится контрольный замер уровня и расчет тарировочных коэффициентов. Характеристика зависимости уровня воды от выходного тока интерфейса 4-20мА - линейная.

В процессе работы необходим регулярный контроль уровня по образцовому уровнемеру и в случае необходимости корректировка поправок. При амплитудах колебания уровня больше диапазона измерения датчика, (в случае его оголения или погружения больше допустимого) необходимо перевесить датчик, откорректировав тарировочный коэффициент – глубина погружения от реперной точки.

4.1.9 Аккумуляторная батарея

Для работы системы в автономном режиме в качестве источника энергии используется аккумуляторная батарея. Аккумуляторная батарея - кислотный аккумулятор напряжением 12 В и емкостью 60 А-Часов.

Для подзарядки аккумулятора используется стандартное зарядное устройство с функцией автоматической зарядки. Максимальный зарядный ток должен соответствовать емкости аккумулятора и равен 0.1 значению емкости в А-Часах.

4.1.10 Требования к электропитанию

Основное питание системы – сеть переменного тока 220В - 50 Гц. Допустимый диапазон колебаний сетевого напряжения - 160..260 вольт переменного тока. Система должна функционировать от АБ, при отключении сетевого электропитания в течение не менее 10 суток.

При грозах, бурях и других природных явлениях которые могут привести к авариям на линиях ЛЭП, сетевое питание необходимо отключать (обесточить блок розеток) и перейти на работу от аккумуляторной батареи.

4.1.11 Программное обеспечение и вывод данных на персональный компьютер диспетчерского пункта

Программное обеспечение (ПО) включает в себя следующие модули:

- базовое ПО компьютера диспетчерского пункта;
- ПО контроллера.

Программное обеспечение ДП под операционную систему Windows разработано в среде Delphi, ПО для контроллера разработано на языке С.

ПО диспетчерского пункта устанавливается на компьютер диспетчера и должно работать под управлением операционной системы Windows.

Функции ПО диспетчерского пункта:

- опрос НП по установленному расписанию;
- предварительная обработка и запись результатов измерений в базу данных;
- отображение результатов измерений в табличной и графических формах;
- печать отчетных форм;
- передача накопленных результатов для дальнейшей обработки.

Функции ПО контроллера:

- опрос всех датчиков в соответствии с выбранными протоколами и периодичностью;
- предварительная обработка результатов и запись часовых замеров в файлы результатов замера;
- накопление результатов измерений в памяти контроллера на SD диске.

Периодичность опроса всех датчиков 1 секунда. В случае необходимости может быть использованы функции усреднения и сглаживания.

Запись результатов в файл осуществляется 1 раз в час.

В контроллере, результаты измерений, привязанные к меткам реального времени, хранятся в величинах считываемых с датчиков. Расчет реальных значений параметров с использованием тарифовочных коэффициентов производится программным обеспечением на компьютере ДП.

Результаты работы системы «Водозабор-ГИС-Модель» отображены на рисунках 4.3 – 4.6, где отображена поэтапная схема запроса данных наблюдаемых параметров на удаленном объекте и вывод их на дисплей в диспетчерском пункте.

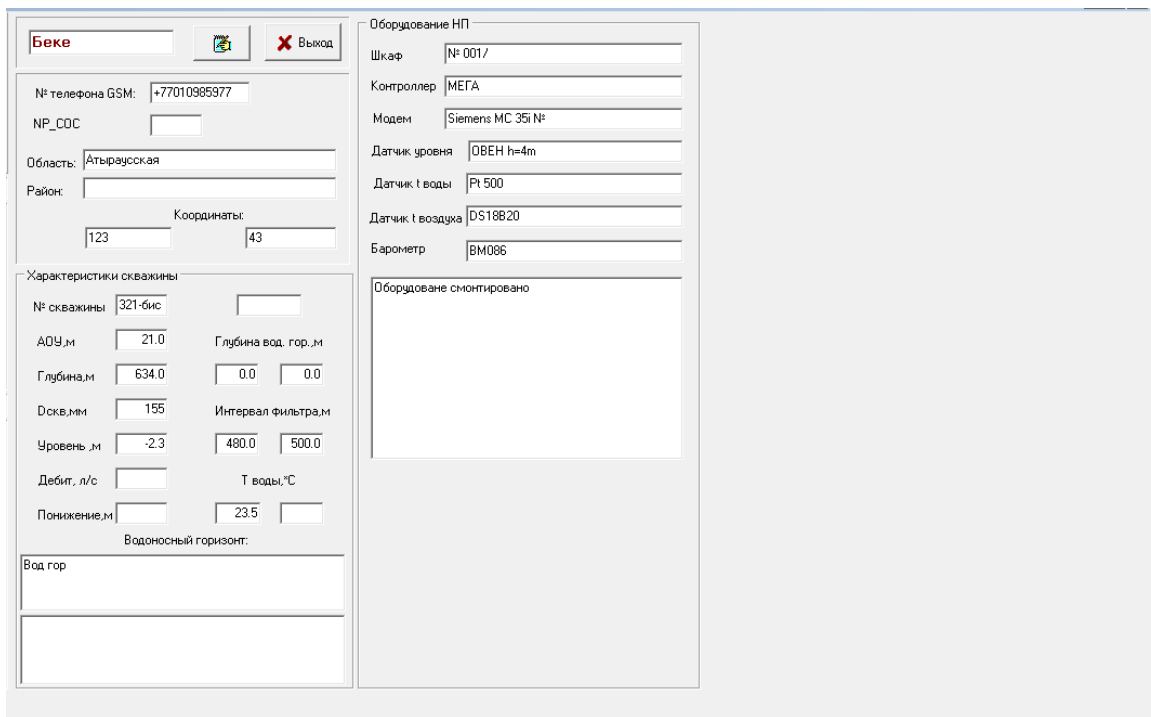


Рисунок 4.3 – Выбор наблюдательной станции

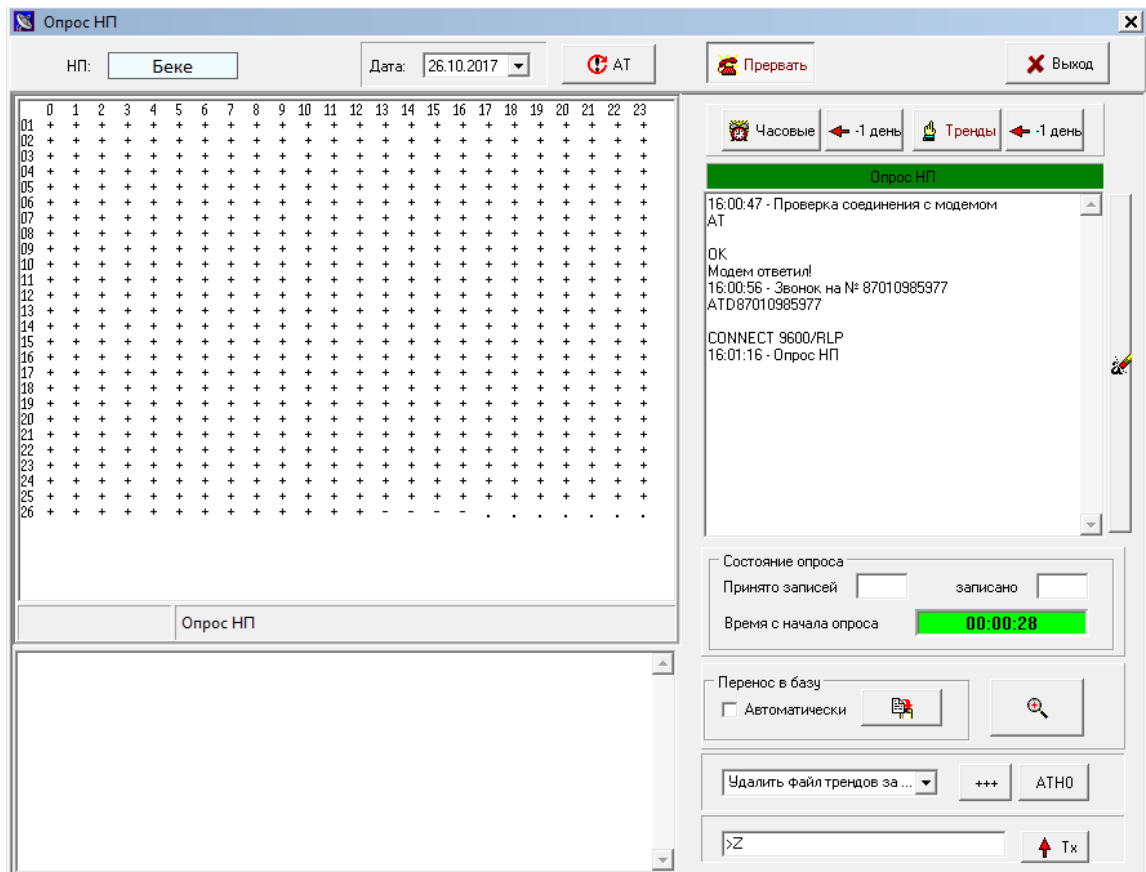


Рисунок 4.4 – Запрос данных с наблюдательного пункта

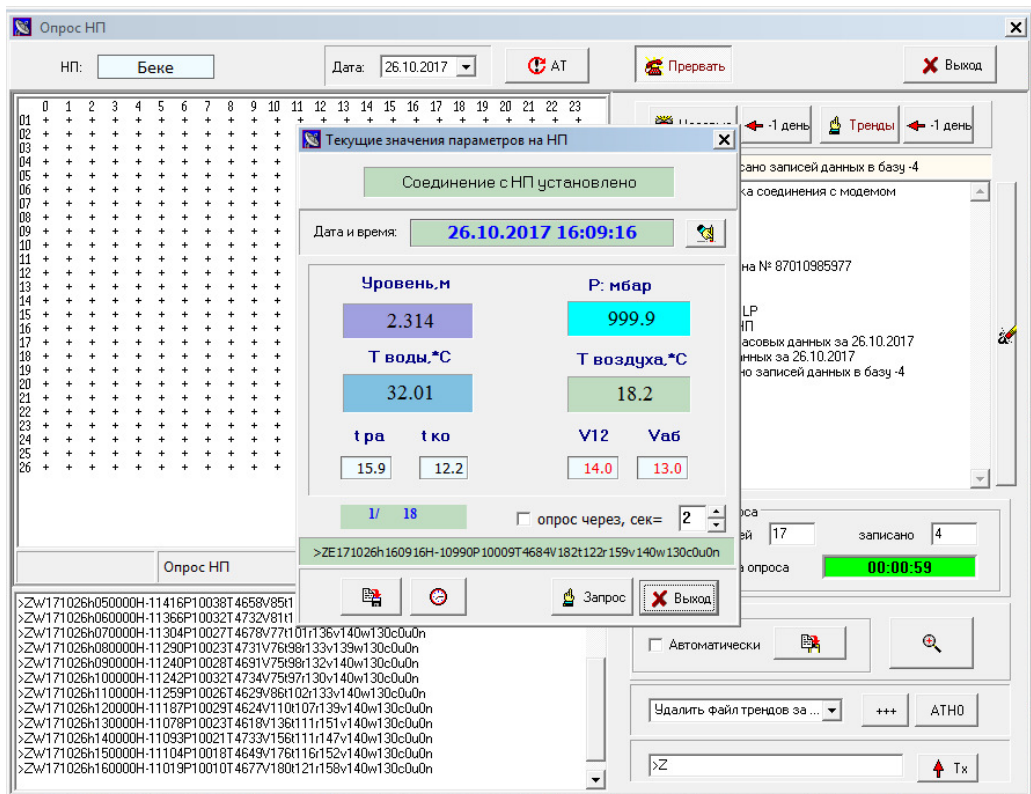


Рисунок 4.5 – Получение текущих значений наблюдаемых параметров на НП

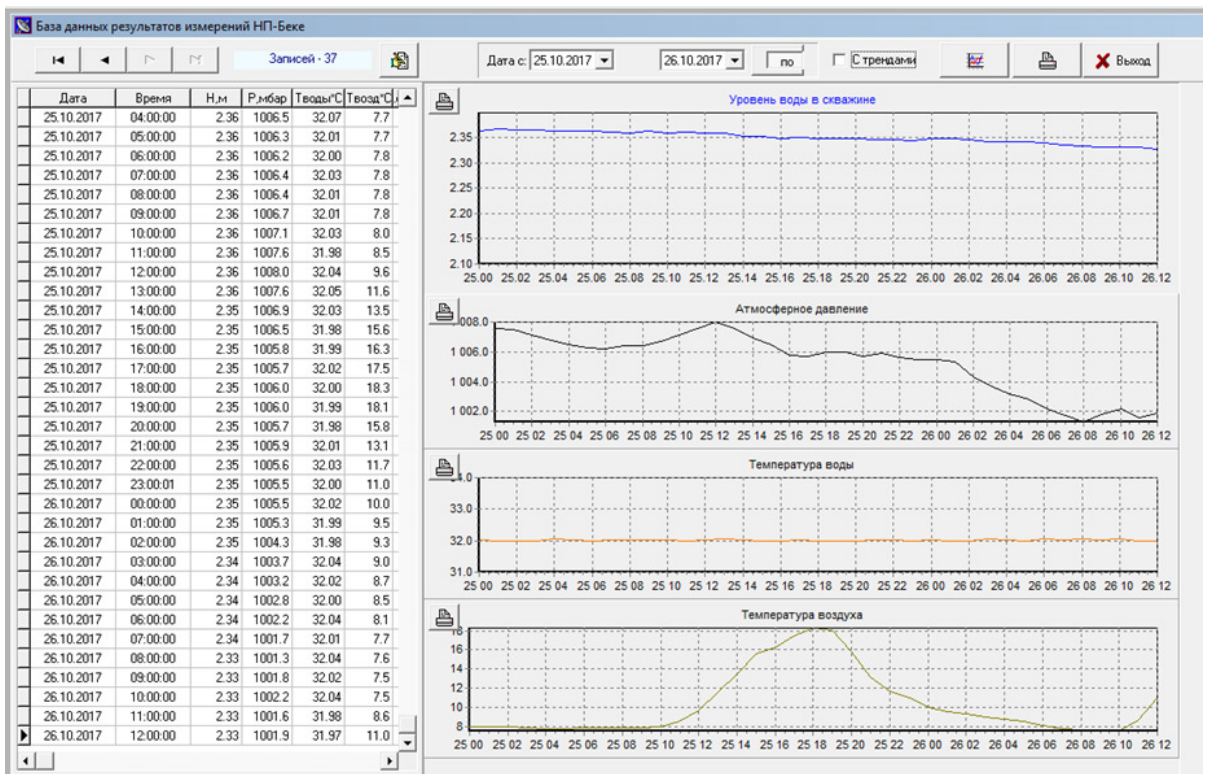


Рисунок 4.6 – Получение результатов наблюдаемых параметров в виде графических и числовых данных, с возможностью сохранения в ГИС

4.2 Гидрогеологическое обоснование оптимального управления эксплуатацией месторождения подземных вод на основе разработанной гидродинамической модели

Водозаборы месторождений подземных вод представляют собой довольно сложные объекты, характеризующиеся как сложностью самого строения, так и неоднородностью в плане и разрезе. Достаточно сказать, что двух одинаковых участков эксплуатации подземных вод в природе не существует, и в этом отношении еще более важным становится разработка и обоснование общих принципов, позволяющих выработать единую методологию в изучении эксплуатации подобных объектов.

Критерии выбора оптимального режима эксплуатации месторождения являются довольно сложной задачей, связанной с большим комплексом полевых и специальных работ, анализом всех данных эпигноза и требующей индивидуального подхода в каждом конкретном случае в этих условиях очень важно обеспечить такие режимы эксплуатации при которых в каждой водозаборной скважине на какой-то предельный момент времени понижение уровня (H_{it}) не превысит допустимого (критического) значения понижения (H_{imax}). В случае отсутствия угрозы подтягивания некондиционных вод, математически это можно записать следующим образом [87,88]:

$$\begin{cases} H_{it} \leq H_{imax} \\ \sum Q_i = Q_{\text{сум}} \\ 0 \leq Q_i \leq Q_{\text{max}} \end{cases} \quad (4.1)$$

где: $Q_i, Q_{\text{сум}}$ - соответственно текущий дебит i -той скважины и суммарный дебит водозабора; Q_{max} - максимально возможный дебит скважины (определяется геолого-гидрогеологическими условиями и по типу насосного оборудования в зависимости от конструкции скважины). Решение системы (4.1) сталкивается с некоторыми сложностями, связанными с тем, что известно только предельное значение понижения, которое будет достигнуто через какое-то неопределенное время соизмеримое со сроками эксплуатации месторождения. В такой постановке использовать полученные зависимости в системе оперативного управления затруднительно, поскольку неизвестно какое должно быть положение уровня на прогнозируемый текущий момент времени в каждой скважине.

Для Каскеленского месторождения подземных вод задача была рассмотрена в следующей постановке:

- Определено предельное допустимое снижение уровней для каждой скважины. В среднем по месторождению принято $S_{\text{доп}}=40\text{м}$.

- Известна заявленная потребность различных потребителей в воде хозяйственно-питьевого качества на конечный срок эксплуатации (Δt), а, следовательно, и суммарная производительность водозабора. Для Каскеленского месторождения расчетное время определено в 10000 суток, с суммарной водопотребностью на 2040г. равной 124,2 тыс. м³/сутки.

- Распределен общий водоотбор между эксплуатационными скважинами на прогнозируемый период.

Задача решалась путем введения в систему следующих условий [89, 90]:

$$\begin{cases} Q_i = Q_{\text{сум}} \\ F = \sum_{i=1}^L H_i / H_{\text{max}} \rightarrow \min \\ 0 \leq Q_i \leq Q_{\text{max}} \end{cases} \quad (4.2)$$

Для расчетов использовался модуль “Optimization” программного комплекса Visual Modflow. На рис. 4.7 указана рабочая область, куда были занесены основные данные по требуемому водоотбору, допустимому понижению и основным техническим характеристикам скважин.

Visual Modflow в настоящее время использует платформу ModularGroundwaterOptimizer (MGO), разработанная доктором Ч.Чжэн и профессором Патрик Ван из Университета штата Алабама. Подробная документация об алгоритмах оптимизации и возможностях MGO приведены в печатной документации и руководстве пользователя [91].

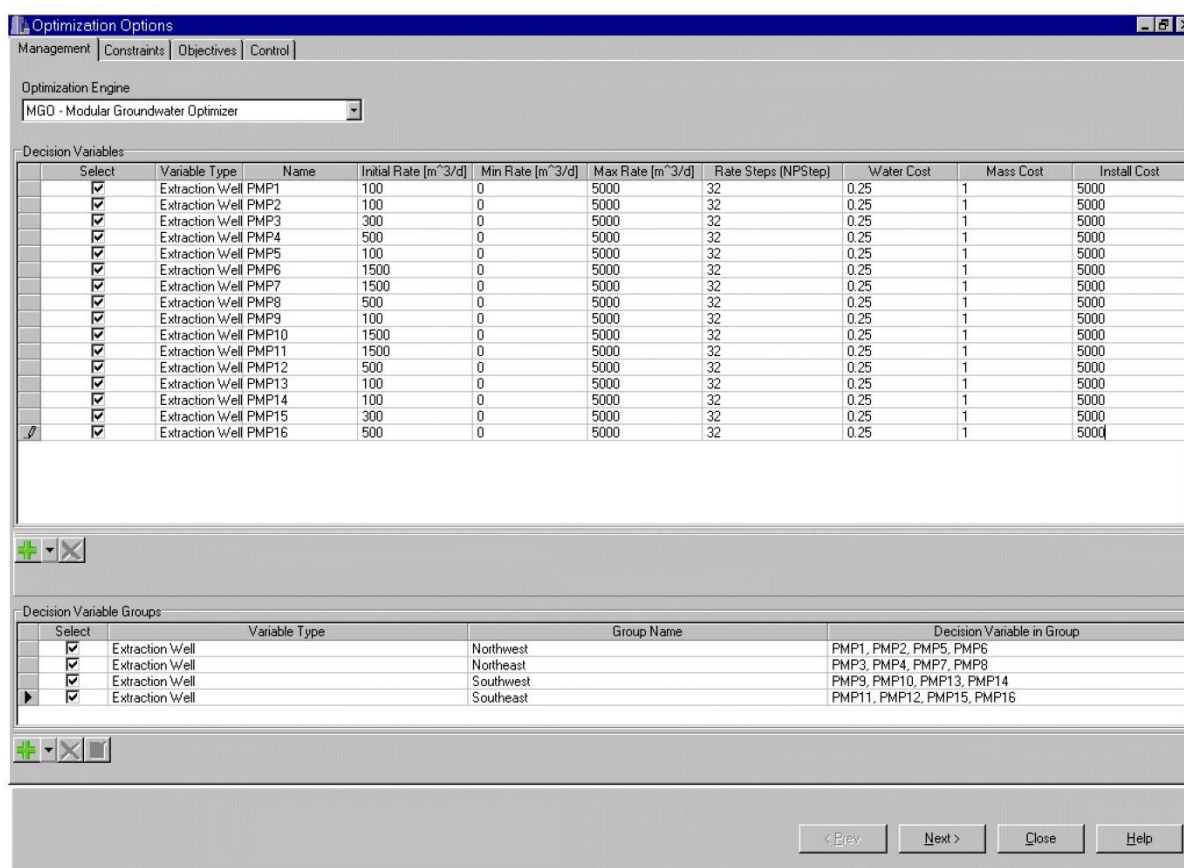


Рисунок 4.7 - Параметры оптимизации

Заданные параметры были просчитаны с помощью солвера “Genericalgorithm” (GA – общий алгоритм). Помимо данного солвера

используются так же SimulatedAnnealing (SA) и TabuSearch (TS) методы [91, 92].

Всего выполнено 20 итераций по результатам которых был выявлен оптимальный режим работы одиночных и групповых водозаборов Каскеленского месторождения подземных вод. Процесс оптимизации с помощью MGOModFlow приведен на рисунках 4.8 – 4.9

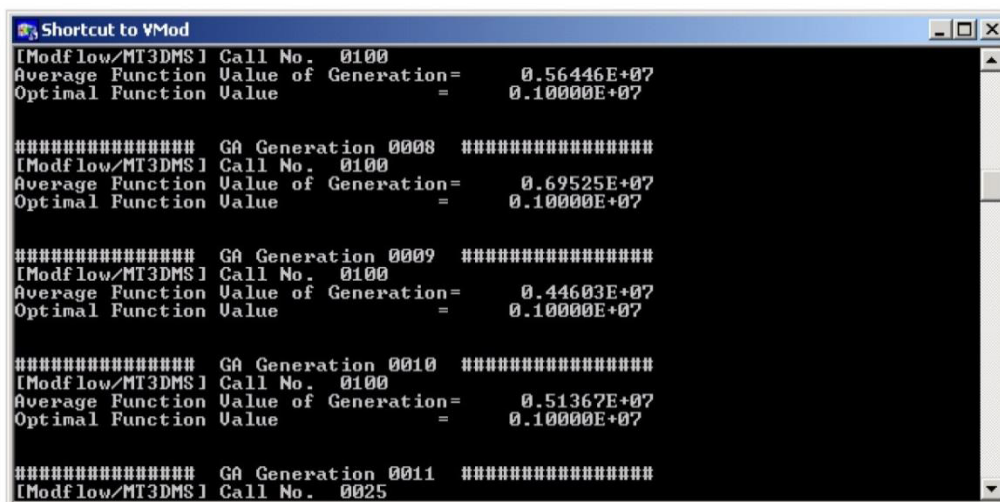


Рисунок 4.8 - Процесс итерации солвера

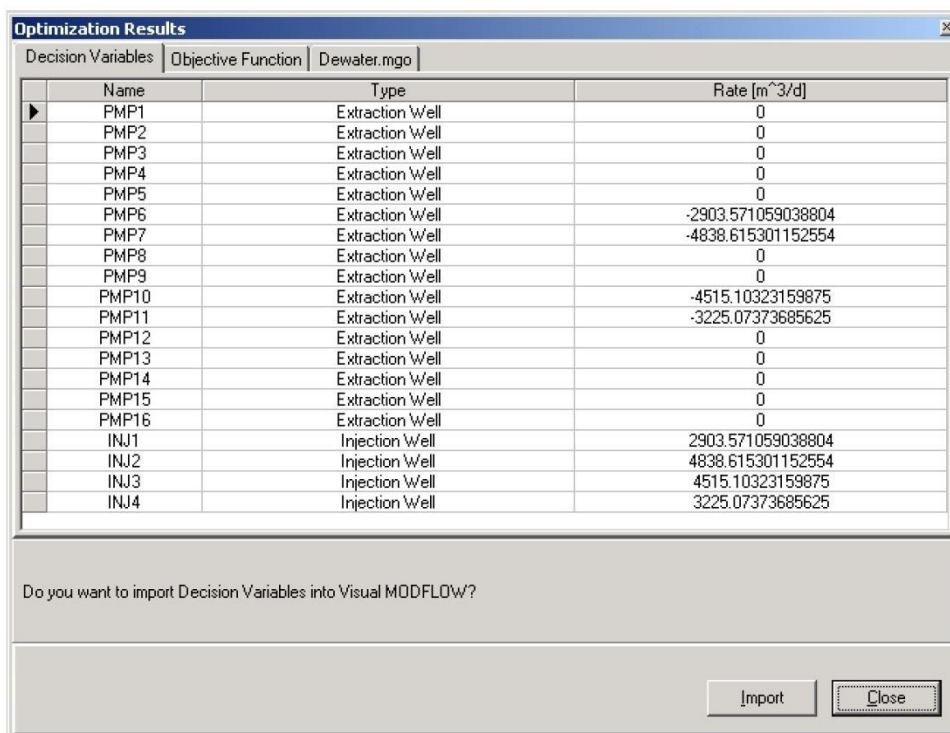


Рисунок 4.9 - Полученные результаты оптимизации скважин водозабора

Солвер“Genericalgorithm” использует эвристические алгоритмы в попытке найти оптимальное решение для заданной задачи. На платформе MGO рассчитана оптимальная добыча из 41 скважины, удовлетворяющая

ограничению понижения уровня с максимальной производительностью откачки[93].

На рисунке 4.10 мы можем видеть прогресс расчета для каждой итерации, всего выполнено 20 итераций для получения искомого результата.

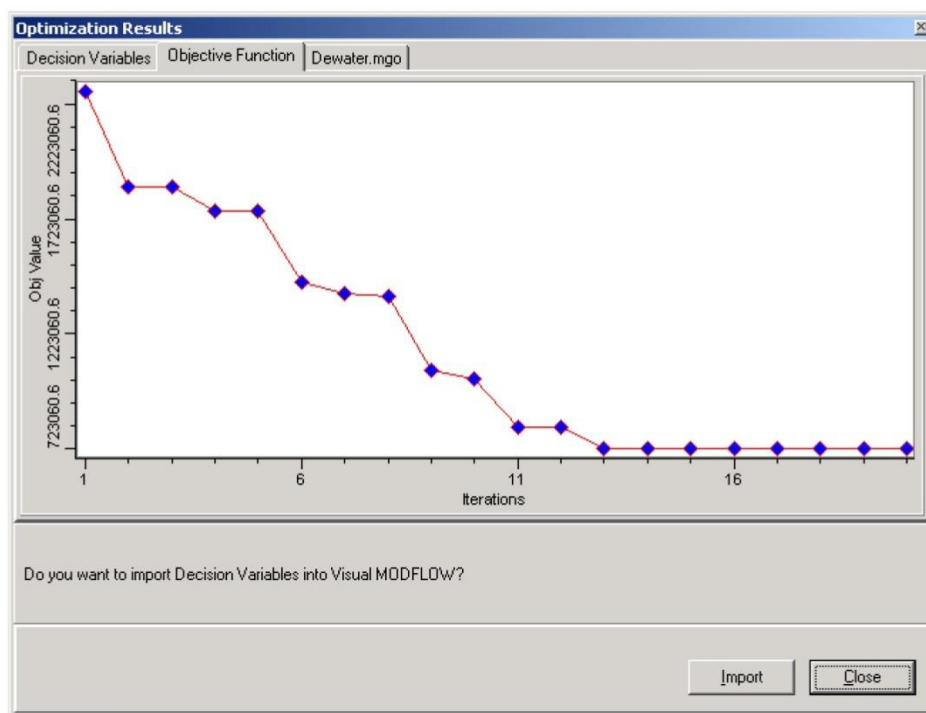


Рисунок 4.10 - Графическое отображение процесса расчета

По завершению процесса расчёта составляется отчет с исходными и полученными данными для сравнения значений (Рисунок 4.11).

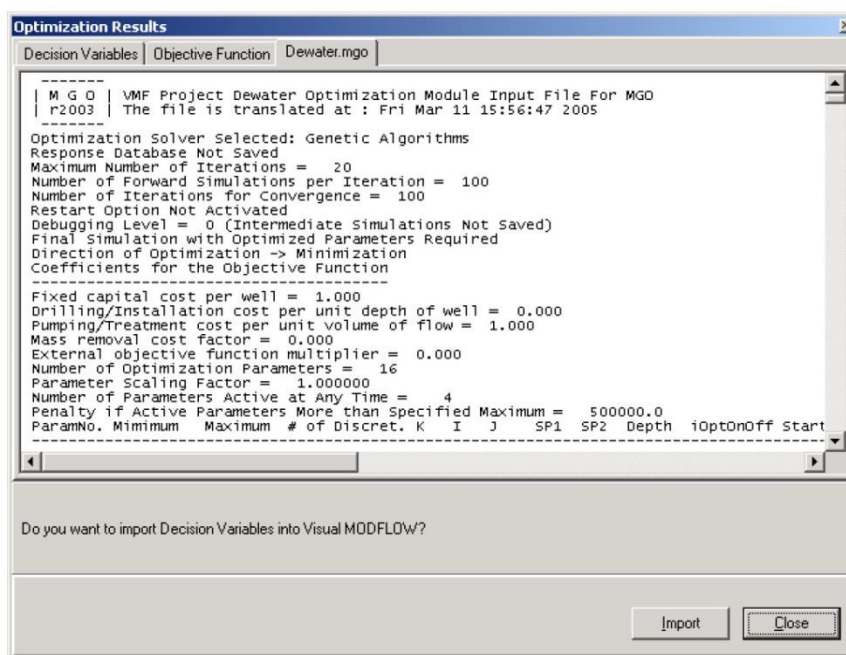


Рисунок 4.11 - Экран результатов расчетов оптимизации системы водозаборов

4.3 Рекомендации по проведению гидрогеологических исследований и обработке данных для решения задачи оптимального управления эксплуатацией действующего водозабора

Изложенная в диссертации методика гидрогеологических исследований для построения математических моделей месторождения, путем анализа данных гидрогеологического мониторинга и построением ГИС-систем для оценки эксплуатационных запасов и решения задач оптимизации управления эксплуатацией действующих водозаборов разработана применительно к условиям Каскеленского месторождения подземных вод, расположенного в конусах выноса Илийского артезианского бассейна. Однако, основные положения этой методики справедливы для исследований, проводимых для ряда месторождений подземных вод.

По результатам проведенных исследований основные рекомендации могут быть сведены к следующему:

1 При значительных отборах воды и/или слабом восполнении запасов особое значение приобретают длительные многолетние наблюдения за режимом подземных вод. Они должны начинаться на стадии разведки и продолжаться в течение всего периода изысканий, строительства и эксплуатации месторождений подземных вод. Кроме этого должен проводиться ряд технических наблюдений за работой насосного оборудования и гидравликой сборных и подводящих водоводов, так же влияющих на режим эксплуатации подземных вод.

2 Результаты наблюдений и исследований на водозаборах являются основой для изучения и уточнения гидродинамического, гидрогеохимического режимов и технических условий эксплуатации подземных вод. При построении последних вся исходная информация представляется в матричном виде с равным шагом дискретизации по времени, величина которого зависит от количества ретроспективных (эпигнозных) данных и требуемой продолжительности прогноза. Используются режимные наблюдения (замеры подекадно, кварталыно, годично).

3 Используемые для управления объектом математические модели должны:

- достаточно полно учитывать все природные гидрогеологические условия, отличаться высокой степенью достоверности по результатам выдаваемых прогнозов;

- быть гибкими по отношению к исходным данным, т.е. по мере их накопления постоянно проверяться, уточняться и при необходимости иметь возможность изменять свою структуру;

4 Управление рекомендуется осуществлять на основе комплексного использования кратко- и долгосрочных гидродинамических и гидрогеохимических прогнозов. На основе долгосрочного прогнозирования на перспективу (20-25 лет) определяются оптимальные среднегодовые дебиты скважин.

5 Выбор рациональных условий эксплуатации месторождения подземных вод действующими водозаборами осуществляется на основе решения оптимизационной задачи. Критерий оптимальности и функции цели определяются на основе предварительного анализа гидрогеологических и технико-экономических условий эксплуатации месторождения подземных вод. В гидрогеологической постановке задача оптимизации формулируется как поиск режима эксплуатации водозаборов, отвечающего максимально возможному водоотбору в течение проектного периода при заданных ограничениях на понижения уровня и качество отбираемой воды. Для глубоко залегающих водоносных горизонтов, возможный срок эксплуатации которых достаточно велик, в качестве оптимального рекомендуется выбирать такой вариант, который обеспечивает в течение всего периода разработки месторождения наиболее пропорциональную величинам предельно-допустимых понижений уровней подземных вод.

6 Регулирование режима эксплуатации действующего водозабора с целью поддержания оптимальных условий разработки месторождения подземных вод должно осуществляться как система управления, позволяющая в течение всего периода эксплуатации на основе данных наблюдений за нарушенным режимом подземных вод корректировать водоотбор с учетом имеющегося насосного оборудования и тем самым поддерживать адаптационную обратную связь «водозабор – база данных ГИС - математическая модель». На основе разработанной системы оптимизируется режим эксплуатации месторождения, уточняются гидрогеологические прогнозы, осуществляется хранение, обработка и анализ наблюдений за режимом подземных вод, по результатам которой производится управление ресурсами подземных вод и при необходимости производится переоценка эксплуатационных запасов.

7 Для функционирования системы «Водозабор – ГИС - Модель» на месторождении необходимо проводить следующие мероприятия:

- определить наблюдаемые параметры, включая их изменчивость во времени;
- количественно оценить составляющие восполнения запасов подземных вод (естественных и привлекаемых ресурсов подземных вод) и прогноз их изменения в процессе эксплуатации;
- степень изменчивости качества подземных вод в процессе эксплуатации и его прогноз во времени (подтягивание некондиционных вод);
- вести контроль за соответствием качества подземных вод согласно требованиям действующих санитарных правил, предъявляемых к питьевой воде, и соответствием объемов добычи по отношению к утверждённым эксплуатационным запасам подземных вод;
- изучить влияние от эксплуатации водозабора на окружающую среду и прежде всего на геологическую (просадочные явления), оценка возможных изменений компонентов природной среды (биосфера);
- разработать рекомендации по снижению негативных последствий

эксплуатации подземных вод (при необходимости);

- обосновать направление режимных исследований на перспективу, с размещением необходимой для этого дополнительной наблюдательной сети.

- определить состав наблюдений и особенностей их проведения для решения поставленных задач;

- выработать мероприятия по охране подземных вод от загрязнения, регулированию и управлению режимом подземных вод, оптимальному использованию подземных вод;

- оценить эффективность принятых мер по охране подземных вод;

Кроме всего прочего целью мониторинга при эксплуатации является проведение в дальнейшем переоценки эксплуатационных запасов подземных вод.

Требования к частоте измерений уровней подземных вод заключаются в необходимости объективного и достоверного воспроизводства хода процесса с заранее заданной точностью при минимальном количестве измерений [94]. Первичная документация осуществляется путем регистрации наблюдений в полевой книжке и полевом журнале.

Данные наблюдений за величиной водоотбора следует заносить в полевой журнал. С целью изучения режима уровня воды для определения величины подъёма в период паводка и интенсивного снеготаяния, а также значений минимального положения уровней поверхности подземных вод в межень период в эксплуатируемом водоносном горизонте должны проводиться регулярные наблюдения за уровнем подземных вод в водозаборных скважинах.

Для изучения качественного состояния подземных вод в соответствии с Санитарными правилами № 209 от 16 марта 2015 года «Санитарно-эпидемиологические требования к водопроводным сетям, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов» необходимо производить отбор проб воды на все виды анализов непосредственно из водозаборных скважин.

Отбираемые в процессе мониторинга пробы воды на химический анализ следует направлять в сертифицированные аккредитованные лаборатории, выполняющие необходимые виды анализов. В дальнейшем материалы по ведению мониторинга подземных вод позволят произвести переоценку запасов подземных вод и установить новые кондиции или соответствие их ранее утвержденным.

Выводы по 4 разделу:

1. Разработана автоматизированная система мониторинга наблюдаемых параметров подземных вод «Водозабор-ГИС-Модель», позволяющая удаленно вести наблюдения за режимом.

2. Для Каскеленского месторождения на период до 2040 г. определен оптимальный режим его эксплуатации с применением функции оптимизации солвером «GenericAlgorithm» на платформе MGOModFlow.

3. Составлены рекомендации по проведению гидрогеологических исследований, ведению мониторинга и обработке данных режимных наблюдений для решения задач оптимального управления водозаборами на месторождении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты выполненных исследований заключаются в следующем:

1. Разработана и реализована автоматизированная система мониторинга скважин «Водозабор-ГИС-Модель», позволяющая:

- измерять, накапливать и передавать результаты автоматически с наблюдательных постов в диспетчерский пункт;
- обрабатывать и хранить данные режимных наблюдений;
- на основе разработанной системы ГИС базы данных выдавать результаты мониторинга в картографическом виде;
- на основе математических моделей осуществлять гидродинамические и гидрогеохимические прогнозы;
- оптимизировать режим работы водозаборов путем расчета рационального плана водоотбора;
- производить оценку и переоценку эксплуатационных запасов подземных вод.

2. В программном комплексе Visual ModFlow построена модель Каскеленского МПВ для кратко- и долгосрочного прогнозирования режима подземных вод.

3. Разработаны эффективные критерии для выбора оптимального варианта работы водозабора, учитывающие наряду с гидродинамическими, экономические и технические условия эксплуатации месторождения подземных вод. Решение задачи осуществлено на базе построенной математической модели, с применением функции оптимизации солвером «GenericAlgorithm» на платформе MGO ModFlow.

4. Составлены рекомендации по текущей эксплуатации водозабора, направленные на повышение надежности эксплуатации и снижению экологической нагрузки на окружающую среду.

5. Составлены рекомендации по проведению гидрогеологических исследований, ведению мониторинга и обработке данных режимных наблюдений для решения задач оптимального управления водозабором.

В целом, по результатам проведенной научно-исследовательской работы можно сделать заключение, что разработанная методика позволяет рационально управлять режимом эксплуатации как на базе одного водозабора, так и режимом подземных вод в пределах месторождения в целом. Система учитывает в едином комплексе гидродинамические, гидрогеохимические и технико-экономические условия разрабатываемого МПВ, со всей полнотой позволяет использовать, хранить и обрабатывать данные многолетних режимных наблюдений, проводить переоценку ЭЗПВ и решать отдельные аспекты проблем охраны окружающей среды. Предложенный в работе алгоритм создания и ведения системы «Водозабор – ГИС - Модель» показывает пользу комплексного подхода к ведению мониторинга подземных вод, в котором краткосрочные и долгосрочные гидрогеологические прогнозы

занимают ведущее место и в купе с оптимизационными методами позволяют получить экономически более выгодный способ ведения мониторинга.

Выполненные исследования позволили разработать автоматизированную систему мониторинга подземных вод, применяемую со средствами ГИС и используемую как обоснование построения математических моделей. Полученные результаты позволяют сократить время и средства на выезд наблюдателей до пунктов мониторинговой сети, значительно дешевле обходится само мониторинговое оборудование, в сравнении с зарубежными аналогами. Система так же может быть модифицирована и дополнена необходимыми датчиками для наблюдений за специальными параметрами, в зависимости от типа мониторинга.

Вопросы, рассмотренные в диссертационной работе, являются составной частью более общей проблемы - проблемы управления водоносными системами. Задачи дальнейших исследований автор видит в решении проблем, которые могут быть сформулированы следующим образом:

- 1 Совершенствование методики адаптации модели с целью создания самоорганизующейся системы (ПДМ), способной автоматически вносить корректировку в модель по мере поступления новой режимной информации.

- 2 Дальнейшее совершенствование математических моделей геофильтрации, максимально учитывающих состояние современной теоретической базы, и природных условий месторождения, позволяющих максимально сократить процент ошибки при калибровке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 T.Rakhimov, V.Salybekova, D.Kalitov V.Zavaley. Features of groundwater resources assessment using mathematical modeling methods// Metallurgical and mining industry.-2015.-№ 9.

2 Рахимов Т.А., Завалей В.А., Сотников Е.В., Салыбекова В.С. Разработка геоинформационных систем управления ресурсами подземных вод Казахстана для целей интегрированного управления водными ресурсами на основе цифровых гидрогеологических карт масштаба 1:500 000// инженерное образование и наука в XXI веке: «Проблемы и перспективы»: труды международного форума, посвященного 80-летию КазНТУ имени К.И. Сатпаева

3 Robinson T.P., Hams R.S., Hopkins J.S., Williams B.G. An example of decision support for trypanosomiasis control using a geographical information system in eastern Zambia // International Journal of geographical information science, vol.16, ISSN, 2002, number 4, pp.345-360.

4 Петин А.Н. Геоинформатика в рациональном недропользовании // Белгород: Изд-во БелГУ, 2011. – 268 с. ISBN 978-5-9571-1455-3

5 Веселов В.В., Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л. ГИС-технологии в гидрогеолого-мелиоративных исследованиях // Геология Казахстана, Алматы, 2002, №1, с.96-103

6 Бураков М. М., Подольный О. В. К концепции оптимизации наблюдательной сети государственного мониторинга подземных вод // Гидрометеорология и экология , Алматы, 2010, с. 127-137

7 Капутин Ю.Е., Горные компьютерные технологии и геостатистика. - СПб.: Недра, 2002. - с. 424.

8 Васильев П.В. О геоинформационном обеспечении рационального недропользования на горнодобывающих предприятиях // Труды II Международной научной конференции «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах». - Белгород : Изд-во БелГУ, 2006. - стр. 183-188.

9 Захарова А.А. Алгоритмическое и программное обеспечение геоинформационной системы для решения гидрогеологических задач. //Томск : Изд-во ТПУ, 2002.-213 стр.

10 Васильев П.В. Петин А.Н. Интегрированная геоинформационная система с открытым программным обеспечением решения задач недропользования // IX международная конференция "Новые идеи в науках о Земле " S-XI. Секция геоинформатики. - М. : Изд-во РГГРУ, 2009. - стр. 108.

11 Сергеев Е. М. Инженерная геология / Учебн. — М., Изд-во МГУ, 1-е изд. 1978 // 2-е изд. 1982. — 248 с.

12 Боровский Б.В., Язвин Л.С., Закутин В.П. Мониторинг месторождений

и участков водозаборов питьевых подземных вод. Методические рекомендации. М., 1998 г., 80 с.

13 Боровский Б.В., Грабовников В.А. Достоверность гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод. Мифы и реальность. // "Разведка и охрана недр", №10, 2010 г.

14 Методические указания по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям питьевых и технических вод, Алматы, 1997

15 Аликин Э.А. Методология изучения месторождений подземных вод на основе системного подхода // Пермь ПГУ, 2009, 98 стр.

16 Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. — М.: Недра, 1984. — 262 с.

17 Санитарно-эпидемиологические требования, утвержденные приказом министра национальной экономики РК от 16 марта 2015 г. № 209. «Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к водоисточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов»

18 Ковалевский В.С. Исследования режима подземных вод в связи с их эксплуатацией. - М, Недра, 1986, 198 с.

19 . Ковалевский В.С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду.- М, Недра, 1994, 138 с.

20 Экологические системы. Адаптивная оценка и управление / Под ред. К.С.Холинга. — М.: Мир, 1981. — 310 с.

21 Методические рекомендации по гидрогеологической съемке масштаба 1:200000. Под. ред. Г.В. Куликова. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1983. — 114 с.

22 Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод. — М.: Недра, 1986. — 208 с.

23 Климентов П.П., Кононов В.М. Методика гидрогеологических исследований. — М.: Высш.шк., 1989. — 448 с.

23 Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов // Материалы I Всесоюзной гидрогеологической конференции. Т.1. М., 1982, с. 156-164.

24 Рахимов Т.А. Салыбекова В.С. Применение методов математического моделирования и ГИС-технологий при оценке эксплуатационных запасов подземных вод // Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития геологического кластера «Образование-наука-производство», Алматы, КазНТУ, 2014

25 Рахимов Т.А., Салыбекова В.С. Гидрогеологическое картографирование с применением геоинформационных систем в Казахстане // Вестник Академии Наук РК, Алматы, № _ 2015

26 Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Под ред. А.М.

27 Берлянт, А.В. Кошкарева. — М.: ГИС-Ассоциация, 1999. — 204с.

28 Hatzopoulos J.N. Watershed management using geographical Informationsystems. The Materials of the 9thInternational Symposium on remote Sensing, AghiaPelagia, Crete, Greece, 2002, pp. 26-27.

29 Jeremiah D. Lindemann and William L. Baker. Using GIS to analyze a severe forest blow down in the Southern Rocky Mountains. International Journal of geographical information science, vol.16, ISSN, 2002, number 4, pp.378-399.

30 Роговская Н.В. Гидрогеологическое картирование. — М., Наука, 1981. — 294с.

31 Васильев П.В. Буянов Е.В., О методике совместной работы программ MapInfo и Geoblock по оконтуриванию и подсчету запасов рудных месторождений // Бюллетень ГИС-ассоциации. - 2000 г.. - №2. - стр. 32-33.

32 Букринский В.А., Геометрия недр: учеб. для вузов. 2-е изд.. - М. : Недра, 1985. - стр. 526.

33 Смирнов В.И. Прокофьев А.П., Борзунов В.М. и др., Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых. - М. : Госгеолтехиздат, 1960. - стр. 672.

34 Завалей В.А., Калитов Д.К., Рахимов Т.А., Салыбекова В.С. О гидрогеологическом картографировании с использованием ГИС-технологий // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы гидрогеологии и инженерной геологии на современном этапе», Алматы, КазНТУ, 2013

35 D.Kalitov, V.Zavaley, T.Rakhimov, V.Salybekova. Methodics of Hydrogeological small-scaled mapping using GIS systems // 34th International Geological Congress (IGC) Congress Handbook, Australia, Brisbane, 2012

36 Хайбрахманов Т.С. Картографическая база данных для обеспечения эколого-геохимических исследований городских территорий // МГУ, Москва, 2014

37 Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков (учебник). М.: «Из-во КДУ», 2008. 424 с

38 Бычихина Е.П., Мочалова О.И. Ландшафтно-геоэкологическое картографирование города с наукоемкой ориентацией на примере Дубны // III Международная конференция «Экология и устойчивое развитие города». — М., 2000. — С. 205.

39 Рахимов Т.А., Завалей В.А., Сотников Е.В., Салыбекова В.С. Применение методов математического моделирования и ГИС-технологий при оценке эксплуатационных запасов подземных вод Восточной части Илийского артезианского бассейна // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы гидрогеологии и инженерной геологии на современном этапе», Алматы, 2013

40 Заруцкая И.П., Красильникова Н.В. Проектирование и составление карт. Карты природы. М.: «Изд-во Моск. ун-та», 1989. 295 с

41 Салищев К.А. Картоведение. 3-е изд. М.: МГУ, 1990. — 400с.

42 Сваткова Т.Г. Атласная картография. М.: «Аспект Пресс», 2002. 202 с.

43 Самсонов Т.Е. Мультимасштабные базы геоданных для электронных карт // *Пространственные данные*, 2009. №4. С. 46-51.

44 Самсонов Т.Е. Мультимасштабное картографирование рельефа: общегеографические и гипсометрические карты. Saarbrücken: LAP, 2011. 208 с.

45 Самсонов Т.Е. Мультимасштабное картографирование – новое направление картографии / *Современная географическая картография* / под ред. И.К. Лурье, В.И. Кравцовой. М.: «Изд-во Дата+», 2012. С.21-35.

46 Марков Н.Г., Захарова А.А., Гаряев Р.И., Ковин Р.В. Геоинформационный подход к автоматизации процессов контроля недропользования // В кн.: *Трансферные технологии в информатике*. — Томск: Изд-во ТПУ, 1999, выш.1, с.61-63.

47 Ермашова Н.А. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена Томской области в связи с решением вопросов водоснабжения и охраны. — Томск: ТПУ, 1998. — 256 с.

48 Каневский М.Ф., Демьянов В.В., Савельева Е.А., Чернов С.Ю., Тимонин В.А. Геостатистика и геоинформационные системы. — М.: ВИНТИ, Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 1999, № 11, с. 9-14.

49 Рахимов Т.А., Калитов Д.К., Завалей В.А., Салыбекова В.С. Переоценка эксплуатационных запасов подземных вод Боралдайского месторождения с применением методов математического моделирования // *Международная научно-практическая конференция «Геология, минерагения и перспективы развития минерально-сырьевых ресурсов Республики Казахстан и стран СНГ»*, - Алматы, 2015

50 Harbaugh AW (2005) MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular groundwater model: the groundwater flow process. US GeolSurv Tech Methods 6-A16

51 Hoffman J, Leake SA, Galloway DL, Wilson AM (2003) MODFLOW-2000 groundwater model: user guide to the Subsidence and Aquifer-System Compaction (SUB) Package. US GeolSurv Open-File Rep 03-233, 44 pp

52 Калитов Д.К., Завалей В.С., Рахимов Т.А., Салыбекова В.С. Применение методов математического моделирования для решения проблем очистки подземных вод от исторических загрязнений // *Гидрометеорология и экология*, -Алматы, -2015

53 Visual MODFLOW Flex Integrated Conceptual & Numerical Groundwater Modeling from http://trials.swstechnology.com/software/VMODFlex/2014/VMODFlex_UsersManual.pdf

54 Visual MODFLOW v.4.2 User's Manual, 2006 from http://tu-freiberg.de/fakult3/geo/hydro/modflow/VMOD_42_Manual.pdf

55 Каменский Г.Н. Основы динамики подземных вод. II-е изд. // -Москва, 1943

56 Гирицкий Н.К. Некоторые вопросы динамики подземных вод.

«Гидрогеология и инженерная геология», сб. 9, Госгеолиздат, 1947.

57 Шестаков В.М. Теоретические основы водопонижения и дренажа// - М. Изд-во МУ, 1965

58 Вевиоровская, М. А. Метод гидравлических аналогий В.С.Лукиянова и метод электрогидродинамических аналогий Н.Н.Павловского. Применительно к фильтрационным расчетам // Учеб. пособие для вузов / - М. : Изд-во СГУ, 1962. - 258 с.

59 Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод//-М., -Недра, - 1970,- 216 с

60 Рахимов Т.А., Калитов Д.К., Завалей В.А., Салыбекова В.С. Особенности переоценки эксплуатационных запасов подземных вод с применением методов математического моделирования (на примере Каскеленского месторождения подземных вод) // Вестник Академии наук, Алматы, 2015

61 Литовченко А.Р., Мочалов В.П. Полевые экспериментальные исследования потерь дождевых вод на инфильтрацию в горах северного склона Заилийского Алатау.А-Ата, 1964

62 Джазылбеков Н.А. Поиски пресных вод в глубоких водоносных горизонтах с целью оценки перспектив водоснабжения городов Алматы и Каскелен, А-А, РГФ, 1996.

63 Шестаков В.Ф., Коростова Г.Т. Каскеленское месторождение подземных вод. Отчет Алма-Атинской гидрогеологической партии по работам 1961-65гг. ,А-А,РГФ,1965

64 Шлыгина В.Ф. Алма-Атинское месторождение подземных вод, А-А, РГФ,1959-60 гг.

65Шестаков Ф.Б., Коростова П.Т. Каскеленское месторождение подземных вод А-А,РГФ,1966 гг.

66 Салыбекова В.С., Рахимов Т.А., Жанабилов С.С. Отчет по результатам доразведки с целью переоценки эксплуатационных запасов подземных вод Каскеленского, Иссыкского и Лепсинского месторождений в Алматинской области// - Алматы, ТГФ,2015

67 Yang Q.C., Liang J., and Yang Z.P., 2011. Numerical Modeling of Groundwater Flow in Daxing (Beijing), China. SciScienceDirect14: 1671-1676

68 Zhou Y., and Li W., 2011. A review of regional groundwater flow modeling. Geosciencefrontiers 2(2): 205-214

69 Doherty J (2010) PEST, Model-independent parameter estimation: user manual, 5th edn. (and addendum to the PEST manual).Watermark, Brisbane, Australia. Available at www.pesthomepage.org. June 2015

70 Doherty JE, Fienen MN, Hunt RJ (2010) Approaches to highly parameterized inversion: pilot-point theory, guidelines, and research directions. US GeolSurvSci Invest Rep 2010–5168,36 pp

71Doherty, J.E., Fienen, M.N., and Hunt, R.J., 2010, Approaches to highly parameterized inversion: Pilot-point theory, guidelines, and research directions: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5168, 36 p

- 72 Gavin H. P., 2013. The Levenberg-Marquardt method for nonlinear least squares curve-fitting problems from <http://people.duke.edu/~hpgavin/ce281/lm.pdf>
- 73 Hill, M. C., 1992: A Computer Program (MODFLOWP) for Estimating Parameters of a Transient, Three-Dimensional, Ground-Water Flow Model using Nonlinear Regression. U. S. Geological Survey Open-File Report 91-484.
- 74 Lerner D.N. (2002) Identifying and quantifying urban recharge: a review. *Hydrogeol J* 10:143–152
- 75 Levenberg K. (1944) A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Q J Appl Math* 2:164–168
- 76 Marquardt DW (1963) An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *J SocIndAppl Math* 11(2):431–441
- 77 Siade AJ, Nishikawa T, Rewis DL, Martin P, Phillips SP (2014) Groundwater-flow and land-subsidence model of Antelope Valley, California. *US GeolSurvSci Invest Rep* 2014–5166, 154 pp
- 78 Салыбекова В.С., Калитов Д.К., Завалей В.А., Рахимов Т.А. Гидрогеологические аспекты технологии комплексной очистки хромсодержащих сточных вод методом in-situ // Всероссийская конференция с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии», - Томск, 2015
- 79 V.Salybekova, V.Zavaley, T.Rakhimov Perspectives of lithium extraction from hydromineral brines in Kazakhstan // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы гидрогеологии и инженерной геологии на современном этапе», Алматы, КазНТУ, 2013
- 80 D.Kalitov, V.Zavaley, V.Salybekova, T.Rakhimov Hydrogeological and geochemical aspects of groundwater treatment // Тринадцатая международная конференция «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» Грузия, Тбилиси, 2014г
- 81 Moench A.F. Computation of type curves for flow to partially penetrating wells in water-table aquifers // *Ground Water*. 1993. Vol. 31, N 6. P. 966–971.
- 82 Moench A.F. Flow to a well in a water-table aquifer: an improved Laplace transform solution // *Ground Water*. 1996. Vol. 34, N 4. P. 593–596.
- 83 Букаты М. Б. Разработка программного обеспечения в области нефтегазовой гидрогеологии // *Разведка и охрана недр. – 1997. – № 2. – С. 37–39.*
- 84 Thompson J. F., Warsi Z. U. A., Mastin C. W. Numerical grid generation. Foundations and applications. New York: North-Holland, 1985. – 331 p.
- 85 Кастельс М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура / Пер. с англ. под науч. ред. О. И. Шкаратана. — М.: ГУ ВШЭ, 2000. — 608 с.
- 86 Суреньянц С. Я.- Иванов А. П. Эксплуатация водозаборов подземных вод.//— М.: Стройиздат, 1989.—80 стр.
- 87 Brian W.Evans. Arduino programming notebook// First Edition – 2007, 40p.
- 88 AT Command Set Siemens Cellular Engines // Siemens AG – 2001, 221 p.
- 89 Преобразователь гидростатического давления измерительный ПД100-ДГ. Краткая инструкция по эксплуатации // www.owen.ru

90 Ahlfeld, D.P., and Hoque, Yamen, 2008, Impact of simulation model solver performance on ground water management problems: *Ground Water*, v. 46, no. 5, p. 716-726.

91 Pulido-Velazquez, David, Ahlfeld, David, Andreu, Joaquin, and Sahuquillo, Andres, 2008, Reducing the computational cost of unconfined groundwater flow in conjunctive-use models at basin scale assuming linear behaviour -- the case of Adra-Campo de Dalias: *Journal of Hydrology*, v. 353, p. 159-174.

92 Ryter, D.R., Kunkel, C.D., Peterson, S.M., and Traylor, J.P., 2015, Numerical simulation of groundwater flow, resource optimization, and potential effects of prolonged drought for the Citizen Potawatomi Nation Tribal Jurisdictional Area, central Oklahoma: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2014-5167, 27 p., <http://dx.doi.org/10.3133/sir20145167>.

93 K.R. Fowler A decision making framework with MODFLOW-FMP2 via optimization// *Journal Environmental Modelling & Software* archive Volume 69 Issue C, July 2015, Pages 280-291

94 Инструкция по организации и ведению режимных наблюдений за уровнем, напором, дебитом, температурой и химическим составом подземных вод в системе Государственного мониторинга подземных вод. Кокшетау, 2006г.