

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Основные нефтедобывающие районы Западной Сибири располагаются в южной части Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) и на территории широтного Приобья в пределах Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО-Югра). На этой территории эксплуатируются многие десятки водозаборов подземных вод. Часть водозаборов используется для питьевого водоснабжения городов и предприятий, значительная часть эксплуатируется для целей поддержания пластового давления в нефтеносных пластах.

Значительное количество водозаборов вводилось в эксплуатацию без проведения разведочных работ и специального расчетного обоснования. В настоящее время выявились существенные противоречия между представлениями о гидродинамических условиях добычи подземных вод на период ввода в эксплуатацию водозаборов и современными результатами анализа данных разведочных работ и наблюдениями в период эксплуатации. Большинство водозаборов рассчитывалось по схеме безграничного пласта и прогнозировалось развитие депрессионных воронок от крупных водозаборов на десятки километров.

Гидродинамические параметры пластов рассчитывались без учета особенностей обработки откачек в слоистых пластах с перетеканием. По многим водозаборам значение параметра водопроводимости завышалось в 2-3 раза, а коэффициентов пьезопроводности – примерно на порядок. Основная ошибка заключалась в неверной оценке размеров депрессионных воронок вокруг водозаборов. Учитывая сложную экологическую ситуацию в районах нефтедобычи и городских территорий, неверная оценка размеров депрессии приводила к неправильной оценке опасности взаимодействия водозаборов и источников загрязнения.

Отсутствие детальной проработки проектных решений по строительству водозаборов привело к тому, что водозаборы занимают значительные площади в связи с избыточными расстояниями между водозаборными скважинами. Это привело к излишним затратам на строительство и эксплуатацию водозаборов. При сооружении и эксплуатации водозаборных скважин, как правило, не оценивалась степень их гидродинамического несовершенства. В большинстве эксплуатационных скважин доля понижения уровня, связанная с гидродинамическим несовершенством скважин составляет значительную часть от общего понижения уровня в этих скважинах. Это приводит к излишним экономическим затратам на добычу подземных вод.

Идея работы. Детальный гидродинамический анализ данных разведки и эксплуатации водозаборов позволяет достоверно оценивать гидрогеологические и технологические условия добычи подземных вод, экологическую ситуацию в районе водозаборов, и обеспечивает существенное повышение экологической и экономической эффективности эксплуатации водозаборов подземных вод.

Объектами исследований являются водозаборы подземных вод, эксплуатирующие олигоценый водоносный горизонт в нефтедобывающих районах южной части Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) и на территории широтного Приобья в пределах Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО-Югра).

Предметом исследований являются гидродинамические процессы, которые возникают при опытно-фильтрационных опробованиях и эксплуатации водозаборов в слоистых пластах.

Цель работы - анализ гидрогеологических условий, опыта разведки и эксплуатации водозаборов подземных вод, и разработка, на основе современных методов гидродинамических расчётов, рациональных методов разведки водозаборных участков, проектирования и эксплуатации водозаборов подземных вод.

Основные задачи исследований

1. Анализ современных представлений о гидрогеологических условиях эксплуатации олигоцен - четвертичного водоносного комплекса.
2. Обоснование расчётных гидродинамических схем, которые реализуются при разведке и эксплуатации подземных вод.
3. Анализ и оценка состояния гидродинамических расчетов в пластах с перетеканием.
4. Уточнение методики обработки данных опытно-фильтрационных работ.
5. Уточнение и дополнение методики обработки данных эксплуатации.
6. Анализ гидродинамического состояния водозаборных скважин с учетом их несовершенства.
7. Разработка рекомендаций по оценке эксплуатационных запасов подземных вод с учётом гидродинамического несовершенства скважин.
8. Гидродинамическое обоснование рациональной структуры водозаборов.
9. Анализ теоретических решений, определяющих размеры депрессионных воронок вокруг водозаборов.
10. Разработка рекомендаций по оценке размеров депрессионных воронок вокруг водозаборов.

11. Уточнение рекомендаций по ведению мониторинга при эксплуатации водозаборов.

Научная новизна

1. Выявлено, что в слоистых пластах, слагающих верхнюю часть гидрогеологического разреза нефтедобывающих районов, реализуется схема пласта с перетеканием из горизонта с изменяющимся напором с последующим переходом в гидродинамическую схему «пласт с постоянным напором».
2. Установлено, что в процессе развития перетекания из четвертичного безнапорного водоносного горизонта происходит увеличение водоотдачи от значений, характерных для упругой водоотдачи, до величин гравитационной водоотдачи. Суммарная водоотдача возрастает меньше, чем в сто раз, что усложняет интерпретацию результатов откачек.
3. Определены средние, относительно устойчивые, значения параметров водопроводимости и перетекания, коэффициентов пьезопроводности и упругой водоотдачи, характерные для олигоценового водоносного горизонта.
4. Разработана методика анализа работы водозаборов с разложением величины понижения в эксплуатационных скважинах на основные составляющие, что позволяет определить дополнительное понижение за счет гидродинамического несовершенства водозаборной скважины.
5. Разработаны количественные показатели для оценки гидродинамического несовершенства водозаборных скважин, предложена классификация скважин по степени их гидродинамического несовершенства.
6. Уточнены рекомендации по оценке эксплуатационных запасов в пластах с перетеканием с учётом степени несовершенства и взаимного расположения водозаборных скважин.
7. На основе теоретического анализа основных расчетных зависимостей выявлена взаимосвязь размеров депрессионной воронки с дебитом скважин и водозаборов, с учётом величины водопроводимости пласта.
8. На основании прямых наблюдений и аналитических расчётов оценены размеры депрессионных воронок вокруг водозаборов подземных вод.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Установлено, что в слоистых пластах важное место занимает гидродинамическая схема пласта с перетеканием из горизонта с переменным-постоянным напором,

причём изменение водоотдачи происходит в пределах первых двух порядков величин (в десятки раз).

2. Обоснована аналитическая зависимость, определяющая связь уровня подземных вод в отключённой скважине работающего водозабора с расчётным уровнем в обобщённой системе скважин (уровень в «большом колодце»).
3. Разработана классификация скважин по степени их гидродинамического несовершенства.
4. Уточнена и дополнена методика интерпретации данных откачек из водоносных пластов с перетеканием.
5. Достоверно определены средние значения гидродинамических параметров олигоцен – четвертичного водоносного комплекса, позволяющие оценивать правильность обработки данных откачек и эксплуатации водозаборов.
6. Разработаны дополнительные рекомендации по оценке эксплуатационных запасов в пластах с перетеканием с учётом степени несовершенства и взаимного расположения водозаборных скважин.
7. Установлена, на основании теоретического анализа, взаимосвязь радиуса депрессионной воронки с дебитом скважины (водозабора) и водопроводимостью пласта в водоносных системах с перетеканием.
8. Установлено, что радиусы депрессионных воронок вокруг водозаборов подземных вод обычно составляют менее двух - трёх км. Для небольших водозаборов радиус депрессии составляет менее одного км. Данное положение позволяет целенаправленно планировать мероприятия по охране подземных вод.
9. Рекомендуются, для мониторинга техногенных изменений уровня подземных вод вокруг водозаборов, располагать наблюдательные скважины не далее половины радиуса депрессионной воронки (1 – 2 значения величины параметра перетекания) от центра водозабора.

Методы исследований. Основные научные и практические результаты диссертационной работы получены на основе сочетания анализа и обобщения теоретических и методических достижений гидрогеологии, в первую очередь – гидрогеодинамики, с аккуратным применением этих положений в практической деятельности. Методическая идеология диссертации базируется на убеждении, что достоверные научные результаты могут быть получены только на основе достаточно строгих теоретических моделей, адекватно описывающих изучаемый процесс. Модели необходимо обосновывать, проверять и подтверждать разнообразными натурными данными, полученными в соответствующих гидрогеологических условиях.

Защищаемые научные положения

1. При разведке и эксплуатации подземных вод олигоцен - четвертичного гидрогеологического комплекса реализуются условия перетекания из четвертичного водоносного горизонта в олигоценовый водоносный горизонт. В этой части гидрогеологического разреза важное место занимает гидродинамическая схема пласта с перетеканием из горизонта с переменным-постоянным напором. Опытными-фильтрационными исследования необходимо выполнять с учетом стационарного режима эксплуатации водозаборов и отличительных особенностей определения гидродинамических параметров в водоносных пластах с перетеканием.

2. Анализ данных мониторинга эксплуатационных показателей водозаборов позволяет уточнить значения основных гидродинамических параметров водоносного пласта и выявить реальную гидрогеологическую ситуацию на водозаборном участке. Количественная оценка гидродинамических характеристик водозаборных скважин обеспечивает объективную оценку их технического состояния и эффективность проектных решений по общей структуре водозабора.

3. Экологическое состояние водозаборов зависит от степени их взаимодействия с природными и техногенными объектами на поверхности земли и в геологической среде. При перетекании подземных вод из четвертичного водоносного горизонта в олигоценовый водоносный горизонт в зоне влияния водозабора формируется стационарная депрессионная воронка относительно небольших размеров. Размеры депрессионной воронки определяются гидродинамическими характеристиками взаимодействующих пластов и суммарным дебитом водозабора.

Достоверность работы. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций достигается применением основных теоретических и методических положений гидрогеодинамики, тщательным анализом многочисленных натурных данных по разведке и эксплуатации водозаборов подземных вод на территории Западной Сибири.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийских совещаниях по подземным водам востока России (г. Иркутск, 2006 г, г. Тюмень, 2009 г, г. Иркутск, 2012 г); конференциях, проводившихся в рамках Уральской горнопромышленной декады (г. Екатеринбург 2004 - 2013 г.г.); научно-практической конференции «85 лет геологической службе Урала» (г. Екатеринбург, 2005 г); международной научной конференции «Ресурсы подземных вод: Современные проблемы изучения и

использования (к 100-летию Б.И. Куделина)», (г. Москва, 2010 г); международной научно-практической конференции «Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии», (пос. Зелёный Московской обл., 2011 г); международной научной конференции «Гидрогеология сегодня и завтра: наука, образование, практика. К 60-летию со дня основания кафедры гидрогеологии МГУ», (г. Москва, 2013 г).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 2 работы опубликованы в издании, рекомендованном ВАК Минобрнауки России.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка источников, включающего 126 наименований. Объём диссертации составляет 202 страниц текста, включая 59 рисунков и 78 таблиц.

1. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЗАБОРОВ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

1.1. Основные представления о гидрогеологическом строении

Территория, в пределах которой проводились гидрогеологические исследования, находится в центральной части Тюменской области (рис. 1.1). Значительная часть нефтяных месторождений, и соответственно, водозаборов подземных вод, располагается в южных районах Ямало-Ненецкого автономного округа (города Муравленко, Губкинский, пос. Харампур) и в восточных районах Ханты-Мансийского автономного округа (города Сургут, Лангепас, Нижневартовск).

С позиций гидрогеологического районирования данная территория относится к Западно-Сибирскому мегабассейну (ЗСМБ) подземных вод. Наиболее полное рассмотрение гидрогеологических условий мегабассейна приведено в томе XVI «Гидрогеология СССР (Западно-Сибирская равнина)» под редакцией В.А. Нуднера (1970). В данной работе на территории Западно-Сибирской равнины выделяется артезианский бассейн одноименного названия. Его вертикальный разрез делится на два гидрогеологических этажа: верхний и нижний, разделенных толщей глин олигоцен-туронской трансгрессии [17]. Верхний этаж составляют два гидрогеологических комплекса: 1) палеоген-четвертичных отложений и 2) олигоцен-туронских отложений. В нижнем гидрогеологическом этаже различные авторы выделяют от двух до трех гидрогеологических комплексов: 1) апт-сеноманских, 2) неокомских и 3) юрских отложений.

Западно-Сибирская эпипалеозойская плита (геосинеклиза) является крупнейшей на планете резервуаром подземных вод, в том числе пресных подземных вод. Обобщение и осмысление огромного фактического материала, включающего многие тысячи поинтервальных испытаний и опробований, анализов и точечных замеров уже в начале 1980-х годов показали необходимость отхода от традиционного понятия гидродинамически единого Западно-Сибирского артезианского бассейна, разделенного на два гидрогеологического этажа. Дело в том, что выделение единого артезианского бассейна на огромных пространствах Западной Сибири на разбуренных глубинах до 4,5 (а по Тюменской сверхглубокой скважине – 7,5 км) не отвечает современной типизации гидрогеологических бассейнов по условиям залегания и движения, а также современному понятию гидрогеологической структуры [48-53].

В 1984 г. на 27 сессии Международного геологического конгресса В.М. Матусевичем была предложена новая гидрогеологическая стратификация [48]. В ее

основу положены условия залегания подземных вод, условия их движения и геодинамическая модель развития Западно-Сибирской геосинеклизы. В пределах всей мегаструктуры Западно-Сибирской геосинеклизы как надпорядковый гидрогеологический резервуар выделяют Западно-Сибирский мегабассейн, состоящий из трех самостоятельных сложных наложенных гидрогеологических бассейнов: палеозойского, мезозойского и кайнозойского. Ю.К. Смоленцев выделяет кайнозойский бассейн как «кайнозойско-меловую систему бассейнов стока» [76].

Весь послепалеозойский разрез делится на пять самостоятельных гидрогеологических комплексов: олигоцен-четвертичных отложений; турон-олигоценых отложений; апт-альб-сеноманских отложений; валанжин-готерив-барремских отложений; юрских отложений. При этом два первых самостоятельных комплекса входят в кайнозойско-меловую систему бассейнов стока, а три остальные - в мезозойский гидрогеологический бассейн.

Кайнозойско-меловая система бассейнов стока подробно рассмотрена в работе А.В. Соколовой [77], где для рассматриваемого района выделяются следующие гидрогеологические подразделения: сезонно-водоносный четвертичный различного генезиса горизонт; водоносный таликовый четвертичный различного генезиса комплекс; криогенный водоупорный четвертичный различного генезиса комплекс; водоносный таликово-криогенный четвертичный различного генезиса комплекс; водоносный криогенно-таликовый четвертичный различного генезиса комплекс; водоносный таликово-криогенный эоценово-четвертичный различного генезиса комплекс (P_2-Q); водоупорный криогенный верхнемеловой-эоценовый комплекс ($K_2 - P_2$).

Из работ по гидрогеологии следует отметить «Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Ямало-Ненецкого автономного округа за 2001 г» и научно-исследовательский отчет «Оценка ресурсов и качества подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа» [63]. В бюллетене равнинная часть территории ЯНАО отнесена к Западно-Сибирскому артезианскому бассейну подземных вод и в верхнем этаже выделяются следующие водоносные комплексы: миоцен-четвертичный водоносный комплекс; эоцен-олигоценый водоносный комплекс.



Масштаб 1:4000000

Рис. 1.1. Расположение объектов исследований

В научно-исследовательском отчете [63], в пределах верхнего этажа дополнительно к перечисленным выше гидрогеологическим подразделениям, выделяются: относительно водоносные - верхнепалеоценовый горизонт (тибейсалинская свита), маастрихтский горизонт (березовская, танамская свиты), туронский горизонт (кузнецовская свита). К мезозойскому бассейну авторами отнесены три основных гидрогеологических комплекса: апт-альб-сеноманских отложений; отложений неокома; триасово-юрских отложений.

Таким образом, до сих пор не существует единого подхода к гидрогеологической классификации Западно-Сибирского артезианского бассейна. В настоящей работе применяется гидрогеологическая стратификация, предложенная В.М. Матусевичем, с учетом последних обобщений и наработок [48-53].

1.2. Гидрогеологические бассейны и комплексы, водоносные горизонты

Рассматриваемая территория расположена в пределах Западно-Сибирского мегабассейна. В вертикальном разрезе мегабассейна выделяются кайнозойско-меловая система бассейнов стока, мезозойский и палеозойский гидрогеологические бассейны.

Кайнозойско-меловая система бассейнов стока состоит из двух гидрогеологических комплексов: эоцен-четвертичных (эоцен-олигоцен-четвертичных) отложений; и турон-эоценового. Мезозойский гидрогеологический бассейн включают в себя три гидрогеологических комплекса: апт-альб-сеноманский отложений; неокомских (баррем – готерив-валанжин-берриас) отложений; юрских отложений (рис.1.2).

Современная степень изученности палеозойского гидрогеологического бассейна позволяет выделить в пределах исследуемой территории триас-палеозойский гидрогеологический комплекс. Кайнозойско-меловая система бассейнов стока резко отличается от палеозойского и мезозойского гидрогеологических бассейнов условиями формирования, характером питания, разгрузки и зональности подземных вод. По особенностям неотектоники, морфоструктуры и гидрогеологии в пределах ЗСМБ выделяются Северная и Южная группы бассейнов стока подземных вод. Граница между ними проходит по Обь-Енисейской положительной морфоструктуре (Сибирским Увалам). Эта орографическая широтная ось определяет направление стока поверхностных и подземных вод в сторону северной и южной частей мегабассейна. Граница между бассейнами определяется положениями гидрогеологических

водоразделов. Подземные воды кайнозойско-меловой системы бассейнов стока на севере Западной Сибири изучены недостаточно. Изучением их занимались различные организации при проведении съемочных, поисково-разведочных и других исследований.

Особенностью района является приуроченность к криолитозоне. Геокриологические условия оказывают важнейшее влияние на формирование, распространение, количество и качество подземных вод. Характер и распространение многолетнемерзлых пород обуславливают широкую зональность гидрогеологических условий равнинной части ЯНАО. По этому критерию площадь округа делится на две области. Первая область выделяется как регион преимущественного распространения в верхней части гидрогеологического разреза твердой фазы подземных вод. Эта область территориально совпадает с областью слитного залегания мощной современной и реликтовой мерзлоты. Другая область характеризуется как регион преимущественного распространения жидкой фазы подземных вод. Эта область охватывает регион разобщенного залегания современной и реликтовой мерзлоты и область глубокого залегания реликтовой мерзлоты. По условиям распространения и особенностям гидродинамического режима подземные воды делятся на сезонно-талые, надмерзлотные, межмерзлотные, подмерзлотные воды и воды сквозных таликов [5, 6, 63].

По условиям водообмена, динамике и химическому составу подземных вод кайнозойско-меловая система бассейнов стока подразделяется на два гидрогеологических комплекса: эоцен-четвертичный (эоцен-олигоцен-четвертичный) и турон-эоценовый. Первый представляет собой преимущественно проницаемую единую водонасыщенную толщу, второй – региональный водоупор с подчиненными водоносными горизонтами и слоями. В последних публикациях эоцен-олигоцен-четвертичный комплекс обычно называют гидрогеологическим комплексом олигоцен-четвертичных отложений [52].

Эоцен-олигоцен-четвертичный (олигоцен-четвертичный) гидрогеологический комплекс содержит пресные воды и приурочен к рыхлым отложениям неоген-четвертичного и эоцен-олигоценового возраста общей мощностью до 300 м.

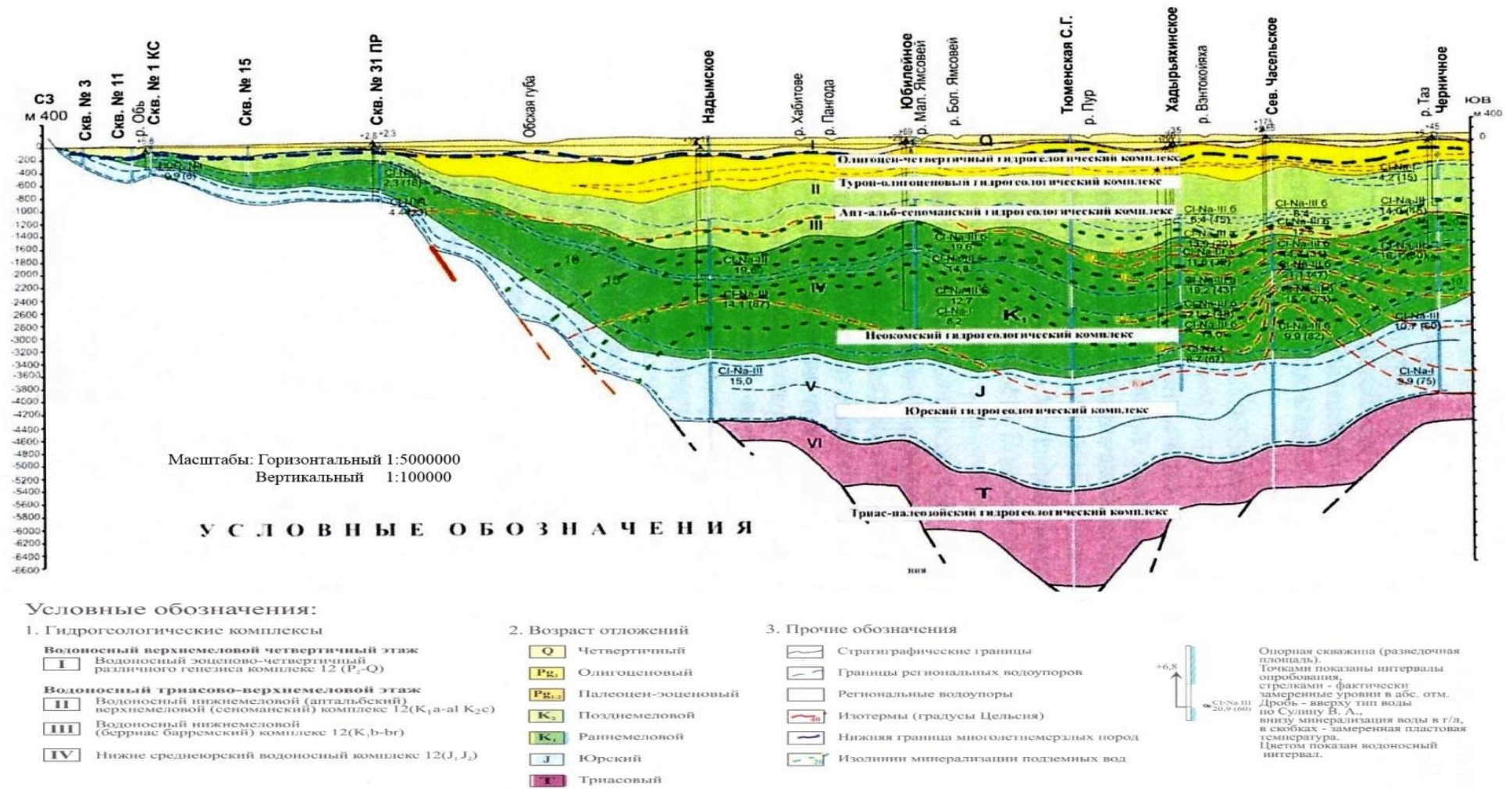


Рис.1.2. Схематический гидрогеологический разрез [52]

Литологический состав представлен чередованием глинистых и песчаных образований, в различной степени охваченных многолетней мерзлотой.

Принадлежность месторождений пресных подземных вод к области развития многолетнемерзлых пород и палеогеографические факторы определяют общий химический облик подземных вод. При этом основную роль играют процессы испарения и вымораживания, катионный обмен, растворение солей, десульфатизация.

Отличительной особенностью пресных подземных вод является их низкая (ультрапресная) минерализация, редко превышающая 100 мг/дм^3 . Низкие концентрации отмечаются для таких основных солеобразующих компонентов как кальций (от 3 до 50 мг/дм^3) и магний (от 2 до 40 мг/дм^3). На фоне пониженных значений этих ионов резко выделяется высокое содержание ионов железа (от 1,4 до $6,5 \text{ мг/дм}^3$) и марганца (от 0,01 до $2,2 \text{ мг/дм}^3$), а также кремнекислоты (от 2,4 до 35 мг/дм^3). Специфика химического состава подземных вод создает определенную степень риска для здоровья населения и требует перед подачей воды потребителю проведения специальных мероприятий по водоподготовке.

Основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения на данной территории являются подземные воды эоцен-олигоценового водоносного комплекса. В некоторых районах используются подземные воды четвертичного водоносного комплекса.

Четвертичный водоносный комплекс пользуется повсеместным распространением, характеризуется сложным геологическим строением, литологической неоднородностью отложений в плане и по разрезу, широким распространением многолетнемерзлых пород развитых на большую глубину, наличием пресных подземных вод с минерализацией $0,05\text{--}0,5 \text{ г/дм}^3$. Класс вод - гидрокарбонатный. По гидродинамическим особенностям подземные воды безнапорные, слабонапорные и напорные. Величина напоров изменяется от 1-2 до 20-30 и 100 м. Удельные дебиты скважин варьируют от 0,01 до $1,5 \text{ л/сек} \cdot \text{м}$.

Четвертичные подземные воды надмерзлотных и сквозных таликовых зон слабо защищены от поверхностного загрязнения и испытывают максимальную техногенную нагрузку под воздействием городских агломераций и предприятий нефтегазодобычи. Более защищенными являются меж- и подмерзлотные воды, а также надмерзлотные воды, перекрытые слабопроницаемыми глинистыми отложениями.

Эоцен-олигоценовый водоносный комплекс пользуется широким распространением и является основным источником водоснабжения населенных пунктов и предприятий района. В составе комплекса выделяются водоносные горизонты: юрковский свиты (P_2^{jur}) верхнего эоцена, атлымской свиты (P_3^{at}) нижнего олигоцена,

новомихайловской свиты (P_{3nm}) среднего олигоцена. Последние образуют атлым-новомихайловский водоносный горизонт (P_{3at+nm}). На участках, где достоверно не установлен возраст водовмещающих отложений, применяется название олигоценовый водоносный горизонт (P_3).

По гранулометрическому составу пород комплекс представлен разномелкозернистыми песками от тонко-мелкозернистых до крупнозернистых, алевроитами, песчанистыми глинами. Общая мощность водоносного комплекса достигает порядка 150 м. Подземные воды приурочены к надмерзлотным, подмерзлотным, межмерзлотным и сквозным таликовым зонам, воды напорные [6, 63].

Водоснабжения городов Ноябрьск, Муравленко, Лангепас и многих других городов и посёлков осуществляется за счет подземных вод атлым-новомихайловского водоносного горизонта, города Губкинский - атлымского водоносного горизонта. На Новоуренгойском месторождении пресных подземных вод продуктивный горизонт назван некрасовским, на Уренгойском – олигоценовым. В Надыме на участке городского водозабора дополнительно к среднечетвертичному салехардскому водоносному горизонту введен в эксплуатацию черталинский водоносный горизонт, являющийся аналогом атлымскому горизонту. Этот горизонт также называется олигоценовым. При утверждении запасов пресных подземных вод на месторождениях углеводородов Харампурской группы и Фестивальном месторождении продуктивный горизонт отнесен к юрковской и корликовской свитам эоцен-олигоцена.

Кровля вышеназванных водоносных горизонтов вскрывается на глубинах 50-80 м, подошва - на глубине 140-170 м и глубже - подземные воды напорные. Статические уровни устанавливаются на глубинах 7-12 м. Величина напора над кровлей изменяется в среднем от 68 м на Ново-Уренгойском водозаборе до 85 м на Губкинском водозаборе.

Максимальные дебиты из скважин получены при проведении откачек из водоносного горизонта новомихайловской свиты на Ноябрьском городском водозаборе. Получен дебит в количестве 3412 м³/сутки, при понижении уровня 19 м. В среднем, дебиты составляют 1200-1700 м³/сутки при понижениях 12-33 м. На Губкинском водозаборе дебиты скважин составляли 595-1320 м³/сутки при понижениях 19,5 м и 21,4 м. В этом районе одиночными скважинами и небольшими групповыми водозаборами каптируется юрковский водоносный горизонт. Дебиты скважин на водозаборе г. Новый Уренгой изменяются в пределах 475-2419 м³/сутки при понижениях от 20 м до 34 м.

По гидрохимическому составу подземные воды преимущественно гидрокарбонатные кальциево-магниевого. Они относятся к ультрапресным и слабоминерализованным водам с максимальным сухим остатком, не превышающим 160

мг/дм³. Наименьшая минерализация характерна для подземных вод Уренгойской зоны (34,0÷74,0 мг/дм³), в Ноябрьской зоне минерализация повышается до 158,0 мг/дм³, главным образом за счет увеличения концентрации гидрокарбонатов кальция и магния [26].

Многолетние наблюдения за режимом подземных вод показывают, что все водоносные горизонты комплекса довольно тесно взаимосвязаны как между собой, и с дневной поверхностью. Гидравлическая связь закономерно уменьшается с глубиной, что и обеспечивает определённую степень защищенности от возможного загрязнения. Наименьшей степенью защищенности обладают воды четвертичных отложений [5, 6, 63].

Эоцен-олигоценные воды на большей части территории округа являются межпластовыми напорными и не имеют непосредственной взаимосвязи с поверхностными водными объектами. Эксплуатационные запасы на участках добычи подземных вод формируются, главным образом, за счет перетекания естественных ресурсов из выше залегающих рыхлообломочных слоистых песчано-глинистых толщ при постоянном напоре на верхней питающей границе.

Турон-эоценовый региональный водоупор отделяет гидродинамическую зону пресных подземных вод от минерализованных вод. Водоупор объединяет отложения кузнецовской, березовской, ганькинской, тибейсалинской, люлинворской и чеганской (тавдинской) свит. Отложения представлены в большей части разреза глинами, аргиллитами и алевролитами. В западной и восточной краевых зонах региона глинистые осадки, на отдельных участках фациально замещаются прибрежно-морскими и континентальными фациями – песками, песчаниками, опоками. Максимальная мощность водоупора в центральных частях бассейна составляет 700-1000 м, уменьшаясь к 70-100 м в Приуралье.

Проницаемые отложения вскрываются лишь в разрезе верхнетибейсалинской подсвиты и в верхах тавдинской свиты мощностью от 2 до 18 м. Воды горизонта напорные. Напор составляет 150-200 м. Вода имеет хлоридный натриевый состав и минерализацию 3 г/дм³. При опробовании горизонта на Медвежьей площади был получен приток воды с дебитом 22 м³/сутки. Воды имеют практическое значение лишь для целей технического водоснабжения.

1.3. Выводы

1. По условиям водообмена, динамике и химическому составу подземных вод кайнозойско-меловая система бассейнов стока подразделяется на два гидрогеологических комплекса: эоцен-четвертичный (эоцен-олигоцен-четвертичный) и турон-эоценовый.

Первый представляет собой преимущественно проницаемую единую водонасыщенную толщу, второй – региональный водоупор с подчиненными водоносными горизонтами и слоями. Эоцен-олигоцен-четвертичный комплекс очень часто называют гидрогеологическим комплексом олигоцен-четвертичных отложений.

2. Основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения на данной территории являются подземные воды эоцен-олигоценового (олигоценового) водоносного комплекса (горизонта). В некоторых районах используются подземные воды четвертичного водоносного комплекса.

3. Многолетние наблюдения за режимом подземных вод показывают, что все водоносные горизонты олигоцен-четвертичного комплекса тесно взаимосвязаны между собой. Воды эоцен-олигоценовых горизонтов являются межпластовыми напорными и не имеют непосредственной взаимосвязи с поверхностными водными объектами. Эксплуатационные запасы на участках добычи подземных вод формируются, главным образом, за счет перетекания из выше залегающих рыхлообломочных песчано-глинистых толщ четвертичного возраста.

4. Четвертичный водоносный комплекс (горизонт) имеет тесную гидравлическую связь с многочисленными водоёмами и водотоками, которые получили широкое развитие на территории Западной Сибири. Тесная взаимосвязь четвертичного водоносного горизонта с водными объектами на поверхности земли предопределяет относительное постоянство напора в четвертичном водоносном горизонте при проведении откачек и эксплуатации водозаборов.

5. Совокупность гидрогеологических сведений по рассматриваемой территории заставляет полагать, что при обработке данных откачек и эксплуатации водозаборов следует рассматривать, в качестве основной, гидродинамическую схему безграничного в плане пласта с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором.

2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ В СЛОИСТЫХ ПЛАСТАХ С ПЕРЕТЕКАНИЕМ

2.1. Откачки в напорных пластах с перетеканием

Основное решение фундаментальной задачи для расчетов в слоистых пластах с перетеканием было представлено в работах М. Хантуша и Ч. Джейкоба, опубликованных в 1955 - 1967 г.г. [120-121]. В отечественной литературе, наряду с переводами указанных работ [107-108], важные исследования были выполнены В.М. Шестаковым и его учениками [110-116]. Последняя крупная работа В.М. Шестакова с соавторами содержит аналитический обзор литературы [116]. Часть сведений, приведенных в данном обзоре, заимствована из указанной монографии.

В первой статье М. Хантуша и Ч. Джейкоба [120] приведено решение задачи в напорном пласте с жестким режимом перетекания при неизменном напоре в соседних пластах. Для безразмерной функции скважины в этом решении составлены подробные таблицы и приведены необходимые зависимости. На основании этого решения приведена рекомендация по интерпретации данных опытной откачки по результатам наблюдений за изменением напоров. Основной отличительной особенностью этих рекомендаций является выделение точки перегиба на графиках временного прослеживания понижения уровня ($S - \lg t$).

В другой статье М. Хантуша [121] приведено решение задачи при упругом режиме перетекания в разделяющем слое. В этой работе предложена специальная безразмерная функция скважины и расчетные таблицы, позволяющие описать процесс перетекания из пласта неограниченной мощности. Для откачек в двухпластовом потоке при жестком режиме перетекания решение было получено М. Хантушем с использованием интегральных преобразований Лапласа. Подобное решение этой задачи получил В.М. Шестаков [113].

В работах других авторов [12, 122-126] получен ряд аналитических решений для нестационарной фильтрации при откачках в одном из пластов двухпластового потока. Представлены варианты решения в частных случаях (отсутствие перетекания, нулевого понижения в соседних водоносных пластах). В работах тех же авторов [12, 122-126] на основе полученных ранее решений даны рекомендации по обработке данных откачек.

Очень важные работы по описанию процесса перетекания в слоистых пластах были выполнены Д.А. Манукьяном, Н.З. Моркосом [47] и И.С. Пашковским [67-68] в конце 1960-х годов. Обзор методических подходов и предложений по практическим способам обработки опытных откачек в напорных пластах с перетеканием представил И.С.

Пашковский. Особо следует отметить раздел, посвященный откачкам с перетеканием в монографии «Опытно-фильтрационные работы», опубликованной в 1974 г [61]. Этот раздел был подготовлен И.С. Пашковским.

Обзор практических методов обработки откачек в пластах с перетеканием в последующие голы был представлен в ряде монографий В.А.Мироненко, В.М. Шестаков [55]; В.Б. Боровский и др. [9, 10]. В этих работах, на ряде конкретных примеров приведены данные по обработке откачек при наличии перетекания из верхнего безнапорного потока. Здесь же представлено применение способов обработки откачек в двухслойных пластах.

В дальнейшем исследования закономерностей фильтрации в пластах с перетеканием развивалось по трем направлениям. Одно направление было связано с развитием расчетов в пластовых потоках с использованием интегральных преобразований по Лапласу [111]. К этим работам, по своим подходам и идеологии, примыкают исследования процессов фильтрации в двухпластовых и многопластовых системах [21]. С середины 1980-х гг. рядом исследователей разработаны вычислительные программы. В ряде работ [14, 123] приведены численно-аналитические решения радиальных задач нестационарной фильтрации в одно-, двух- и трехпластовых потоках. Для многопластовых радиальных потоков имеется численно-аналитическое решение В.Л. Веселовой и Г.Д. Радкович, представленное в матричной форме. В 1988 г. на геологическом факультете МГУ им. Л.В. Ломоносова под руководством В.М. Шестакова выполнена диссертация, содержащая теоритическое обоснование использования численно-аналитических решений для двух- и трехпластовых потоков с жестким режимом перетекания. На основе этих исследований разработана вычислительная программа NAS, представленная на сайте геологического факультета МГУ. Указанная программа использовалась для выполнения исследований, которые легли в основу последней монографии, выполненной под руководством В.М. Шестакова [116].

Основные схемы для расчетов откачек в слоистых пластах с перетеканием разделяются на пять основных видов: перетекание из водоносного горизонта с постоянным напором; перетекание из водоносного горизонта с изменяющимся напором; перетекание при упругом режиме в слабопроницаемых слоях; двухслойный пласт; гетерогенный пласт с двойной пористостью.

Основной расчётной схемой является схема «перетекание из водоносного горизонта с постоянным напором». Для этой схемы разработаны и апробированы расчетные и

методические приемы. Вторая схема перетекания – перетекание из водоносного горизонта с изменяющимся напором - обычно рассматривается как разновидность двухпластовой системы. Решение тестовых задач и исследования на реальных объектах показали, что двухпластовая схема встречается довольно редко. Эта схема подразумевает изменение значения параметра водопроводимости в процессе откачки. Откачки при упругом режиме в слабопроницаемых слоях также встречаются очень редко [116].

Двухслойная система строения является достаточно типичной для верхней части гидрогеологического разреза. Особенностью этой схемы является то, что свободная поверхность подземных вод находится в слабопроницаемом слое, перекрывающем водоносный горизонт. При откачке в начальный период времени происходит сработка упругих запасов и в водоносном горизонте и в слабопроницаемом слое. Этот этап откачки упругого режима завершается ложной стабилизацией напоров. Стабилизация напоров связана с тем, что обычно гравитационная водоотдача примерно на два порядка больше упругой водоотдачи основного водоносного горизонта.

Первый этап откачки по основным показателям соответствует откачке с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором. В связи с этим, для обработки данных первого этапа откачки могут быть использованы все расчётные приемы, которые используются для схемы пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором. Этап второй «ложностационарного режима» характеризуется несколько замедленным темпом снижения напоров. Следует отметить, что практическая стабилизация на этом этапе наступает только в том случае, если водоотдача увеличивается более чем в сто раз [61]. В этот период для обработки откачки могут быть использованы формулы для условий стационарного режима перетекания. Период ложной стабилизации отражает изменение (увеличение) водоотдачи от упругой к гравитационной. Когда изменение значения водоотдачи заканчивается, развивается дальнейшее снижение напора в водоносном горизонте.

Третий этап откачки можно рассматривать как откачку в безграничном пласте с суммарной, преимущественно гравитационной, водоотдачей. Решение задачи для двухслойного пласта впервые было получено Н. Болтоном [117]. При длительной откачке, когда наступает третий этап, становится справедливой зависимость Джейкоба для схемы откачки в изолированном пласте. Считается [61], что обычно в реальных условиях заметное проявление III этапа откачки начинается по истечении 3-5 суток, а при значительном сопротивлении слабопроницаемого слоя – через 10-20 суток. Поэтому

оценить величину гравитационной водоотдачи по данным снижений напоров оказывается не всегда возможным. Гравитационную водоотдачу можно также определить по данным снижения свободной поверхности. Для этого выбирается период времени, когда скорость снижения свободной поверхности становится практически постоянной.

Очень важной расчетной схемой является схема гетерогенного строения пласта с двойной пористостью. К этой схеме могут быть приведены различные по своему строению водоносные системы [61, 116]. Схема пласта с двойной пористостью, как правило, относится к пластам блочного строения. Считается, что приток к водозаборной скважине в этих условиях формируется за счет сработки упругих запасов проницаемых зон (трещин). В процессе дальнейшего возмущения в процесс водоотдачи вступает упругая и гравитационная водоотдача слабопроницаемых блоков. В большинстве случаев система аналитических зависимостей приводится к уравнениям, которые применяются для двухслойных пластов. В основе такого подхода лежит представление о смене водоотдачи в процессе откачки, от низкой, обычно упругой, до достаточно высокой, чаще всего гравитационной.

Схема гетерогенного пласта с двойной пористостью применима для пластов слоистого строения [61, 116]. Можно принимать, что основной пласт обладает упругой водоотдачей. При перетекании из соседних пластов, значение водоотдачи увеличивается. Разница в значениях водоотдачи может составлять более ста в тех случаях, когда на втором и третьем этапе реализуются высокие значения гравитационной водоотдачи. В практических расчетах эта предпосылка об очень значительном увеличении водоотдачи обычно принимается как основная.

Практика работ в слоистых пластах показала, что изменение водоотдачи происходит в относительно небольших пределах (десятки раз). Значения водоотдачи являются соизмеримыми. Общее решение системы уравнений для этого случая получено Н. Болтоном [117]. Таблицы специальной функции составлены Д.А. Манукьяном [47]. Общий вид кривых, отражающих эти условия, приведен на рис. 2.1. – 2.4. Графики зависимости понижения от логарифма времени имеют два прямолинейных участка (в зоне квазистационарного режима). Уклоны этих прямых практически одинаковы и

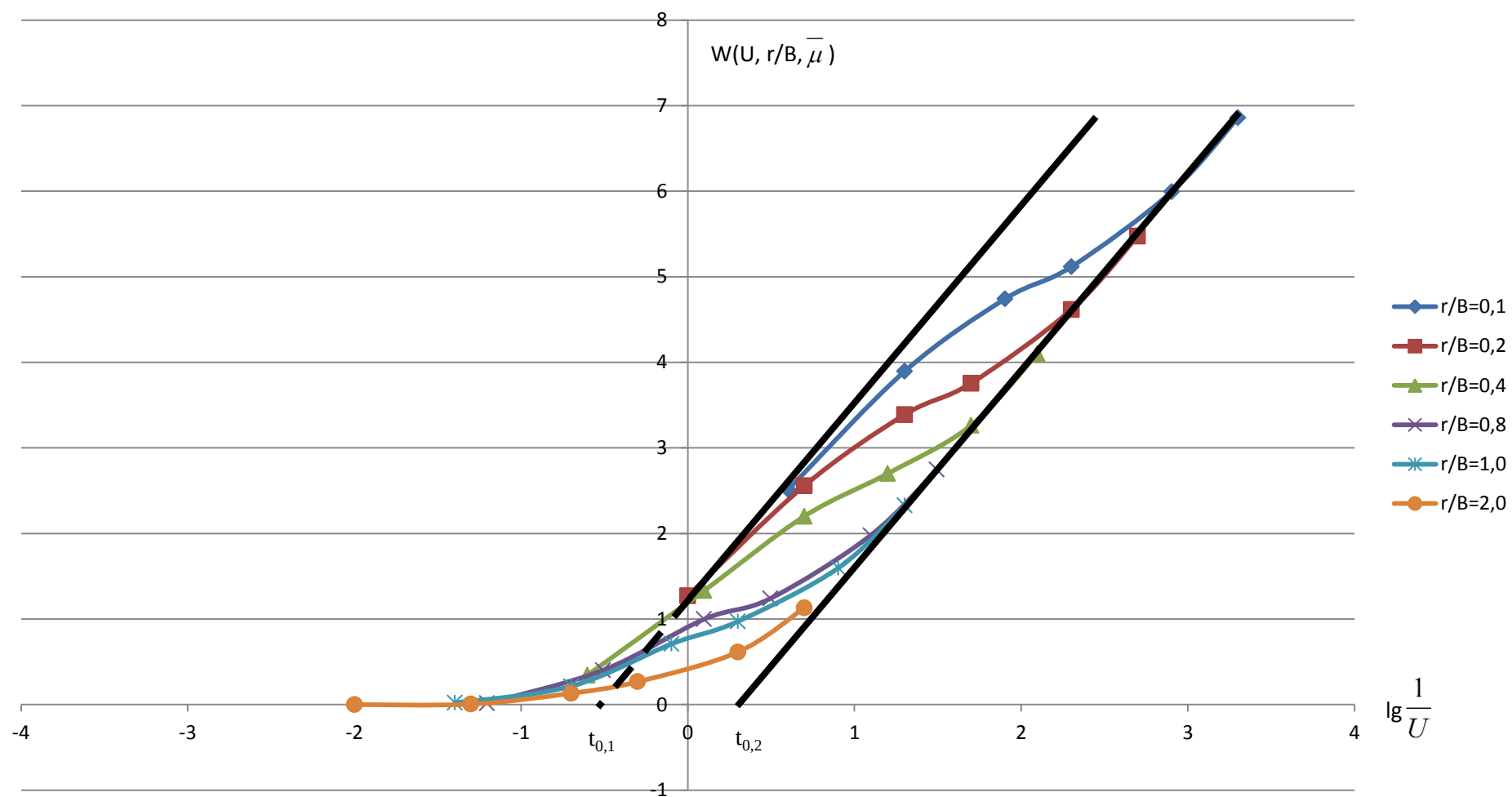


Рис. 2.1. Зависимость $W(U, r/B, \bar{\mu})$ от $\lg \frac{1}{U}$ при $\bar{\mu}=6,5$. По данным работ [47, 61]

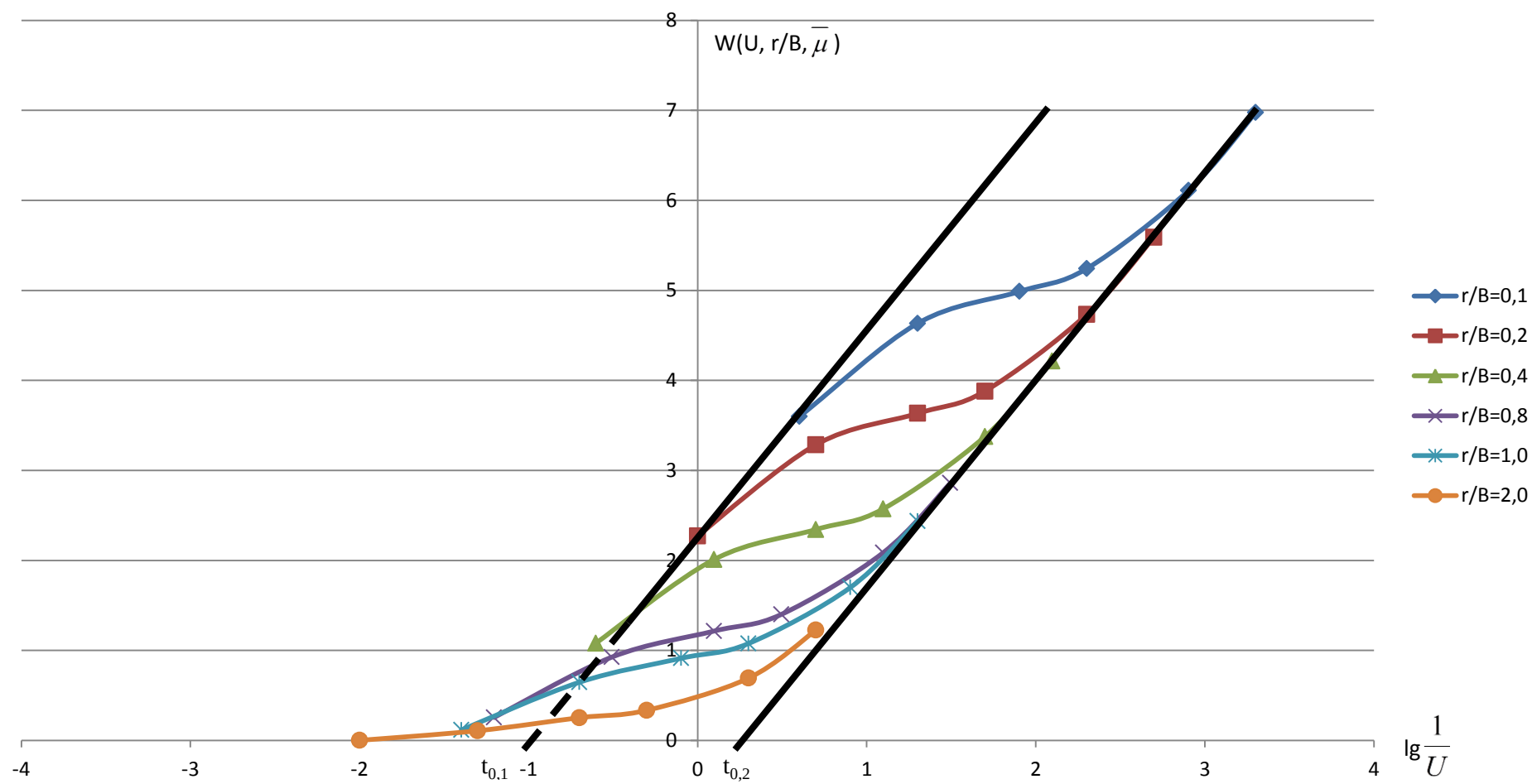


Рис. 2.2. Зависимость $W(U, r/B, \bar{\mu})$ от $\lg \frac{1}{U}$ при $\bar{\mu}=20$. По данным работ [47, 61]

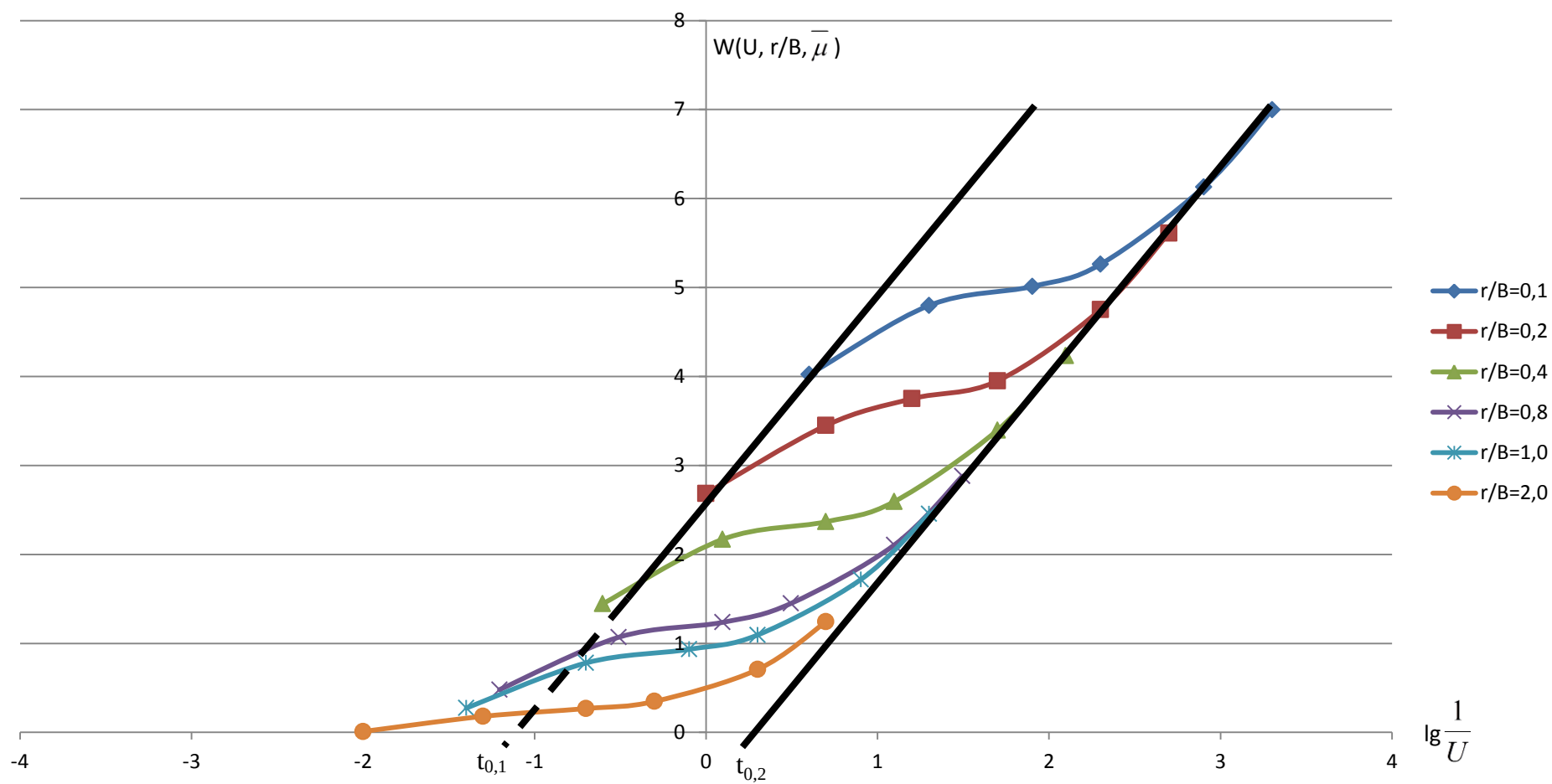


Рис. 2.3. Зависимость $W(U, r/B, \bar{\mu})$ от $\lg \frac{1}{U}$ при $\bar{\mu} = 34$. По данным работ [47, 61]

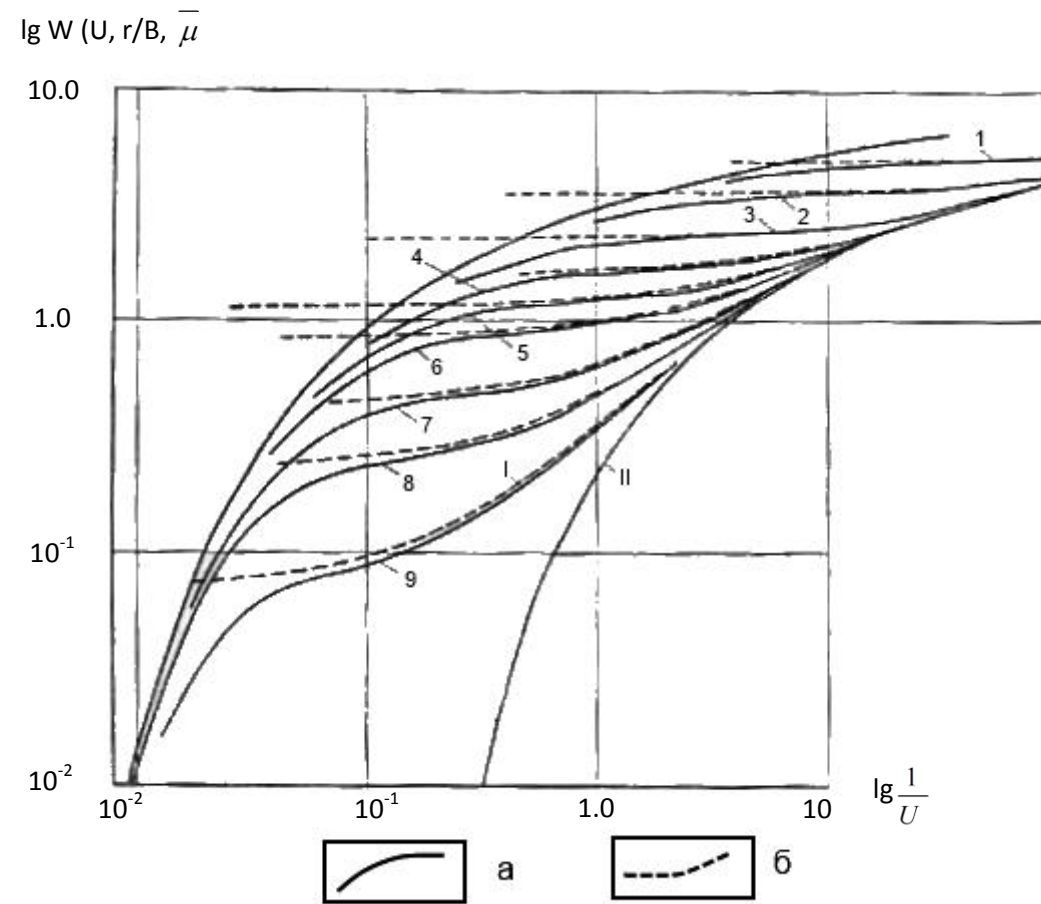


Рис. 2.4. Эталонные кривые функции $W(U, r/B, \bar{\mu})$ от $1/U$ для $\bar{\mu} = 34$. По данным работы [47]:

а – точное решение; б – приближенное решение;

отношение r/B : 1 – 0,1; 2 – 0,2; 3 – 0,4; 4 – 0,6; 5 – 0,8; 6 – 1,0; 7 – 1,2; 8 – 2,0; 9 – 3.

соответствуют первому и третьему периодам откачки. Эти участки удалены друг от друга по оси $\log t$ на величину $\Delta \log t = \log \mu$.

В переходный период темп снижения напоров уменьшается и график имеет точку перегиба. Уклон кривой в точке перегиба определяется только степенью увеличения коэффициента водоотдачи. При изменении водоотдачи более, чем в сто раз, уклон кривой в точке перегиба является практически горизонтальным. При изменении водоотдачи меньше ста (5-70), уклон кривой в точке перегиба существенно меняется. При этих соотношениях начальной (упругой) и суммарной (гравитационной) водоотдачи, уклон кривой в точке перегиба может отличаться от графика в зоне квазистационарного режима в 2-3 раза, т.е. иметь более пологий уклон. Выделение этапа так называемого «ложностационарного режима» представляет определённые сложности. Очень часто этот этап, многими исполнителями, не выделяется при интерпретации графиков, что приводит к существенным ошибкам в определении гидродинамических параметров [82, 83].

Определение гидродинамических параметров в этих условиях связано с определёнными трудностями, так как помимо значений водопроводимости (T), параметра определяющего отношения расстояния к параметру перетекания (r/B), желательно рассчитать значения коэффициентов пьезопроводности (уровнепроводности) для первого и третьего этапов. Далее рассчитываются значения водоотдачи и их соотношения. Ряд авторов рекомендует комплексировать расчеты методом «прямой линии» и способом «эталонной кривой». Обычно отмечается, что самостоятельно способ «эталонной кривой» использовать затруднительно в связи с низкой контрастностью эталонных графиков [61].

В настоящее время опыт тестовых расчетов реальных откачек обобщен в последней монографии В.М. Шестакова [116]. Важным выводом, который содержится в этой работе, является указание о том, что при наличии нескольких пластов, как правило, реализуется схема однопластового потока. В качестве основного водоносного пласта выступает один, наиболее проницаемый слой, в котором располагаются водозаборные и наблюдательные скважины. Реальные расчеты, проведенные в различных гидрогеологических условиях, показали, что, как правило, применима расчетная схема «жесткого перетекания», не требующая учета упругого режима перетекания в разделяющем пласте. Таким образом, для откачки в конкретном водоносном пласте, основной расчётной схемой является схема однопластового напорного потока с жестким режимом перетекания в разделяющих и покровных пластах.

Для откачек в однородных пластах, по мнению авторов работы [116], наиболее полное представление дает обработка данных методом «комбинированного прослеживания». Кроме того, на основе тестовых расчетов обоснован диагностический признак, который заключается в согласовании параметра водопроводимости по данным площадного прослеживания. Следует понимать, что эта рекомендация относится только к однородным пластам. В развитии воронки депрессии при откачках в пластах с перетеканием проявляется неоднородность как водоносных, так и разделяющих пластов.

Влияние неоднородности в строении глинистых пород разделяющего и покровного пластов обуславливает значительную площадную неравномерность перетекания, а также неопределённое влияние упругого режима перетекания в этих пластах. В этих случаях становится неопределенной возможность расчета параметров по данным замеров режима уровней в разделяющем и покровном пластах. Использование пьезометрических датчиков давления, устанавливаемых в разделяющих пластах для определения их пьезопроводности, заслуживает внимания только при проведении исследовательских работ. Для производственных целей применение таких датчиков пока что нельзя считать обоснованным из-за сложности геофильтрационного строения глинистых пластов [116].

В монографии [116] содержатся рекомендации по постановке и порядке расчетов опытных откачек в пластах с перетеканием. Дизайн опытного куста включает обоснование расположения центральных скважин и наблюдательных скважин. При откачках в напорном и субнапорном пластах, сложенных песчаными породами, обычно достаточно задавать две наблюдательных скважины, располагаемые за пределами зоны резкой деформации потока, возникающей вблизи несовершенной скважины. Рекомендуется располагать первую наблюдательную скважину на расстоянии 70-100 м. А вторую на расстоянии в два раза больше, чем расстояние до первой. В потоке, который представлен карбонатными породами, целесообразно увеличивать число наблюдательных скважин до трех.

Следует отметить, что расстояние до первой наблюдательной скважины определяется степенью несовершенства центральной скважины и мощностью пласта. Зона резкой деформации не превышает мощности основного пласта даже при высокой степени несовершенства центральной скважины.

2.2. Особенности оценки эксплуатационных запасов и анализа данных по водозаборам

При разведке и эксплуатации водозаборов результаты откачек используются для оценки эксплуатационных запасов. Гидродинамический метод оценки запасов основан на применении расчетных зависимостей гидрогеодинамики. Для аналитических расчетов производительности водозаборных скважин в типовых условиях используется общая теория взаимодействующих скважин, позволяющая определить понижение уровня в любой точке пласта. Обычно разделяют оценку эксплуатационных запасов применительно к дискретному расположению скважин на водозаборном участке и обобщающей системе (системе «большого колодца») [7, 12, 70, 110]. Если число взаимодействующих скважин не превышает 8-10, то аналитические расчеты являются относительно простыми. При большем числе скважин, аналитические расчеты целесообразно производить для условий обобщенных систем.

Сущность расчетов обобщенных систем представлена в работах Ф.М. Бочевера [70], а также других авторов [10, 110]. Реальные группы взаимодействующих скважин заменяются бесконечным множеством источников с постоянным расходом, равномерно расположенным по линии или по площади. Таким путем большое количество взаимодействующих скважин заменяется укрупненным сооружением, например галереей, траншеей или «большим колодцем». Расчетное понижение уровня подземных вод при заданной производительности водозабора определяется в центре большого колодца, что является достаточным для оценки эксплуатационных запасов подземных вод. В проведении расчетов по схеме «большого колодца» необходимо, кроме гидродинамических параметров пласта, обосновать значения величин допустимого понижения, радиуса большого колодца. В напорных пластах допустимое понижение определяется величиной напора над кровлей пласта. Если мощность пласта является значительной, то для понижения уровня можно использовать, дополнительно, половину мощности основного пласта. Радиус большого колодца для различных систем расположения реальной скважины можно определять по разным зависимостям для линейного ряда скважин, для площадной системы и для кольцевой системы [7, 70]. На водозаборах, схематизированных в виде обобщенных систем, расчетное понижение уровня в скважине состоит из двух значений:

$$S_c = S_k + \Delta S_c,$$

где S_c – понижение уровня в водозаборной скважине;

S_k – понижение в обобщенной системе (в «большом колодце»);

ΔS_c – дополнительное понижение в скважине, зависящее от расположения скважин внутри системы.

Следует отметить, что представленное выражение описывает условия, когда скважины являются совершенными по степени вскрытия и по характеру вскрытия пласта. Кроме того, следует учитывать возможность нарушения линейного закона фильтрации. Для постоянного дебита скважины все перечисленные виды несовершенства, вызывающие дополнительное понижение уровня в скважине, можно оценивать величиной ΔS_{nc} . Эта величина должна рассматриваться как третий член правой части уравнения.

Для основных систем скважин разработаны аналитические зависимости, позволяющие рассчитать S_k и ΔS_c [110, 112]. Несовершенство скважины может быть учтено путем введения в расчет величины, которая называется действующий гидродинамический радиус скважины [110], но в практических расчётах эта величина используется очень редко.

Следует отметить, что решение задачи по определению значения понижения уровня подземных вод в «большом колодце» на действующем водозаборе детально не проработано. Обычно принимаются данные по наблюдательным скважинам, расположенным в пределах водозабора, но их строгое положение, обеспечивающее точное решение, не определено.

Для большинства водозаборов необходимо рассчитывать размеры депрессионной воронки. Депрессионная воронка оказывает воздействие на геологическую среду, определяет степень взаимодействия соседних водозаборов и, в значительной степени, позволяет оценить защищенность подземных вод от источников загрязнения. Чаще всего для этих целей используются известные формулы для схемы безграничного пласта. Для условий перетекания расчетные формулы представлены в небольшом количестве [54, 55]. В большинстве расчетных зависимостей отсутствует значение суммарного расхода водозаборов, т.е. как бы предполагается, что дебит водозабора не влияет на размеры депрессионной воронки. Неопределенность решения этой задачи требует дополнительных исследований.

2.3. Выводы

1. Теоретические основы обработки данных откачек в слоистых пластах детально разработаны для различных гидрогеодинамических схем. В реальных гидрогеологических условиях обычно реализуется схема одного пласта (однопластовая схема) с жёстким режимом перетекания из соседних горизонтов.
2. Схема гетерогенного пласта с двойной пористостью применима для пластов слоистого строения. При перетекании из соседних пластов, значение водоотдачи увеличивается. В практических расчетах обычно принимается предпосылка об очень значительном увеличении водоотдачи (более чем в сто раз). Теоретический анализ и опыт работ в слоистых пластах показывает, что изменение водоотдачи нередко происходит в относительно небольших пределах (в десятки раз).
3. Обработка данных откачек в пластах с перетеканием имеет ряд отличительных особенностей от обработки опытов, выполненных в безграничных пластах. Игнорирование этих отличий очень часто приводит к существенным ошибкам в определении гидродинамических параметров пластов.
4. Решение задач, связанных с оценкой эксплуатационных запасов и анализом данных по водозаборам в пластах с перетеканием требует дальнейшего развития. Определение значения понижения уровня в «большом колодце» на действующем водозаборе необходимо уточнять. Очень часто не оценивается степень несовершенства водозаборных скважин.
5. Для водозаборов, которые эксплуатируются в условиях перетекания, практически отсутствуют аналитические зависимости, позволяющие оценить размеры депрессионной воронки вокруг водозабора. Депрессионная воронка оказывает воздействие на геологическую среду, её размеры определяют степень взаимодействия соседних водозаборов и вероятность загрязнения подземных вод.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И СХЕМАТИЗАЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

3.1. Обработка данных откачек в слоистых пластах

3.1.1. Пласт с перетеканием из горизонта с постоянным напором

В реальных условиях, среди схем «пласт с перетеканием», основное значение имеют условия жесткого перетекания и схема одного главного пласта (однопластовая схема). В рамках схемы «один пласт с жестким перетеканием» можно выделить несколько основных разновидностей. Первым, и основным, видом (схемой), является схема пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором [61, 110, 116].

Схема пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором соответствует случаям, когда проводимость этого горизонта значительно больше проводимости пласта, из которого проводится откачка, когда режим в вышележащем горизонте определяется гравитационной водоотдачей, и (или) когда питающий горизонт имеет хорошую связь с поверхностными водоёмами и водотоками (рис 3.1, 3.2). При этом упругие запасы в слабопроницаемых слоях не учитываются (и не проявляются), т.е. режим фильтрации в них будет считаться жестким. Решение для этой схемы было получено Ч.Джейкобом и М.Хантушем для откачки с постоянным расходом в виде:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W\left(U, \frac{r}{B}\right), \quad (3.1)$$

$$B = \sqrt{\frac{T}{\frac{kr}{m'} + \frac{k''}{m''}}}, \quad (3.2)$$

где S – понижение в скважине;

Q – расход;

T – водопроводимость пласта;

a – коэффициент пьезопроводности;

B – параметр перетекания;

t – время от начала откачки;

$W(u, r/B)$ – специальная функция;

$$U = \frac{r^2}{4at};$$

r – расстояние до точки, где измеряется понижение;

k', k'' – коэффициенты фильтрации относительно водоупорных слоев через которые происходит перетекание;

m', m'' – мощности этих слоев.

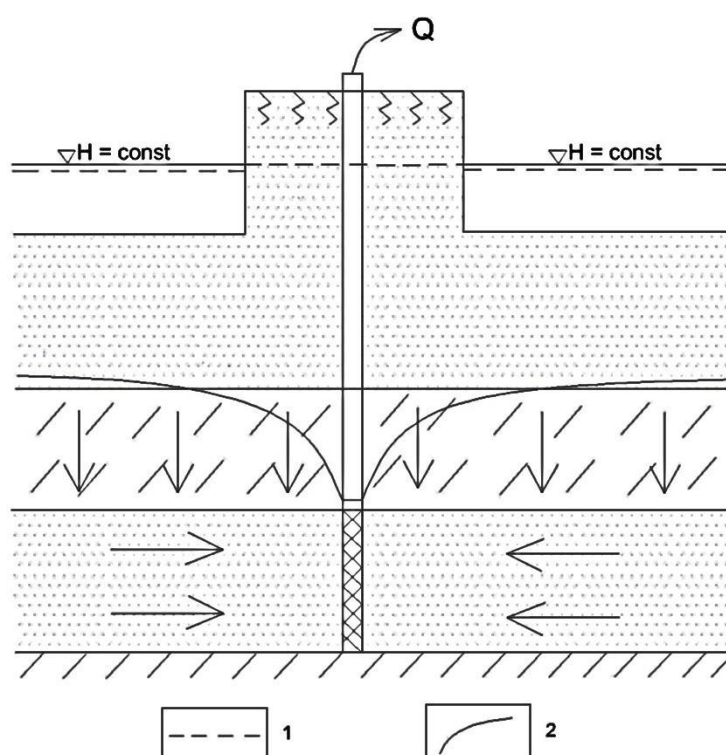


Рис. 3.1. Откачка из пласта с постоянным напором (схема 1):

1 – статический уровень; 2 – динамический уровень в основном пласте.

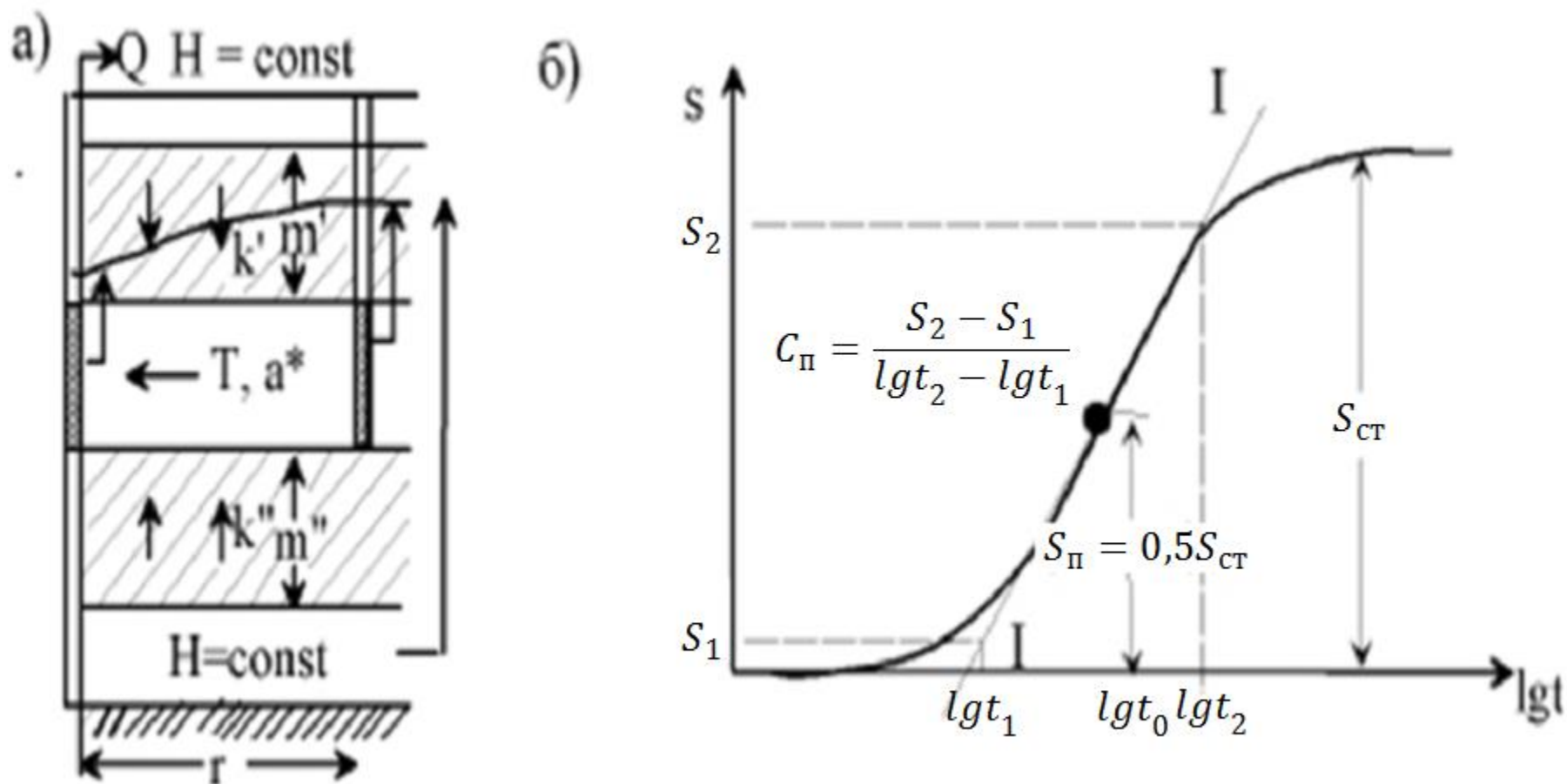


Рис. 3.2. Откачка при перетекании из горизонта с постоянным дебитом:

а) Схема пласта; б) График зависимости $S \div \lg t$ с точкой перегиба [61]

Из выражения (3.1) следует, что при большой длительности откачки имеем:

$$W(u, r/B) \approx 2K_0(r/B), \quad (3.3)$$

где $K_0(x)$ - функция Бесселя (табл. 3.1).

На заключительных стадиях откачки наблюдается стабилизация понижений уровня в скважинах, и режим откачки становится стационарным (рис. 3.2, 3.3). В этот период весь расход скважины компенсируется перетоком из соседних слоев, а дальнейшей сработки упругих запасов в горизонте не происходит. Максимальное понижение, достигнутое в центральных и наблюдательных скважинах к этому периоду ($S_{ст}$), определяется соотношением

$$S_{ст} = \frac{Q}{2\pi T} K_0(r/B). \quad (3.4)$$

Учитывая особенности функции $K_0(x)$ при $r/B < 0,05$, можно записать

$$S_{ст} = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{1.12B}{r}. \quad (3.5)$$

Таким образом, разница в понижениях в двух скважинах, например, в центральной и наблюдательной, будет определяться соотношением, совпадающим с уравнением Дюпюи

$$S_c - S_1 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_1}{r_c}. \quad (3.6)$$

Особенности снижения напора в период нестационарного режима хорошо видны на графиках, построенных в координатах $S \div \lg t$ (рис. 3.2, 3.3). Характерной особенностью графика является точка перегиба, фиксируемая в момент времени t_n :

$$t_n = \frac{rB}{2a}. \quad (3.7)$$

Уклон прямой в точке перегиба определяется выражением

$$C_n = 0.183 \frac{Q}{T} e^{-r/B}. \quad (3.8)$$

Понижение в точке перегиба подчиняется зависимости

$$S_n = \frac{Q}{4\pi T} K_0(r/B). \quad (3.9)$$

Таблица 3.1 – Значения специальных функций

$x = r/B$	$\lg x$	$K_0(x)$	$\lg K_0(x)$	e^x	$F(x)=e^x K_0(x)$
0.010	-2.000	4.721	0.674	1.010	4.768
0.020	-1.699	4.028	0.605	1.020	4.109
0.030	-1.523	3.623	0.559	1.030	3.733
0.040	-1.398	3.336	0.523	1.040	3.472
0.050	-1.301	3.114	0.493	1.051	3.273
0.060	-1.222	2.932	0.467	1.061	3.114
0.070	-1.155	2.779	0.444	1.072	2.981
0.080	-1.097	2.647	0.423	1.083	2.868
0.090	-1.046	2.531	0.403	1.094	2.769
0.100	-1.000	2.427	0.385	1.105	2.682
0.200	-0.699	1.752	0.244	1.221	2.140
0.300	-0.523	1.372	0.137	1.349	1.852
0.400	-0.398	1.114	0.047	1.491	1.662
0.500	-0.301	0.924	-0.034	1.643	1.524
0.600	-0.222	0.777	-0.110	1.822	1.416
0.700	-0.155	0.660	-0.180	2.013	1.330
0.800	-0.097	0.565	-0.248	2.225	1.258
0.900	-0.046	0.486	-0.313	2.459	1.197
1.000	0.000	0.421	-0.376	2.718	1.144
1.200	0.079	0.318	-0.498	3.320	1.057
1.400	0.146	0.243	-0.614	4.055	0.988
1.600	0.204	0.188	-0.726	4.953	0.930
1.800	0.255	0.145	-0.839	6.049	0.882
2.000	0.301	0.113	-0.947	7.389	0.841
3.000	0.477	0.034	-1.469	20.085	0.697
4.000	0.602	0.011	-1.959	54.598	0.609
5.000	0.699	0.004	-2.432	148.413	0.547

Эти свойства полулогарифмического графика удобно использовать для определения гидродинамических параметров. Согласно предложению М. Хантуша, определение параметров производится на основании графика S от $\lg t$. На графике

визуально определяется точка перегиба. Положение этой точки можно скорректировать исходя из условия $S_{\pi}=0,5 S_{\text{ст}}$, и найти соответствующее ей значение времени t_{π} . Далее в точке перегиба проводится касательная, уклон которой определяется по формуле

$$C_{\pi} = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1}, \quad (3.10)$$

где S_2 и S_1 - две любые ординаты касательной;

$\lg t_2$ и $\lg t_1$ - соответствующие им значения логарифма времени.

Отношение между понижением S_{π} и уклоном касательной в этой точке (C_{π}) определяет значение расчетной функции:

$$2,3 \frac{S_{\pi}}{C_{\pi}} = e^{r/B} K_0(r/B) = F(r/B). \quad (3.11)$$

Величина r/B находится по значениям функции $F(r/B)$, представленным в табл. 3.1.

Значение параметра водопроницаемости можно определить из выражения (3.8) для уклона кривой в точке перегиба

$$T = 0.183 \frac{Q}{C_{\pi}} e^{-r/B}, \quad (3.12)$$

или из выражения (3.9)

$$T = \frac{Q}{4\pi S_{\pi}} K_0(r/B). \quad (3.13)$$

Поскольку в точке перегиба справедливо соотношение (3.7), можно определить коэффициент пьезопроводности:

$$a = \frac{rB}{2t_{\pi}}. \quad (3.14)$$

В том случае, когда перетекание происходит только через один слой, можно оценить коэффициент фильтрации этого слоя:

$$k'' = \frac{m''T}{B^2}. \quad (3.15)$$

Графоаналитический способ применим в тех случаях, когда вся кривая понижения прослеживается во времени так четко, что на ней можно было выделить характерные точки. При этом также важно иметь данные о максимальном понижении ($S_{\text{ст}}$), соответствующем стационарному состоянию (рис 3.3).

Следует отметить, что уклон касательных (C_{π}), проведённых в точке перегиба,

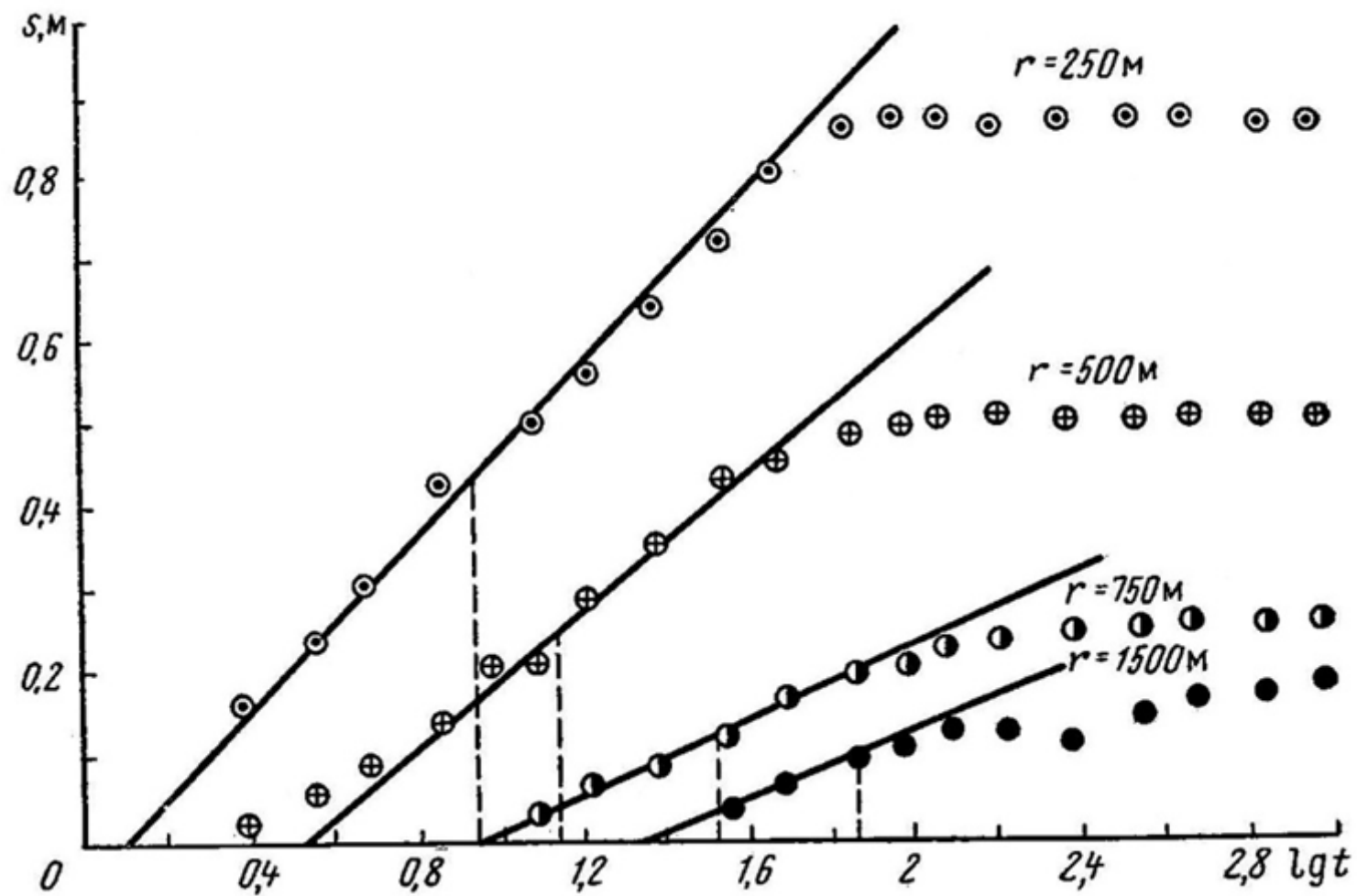


Рис. 3.3. Интерпретация зависимости $S \div lgt$. Откачка в пласте с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором [61]

очень существенно меняется (уменьшается) при увеличении расстояния до наблюдательной скважины.

В тех случаях, когда количество информации не позволяет пользоваться графоаналитическим способом, определение гидрогеологических параметров можно проводить, используя способ эталонной кривой, представляющей собой график функции $W(u, r/B) - 1/u$ для различных значений r/B , построенный в логарифмическом масштабе, или $\lg[W(u, r/B)]$ от $\lg(1/u)$. Данные о понижении напора в наблюдательных скважинах наносятся на график с координатами $\lg S$ и $\lg t$. График строится в масштабе эталонной кривой. Оба графика совмещаются. При этом из серии кривых с различными значениями r/B важно выбрать ту кривую, которая лучше всего ложится на опытные точки. Найдя соответствующую кривую, определяют значение параметра перетекания.

При наличии нескольких наблюдательных скважин можно пользоваться эталонной кривой, представляющей собой график функции $K_0(x)$, построенный в логарифмическом масштабе, или графиком $\lg K_0(x) - \lg(x)$ в арифметическом ($x = r/B$) масштабе (рис. 3.4). Данные о понижениях в наблюдательных скважинах наносятся на график с координатами $\lg S - \lg t$. Для кривых $\lg S - \lg t$ находится смещения координатных осей эталонной кривой относительно осей графика с фактическим материалом:

$$\lg \frac{Q}{2\pi T} = \lg s_m^0 - \lg K_0^0(x), \quad (3.16)$$

$$- \lg B = \lg x^0 - \lg r^0. \quad (3.17)$$

После совмещения графиков фиксируется точка, соответствующая началу координат графика $\lg K_0(x) - \lg(x)$ и находятся ее координаты ($\lg S^0$ и $\lg r^0$). В этом случае уравнения (3.16, 3.17) приобретают вид:

$$\lg \frac{Q}{2\pi T} = \lg s^0, \quad (3.18)$$

$$- \lg B = - \lg r^0. \quad (3.19)$$

По значениям, снятым с графиков, определяются входящие в них искомые параметры T и B .

$$T = \frac{Q}{2\pi S^0}, B = r^0. \quad (3.20)$$

Для удобства работы с таблицей специальных функций (табл. 3.1) следует использовать графики, определяющие связь функции $F(x)$ с значениями параметров e^x , r/B и $K_0(r/B)$ (рис. 3.5 – 3.7).

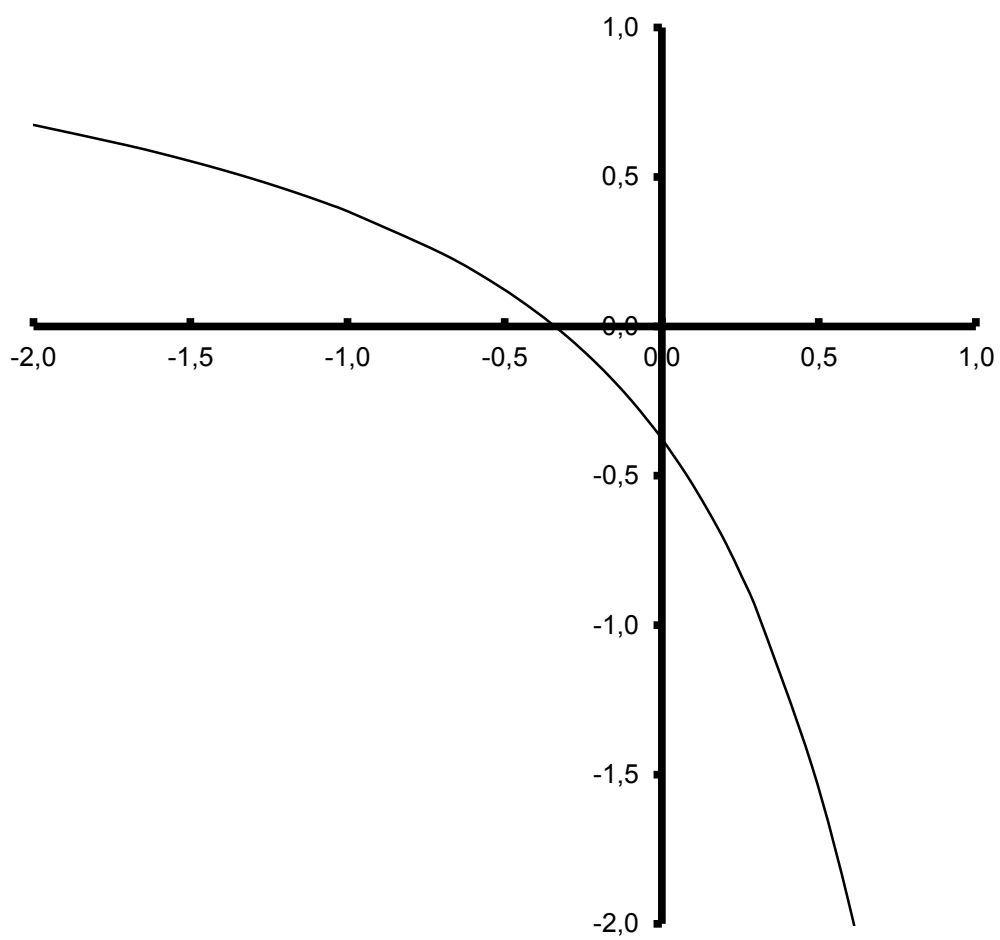


Рис. 3.4. Эталонная кривая $\lg K_0(x)$ от $\lg x$

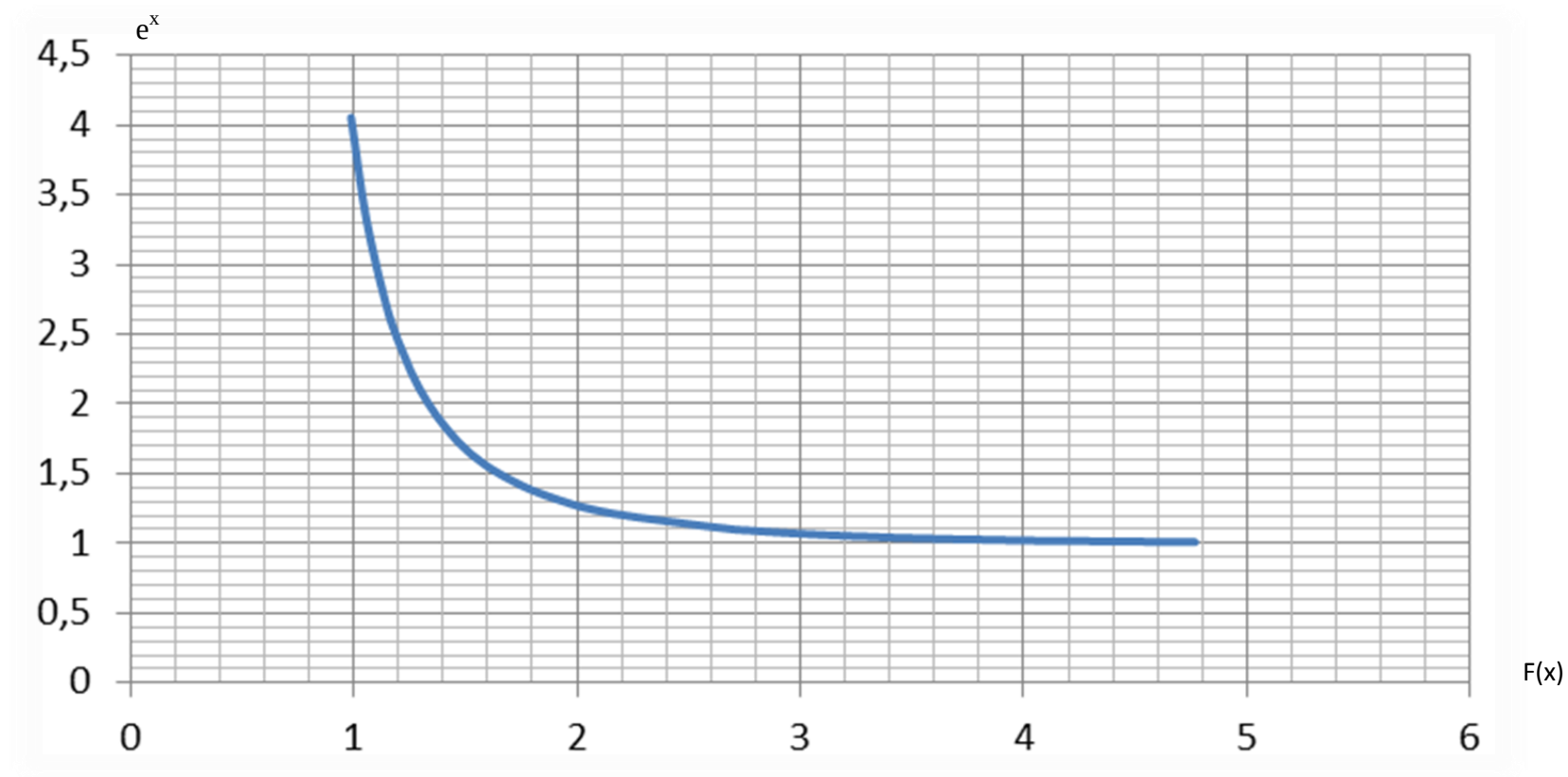


Рис. 3.5. Зависимость e^x от $F(r/B)$

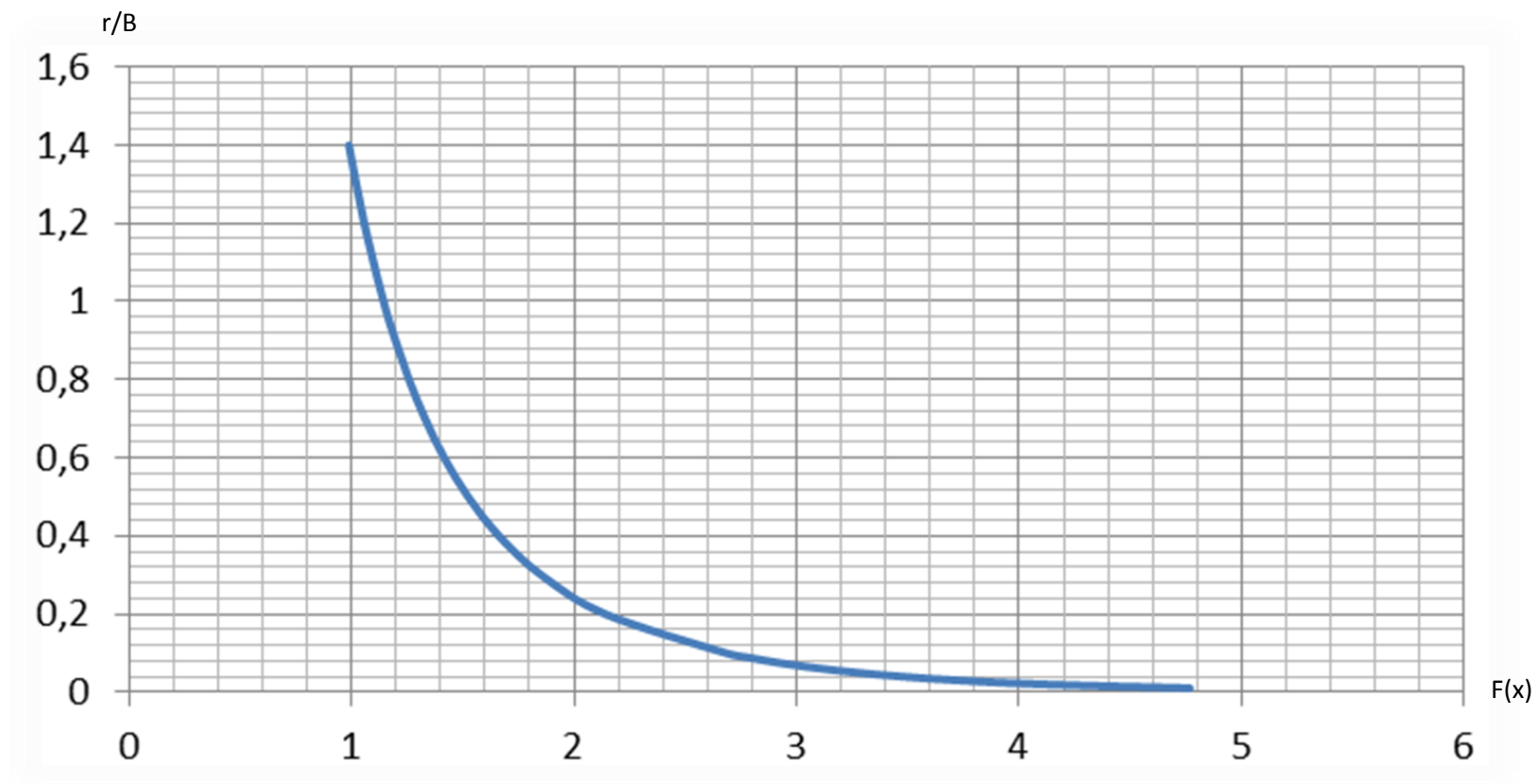


Рис. 3.6. Зависимость r/B от $F(r/B)$

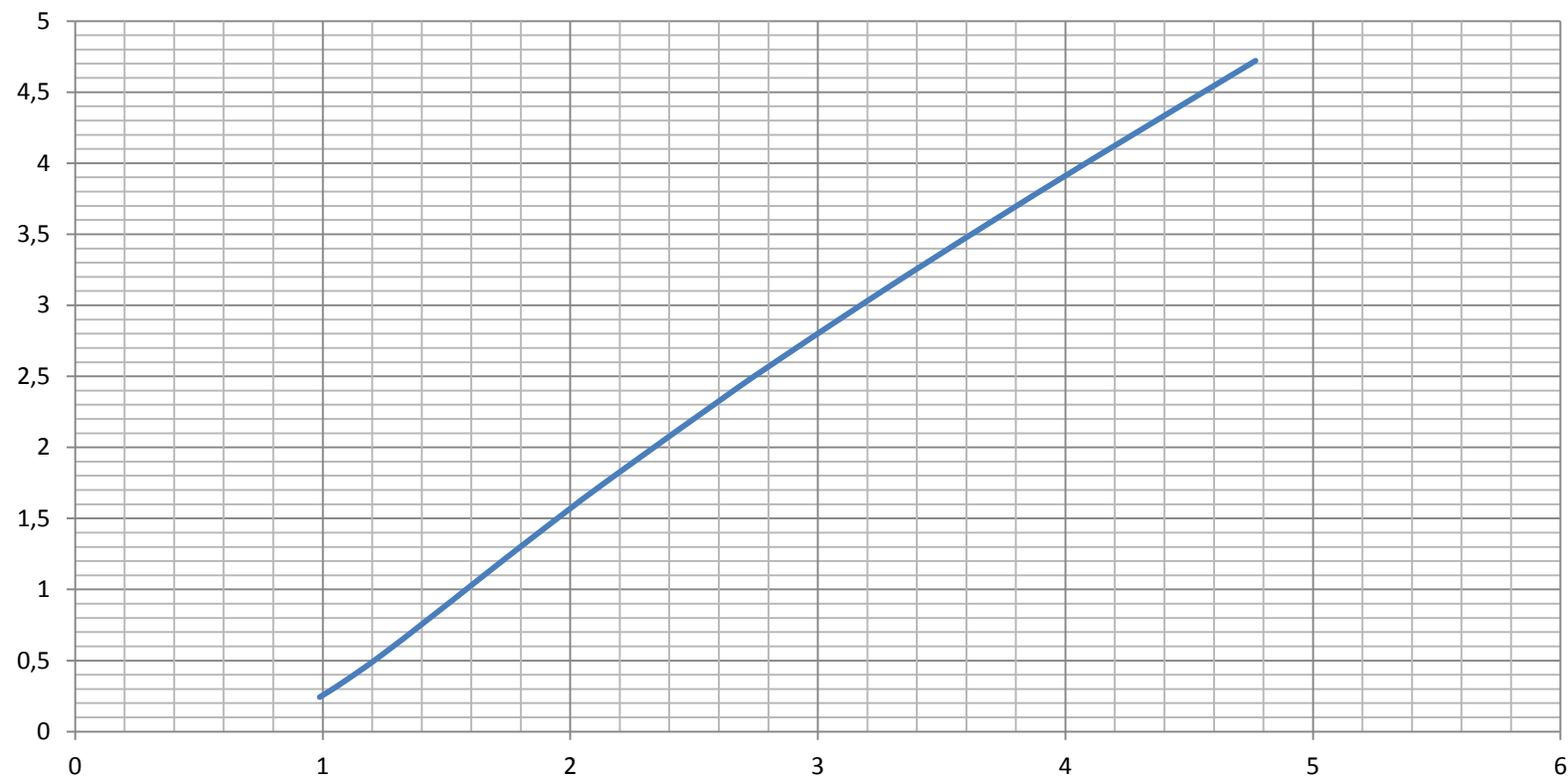


Рис. 3.7. Зависимость $K_0(r/B)$ от $F(r/B)$

Для наблюдательных скважин, находящихся на небольших расстояниях от центральной скважины, в зоне квазистационарного режима, можно использовать соотношение (3.6). Для определения параметров строится график в координатах S - $\lg r$. На прямолинейной части графика (она соответствует данным, полученным по ближайшим скважинам) выбираются две любые точки с координатами $(S_1, \lg r_1)$ и $(S_2, \lg r_2)$ и определяется проводимость T :

$$T = 0.366 \frac{Q(\lg \frac{r_2}{r_1})}{S_1 - S_2}. \quad (3.21)$$

Затем, при известном T , вычисляется значение фактора перетекания из соотношения (3.4) либо непосредственно по графику (в точке $S=0$, $B=0,89r$).

Таким образом, при проведении и обработке данных по откачкам, выполненным в условиях пласта с перетеканием из горизонта постоянным напором, можно применять соответствующие аналитические зависимости и методики расчётов.

3.1.2 Особенности обработки данных откачек в пластах с перетеканием

Обработка откачек в пластах с перетеканием имеет ряд отличительных особенностей по сравнению с безграничными пластами. Очень часто эти особенности не учитываются при интерпретации данных опытно-фильтрационных работ.

При проведении и обработке откачек в пластах с перетеканием необходимо более четко понимать смысл понятия «зона квазистационарного режима». Эта зона занимает небольшую часть депрессионной воронки, которая примыкает к центральной (опытной) скважине. Размеры зоны квазистационарного режима в пластах с перетеканием занимают относительно небольшую часть депрессионной воронки (по сравнению с безграничными пластами).

В этой зоне с допустимой погрешностью можно считать, что поток подземных вод, который движется к скважине, практически равен откачиваемому дебиту. Расход постепенно увеличивается от нулевого значения на границе депрессии до близкого к 100% на границе зоны квазистационарного режима. В зоне квазистационарного режима реализуются условия применимости формул Дюпюи и Джейкоба. В этой зоне не меняется форма депрессии. Важно отметить, что зона квазистационарного режима существует как при нестационарном, так и при стационарном режиме.

При откачках в пластах с перетеканием необходимо учитывать, что размеры зоны квазистационарного режима составляют величину, близкую к 0,1 от значения параметра перетекания ($r_{\text{кв}}=0,1B$). Этот вывод следует из анализа значений специальных функций (табл. 3.1.). Если поправка, которая появляется в зависимости (3.8) и равна $e^{r/B}$, начинает

существенно отличаться от единицы и принимать значение больше 1.10, то следует понимать, что точка измерений уровня (наблюдательная скважина) находится вне зоны квазистационарного режима. Погрешность определения параметров, без учета указанной поправки, начинает превышать допустимый уровень в 10%.

В той части депрессионной воронки, где не выполняются условия квазистационарного режима (в зоне «неквазистационарного» режима), форма временных графиков существенно меняется (рис. 3.2, 3.3). Уклон касательных (C_p), проведённых в точке перегиба, заметно уменьшается при увеличении расстояния до наблюдательной скважины. Поправка $e^{r/B}$, которая используется в зависимости (3.12), даже при $r/B < 2.0$ может достигать значений 6 – 7 (табл. 3.1). Недооценка этого фактора приводит к значительным ошибкам в определении параметров.

Средние значения параметра перетекания на территории Западной Сибири составляют 300 - 400 м. Соответственно, радиус зоны квазистационарного режима обычно не превышает 30 - 40 м. Очевидно, что применение для оценки гидродинамических параметров обычного метода площадного прослеживания представляется невозможным. С теоретических позиций, возможно применение метода площадного прослеживания с использованием эталонной кривой (3.16 -3.20, рис. 3.4).

Очень важно отметить, что графики площадного прослеживания понижения, пригодны для определения параметров пласта только в тех случаях, когда есть уверенность, что пласт однороден, и все расчётные параметры имеют одинаковые значения по всем наблюдательным скважинам. В реальных условиях доказательством однородности, наряду с опережающей обработкой временных графиков, является построение графиков комбинированного прослеживания понижения. Если эти графики до точки перегиба не совпадают (по разным скважинам), то использование площадного прослеживания ведёт к грубым (в несколько раз) ошибкам в значениях параметров. К сожалению, указанная ошибка встречается довольно часто.

Методы обработки данных откачек, которые широко используются в условиях безграницных пластов (временного, комбинированного и площадного прослеживания понижения), можно применять только в зоне квазистационарного режима. Широкое применение этих методов, без учета размеров зоны квазистационарного режима, приводит к существенным ошибкам в значениях рассчитанных параметров.

3.1.3. Пласт с перетеканием из горизонта с изменяющимся напором

В природных условиях нередко реализуется схема пласта с перетеканием из водоносного горизонта с изменяющимся (переменным) напором. С гидродинамических

позиций, в рамках этой схемы, можно рассматривать несколько разновидностей этой схемы. Первая разновидность – схема 2а - «пласт с перетеканием из напорного горизонта с изменяющимся напором» (рис. 3.8). Вторая разновидность – «Пласт с перетеканием из безнапорного горизонта с изменяющимся напором (Схема 2б)» (рис. 3.9). Последняя разновидность – «откачка из пласта с перетеканием из горизонта покровных образований с изменяющимся напором (двухслойный пласт, схема 2в)» (рис. 3.10).

В схеме пласта с изменяющимся напором объединяются условия перетекания из напорного пласта, из безнапорного пласта и из покровного горизонта (рис. 3.8 - 3.10), эти условия объединяют несколько характерных признаков. Первый общий признак заключается в том, что уровень (напор) снижается в питающем горизонте при развитии перетекания. Снижение напоров приводит к увеличению суммарной водоотдачи взаимодействующих пластов (основного пласта и питающего горизонта). Разница между напорным и безнапорным пластом заключается в степени увеличения водоотдачи. При перетекании из напорного пласта, суммарная водоотдача может увеличиться примерно в два раза относительно величины водоотдачи основного горизонта.

При развитии перетекания из горизонта со свободной поверхностью значения суммарной водоотдачи увеличиваются в десятки раз, а нередко и более чем в сто раз. Процесс увеличения водоотдачи занимает существенное время и отражается на графиках временного прослеживания этапом «ложной стабилизации» (рис. 3.11). При наличии наблюдательных скважин в питающем горизонте, в этих скважинах фиксируется снижение напора (рис. 3.11), система обработки существенно не меняется относительно первой схемы, но вместо величины $S_{ст}$ используется $S_{лс}$. Кроме указанных важных признаков этой схемы, следует отметить, что снижение напоров ведет к развитию депрессии, как в основном, так и в питающем горизонте, поэтому депрессионная воронка, при реализации указанной схемы развивается на более значительную площадь.

При наступлении третьего этапа, в наблюдательных скважинах нередко выполняется условие наступления квазистационарного режима. Поэтому этот этап, с определенной долей условности, можно называть «квазистационарным» и обрабатывать с помощью аналитических зависимостей, которые обычно применяются в условиях безграничного пласта. Этап окончательной стабилизации подчиняется уравнениям (3.4, 3.5). Если выполняется условие $r/B < 0,1$, то можно использовать уравнение (3.5). В тех случаях, когда указанное условие не выполняется, необходимо применять уравнение (3.4) с функцией $K_0(r/B)$.

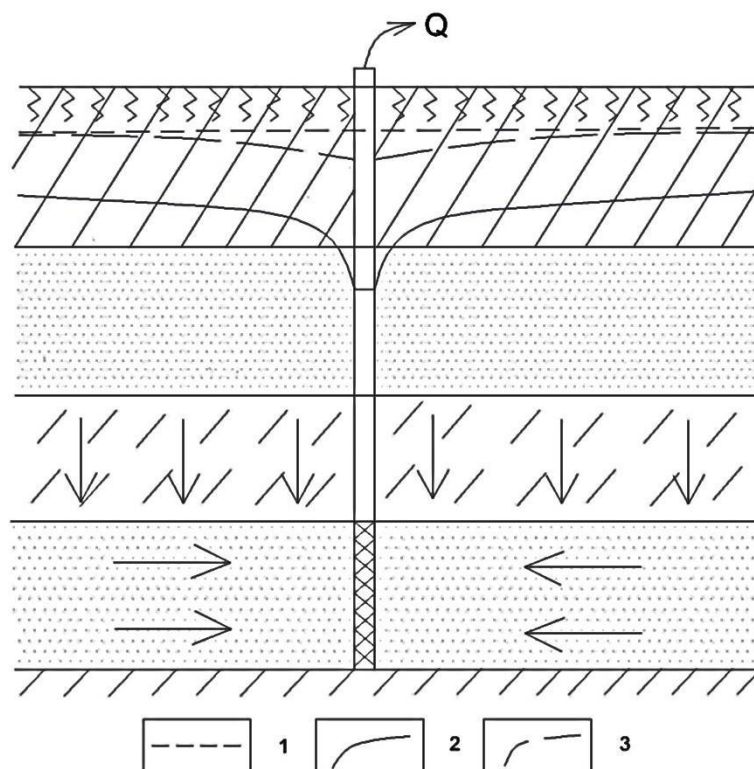


Рис. 3.8. Откачка из пласта с перетеканием из напорного горизонта с изменяющимся (переменным) напором (схема 2а): 1 – статический уровень; 2 – динамический уровень в основном пласте; 3 – динамический уровень в питающем горизонте

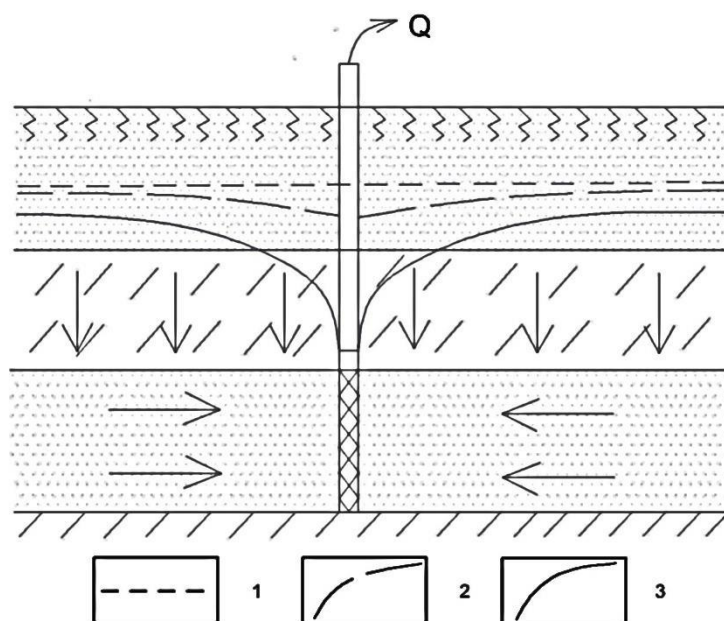


Рис. 3.9. Откачка из пласта с перетеканием из безнапорного горизонта с изменяющимся напором (схема 2б): 1 – статический уровень; 2 – динамический уровень в питающем горизонте; 3 – динамический уровень в основном горизонте

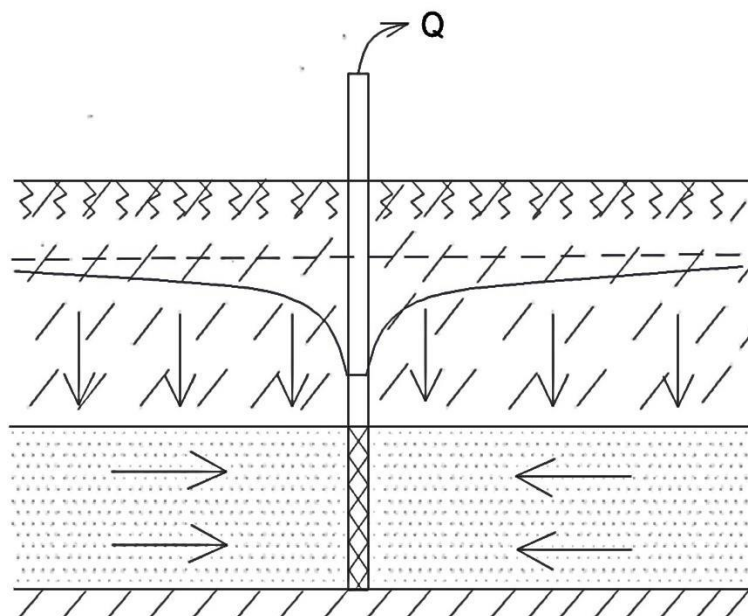


Рис. 3.10. Откачка из пласта с перетеканием из горизонта покровных образований с изменяющимся напором (двухслойный пласт, схема 2в)

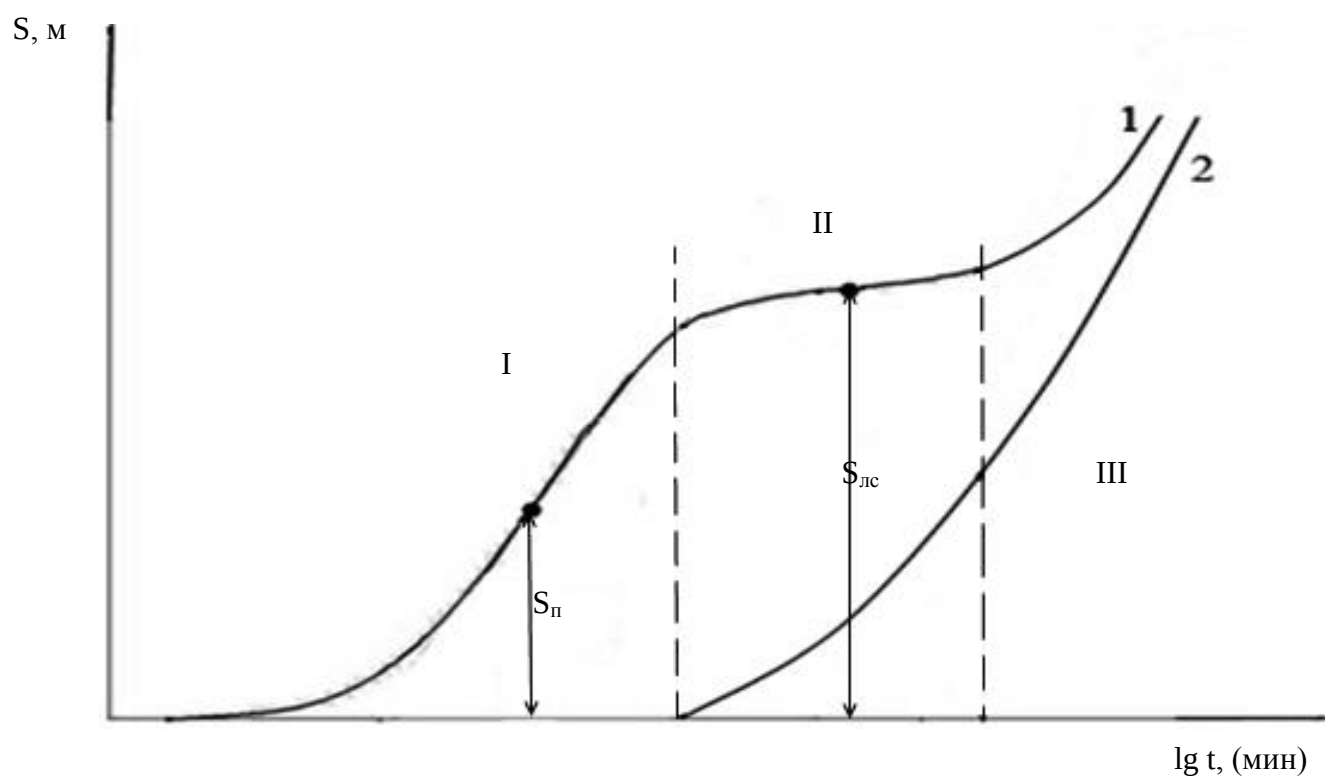


Рис. 3.11. Типичный вид временного графика при откачке из «двухслойного» пласта:

1 – понижение уровня в основном пласте; 2 – понижение уровня в верхнем (покровном) безнапорном водоносном горизонте; I, II, III–этапы развития депрессии.

Реализация условий, когда на первом этапе откачки развивается снижение уровня в верхнем водоносном горизонте, отвечает схеме 2 (перетекание из горизонта с изменяющимся напором). При достижении питающих границ и наступлении окончательной стабилизации, реализуется схема пласта с постоянным напором, поэтому указанные условия рассматриваются, как схема 3 – перетекание из пласта с переменным напором (рис 3.12, 3.13).

При реализации схемы пласта с перетеканием из горизонта с переменным напором возникает необходимость описания состояния окончательной стабилизации. Условия окончательной стабилизации практически соответствуют условиям, которые возникают на границе экранированного водоема [108]. В этом случае вводится расчетное значение параметра ΔL , которое представляет собой параметр перетекания (B), увеличенный путем введения поправки. В рассматриваемых условиях параметр перетекания при окончательной стабилизации (B_{oc} или B_2) определяется по фактическим данным с помощью зависимостей (3.4, 3.5).

В конкретных гидрогеологических условиях, степень увеличения водоотдачи, при взаимодействии пластов, может быть различной. При относительно небольшом увеличении водоотдачи (в десятки раз), этап ложной стабилизации выражается наклонной линией с точкой перегиба. Если водоотдача увеличивается более чем в сто раз, касательная в точке перегиба на графике ложно стационарного этапа является практически горизонтальной (рис. 3.14, б).

В зависимости от расположения поверхностной питающей границы (водоема) в плане и разрезе форма временных графиков может быть различной. При близком расположении питающей границы окончательная стабилизация может наступать непосредственно после участка ложной стабилизации. В этих случаях участок графика, отражающий развитие депрессий в условиях безграничного пласта, практически отсутствует (рис. 3.14, б, случай 2). При достаточно удаленном расположении питающей границы, третий этап графика, отражающий условия развития депрессии в безграничном пласте, может быть выражен на временном графике достаточно хорошо.

Таким образом, в зависимости от конкретных природных условий, при выполнении откачек могут реализоваться различные гидродинамические схемы, которые, в свою очередь, требуют выполнения надежной диагностики и использования соответствующих методов расчета.

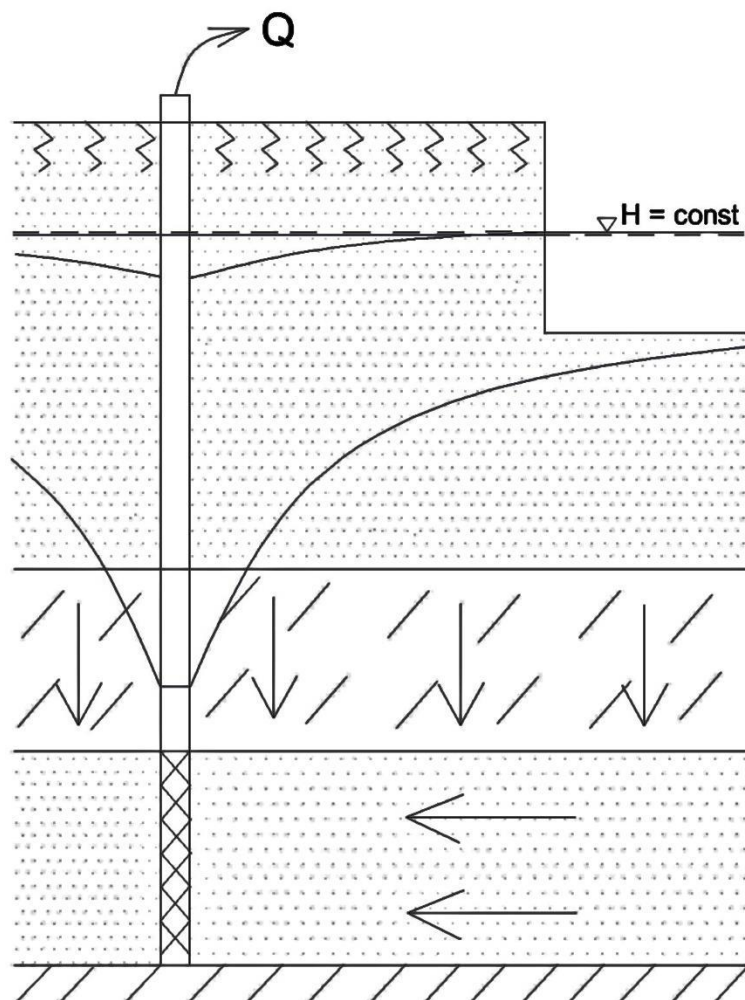


Рис. 3.12. Откачка из пласта с перетеканием из горизонта с переменнo-постоянным напором
(схема 3)

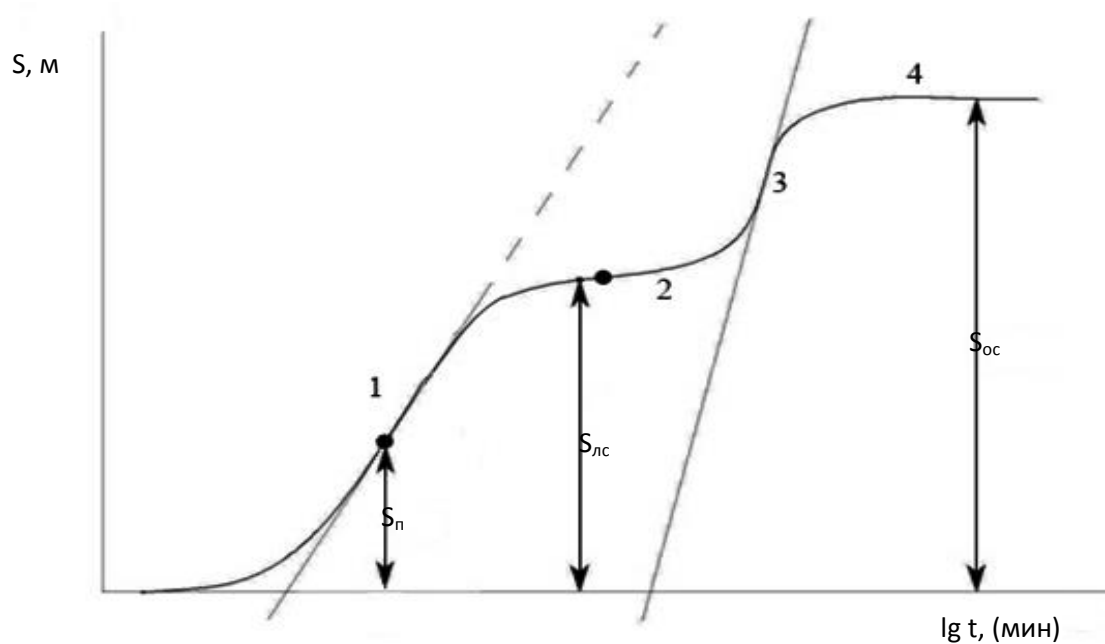


Рис. 3.13. Типовой вид временной зависимости при откачке из пласта с перетеканием из водоносного горизонта с «переменно-постоянным» напором: 1 – «неквазистационарный» участок графика с касательной в точке перегиба; 2 – участок «ложной» стабилизации; 3 – «квазистационарный» участок графика с расчетной прямой; 4 – участок окончательной стабилизации

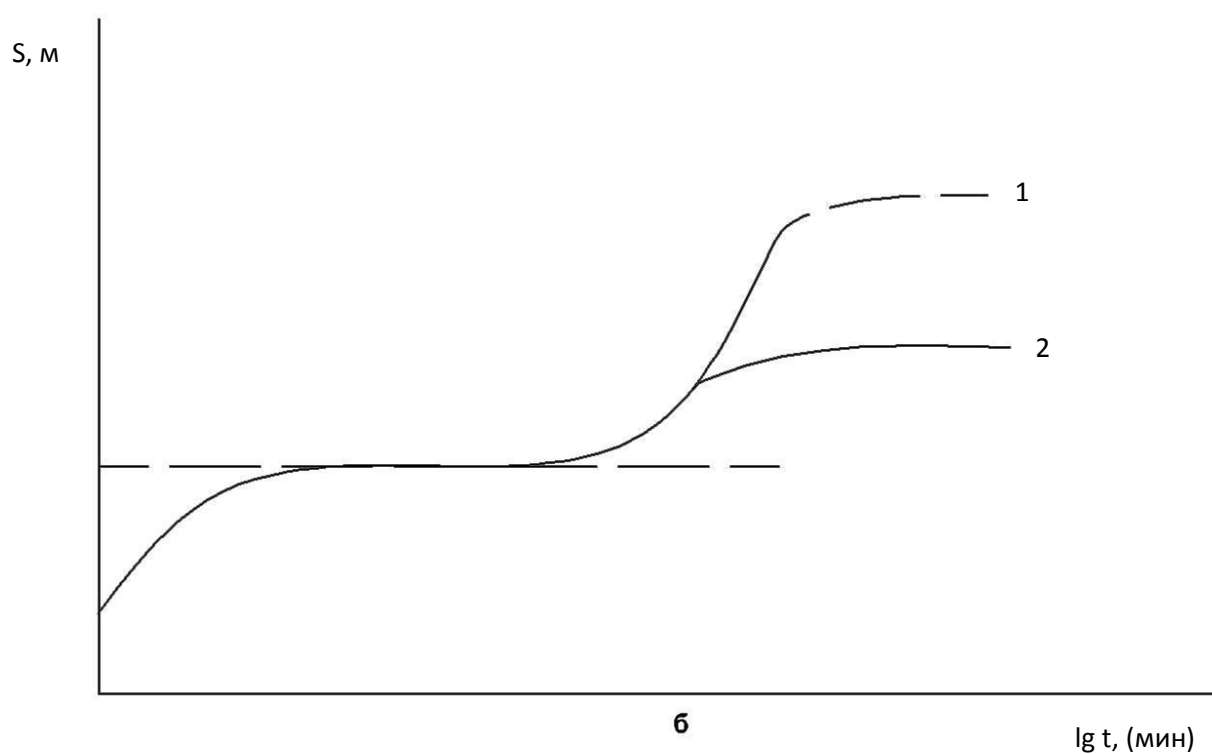
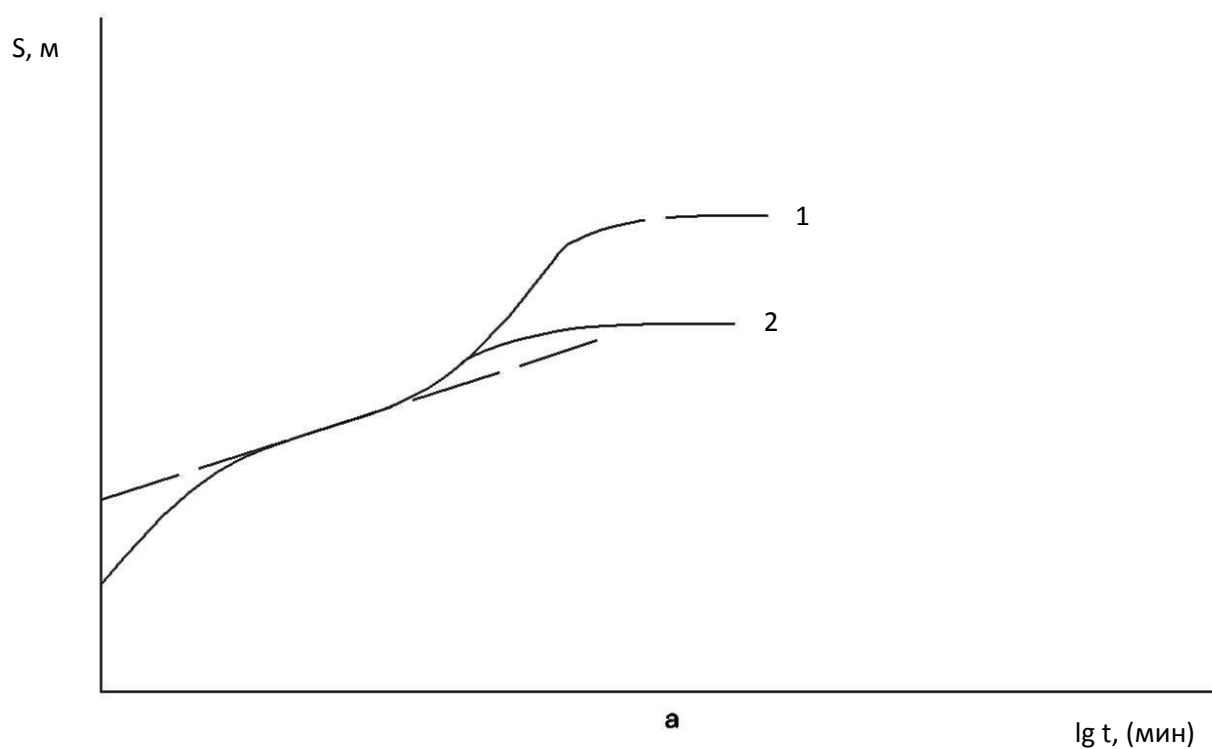


Рис. 3.14. Типичная форма временных зависимостей при откачках в пластах с перетеканием из горизонта с переменным-постоянным напором: а – небольшое изменение водоотдачи; б – изменение водоотдачи более чем в 100 раз; 1 – значительное развитие депрессии в питающем водоносном горизонте; 2 – относительно слабое развитие депрессии в питающем водоносном горизонте

3.2. Особенности интерпретации данных центральных и эксплуатационных скважин

Данные, полученные по центральным скважинам и при одиночных откачках (опробованиях) принято считать менее надежными и информативными по сравнению с данными по наблюдательным скважинам. Это положение связано, в основном, с техническими причинами. Например, выполнение измерений уровня в опытной скважине обычно затруднено в связи с наличием в стволе скважины водоподъемного оборудования. В опытной скважине сильнее, чем в наблюдательной скважине, мешают колебания дебита. Поэтому временной график может иметь более сложную форму и труднее поддается интерпретации.

Временные графики опытных (центральных) скважин, наряду с недостатками, обладают и важными преимуществами. В опытных скважинах практически с самого начала опробования наступает квазистационарный режим изменения уровня. При этом режиме форма депрессионной воронки не изменяется (воронка опускается параллельно самой себе), а индикаторные графики (временные графики возмущения уровня) должны иметь форму прямой линии в условиях однородного безграничного пласта. Форма графика имеет важное диагностическое значение. Следует помнить, что прямолинейность графика сохраняется только в условиях безграничных и однородных пластов, при отсутствии влияния ёмкости скважины. Тщательная интерпретация данных одиночных опробований позволяет рассчитать ориентировочные значения практически всех необходимых параметров [109, 110].

Очень существенным фактором, затрудняющим расчёт некоторых гидродинамических характеристик пласта, является неопределенность величин действующего гидродинамического (эффективного) радиуса опытной скважины (r_c'). Значение действующего гидродинамического радиуса опытной скважины может на несколько порядков отличаться от фактического радиуса скважины. Данное обстоятельство обычно не позволяет рассчитывать точные значения коэффициента пьезопроводности (уровнепроводности), параметра перетекания и радиуса влияния по результатам одиночных опробований.

В ряду положительных свойств, которыми отличаются данные центральных скважин, следует, в первую очередь, отметить диагностические свойства параметра, который называется удельным дебитом опытной скважины ($q_c = Q/S_c$). Из основных аналитических зависимостей динамики подземных вод следует, что значение q_c примерно соответствует значению величины T [109, 110]. В зависимости от ряда факторов, различие в значениях указанных параметров обычно может варьировать от 5% до 2-3 раз (если q_c выражается в

м²/сут). Если удельный дебит выражается в л/с·м, то поправочный коэффициент (ξ), отражающий связь T и q_c обычно варьирует в пределах от 100 до 250.

Следует очень чётко представлять, что значение коэффициента ξ при правильном оборудовании и освоении скважин работ относительно редко превышают значение 3.0 -4.0. Значительное превышение коэффициента ξ относительно типичных значений (больше 3.0 – 4.0), особенно на стадиях поисково-разведочных работ, можно рассматривать как признак неверного определения значения параметра водопроницаемости. Если бы об этом постоянно помнили гидрогеологи, ведущие расчёты, многих ошибок можно было бы избежать.

Значение удельного дебита позволяет выполнить диагностику правильности определения основных гидродинамических характеристик, рассчитанных по временным графикам. В качестве критерия правильности определения параметра водопроницаемости следует руководствоваться соотношением:

$$T < 3.0 q_c \text{ (м}^2\text{/сут)}; \quad (3.22)$$

или

$$T < 250 q_c \text{ (л/с·м)}. \quad (3.23)$$

Представленные соотношения не следует рассматривать как предельные, но существенные отклонения требуют специального анализа и рассмотрения.

Для оценки степени несовершенства скважин следует использовать аналитические зависимости, позволяющие количественно и качественно оценивать этот фактор. Основные разработки по оценке степени несовершенства скважин представлены в работах В.М. Шестакова [109, 110, 116]. Гидродинамическое несовершенство скважин может возникать за счет неполного вскрытия пласта (несовершенство по степени вскрытия пласта); изменения фильтрационных свойств на границе «скважина – пласт», включая процессы кольматации фильтра (несовершенство по характеру вскрытия пласта); нарушения линейного закона фильтрации в прискважинной зоне. Суммарную оценку всех этих факторов можно производить с помощью расчета действующего гидродинамического радиуса скважины (r'_c). В практических расчетах удобно вычислять величину $\ln(r_c/r'_c)$ или $\lg(r_c/r'_c)$.

В качестве исходной базовой зависимости следует опираться на выражение

$$S_c = S_{cc} + \Delta S_{nc}, \quad (3.24)$$

где S_c – фактическое понижение в водозаборной (опытной) скважине;

S_{cc} – понижение в скважине при условии её гидродинамического совершенства;

ΔS_{nc} – дополнительное понижение в скважине, зависящее от её гидродинамического несовершенства.

Если $S_c = S_{cc}$, то скважина является гидродинамически совершенной, а $\Delta S_{nc} = 0$. Степень несовершенства скважины можно оценивать, опираясь на соотношения $\Delta S_{nc} / S_{cc}$ и S_c / S_{cc} . Эти соотношения показывают, какую долю в суммарном понижении уровня занимает дополнительное понижение в скважине, определяемое её гидродинамическим несовершенством.

Использование величин, имеющих размерность (в данном случае – понижений), в качестве обобщающих характеристик, не совсем удобно. Необходимо учитывать, что значения ΔS_{nc} зависят от дебита конкретной скважины и меняются при изменениях дебита. Показателем несовершенства скважины, независящим от дебита, является величина действующего гидродинамического радиуса скважины (r'_c). При выполнении расчётов удобнее, в качестве показателя несовершенства скважин использовать величину $\ln(r_c/r'_c)$ или $\lg(r_c/r'_c)$. Эта величина рассчитывается из выражения:

$$\ln \frac{r_c}{r'_c} = \frac{2\pi T}{Q} \Delta S_{nc}. \quad (3.25)$$

Использование величины $\ln(r_c/r'_c)$ позволяет оценивать, кроме несовершенства конкретной скважины, усреднённое гидродинамическое несовершенство нескольких скважин и максимальное значение этого показателя по скважинам, где наблюдаются максимальные понижения ($\ln(r_c/r'_c)^*$). Последняя величина необходима для оценки эксплуатационных запасов в наиболее неблагоприятных условиях и для прогнозирования понижений при «старении» скважин.

Опираясь на выражение (2.5), можно записать:

$$S_{cc} = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{1.12B}{r_c} = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_c}. \quad (3.26)$$

Принимая, что значения параметра перетекания обычно варьируют в пределах 200 – 600 м, радиус водозаборной скважины – от 0.1 до 0.15 м, можно оценить диапазон значений расчётных характеристик (табл. 3.2). Для оценки значений расчётных характеристик удобнее применять десятичные логарифмы. В качестве усреднённых значений можно принять $\lg(R/r_c) = 3.5$, $\xi = 1.3$.

На основе усреднённых характеристик разработаны количественные и качественные показатели несовершенства опытных и эксплуатационных скважин (табл. 3.3-3.4).

Таблица 3.2 – Оценка значений расчётных показателей

В, м	R, м	lg(R/r _c)		$\xi = 0.366 \lg(R/r_c)$	
		r _c = 0.1	r _c = 0.15	r _c = 0.1	r _c = 0.15
200	224	3.35	3.17	1.23	1.16
400	448	3.66	3.48	1.34	1.27
600	672	3.83	3.65	1.40	1.34

Таблица 3.3 – Основные показатели для оценки гидродинамического несовершенства скважин

$\Delta S_{\text{nc}} / S_{\text{cc}}$	lg(r _c /r' _c)	ln(r _c /r' _c)	S _c / S _{cc}	ξ
0	0	0	1	1.3
1	3.5	8	2	2.6
2	7	16	3	3.9 (4)
4	14	32	5	6.5
8	28	64	9	11.7 (12)

Таблица 3.4 – Характеристика степени гидродинамического несовершенства скважин

Характеристика	$\Delta S_{\text{nc}} / S_{\text{cc}}$	lg(r _c /r' _c)	S _c / S _{cc}	ξ
Совершенные	0	0	1	1.3
Условно совершенные	0 - 1	0 - 3.5	1 - 2	1.3 – 2.6
Умеренно несовершенные	1 - 2	3.5 - 7	2 - 3	2.6 – 3.9
Весьма несовершенные	2 - 4	7 - 14	3 - 5	3.9 – 6.5
Исключительно несовершенные	4 - 8	14 - 28	5 - 9	6.5 - 11.7
Условно глухие	Больше 8	Больше 28	Больше 9	Больше 11.7

Представленные показатели степени гидродинамического несовершенства скважин, позволяют качественно и количественно характеризовать состояние опытных и эксплуатационных скважин. В качестве наиболее удобного показателя, который подходит для одиночных скважин и для скважин водозаборов, следует рассматривать величину

$\lg(r_c/r'_c)$. Качественные показатели разрабатывались на основе фактических данных разведки и эксплуатации водозаборов.

3.3. Выводы

1. В условиях слоистых пластов, среди схем «пласт с перетеканием», основное значение имеют условия жесткого перетекания и схема одного главного пласта (однопластовая схема). В рамках схемы «один пласт с жестким перетеканием» можно выделить несколько основных разновидностей. Первым, и основным, видом (схемой), является схема пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором.

2. Для обработки данных по откачкам, выполненным в условиях пласта с перетеканием из горизонта постоянным напором, теоретически обоснованы специальные методические приёмы, которые существенно отличаются от методов интерпретации данных откачек, выполненных в безграничных пластах. В условиях пластов с перетеканием следует применять соответствующие этой гидродинамической обстановке аналитические зависимости и методики расчётов.

3. Размеры зоны квазистационарного режима в пластах с перетеканием занимают относительно небольшую часть депрессионной воронки (по сравнению с безграничными пластами). При откачках в пластах с перетеканием размеры зоны квазистационарного режима составляют величину, близкую к 0,1 от значения параметра перетекания ($r_{кв}=0,1B$). В той части депрессионной воронки, где не выполняются условия квазистационарного режима, форма временных графиков существенно меняется. Уклон касательных, проведённых в точке перегиба, заметно уменьшается при увеличении расстояния до наблюдательной скважины. Недооценка этого фактора приводит к значительным ошибкам в определении параметров.

4. Методы обработки данных откачек, которые широко используются в условиях безграничных пластов (временного, комбинированного и площадного прослеживания понижения), в условиях пластов с перетеканием можно применять только в зоне квазистационарного режима. Широкое применение этих методов, без учета размеров зоны квазистационарного режима и степени неоднородности основного пласта и относительно водоупорных горизонтов, приводит к существенным ошибкам в значениях рассчитанных параметров.

5. В природных условиях очень часто реализуется схема пласта с перетеканием из водоносного горизонта с изменяющимся (переменным) напором. В рамках этой схемы можно рассматривать несколько видов гидродинамических схем. Первая разновидность –

схема «пласт с перетеканием из напорного горизонта с изменяющимся напором». Вторая разновидность – схема «пласт с перетеканием из безнапорного горизонта с изменяющимся напором». Третья разновидность – «пласт с перетеканием из горизонта покровных образований с изменяющимся напором (двухслойный пласт)».

6. Если при откачке из пласта с перетеканием из водоносного горизонта с изменяющимся (переменным) напором депрессия в верхнем горизонте достигает питающих границ и наступает окончательная стабилизация, реализуется схема пласта с постоянным напором. Эти условия рассматриваются как схема «откачка из пласта с перетеканием из горизонта с переменно-постоянным напором». При реализации схемы пласта с перетеканием из горизонта с переменно-постоянным напором возникает необходимость описания состояния окончательной стабилизации. Условия окончательной стабилизации практически соответствуют условиям, которые возникают на границе экранированного водоёма. В условиях слоистых пластов удобно использовать параметр перетекания при окончательной стабилизации (B_{oc}).

7. Для оценки степени гидродинамического несовершенства скважин следует использовать аналитические зависимости, позволяющие количественно и качественно оценивать этот фактор. Гидродинамическое несовершенство скважин может возникать за счёт неполного вскрытия пласта (несовершенство по степени вскрытия пласта); изменения фильтрационных свойств на границе «скважина – пласт», включая процессы кольтматации фильтра (несовершенство по характеру вскрытия пласта); и некоторых других факторов. Суммарную оценку всех этих факторов можно производить с помощью расчёта действующего гидродинамического радиуса скважины (r_c'). В практических расчётах удобно вычислять величину $\ln(r_c/r_c')$ или $\lg(r_c/r_c')$. Показатели степени гидродинамического несовершенства скважин позволяют качественно и количественно характеризовать состояние опытных и эксплуатационных скважин.

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗВЕДКИ И СХЕМАТИЗАЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВОДОЗАБОРОВ

4.1. Гидрогеодинамическая схематизация участка водозабора г. Муравленко

Изучение Муравленковского месторождения подземных вод выполнялось Нижневартовской гидрогеологической партией Тюменского КГРЭ в одну объединенную стадию поисков, предварительной и детальной разведки с января 1985 по декабрь 1986 г. Отчет по поисково-разведочным работам, рассмотрен в 1987 г [2]. Эксплуатационные запасы пресных подземных вод на участке утверждены по состоянию на 01.02.87 г. на 25-летний срок эксплуатации в количестве 60 тыс. м³/сут., в т.ч. по категориям (в м³/сут.): А – 22,5; В – 19,5; С₁ – 18,0. Разведанные запасы подземных вод приурочены к атлым-новомихайловскому водоносному комплексу.

Верхним водоупором для водоносного комплекса, на большей части территории, служат глинистые осадки туртасской и верхней части разреза новомихайловской свит, залегающие на глубинах 101-164 м, на участке водозабора – 90-146 м. Там, где они отсутствуют, комплекс через литологические окна связан с вышележащим четвертичным горизонтом. Нижним водоупором служат глинистые осадки тавдинской свиты или многолетнемерзлые породы атлымской свиты, залегающие на глубине 166-296 м, в пределах участка водозабора – 208-234 м. Эффективная мощность комплекса изменяется от 56 до 118 м на участке водозабора, по району работ она колеблется от 17 до 144 м (рис. 4.1).

Подземные воды комплекса порово-пластовые, обладают напором. Высота напора изменяется от 98 до 155 м, на участке водозабора – 98-140 м. Уровни устанавливаются на глубинах 1,86-11,1 м. Питание водоносного комплекса происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков в пределах водоразделов, а также за счет перетекания из вышележащего четвертичного водоносного горизонта. Дебиты скважин, вскрывших водоносный комплекс, изменяются от 9,5 до 21,6 л/с при понижениях соответственно 21,5 и 11,6 м. удельные дебиты при этом составляют 0,44-1,86 л/с·м. По результатам опытно-фильтрационных работ приняты следующие параметры водоносного комплекса: водопроводимость 1100 м²/сут., коэффициент пьезопроводимости $2,1 \cdot 10^6$ м²/сут. По сложности геолого-гидрогеологических условий исследуемый участок пресных вод отнесен к I группе (простые гидрогеологические условия).

На территории месторождения в период проведения поисково-разведочных работ было пробурено значительное количество гидрогеологических скважин, выполнено 18

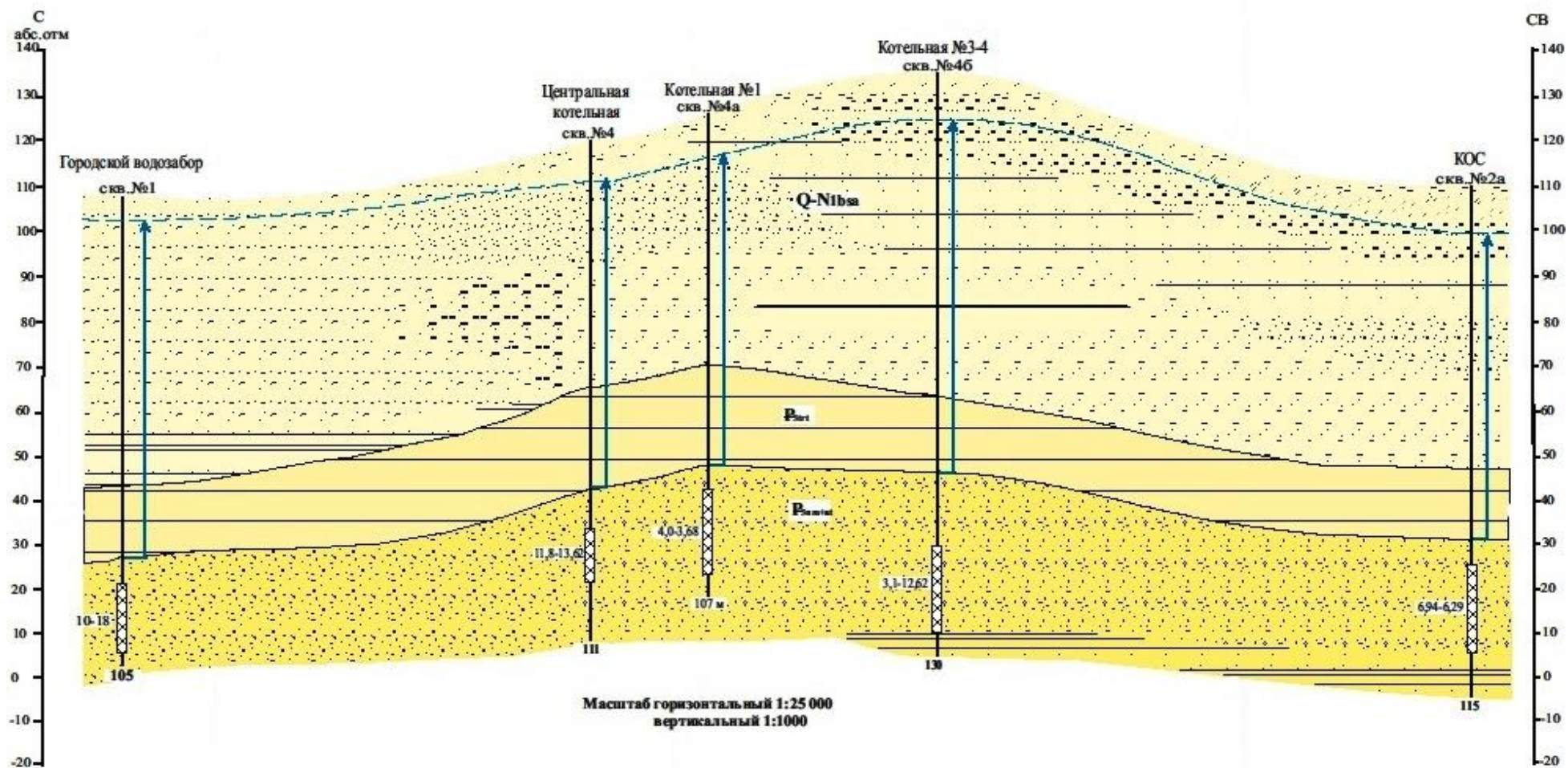


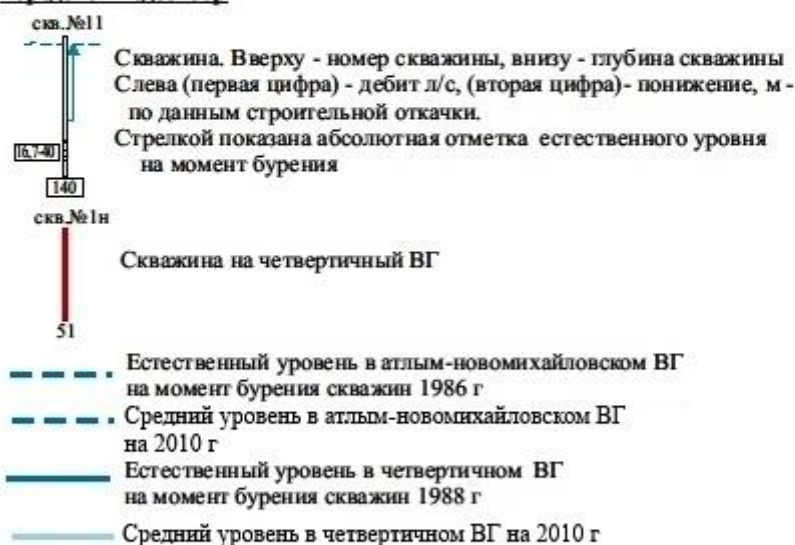
Рис. 4.1. Гидрогеологический разрез участка городского водозабора. г. Муравленко [2]

Условные обозначения к рисунку 4.1

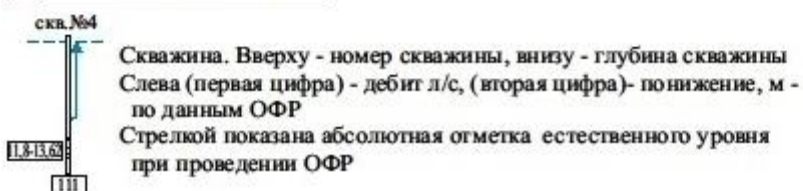
1. Стратиграфия		2. Литология	
	Неоген-четвертичные отложения		Пески разнозернистые, часто глинистые с органическими остатками
	Олигоценые отложения туртасской свиты		Суглинок тяжелый, полутвердый с присыпками песка
	Олигоценые отложения атлым-новомихайловской свиты		Песок мелкий, кварцевый, влажный до водонасыщенного с прослойками глины тяжелой полутвердой
			Песок разнозернистый, кварцевый, водонасыщенный с примесью пылеватых частиц и гравийного материала
			Глина тяжелая, полутвердая с прослойками песка
			Глина тяжелая, плотная, полутвердая

3. Скважины

Горатской водозабор



Горатские котельные и КОС



пробных откачек и 5 опытных откачек, достаточно длительный цикл режимных наблюдений.

Годовой цикл режимных наблюдений за уровнями подземных вод в олигоцене и четвертичном водоносном горизонтах показал хронологическую синхронность изменения уровней в обоих горизонтах. Данное наблюдение однозначно показывало хорошую гидравлическую взаимосвязь водоносных комплексов. Несмотря на это, гидродинамические схемы, предусматривающие перетекание, не использовались должным образом, как на стадии определения параметров, так и при подсчёте запасов.

Дебиты откачек составляли от 9.5 до 21.6 л/с при понижениях уровня от 11 до 21.5 м, а удельные дебиты варьировали в пределах от 1.1 до 3.1 л/с · м, т.е. 95 – 268 м²/сутки. Следует отметить, что резкое несоответствие значений удельных дебитов и расчётных значений водопроницаемости (1100 м²/сутки) не стало предметом детального анализа.

В качестве наиболее представительной откачки можно рассматривать кустовую откачку из скважины 1н. Средний дебит откачки составил 21.6 л/с (1866 м³/сутки), а продолжительность – 5 суток. В качестве наблюдательных скважин использовались скважины 1р (расстояние – 62 м), 2н (128 м), 2рз (340 м). Максимальное понижение уровня на момент окончания откачки составило 11.55 м (в опытной скважине 1н).

Результаты опытной откачки представлены в форме временных и комбинированных графиков прослеживания уровня (рис. 4.2, рис. 4.3). Графики по скважинам имеют форму, характерную для откачек из горизонта с перетеканием из пласта с переменным-постоянным напором. Достаточно хорошо выражена стабилизация уровней по всем скважинам в конце откачки и характерный участок перегиба графиков. Отчётливо выражен участок графика, отражающий период изменения водоотдачи пласта. Соотношение понижений в точке перегиба первого периода откачки и этапа «ложной» стабилизации различаются практически ровно в 2 раза, что является диагностическим признаком правильной интерпретации временного графика

График комбинированного прослеживания показывает (рис. 4.3), что наблюдательные скважины располагаются в неоднородном водоносном горизонте. В качестве признака однородности, с теоретических позиций, можно рассматривать практическое совпадение графиков на начальном участке (до точки перегиба). В данном случае наблюдается существенное «разнесение» комбинированных графиков по скважинам 1р и 2рз, что однозначно указывает на значительную неоднородность по одному или двум гидродинамическим параметрам. В условиях существенной неоднородности недопустимо рассчитывать параметры на основании графика площадного прослеживания понижения, т.к. это приводит к грубым ошибкам в значениях параметров.

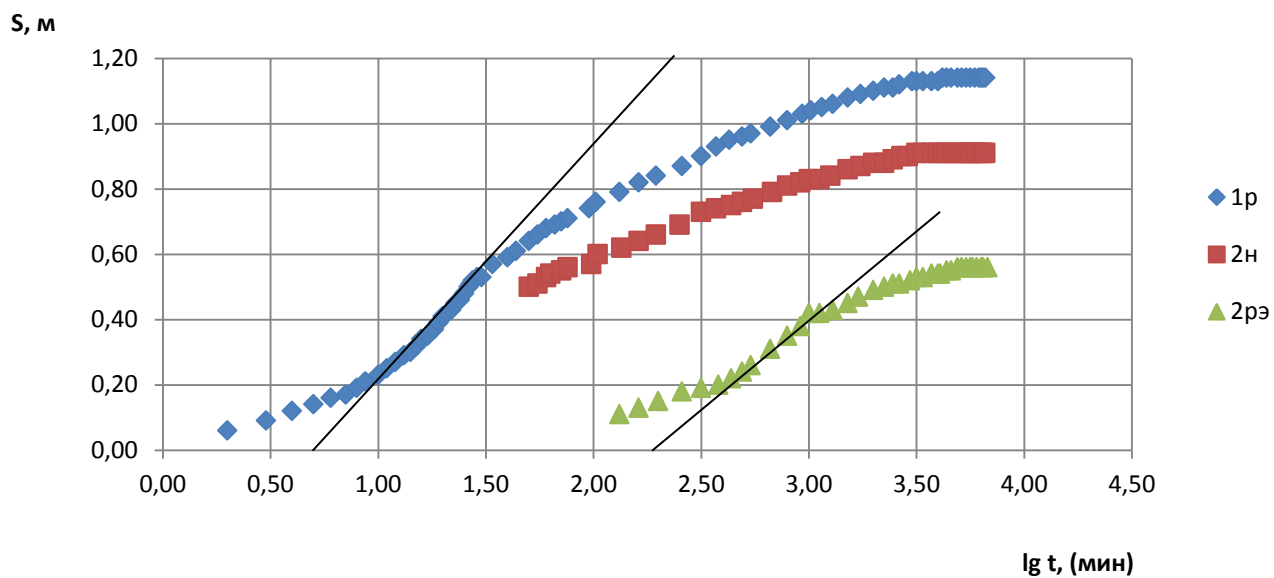


Рис.4.2. Временное прослеживание понижения уровня при откачке из скважины 1н; наблюдательные скважины 1р, 2н, 2рз

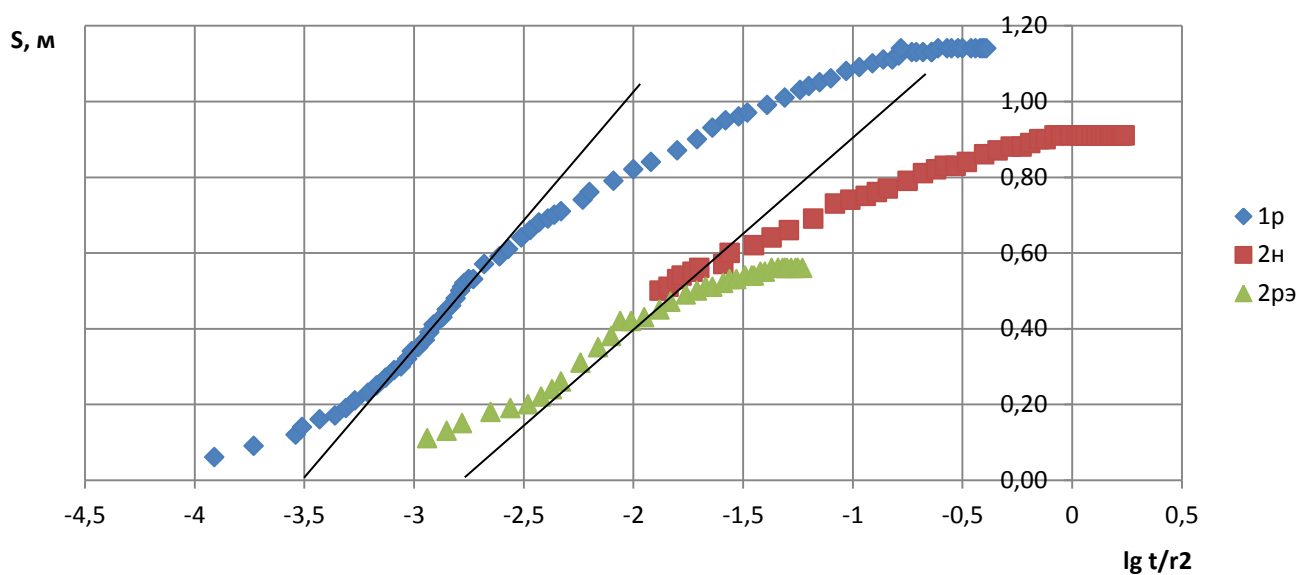


Рис. 4.3. Комбинированное прослеживание понижения уровня при откачке из скважины 1н; наблюдательные скважины 1р, 2н, 2рз

Гидродинамические параметры пласта рассчитаны на основании характеристик, снятых с временных графиков (рис. 4.2) по зависимостям, соответствующим данной гидродинамической схеме (3.10 – 3.14).

Таблица 4.1 – Результаты обработки данных откачки из скважины 1н

№ скв	г, м	$C_{п, м}$	$S_{п, м}$	$F(r/B)$	e^x	r/B	$B, м$	$T, м^2/сут$	$t_{п, мин}$	$a, м^2/сут$
1р	62	0.80	0.55	1.58	1.56	0.46	135	274	25	$2.41 \cdot 10^5$
2рэ	340	0.53	0.28	1.22	2.38	0.87	391	271	562	$1.71 \cdot 10^5$

Результаты расчётов показывают, что собственно водоносный горизонт достаточно однороден. На это указывают близкие значения параметров водопроводимости ($T_{ср} = 272 м^2/сут$) и пьезопроводности ($a_{ср} = 2.1 \cdot 10^5 м^2/сут$), рассчитанные по разным наблюдательным скважинам. Существенная неоднородность проявляется в значениях параметра перетекания (B), которая, вероятнее всего, связана с наличием литологического «окна» в центральной части куста скважин. Среднее значение параметра перетекания составляет 263 м. Следует отметить, что удельный дебит откачки составляет $162 м^2/сут$, т.е. соотношение значений водопроводимости и удельного дебита меньше двух (1.68).

Для оценки степени гидродинамического несовершенства опытной скважины рассчитаны значения необходимых показателей (табл. 4.3). Расчёты подтвердили, что опытная скважина 1 н характеризуется как условно совершенная.

Таблица 4.2 – Основные расчётные характеристики откачки из скважины 1н

$Q_c, м^3/сут$	$S_c, м$	$q, м^2/сут$	$S_{cc}, м$	ξ_{cc}	$\Delta S_{nc}, м$
1866	11.55	162	8.69	1.27	2.86

Таблица 4.3 – Основные показатели для оценки гидродинамического несовершенства скважин

S_c / S_{cc}	$\Delta S_{nc} / S_{cc}$	ξ	$lg(r_c/r'_c)$	$ln(r_c/r'_c)$
1.33	0.33	1.68	1.14	2.62

Необходимо отметить, что в период разведки и утверждения запасов подземных вод, пласт рассматривался как безграничный и изолированный. Такой подход привёл к значительным погрешностям в значениях расчётных параметров (табл. 4.4). Значение параметра водопроводимости было завышено 4 раза, коэффициента пьезопроводности – на порядок. Параметр перетекания не определялся.

Таблица 4.4 – Сравнение параметров и гидродинамической схемы пласта

Схема пласта	$T, \text{м}^2/\text{сут}$	$a, \text{м}^2/\text{сут}$	$B, \text{м}$
Безграничный изолированный	1100	$2.1 \cdot 10^6$	-
Перетекание из пласта с $H = \text{const}$	272	$2.1 \cdot 10^5$	263

Таким образом, результаты обработки данных откачки показали, что на месторождении реализуется схема водоносного горизонта с перетеканием из пласта с постоянным напором. Следует полагать, что водозабор весь период эксплуатации работает в стационарном режиме (наступление стабилизации при откачке – 2 суток). Расчётные гидрогеодинамические параметры пласта для анализа работы водозабора следует принимать: $T=272 \text{ м}^2/\text{сут}$, $a=2.1 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут}$, $B=263 \text{ м}$.

Необходимо отметить, что выявленная неоднородность водоносного пласта, и существенные погрешности в обработке данных, допущенные на стадии разведки, объективно отражают сложность гидрогеологических условий на этом месторождении.

4.2. Гидрогеодинамическая схематизация участка водозабора г. Губкинский

Детальная разведка пресных подземных вод на участке, предназначенном для организации водозабора, была закончена в 1988 г. Полевые работы проводились в 1986-1987 гг. В процессе разведки месторождения, утверждения запасов и проектирования водозабора месторождение называлось Тарасовским. Участок для разведки месторождения подземных вод был предложен генеральным проектировщиком г. Губкинский институтом СибЗНИИЭП. Разведочные работы проводились Нижневартонской разведочной партией Тюменской комплексной гидрогеологической экспедиции. Итоги работ изложены в отчёте [39].

Гидрогеологические условия месторождения, методика работ и основные результаты разведочных работ практически аналогичны сведениям по разведке водозабора г. Муравленко.

В качестве наиболее представительной откачки можно рассматривать кустовую откачку из скважины 1р (рис. 4.4). Средний дебит откачки составил 29.7 л/с ($2566 \text{ м}^3/\text{сутки}$), а продолжительность – 12 суток. В качестве наблюдательных скважин использовались скважины 2р (расстояние – 62 м), 2н (128 м), 2рэ (340 м). Максимальное понижение уровня на момент окончания откачки составило 34.25 м (в опытной скважине 1р), 1.14 м (1р), 0.92 м (2н), 0.56 м (2рэ). Стабилизация уровня в скважинах наступила после 2.5 суток.

Результаты опытной откачки представлены в форме временных графиков прослеживания уровня (рис. 4.5-4.6). Графики по скважинам имеют форму, характерную для откачек из горизонта с перетеканием из пласта с переменным-постоянным напором.

Достаточно хорошо выражена стабилизация уровней по всем скважинам в конце откачки и характерный участок перегиба графиков. Соотношение понижений в точках перегиба различаются практически ровно в 2 раза, что является диагностическим признаком правильной диагностики гидродинамической схемы.

В ближайшей наблюдательной скважине 5н на форме временного графика отразился период влияния ёмкости опытной скважины. График по скважине 5н, по причине значительного искажения, не обрабатывался.

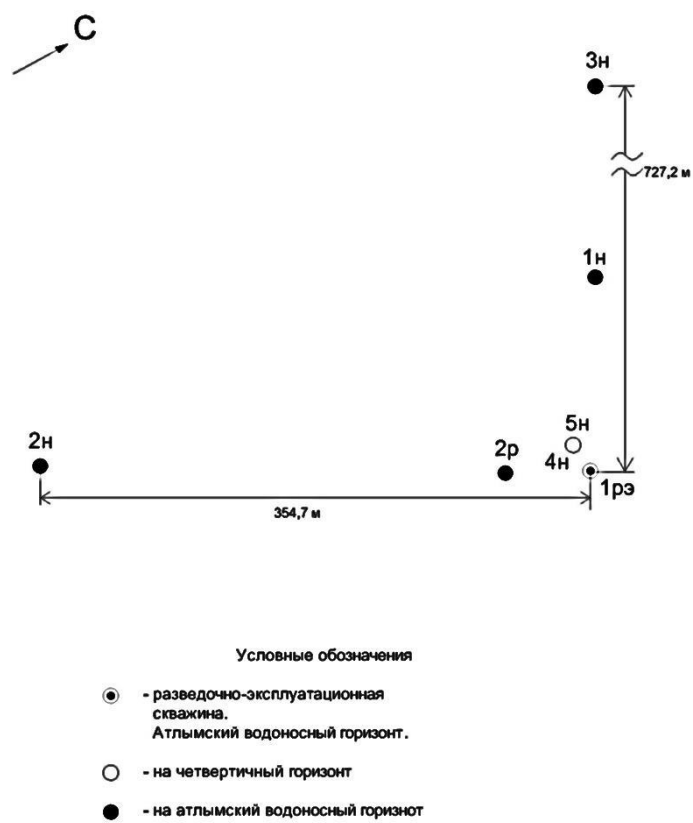
Гидродинамические параметры пласта рассчитаны на основании характеристик, снятых с временных графиков (табл. 4.5) по зависимостям, соответствующим данной гидродинамической схеме (3.10 – 3.14).

Таблица 4.5 – Результаты обработки данных откачки из скважины 1рэ

№ скв	г, м	C_n , м	S_n , м	$F(r/B)$	e^x	r/B	B_1 , м	T , м ² /сут	t_n , мин	a , м ² /сут
2р	56.9	0.38	0.38	2.27	1,18	0.16	356	1047	3.55	$4.11 \cdot 10^6$
1н	128	0.28	0.20	1.64	1.52	0.4	320	1103	16.6	$1.78 \cdot 10^6$
2н	355	0.19	0.10	1.21	2.33	0.87	408	1061	158	$6.58 \cdot 10^5$

Кроме обработки и построения графика временного прослеживания понижения по данным откачки из скважины 1рэ, приведен график, построенный в комбинированных координатах (S от $\lg t/r^2$). Этот график демонстрирует, что в условиях пласта с перетеканием и при наличии неоднородности пласта, указанные координаты не дают преимущества для определения гидродинамических параметров. Основное преимущество этого графика заключается в том, что наглядно демонстрируется неоднородность пласта.

Результаты расчётов показывают, что водоносный горизонт можно характеризовать как умеренно неоднородный. На это указывает небольшой разброс значений коэффициента пьезопроводности и параметра перетекания, при практически одинаковом значении параметра водопроводимости.



М 1 : 50 000

Рис. 4.4. Схема куста скважин. Разведка водозабора г. Губкинский

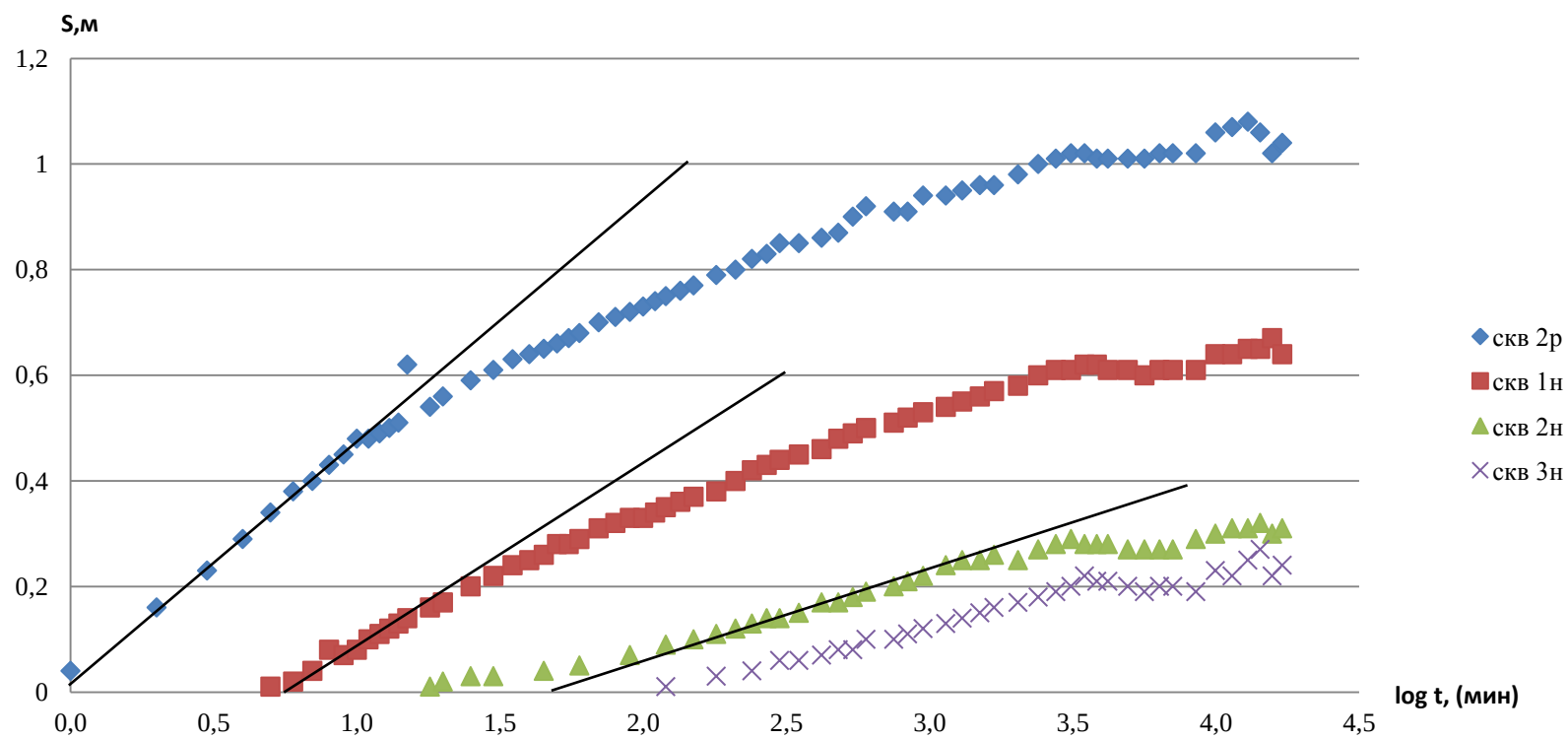


Рис. 4.5. Откачка из скважины 1 рэ. Наблюдения в скважинах 2р, 1н, 2н, 3н. Губкинский

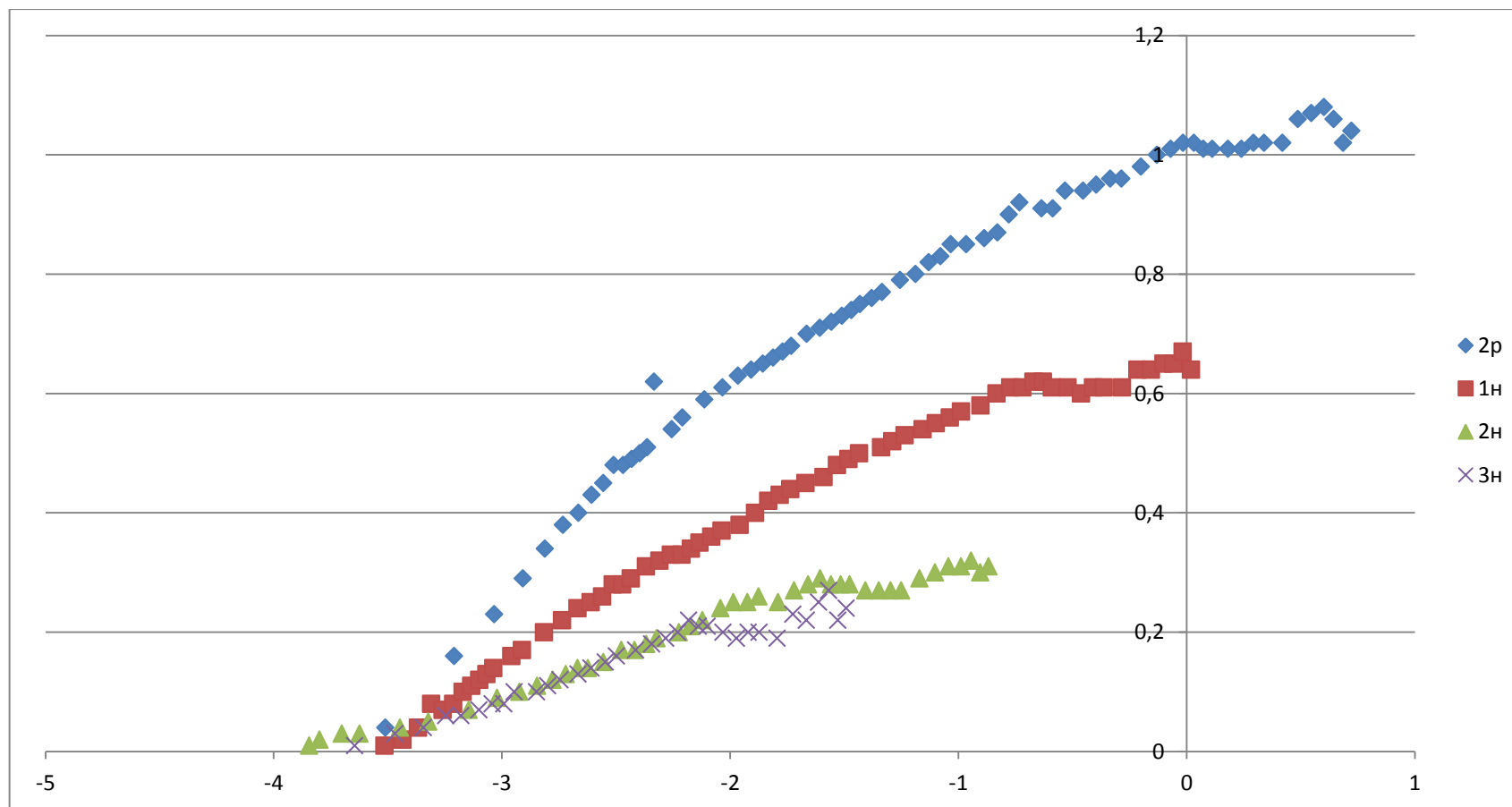


Рис. 4.6. Откачка из 1 рэ. Наблюдательные 2р, 1н, 2н, 3н (Губкинский). Зависимость $S - \lg t/r^2$

Значения гидродинамических параметров позволяют считать, что рассматриваемый горизонт, на данном участке, отличается высокими фильтрационными свойствами (табл. 4.6).

Таблица 4.6 – Основные расчётные характеристики откачки из скважины 1рэ

Q_c , $\text{м}^3/\text{сут}$	S_c , м	q , $\text{м}^2/\text{сут}$	T , $\text{м}^2/\text{сут}$	B_1 , м	a , $\text{м}^2/\text{сут}$
2566	34.25	75	1070	361	$1.69 \cdot 10^6$

В скважине 2р была выполнена кустовая откачка с наблюдениями в скважинах 1рэ, 4н и 5н (рис. 4.7). Важная особенность этой откачки состоит в том, что производились детальные наблюдения в скважине 4н, вскрывшей четвертичный водоносный горизонт. На графике хорошо видно, что реакция наблюдательной скважины 4н началась через 15 минут после начала откачки. К концу откачки понижение уровня в этой скважине составило 0,18 м. Эти данные свидетельствуют о высокой степени взаимосвязи основного водоносного пласта и четвертичного водоносного горизонта. Водоупор между указанными горизонтами следует рассматривать как относительный, и характеризовать как относительный водоупор, имеющий значительные фильтрационные свойства.

Обработка данных по скважине 1 рэ, при откачке из скважины 2р, показала, что основные гидродинамические параметры получаются практически одинаковыми. Это положение можно было ожидать, т.к. скважины расположены относительно близко друг от друга. При этом следует отметить, что параметр перетекания B_1 имеет несколько меньшее значение по сравнению с величиной параметра B_1 при откачке из скважины 1рэ.

Таблица 4.7 – Результаты обработки данных откачки из скважины 2р

№ скв	r , м	C_n , м	S_n , м	$F(r/B)$	e^x	r/B	B_1 , м	T , $\text{м}^2/\text{сут}$	t_n , мин	a , $\text{м}^2/\text{сут}$
1рэ	56.9	0.20	0.185	2.13	1.22	0.2	285	1050	5.62	$2.08 \cdot 10^6$

Результаты откачек из скважин 1рэ и 2р свидетельствуют, что в рассматриваемых условиях реализуется схема пласта с перетеканием из водоносного горизонта с переменным-постоянным напором (схема 3). На графиках хорошо видны этапы неквазистационарного режима, ложной стабилизации и переход к окончательной стабилизации уровней в наблюдательных скважинах. Этап «квазистационарного режима» практически не выражен.

Результаты обработки данных окончательной стабилизации откачек из скважин 1рэ и 2р показывают существенную неоднородность в разделяющем и питающем водоносном горизонте. Неоднородность разделяющего горизонта проявляется в значении параметра перетекания B_2 . По данным откачки из скважины 1рэ этот параметр можно считать практически одинаковым. По данным откачки из 2р (наблюдения в 1рэ) параметр перетекания B_2 (B_{oc}) значительно меньше.

Таблица 4.8 – Результаты обработки данных окончательной стабилизации откачек из скважин 1рэ и 2р

№ набл. скв	S_{oc} , м	$K_o(r/B)$	r/B	B_2 , м
2р	1.05	2.27	0.075	760
1н	0.65	1.64	0.20	640
2н	0.31	1.21	0.55	645
1рэ	0.44	2.07	0.16	356

Рассчитанные значения гидродинамических параметров относительно мало отличаются от значений, представленных в отчёте по поисково-разведочным работам, хотя в отчёте обработка данных была выполнена на основе схемы безграничного пласта. Хорошее соответствие объясняется, в первую очередь, высоким значением параметра перетекания. Существенные погрешности в расчётах, если использовать зависимости для схемы безграничного пласта, проявляются при r/B больше 0.3. Расчёты выполнялись по скважинам 2р и 1н, для которых указанное условие выполняется.

В качестве особенности рассматриваемой откачки следует отметить, что удельный дебит откачки составляет $75 \text{ м}^3/\text{сут}$, т.е. соотношение значений водопроводимости и удельного дебита очень большое.

Для оценки степени гидродинамического несовершенства опытной скважины 1рэ рассчитаны значения необходимых показателей (табл. 4.9). Расчёты подтвердили, что опытная скважина 1рэ характеризуется как исключительно несовершенная. Такая «сверх исключительная» степень гидродинамического несовершенства опытной скважины указывает на очень большие погрешности, допущенные на этапах бурения, оборудования или освоения скважины. С высокой степенью несовершенства опытной скважины связана значительная длительность влияния ёмкости скважины на форму временных графиков, которая затруднила интерпретацию данных по скважине 5н.

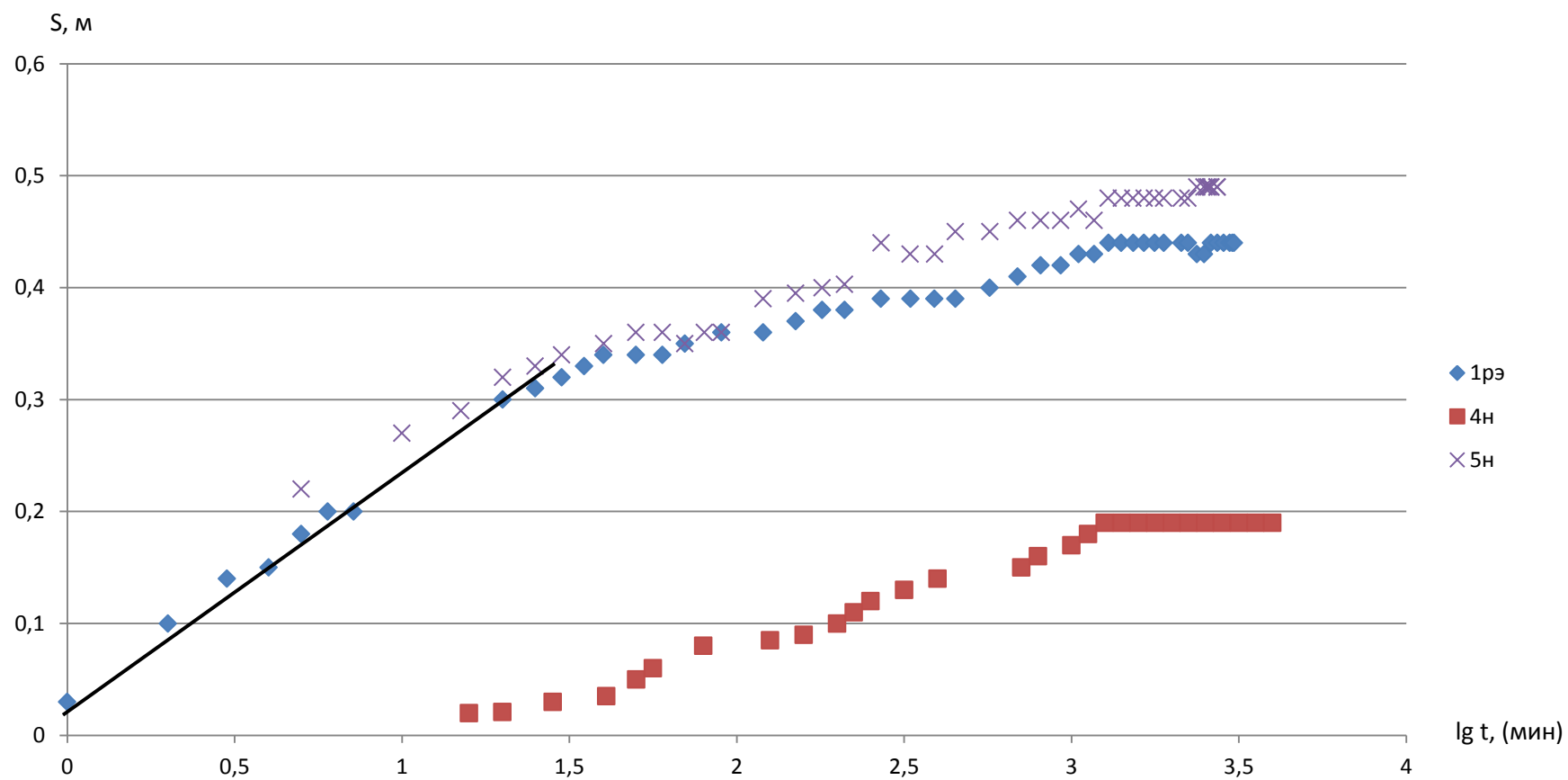


Рис. 4.7. Откачка из скважины 2р. Наблюдения в скважинах 1рэ, 4н, 5н

Таблица 4.9 – Основные показатели для оценки гидродинамического несовершенства скважин

S_{cc} , м	ξ_{cc}	ΔS_{nc} , м	S_c / S_{cc}	$\Delta S_{nc} / S_{cc}$	ξ	$\lg(r_c/r'_c)$
3.25	1.38	31.0	10.54	9.54	14.6	35.95

Результаты обработки данных откачки показали, что на месторождении реализуется схема водоносного горизонта с перетеканием из пласта с переменным постоянным напором. Следует полагать, что водозабор весь период эксплуатации работает в стационарном режиме (наступление стабилизации при откачке – 2.5 суток). Расчётные гидрогеодинамические параметры пласта для анализа работы водозабора следует принимать: $T=1060 \text{ м}^2/\text{сут}$, $a=1.9 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{сут}$, $B=600 \text{ м}$.

4.3. Гидрогеодинамическая схематизация участка водозабора г. Лангепас

Предварительная разведка Лангепасского месторождения пресных подземных вод выполнялась в 1983-84 гг. силами Нижневартовской гидрогеологической партии Тюменской КГРЭ. Работы проводились на правом берегу реки Оби в радиусе 10 км от проектируемого п. Лангепас. Основными видами работ явились: рекогносцировочное обследование, буровые работы, опытно-фильтрационные работы, геофизические исследования, режимные наблюдения и топографо-геодезические работы. В качестве наиболее перспективного был выбран водоносный горизонт отложений атлымской свиты. По результатам работ для детальной разведки был предложен участок, расположенный в 2,5 км восточнее проектируемого пос. Лангепас.

Детальная разведка проводилась с апреля по ноябрь 1984 года. По результатам проведенных исследований был произведен подсчет эксплуатационных запасов подземных вод [3]. На тот момент по району работ ГКЗ СССР и ТКЗ Главтюменьгеологии были разведаны и утверждены запасы по Сургутскому, Нижневартовскому, Мегионскому, Покачевскому и Новоаганскому месторождениям.

Для оценки гидрогеологических параметров целевого атлымского водоносного горизонта при выполнении работ по переоценке запасов Лангепасского МППВ по участку водозабора ВОС-8000 использованы результаты собственных исследований на основании проведенных опытно-фильтрационных работ, данных режимных наблюдений, а также пересмотренные материалы опытных откачек периода детальной разведки месторождения.

Работы, выполненные Нижневартонской гидрогеологической партией, включали в себя значительный объем гидрогеологических исследований. В пределах участка месторождения четвертичный горизонт был опробован двумя откачками с дебитами 5,1 и 4,3 л/с (440,6 и 371,5 м³/сут) при понижениях 20,7 и 8,7 м. Удельные дебиты составили 0,2 и 0,5 л/с/м (17,3 и 43,2 м²/сут). Атлымский водоносный горизонт был опробован девятью откачками с дебитами от 9,4 до 20 л/с (от 812,2 до 1728 м³/сут) при понижениях 26,8 – 11,8 м. Удельные дебиты составили 0,4 и 2 л/(с·м) (34,6 и 172,8 м²/сут). Пробные откачки проводились при постоянном дебите на одно максимальное понижение, продолжительность откачек составляла 1–2 суток. Восстановление уровня происходило в течение 0,06–0,67 суток.

В пределах участка детальной разведки оцениваемый атлымский водоносный горизонт был опробован шестью пробными и одной опытной кустовой откачкой. Дебиты откачек составляли от 13 до 25 л/с (от 1123 до 2160 м³/сут) при понижениях 19,7 – 12,7 м. Удельные дебиты откачек составили 0,66–2,5 л/(с·м) (57–216 м²/сут). Продолжительность откачек составляла 1,9–2,3 суток. Восстановление уровня происходило за 0,29–0,92 суток.

На участке детальной разведки была выполнена кустовая откачка, продолжавшаяся 19 суток с 23.10 по 12.11.1984 г. Откачка проводилась возрастанием дебита от 21 до 26 л/с (рис. 4.8). Продолжительность ступеней составляла 2,8–6,5 суток. Понижение в центральной скважине, на момент окончания откачки, составило 16,46 м, в ближайшей наблюдательной 4Р₃ – 0,77 м, в удаленных скважинах 2 рэ и 4 рэ – 0,41 м.

Обработка результатов откачек проводилась методами Джейкоба, Тейса и Хорнера. Гидрогеологические параметры пласта определялись, в основном, по данным восстановления уровня. При подсчете запасов подземных вод по результатам детальной разведки были приняты следующие значения гидродинамических параметров: коэффициент водопроницаемости $T = 2770 \text{ м}^2/\text{сут}$, коэффициент пьезопроводности $a = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сут}$.

Необходимо подчеркнуть, что авторы отчета по детальной разведке Лангепасского месторождения пресных подземных вод считали, что питание оцениваемого атлымского горизонта происходит, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков в результате поглощения поверхностного стока водотоков и окружающих водоемов, а также путем перетекания из вышележащих горизонтов через слабопроницаемые слои благодаря разнице напоров. При этом, ссылаясь на недостаток данных, устанавливающих характер связи подземных вод оцениваемого горизонта с поверхностными и подземными водами

смежных горизонтов, ими все же была принята «жесткая» расчетная схема напорного безграничного в плане пласта, изолированного сверху и снизу водоупорами.

При этом гидрогеологи Нижневартовской ГПП при оценке запасов подземных вод в 1985 г. не исключали, что в процессе эксплуатации водозабора ВОС-8000 перетекание из вышележащих горизонтов и водотоков будет возрастать, и этот фактор будет играть существенную роль в пополнении запасов оцениваемого горизонта. Авторы отчета 1985 года совершенно справедливо отмечали, что наиболее надежным способом уточнения граничных условий будет являться опыт его эксплуатации [3].

Как неоднократно упоминалось выше, 25-летний опыт эксплуатации водозабора ВОС-8000, а также опыт эксплуатации абсолютного большинства подземных водозаборов Западной Сибири, показывает, что при водоотборе из атлымского водоносного горизонта реализуется схема условно однородного безграничного в плане пласта с перетеканием. В свою очередь, применение модели Хантуша накладывает ряд ограничений на методику интерпретации данных опытных откачек (см. раздел 3).

Для обоснования действующих значений параметров по участку водозабора ВОЗ-8000 была выполнена повторная обработка основных опытно-фильтрационных работ периода детальных работ. В качестве основного опыта рассмотрены данные по откачке из скв. 1 рэ продолжительностью 19 суток. Откачка обработана как типовой случай реализации схемы пласта с перетеканием. На графике выделяются несколько этапов: этап «неквазистационарного» режима, этап «ложной» стабилизации (рис.4.9, рис 4.10), а также этап «квазистационарного» режима.

Таблица 4.10 – Результаты интерпретации данных опытной откачки.

I этап «Неквазистационарный»

№ скв.	$S_{п}, м$	e^x	$r, м$	$C_{п}$	r/B	$t_{п}, мин$	$T, м^2/сут$	$B, м$	$a, м^2/сут$
4 Р ₃	0,23	1,17	37	0,23	0,17	13	1280	219	$4,46 \cdot 10^5$
2н	0,16	1,32	119	0,205	0,285	40	1285	418	$8,98 \cdot 10^5$
1н, 3 рэ	0,12	1,62	234	0,18	0,49	63	1192	477	$1,27 \cdot 10^6$
2 рэ, 4 рэ	0,075	2,15	440	0,135	0,77	112	1198	572	$1,62 \cdot 10^6$

При обработке графика на этапе «неквазистационарного» режима по временным зависимостям для различных скважин фиксируются значения понижения уровня в точках перегиба (табл. 4.10). Расчётные прямые проводятся в точках перегиба. Расчеты показали,

что среднее значение параметра водопроницаемости составляет $1216 \text{ м}^2/\text{сут}$. Величина параметра перетекания укладывается в диапазон от 219 до 570 м.

Этап ложной стабилизации выражен довольно слабо и имеет существенный уклон графика. В этом случае, в полном соответствии с теоретическими разработками, термин «ложная стабилизация» можно рассматривать как не очень удачный.

На этапе «квазистационарного» режима (рис. 4.10, табл.4.11) был получен коэффициент водопроницаемости такой же как и на первом этапе ($1216 \text{ м}^2/\text{сут}$). Значения коэффициента проницаемости (уровнепроницаемости) отражают неоднородность пласта. Коэффициент увеличивается от ближних наблюдательных скважин к дальним скважинам. Для ближних скважин значения водоотдачи отражают участие гравитационной водоотдачи в питании откачки (табл.4.11).

Таблица 4.11 – Результаты интерпретации данных откачки.

II этап «Квазистационарный»

№ скв	C	T, $\text{м}^2/\text{сут}$	r, м	a, $\text{м}^2/\text{сут}$	μ
4 P _з	0,31	1216	37	$2,14 \cdot 10^4$	0,06
2н			119	$7,59 \cdot 10^4$	0,016
1н 3рэ			243	$1,39 \cdot 10^5$	0,0087
2рэ 4рэ			440	$2,78 \cdot 10^5$	0,0044

Неоднородность пласта проявилась на всех этапах откачки. В качестве достоверных параметров пласта принимаются значения, полученные по скважине 4P_з.

Для устранения влияния переменного дебита (рис. 4.11) была построена зависимость S/Q от $\lg t$. Отработка этапа полной стабилизации позволила получить, что параметр перетекания на этапе окончательной стабилизации составляет 375 м. Стабилизация наступила после 2,2 суток проведения откачки и продолжалась до окончания откачки. Небольшие колебания отношения S/Q отражают изменение дебита (рис.4.11).

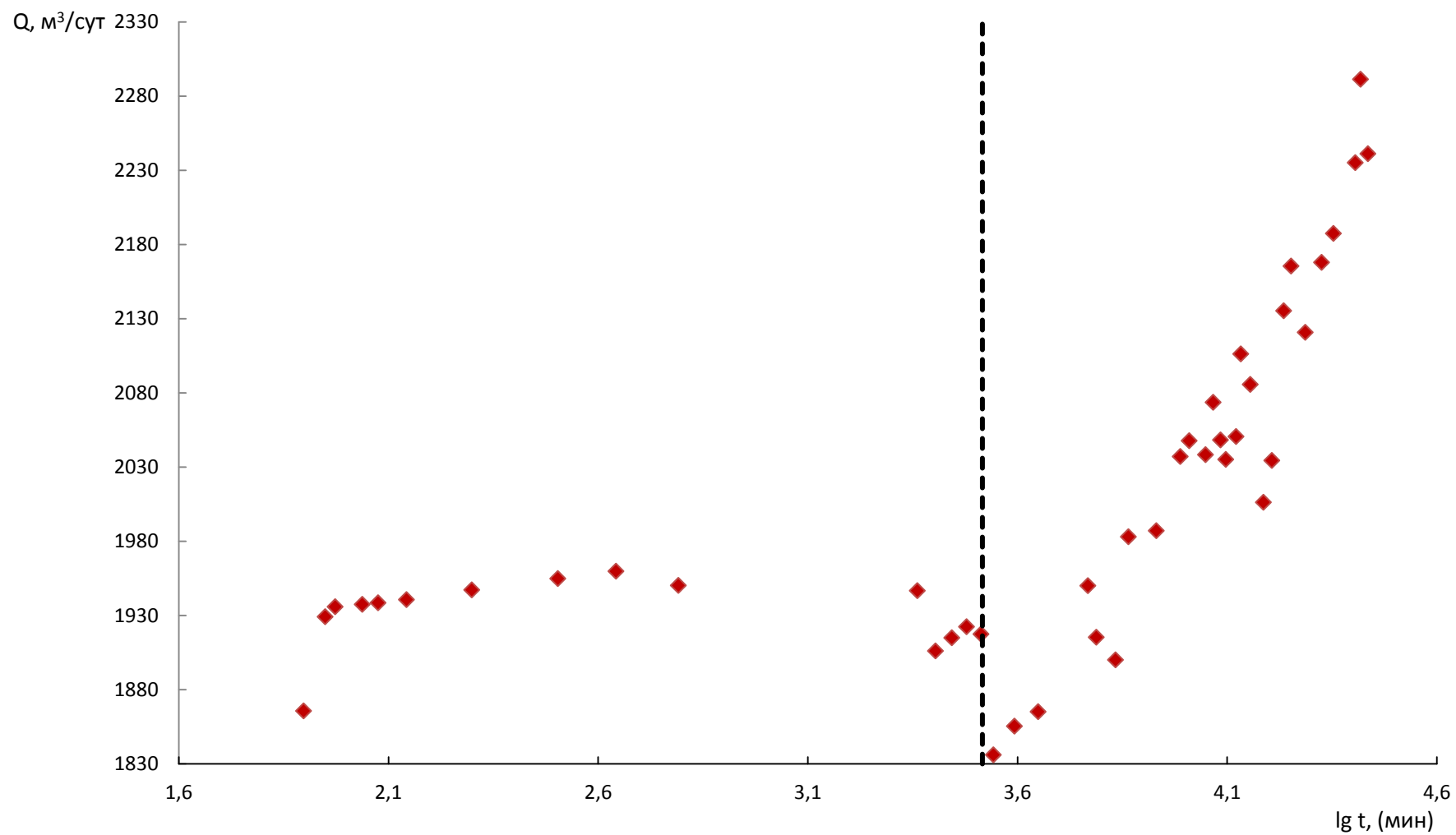


Рис. 4.8. Изменение дебита в процессе откачки из скв. 1 рэ. Разведка водозабора г. Лангепас

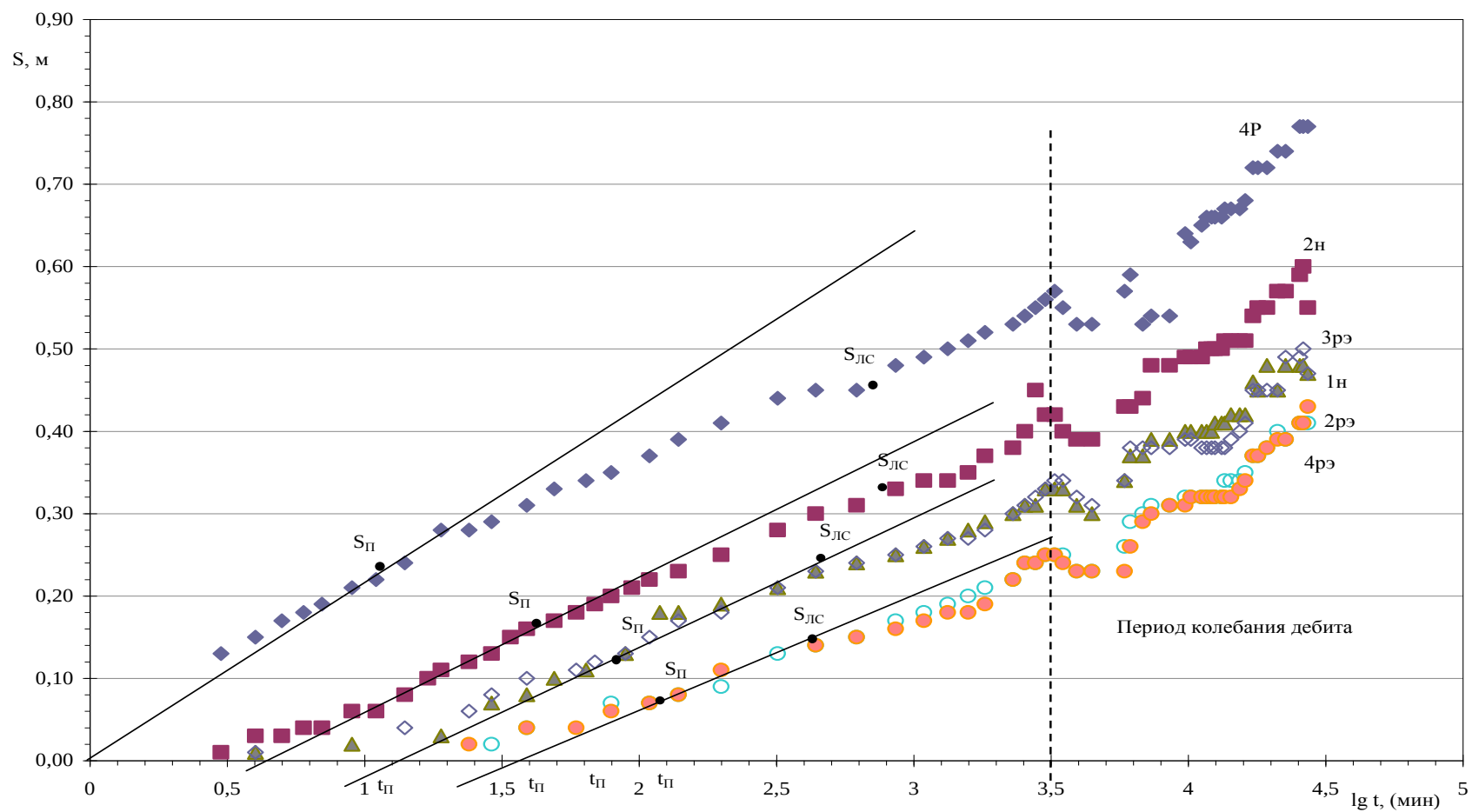


Рис. 4.9. Зависимость S от $\lg t$ при обработке «неквазистационарного» этапа. Откачка из скв. 1 рэ г. Лангепас. $Q = 1900 \text{ м}^3/\text{сут}$

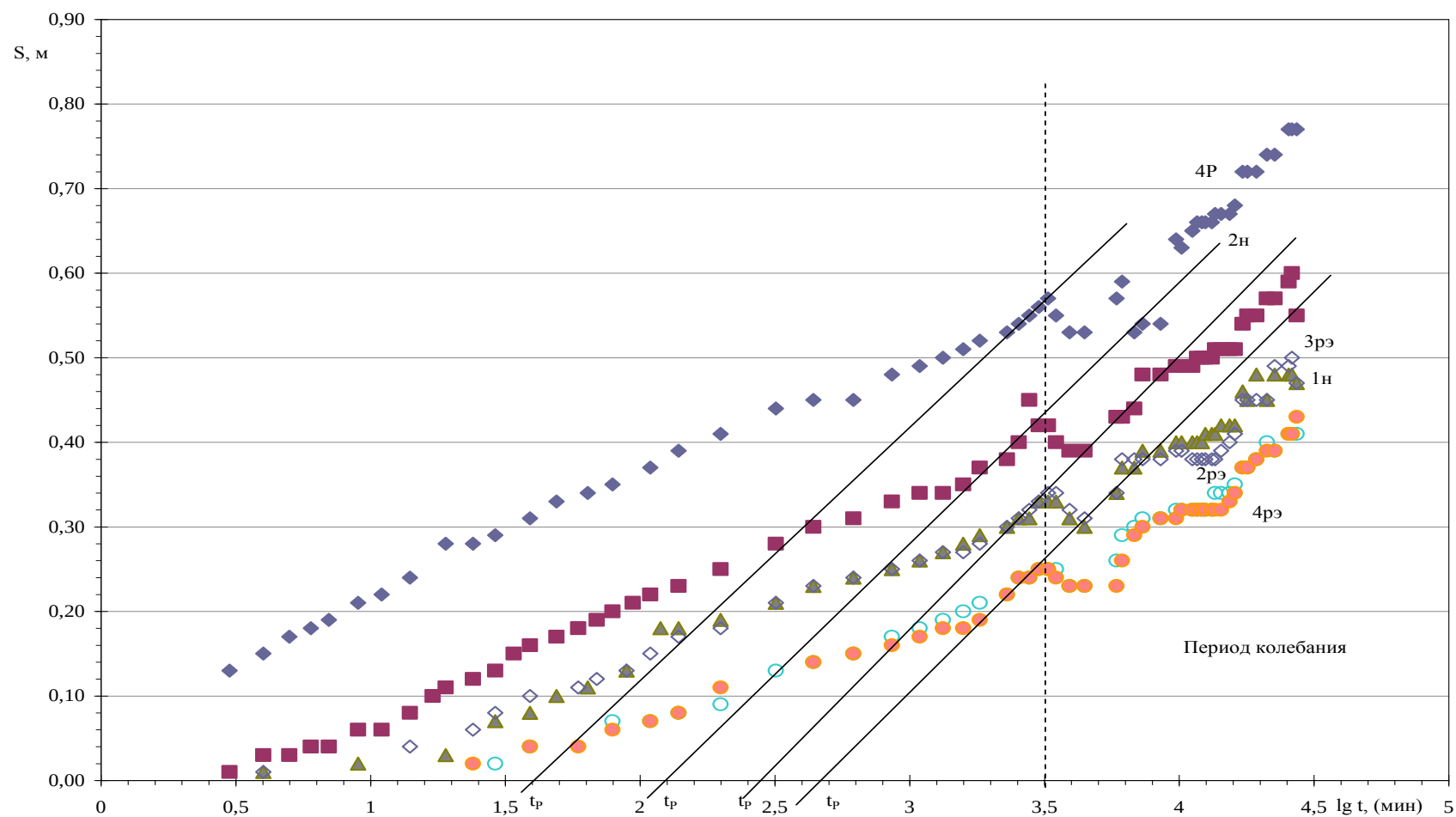


Рис. 4.10. Зависимость S от $\lg t$ при обработке «квазистационарного» этапа. Откачка из скв. 1 рэ г. Лангепас. $Q = 1900 \text{ м}^3/\text{сут}$

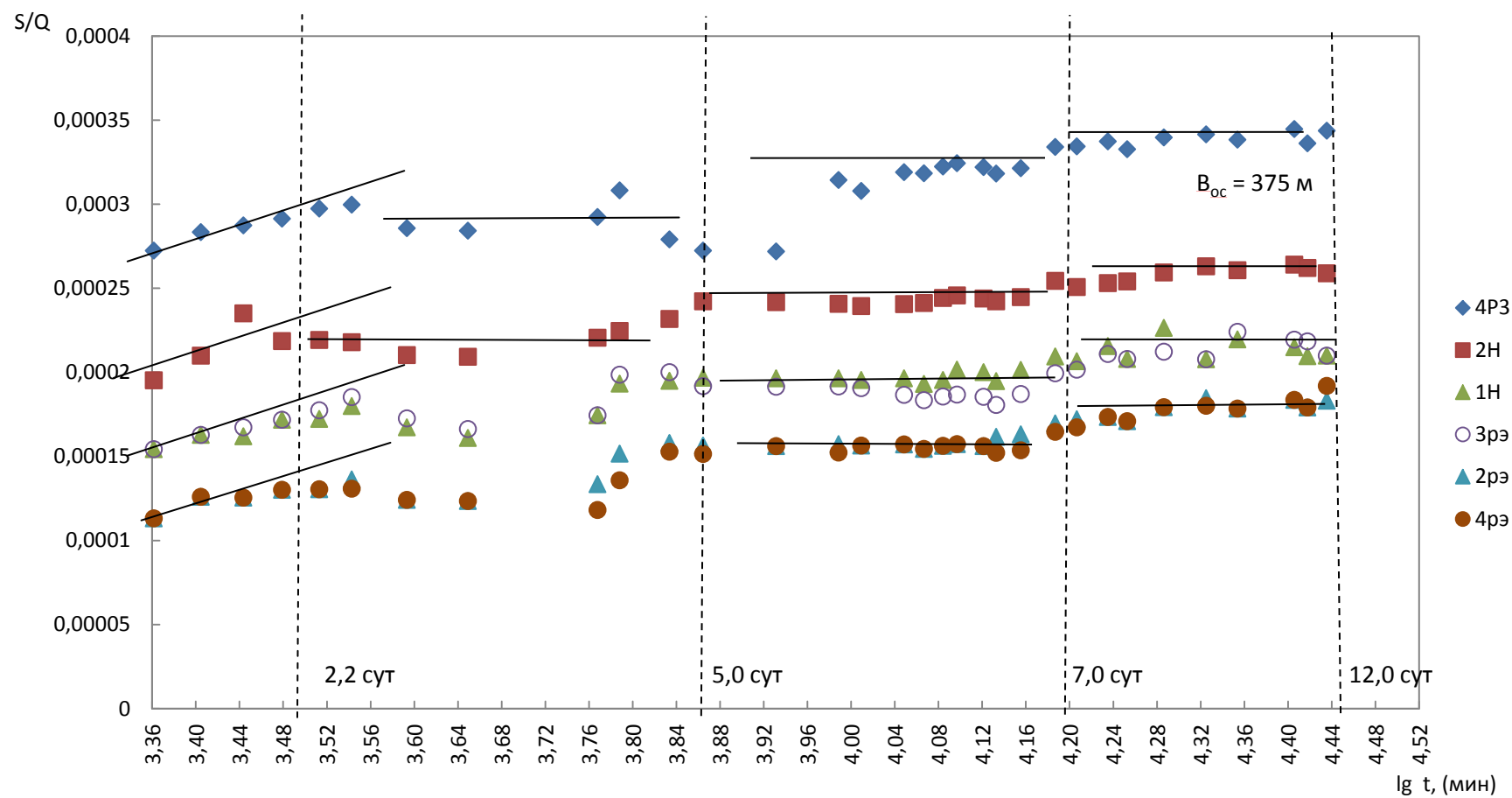


Рис. 4.11. Зависимость S/Q от $\lg t$. Откачка из скв. 1 рэ. Разведка водозабора г. Лангепас

В результате обработки кустовых откачек из скважин 1рэ, 2рэ и 4рэ были получены доказательства изменчивости фильтрационных свойств пласта на территории водозабора.

Скважины 2рэ и 4 рэ располагаются на одинаковом расстоянии (440 м) от скважины 1 рэ, но по разным лучам. Очевидно, что водопроницаемость пласта по территории водозабора изменяется в 2-3 раза (табл.4.12). Средние значения параметров составляют: $T=831 \text{ м}^2/\text{сут}$, $a=2,83 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут}$, $B=362 \text{ м}$.

Таблица 4.12 – Результаты откачек из скв. 1 рэ, 2 рэ, 4 рэ

№ скв.	г, м	$T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$a, \text{ м}^2/\text{сут}$	$B_{oc}, \text{ м}$
1 рэ	-	1216	$2,9 \cdot 10^5$	375
4 Р ₃	37	1218	-	-
2 рэ	440	483	$2,0 \cdot 10^5$	316
4 рэ	440	794	$3,6 \cdot 10^5$	396

В целом следует отметить, что откачки, выполненные на территории водозабора г. Лангепас, отражают проявление схемы «откачка из пласта с перетеканием из водоносного горизонта с переменным-постоянным напором». На этом месторождении хорошо определяются значения коэффициента гравитационной водоотдачи, что свидетельствует о питании основного пласта из четвертичного водоносного горизонта. Процесс перетекания на этапе «квазистационарного» режима сопровождается снижением уровня в четвертичном водоносном горизонте.

4.4. Гидрогеодинамическая схематизация участка водозабора КНС –2

Южно-Харампурского месторождения

Водозабор КНС-2 обеспечивает систему ППД на Южно-Харампурском месторождении. Первая очередь водозабора состояла из 10 скважин, которые были пробурены ЗАО "Недра" в 1995 г. Эксплуатационные запасы этого водозабора были утверждены в количестве 5 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$ по категории C_1 и 50 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$ по категории Р [41, 95, 98].

Для целей производственно-технического водоснабжения системы поддержания пластового давления (ППД) НГДП «Харампурнефть» возникла необходимость увеличения добычи подземных вод на водозаборе КНС-2 до 15000 $\text{м}^3/\text{сутки}$. Для расширения

водозабора в 2001 – 2002 гг были пробурены и опробованы 10 новых скважин. В настоящее время водозабор КНС-2 состоит из 20 скважин (рис. 4.12). Для определения основных параметров водоносного горизонта все новые эксплуатационные скважины опробованы отдельными откачками. Суммарный дебит всех откачек составил $314 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($7536 \text{ м}^3/\text{сутки}$). Средний дебит одной скважины – $31.4 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($753.6 \text{ м}^3/\text{сутки}$). При среднем понижении в скважинах 12.46 м, средний удельный дебит при опробовании эксплуатационных скважин составил $60.5 \text{ м}^2/\text{сут}$. Детальные измерения уровней при откачках были выполнены в скважинах № 12 и №19. В отчёте ЗАО «Неолит» имеются данные по кустовой откачке, выполненной в 2002 г с использованием скважин водозабора [94].

Тщательная интерпретация данных одиночных опробований позволила рассчитать значения практически всех необходимых параметров. Обработка данных одиночных откачек в рассматриваемых условиях выполнена с учетом необходимых критериев и гидродинамических особенностей. Результаты обработки представлены в табл. 4.13.

Таблица 4.13 – Результаты обработки пробных откачек из скв. 12 и 19

№ скв	Q, $\text{м}^3/\text{сут}$	S, м	q, $\text{м}^2/\text{сут}$	T, $\text{м}^2/\text{сут}$	ξ	$\Delta S_{\text{нс}}$, м	$\lg(r_c/r'_c)$
12	624	13.0	48	215	4.5	8.19	7.10
19	624	8.0	78	215	2.8	3.03	2.85

Следует отметить, что в скважине № 12 дополнительное понижение, отражающее гидродинамическое несовершенство скважин, составило больше половины суммарного понижения. Соответственно, по показателю гидродинамического совершенства, эту скважину следует рассматривать как «весьма несовершенную». В этом случае коэффициент ξ , отражающий связь значений водопроводимости (T) и удельного дебита (q) имеет аномально высокое значение, которое встречается относительно редко.

В скважине № 19 дополнительное понижение, отражающее гидродинамическое несовершенство скважин, составило меньше половины суммарного понижения. Соответственно, по показателю гидродинамического совершенства, эту скважину следует рассматривать как «условно совершенную». Среднее значение коэффициента ξ , по скважинам №№ 11 – 20 составило 3.6. Это значение позволяет считать, что на период окончания бурения, в основном, скважины водозабора можно рассматривать как умеренно несовершенные». Одновременно необходимо учитывать, что каждая отдельная скважина может иметь различную степень гидродинамического несовершенства.



Рис. 4.12 Литологический разрез и конструкция скважин водозабора КНС-2

Летом 2002 г ЗАО «Неолит» выполнило на водозаборе кустовую откачку длительностью 15 суток. Для уточнения значений гидродинамических параметров выполнена новая обработка данных кустовой откачки из скв. 7/5. Результаты опытной откачки представлены в форме временных графиков прослеживания уровня (рис. 4.13). Графики по наблюдательным скважинам имеют форму, характерную для откачек из горизонта с перетеканием из пласта с постоянным напором. Стабилизация уровней в скважинах наступила после 2.5 суток откачки и прослежена до конца откачки в течение почти 13 суток. На графиках выявляется характерный участок перегиба. Соотношение понижений в точке перегиба и при окончательной стабилизации различаются практически ровно в 2 раза, что является диагностическим признаком жёсткого режима перетекания.

Гидродинамические параметры пласта рассчитаны на основании характеристик, снятых с временных графиков (рис. 4.13, табл. 4.14) по зависимостям, соответствующим данной гидродинамической схеме (3.10 – 3.14).

Таблица 4.14 – Результаты обработки данных откачки из скважины 7/5

№ скв	г, м	$C_{п, м}$	$S_{п, м}$	$F(r/B)$	e^x	r/B	$B, м$	$T, м^2/сут$	$t_{п, ч}$	$a, м^2/сут$
10/5	97.7	0,60	0,405	1,55	1,61	0,47	208	237	2.5	$9,75 \cdot 10^4$
2/5	186	0,49	0,255	1,20	2,46	0,90	207	190	5.30	$8,73 \cdot 10^4$

Результаты расчётов показывают, что собственно водоносный горизонт достаточно однороден. На это указывают близкие значения параметров водопроводимости ($T_{ср} = 214 м^2/сут$), параметра перетекания (B) и пьезопроводности, рассчитанные по разным наблюдательным скважинам. Следует отметить, что соотношение значений водопроводимости и удельного дебита (ξ), составляет приемлемую величину (3.5), а опытную скважину можно рассматривать как «умеренно несовершенную».

Таким образом, результаты обработки данных кустовой откачки показали, что на месторождении реализуется схема водоносного горизонта с перетеканием из пласта с постоянным напором. Расчётные гидрогеодинамические параметры пласта для анализа работы водозабора следует принимать: $T=214 м^2/сут$, $a=9.3 \cdot 10^4 м^2/сут$, $B=208 м$.

4.5. Гидрогеодинамическая схематизация участка водозабора КНС–3 Южно-Харампурского месторождения

Водозабор располагается в 5 км юго-западнее озёра Няхарто, в 10 км на запад от водозабора протекает р. Харампур, в 1 км южнее водозабор огибает р. Ябтаяха (рис. 4.14 – рис. 4.15). На запад от водозабора, в 1 км от центра водозабора, располагается куст № 43 нефтяных скважин. На северо-запад, в 6 км, располагается водозабор КНС-2 (рис. 4.14).

Скважины водозабора располагаются в 4 ряда, которые параллельны друг другу и имеют северо-западную ориентировку (рис. 4.15). Расстояние между скважинами составляют 100 м (в ряду). Между крайними рядами расстояние равно 100 м, между средними рядами – 260 м.

Все скважины водозабора имеют практически одинаковую глубину (120 м). Интервал глубин, на которых вскрыт первый от поверхности водоносный горизонт, по различным скважинам существенно варьирует от 59 – 62 м, до 61 – 75 м. Мощность первого горизонта изменяется от 3 до 12 м. Эти данные показывают, что гидрогеологический разрез заметно меняется по площади водозабора.

Интервал глубин, на которых вскрыт основной водоносный горизонт, в отличие от первого от поверхности водоносного горизонта, характеризуется как довольно устойчивый. Средний интервал глубин составляет 80 – 118 м, с вариациями по различным скважинам в несколько метров. Мощность основного горизонта изменяется от 34 до 40 м. Эти данные показывают, что основной горизонт имеет достаточно хорошую выдержанность на рассматриваемой территории. Это позволяет считать, что вскрытый разрез благоприятен для добычи подземных вод. Средняя длина фильтра составляет 27 м, и вскрывает более 70 % мощности основного водоносного горизонта.

Можно ожидать, что дополнительное понижение уровня в эксплуатационных скважинах, за счёт несовершенства вскрытия водоносного горизонта, будет составлять относительно небольшие величины.

Дебит пробных откачек из скважин показал, что скважины способны обеспечить расход, превышающий планируемый дебит эксплуатационных скважин при относительно небольших понижениях. В целом следует полагать, что данные бурения, документации и опробования скважин, позволяют считать водозаборный участок благоприятным для эксплуатации.

,

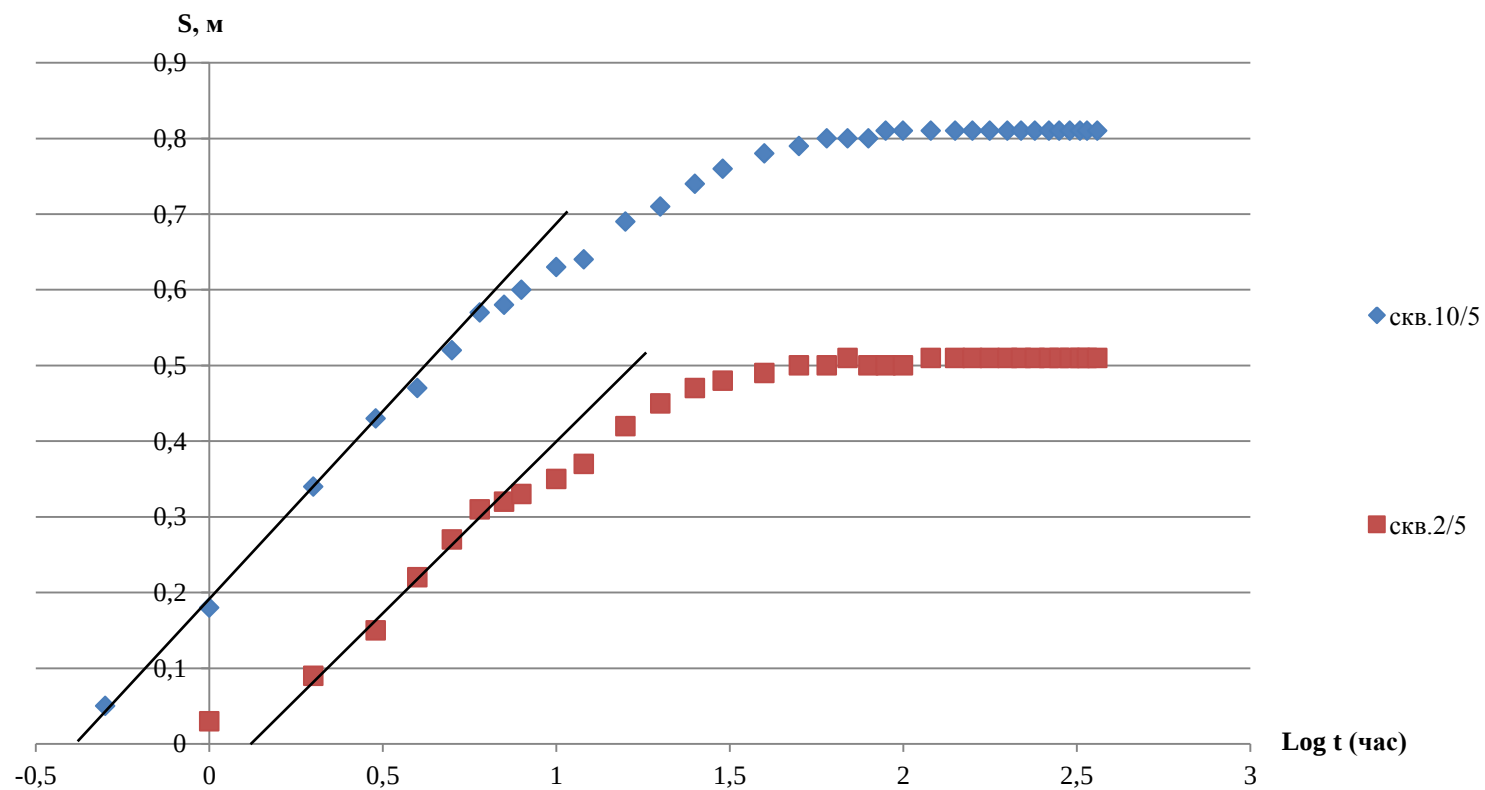


Рис. 4.13. Временное прослеживание понижения уровня при откачке из скважины 7/5 водозабора КНС-2;

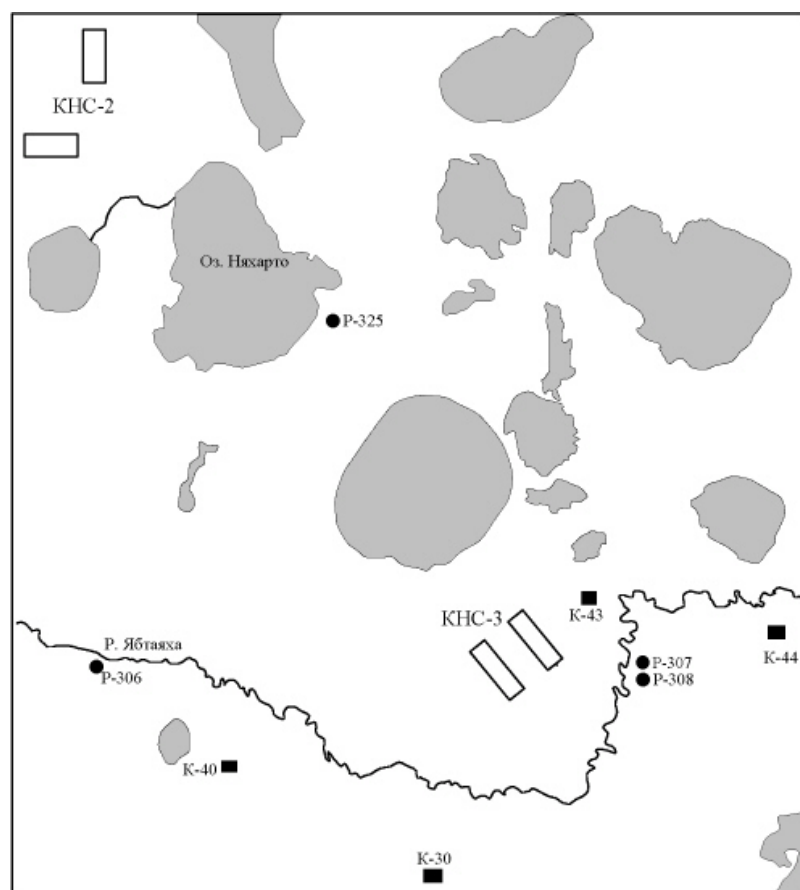
наблюдательные скважины 2/5, 10/5

Водозабор вводился в эксплуатацию постепенно с начала 2003 г. За этот период были введены в эксплуатацию первые 10 скважин. Документация характеристик этих скважин в первую очередь, эксплуатационного дебита, даёт исходный материал для прогнозного анализа. В январе 2004 г было выполнено гидрогеологическое обследование водозабора. Измерены уровни в скважинах водозабора, сняты показания счётчиков воды на работающих скважинах. На момент обследования в работе находились 8 скважин. Все сведения полученные эксплуатирующей организацией и в процессе обследования, использованы для анализа гидрогеологических условий и подсчёта эксплуатационных запасов.

Результаты документации и опробования скважин, пробуренных на месторождении, позволяют считать, что вскрытый гидрогеологический разрез состоит из трёх водоносных горизонтов. Верхний четвертичный водоносный горизонт имеет двухслойное строение, состоит из относительно водоупорного слоя, залегающего вблизи поверхности земли, и собственно водоносного горизонта, представленного прослойками мелкого песка в суглинках. Приповерхностный водоносный горизонт получил развитие в интервале глубин 3.0 – 19.0 м. В интервале глубин 62.0 – 69.0 м вскрыт водоносный горизонт, слагаемый песками средней крупности (рис. 4.16).

Основной водоносный горизонт имеет эоцен-олигоценый возраст, представлен водоносным слоем, сложенным песками средней крупности с включениями пылеватых частиц и гравийного материала. Горизонт хорошо выражен и отличается устойчивой мощностью и глубиной залегания на территории водозабора. Средняя мощность горизонта составляет 37 м, залегает в интервале глубин 81.0 – 118.0 м. Водоносный горизонт подстилается плотными глинами. Четвертичный водоносный горизонт и основной водоносный горизонт разделяет песчано-глинистая толща свиты с признаками вялой мерзлоты, которая выступает в роли относительно водоупорного горизонта.

Скважины оборудованы фильтрами на основной водоносный горизонт. Геологическое строение водоносного горизонта, опыт эксплуатации и анализ работы действующих водозаборов позволяет рассматривать данный горизонт с позиций гидродинамической схематизации как единый эоцен-олигоценый водоносный горизонт. Кровля горизонта залегает на глубине 81.0 м, подошва – на глубине 118.0 м. Горизонт напорный. Эффективная мощность водоносного слоя составляет 37 м. Единый статический уровень подземных вод устанавливается на глубине 3 м. Напор над кровлей водоносного горизонта составляет 78 м.



М 1: 50000

Условные обозначения:

- P-306 Разведочные скважины
- K-43 Кусты скважин
- KHC Водозаборы KHC-2 и KHC-3

Рис. 4.14. Расположение водозаборов KHC-2 и KHC-3

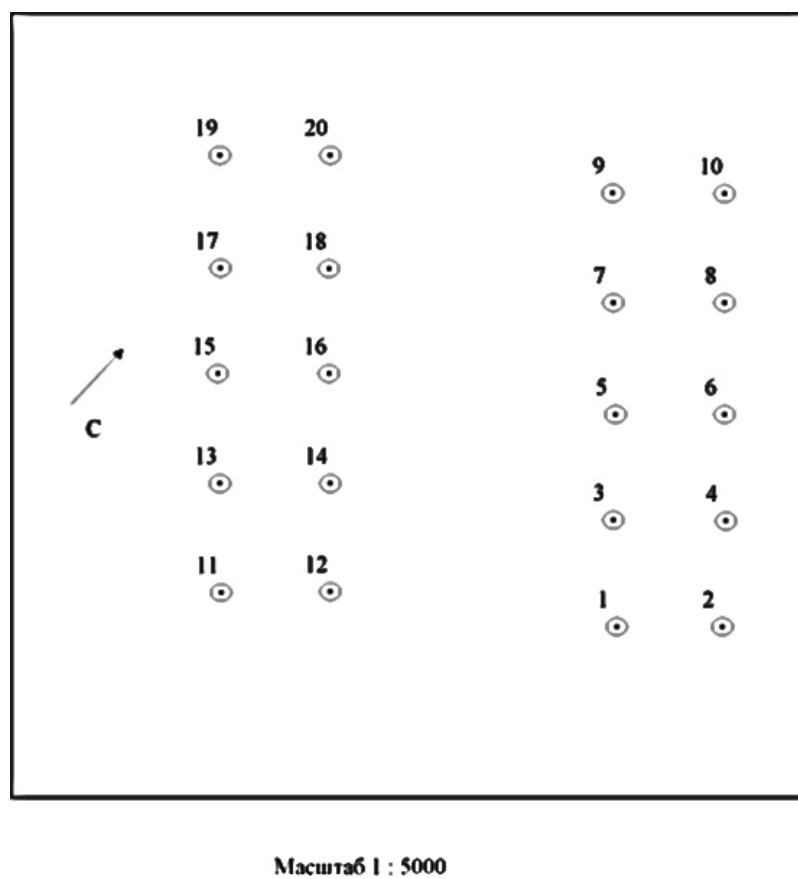


Рис. 4.15. Расположение скважин водозабора КНС-3



Рис. 4.16. Литологический разрез и конструкция скважин водозабора КНС-3

Детальные измерения уровней при откачке из скважины № 16, были выполнены в скважине № 15, которая использовалась как наблюдательная скважина. В конце откачки фиксируется стабилизация уровня в наблюдательной скважине. Обработка временного графика выполнена с использованием зависимостей 3.7-3.14 (рис.4.17).

Таблица 4.15 – Основные данные по откачке из скв.16, набл. скв.15

$Q, \text{ м}^3/\text{сут}$	$t_0, \text{ сут}$	$r, \text{ м}$	$S_0, \text{ м}$	$S_n, \text{ м}$	$t_n, \text{ мин}$
980	1.0	100	0.49	0.25	80

Таблица 4.16 – Расчетные характеристики зависимости $S \div \lg t$ по скв. 15

$S_n, \text{ м}$	$F(x)$	e^x	r/B	$T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$B, \text{ м}$	$a, \text{ м}^2/\text{сут}$
0,31	1,85	1,35	0,30	429	333	$3.0 \cdot 10^5$

Результаты расчётов показали, что для водоносного горизонта характерны довольно высокие фильтрационные параметры (водопроницаемость – $429 \text{ м}^2/\text{сутки}$). Значение параметра перетекания ($B = 333 \text{ м}$), заставляет предполагать хорошую связь олигоценового водоносного горизонта с четвертичным водоносным горизонтом. В связи с кратковременностью откачки, надёжность значений гидродинамических параметров необходимо проверить по данным эксплуатации водозабора.

В январе 2004 г было выполнено гидрогеологическое обследование водозабора. Измерены уровни в скважинах водозабора, сняты показания счётчиков воды на работающих скважинах (рис 4.17). В некоторых скважинах не удалось измерить уровень в связи с наличием в скважинах ледяных пробок.

Половина скважин водозабора (№№ 11 – 20), ещё не введены в эксплуатацию, и данные измерений позволяют применить метод площадного прослеживания понижений. В связи с тем, что соотношение ($r/B < 0.05$) вероятнее всего не соблюдается, метод площадного прослеживания можно использовать только с применением эталонной кривой по зависимостям 3.16-3.18 (рис. 4.18).

Результаты показывают, что параметры, рассчитанные по данным откачки и методом площадного прослеживания понижения по водозабору, практически совпадают. Это заставляет считать, что параметры водоносного горизонта и относительного водоупора, через который происходит перетекание, достаточно однородны на участке водозабора.

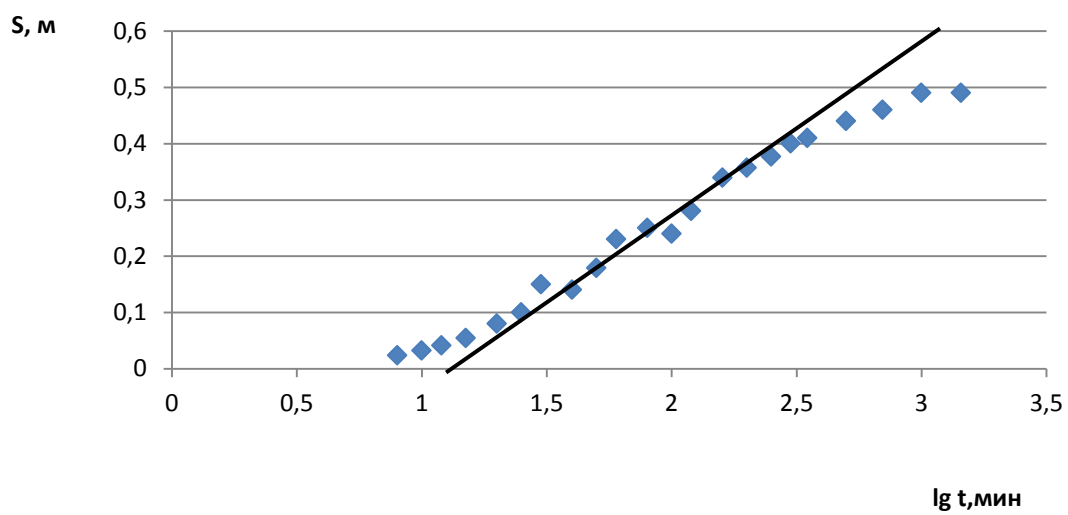


Рис. 4.17. Зависимость S от $\lg t$. Откачка из скважины 16, наблюдения в скважине 15

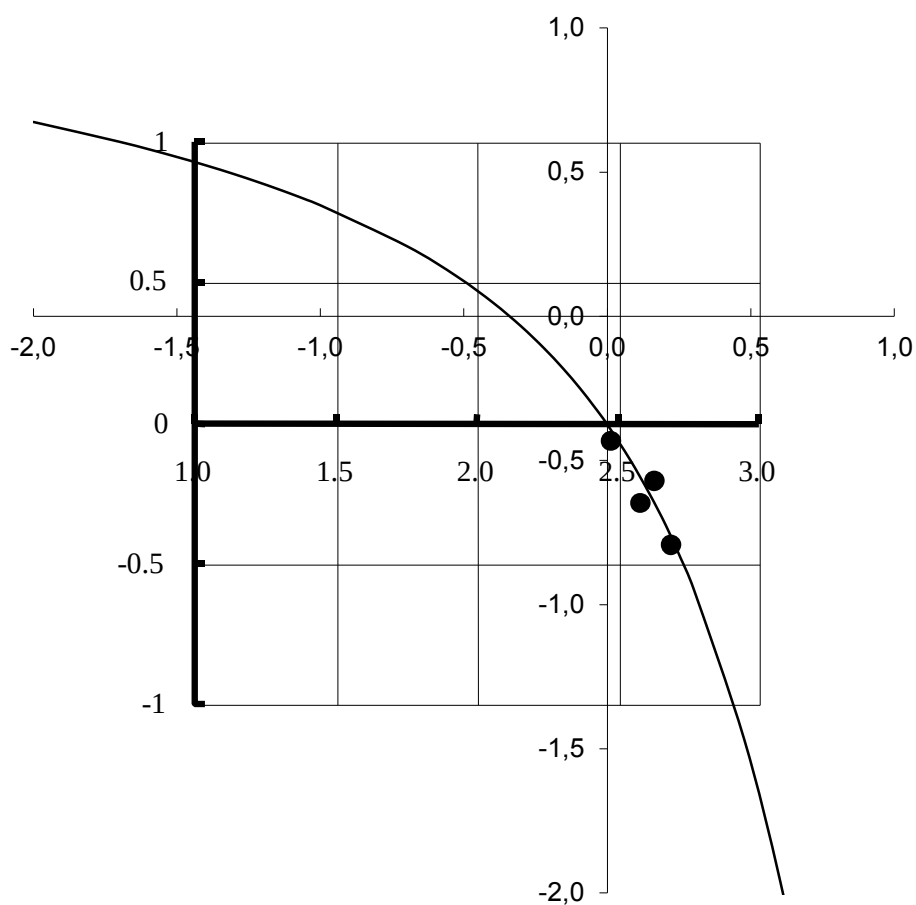


Рис. 4.18. Расчёт параметров пласта методом эталонной кривой $[\lg K_0(x) \text{ от } \lg x]$
по водозабору КНС-3

Таблица 4.17 – Данные измерений в скважинах водозабора КНС-3

№ скв	А.О. устья	А.О. края трубы	Глубина до динам. Уровня, м	А.О. динам. Уровня в раб. Скв., м	А.О. динам. Уровня в нераб. Скв., м	Пониж. Уровня, м	Дебит, м ³ /ч
1	56.24	57.80	-	-	-		-
2	55.95	57.77	-	-	-		37
3	55.67	57.53	-	-	-		30
4	56.20	57.78	8.58	49.20	-	3.66	28
5	56.29	57.78	13.65	44.13	-	8.73	13
6	55.68	57.54	5.90	-	51.64	1.22	-
7	55.98	57.78	-	-	-		32
8	55.93	57.62	7.90	49.72	-	3.14	31
9	55.99	57.89	9.95	47.94	-	4.92	30
10	56.34	57.64	8.75	48.89	-	3.97	32
11	55.80	57.85	5.35	-	52.50	0.36	-
12	56.00	58.05	5.40	-	52.35	0.51	-
13	55.40	57.45	5.20	-	52.25	0.61	-
14	55.61	57.66	-	-	-	-	-
15	55.57	57.62	5.80	-	51.82	-	-
16	55.68	-	-	-	-	-	-
17	55.71	57.76	-	-	-		-
18	55.65	57.90	6.00	-	51.90	0.96	-
19	55.66	-	-	-	-		-
20	55.80	-	-	-	-		-

Таблица 4.18 – Исходные данные для построения зависимости $\lg S \div \lg r$ по КНС-3

№ скв	r, м	$\lg r$	S, м	$\lg S$
11	457	2.66	0.36	-0.44
12	380	2.58	0.51	-0.29
13	425	2.63	0.61	-0.21
18	322	2.51	0.96	-0.018

Таблица 4.19 – Расчетные характеристики зависимости $\lg S \div \lg r$ по КНС-3

Qв, м ³ /сут	$\lg S^0$	$\lg r^0$	S^0 , м	r^0 , м	T, м ² /сут	B, м
5592	0.32	2.43	2.09	269	426	269

Таким образом, результаты обработки данных кустовой откачки и данных по уровням скважин, измеренных в процессе эксплуатации, показали, что на месторождении реализуется схема водоносного горизонта с перетеканием из пласта с постоянным

напором. Расчётные гидрогеодинамические параметры пласта для анализа работы водозабора следует принимать: $T=428 \text{ м}^2/\text{сутки}$, $a=3.0 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут}$, $B=301 \text{ м}$.

4.6. Гидрогеодинамическая схематизация участка водозабора БКНС Фестивального месторождения

Водозабор располагается около вахтового пос. Фестивальный. В 2.5 км на юго-запад от водозабора протекает р. Лукьяха, в 6.5 км на северо-запад – р. Харампур. На восток от водозабора, в 1 км от центра водозабора, располагается куст № 8 нефтяных скважин. Скважины водозабора располагаются в 2 ряда, которые параллельны друг другу и имеют северо-восточную ориентировку (рис. 4.20). Расстояние между скважинами составляют 100 м (в ряду). Между рядами расстояние равно 100 м.

Вахтовый посёлок Фестивальный снабжается хозяйственно-питьевой водой из двух скважин участка ОБП. Общий дебит этого водозабора, согласно представленной справке, составляет в среднем $52 \text{ м}^3/\text{сутки}$.

В составе отчёта по Харампурской группе месторождений рассмотрены гидрогеологические условия и выполнена оценка запасов подземных вод по Лукьяхинскому участку [41]. На этом участке располагались водозаборы №6 и №7. Указанные водозаборы по своему положению находились в непосредственной близости от водозабора БКНС (рис. 4.19). Центр водозабора № 6, состоявшего из трёх скважин, находился в 0.9 км восточнее от центра водозабора БКНС. Центр водозабора № 7, состоявшего из семи скважин, находился в 1.7 км на юго-запад от центра водозабора БКНС. Водозаборы № 6 и № 7 не эксплуатируются с 2003 г.

При описании гидрогеологических условий участка в работе [41, 97] водоносный комплекс разделяется на четвертичный и атлымский водоносный горизонт. В настоящее время считается, что основной горизонт правильнее называть эоцен-олигоценным.

Четвертичный водоносный горизонт сверху перекрыт отложениями суглинков, имеющих мощность до 36 м. Водоносные пески имеют мощность до 10 м и переслаиваются с глинистыми образованиями. Чётко выраженная граница между четвертичным и эоцен-олигоценным водоносным горизонтом отсутствует. В работе [41] предлагается проводить границу между горизонтами на глубине 45 м. Данные бурения скважин водозабора БКНС заставляют проводить эту границу ниже, на глубине 60 м.

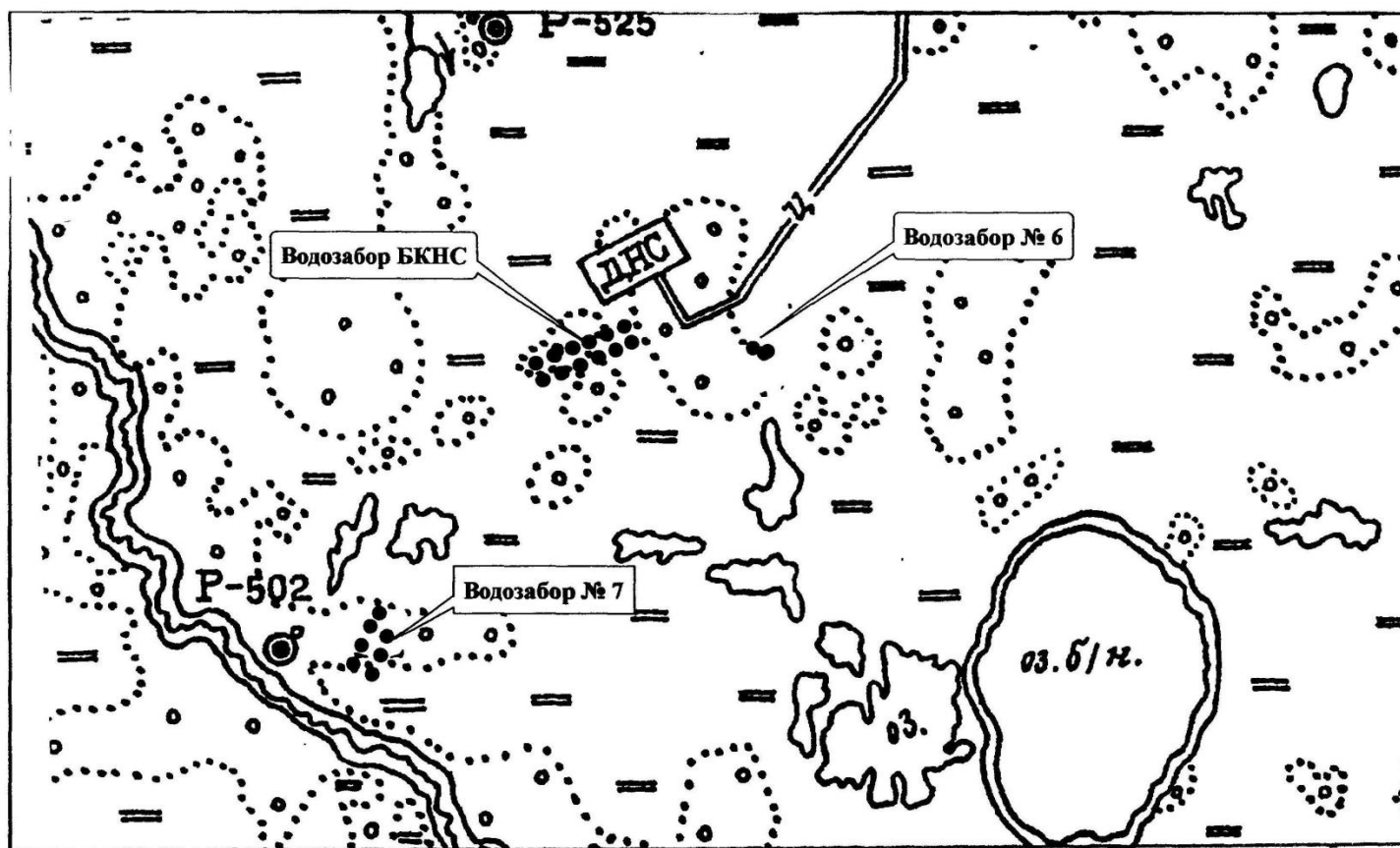
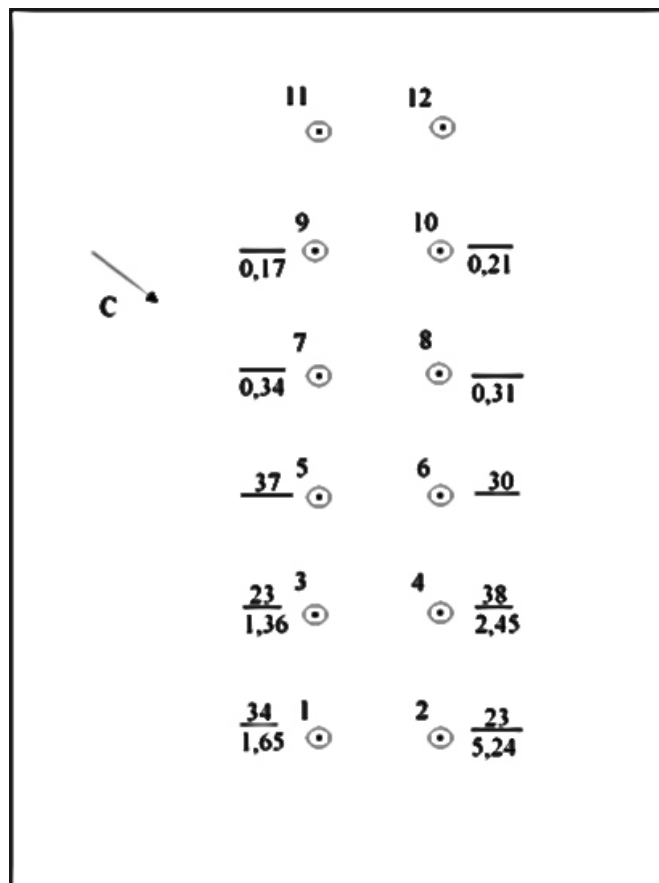


Рис. 4.19. Расположение водозабора БКНС. Масштаб 1:25000



Масштаб 1: 5000

⊙ Скважины водозабора

$\frac{23}{1,65}$ — $\frac{\text{дебит, м}^3/\text{ч}}{\text{понижение, м}}$

Рис. 4.20. Результаты обследования скважин водозабора БКНС

Эоцен-олигоценый водоносный горизонт, который имеет основное практическое значение для эксплуатации, по литологическим признакам можно разделить на два слоя (горизонта). Интервал глубин, на которых вскрыт первый от поверхности водоносный горизонт, по различным скважинам варьирует от 61 – 64 м, до 81 – 84 м. Мощность первого горизонта изменяется от 16 до 22 м. Эти данные показывают, что гидрогеологический разрез относительно устойчив по площади водозабора и в целом по участку.

Второй горизонт отделяется от первого горизонта маломощным слоем суглинков. Несмотря на небольшую мощность, около 5 м, этот слой зафиксирован на глубине 80 м по всем скважинам, и хорошо определяется по данным гамма-каротажа (рис. 4.22). Интервал глубин, на которых вскрыт основной водоносный горизонт, характеризуется как довольно устойчивый. Средний интервал глубин составляет 81 – 119 м, с вариациями по различным скважинам в несколько метров. Мощность основного горизонта изменяется от 34 до 39 м.

Анализ данных по скважинам показывает, что первый и второй горизонты образуют единый водоносный горизонт на рассматриваемом участке. Уровень подземных вод на участке скважин БКНС устанавливается на глубине 3 м. Средняя абсолютная отметка уровня подземных вод 62.1 м. По данным работы [41], в результате обработки данных пробных откачек из скважин 3/6 и 1/7, значения параметра водопроводимости составляют 880 и 970 м²/сутки, соответственно.

Единый горизонт имеет достаточно хорошую выдержанность на рассматриваемой территории. Совокупность всех данных по участку позволяет считать, что рассматриваемый участок отличается более благоприятными условиями для добычи подземных вод по сравнению со многими другими водозаборными участками. Усреднённый разрез по всем скважинам достоверно отражает геолого-гидрогеологическую ситуацию в районе водозабора (рис. 4.21).

Средняя мощность горизонта составляет 56 м, залегает в интервале глубин 63.0 – 119.0 м. Водоносный горизонт подстилается плотными глинами. Четвертичные отложения, перекрывающие эоцен-олигоценый водоносный горизонт, выступают в роли относительно водоупорного горизонта.

Детальные измерения уровней при откачке из скважины № 9, были выполнены в скважине № 8, которая использовалась как наблюдательная скважина (рис. 4.23, табл. 4.20). Откачка выполнялась в период строительства водозабора, до ввода в эксплуатацию. Форма временного графика прослеживания понижения уровня является характерной для гидродинамической схемы напорного пласта с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором.

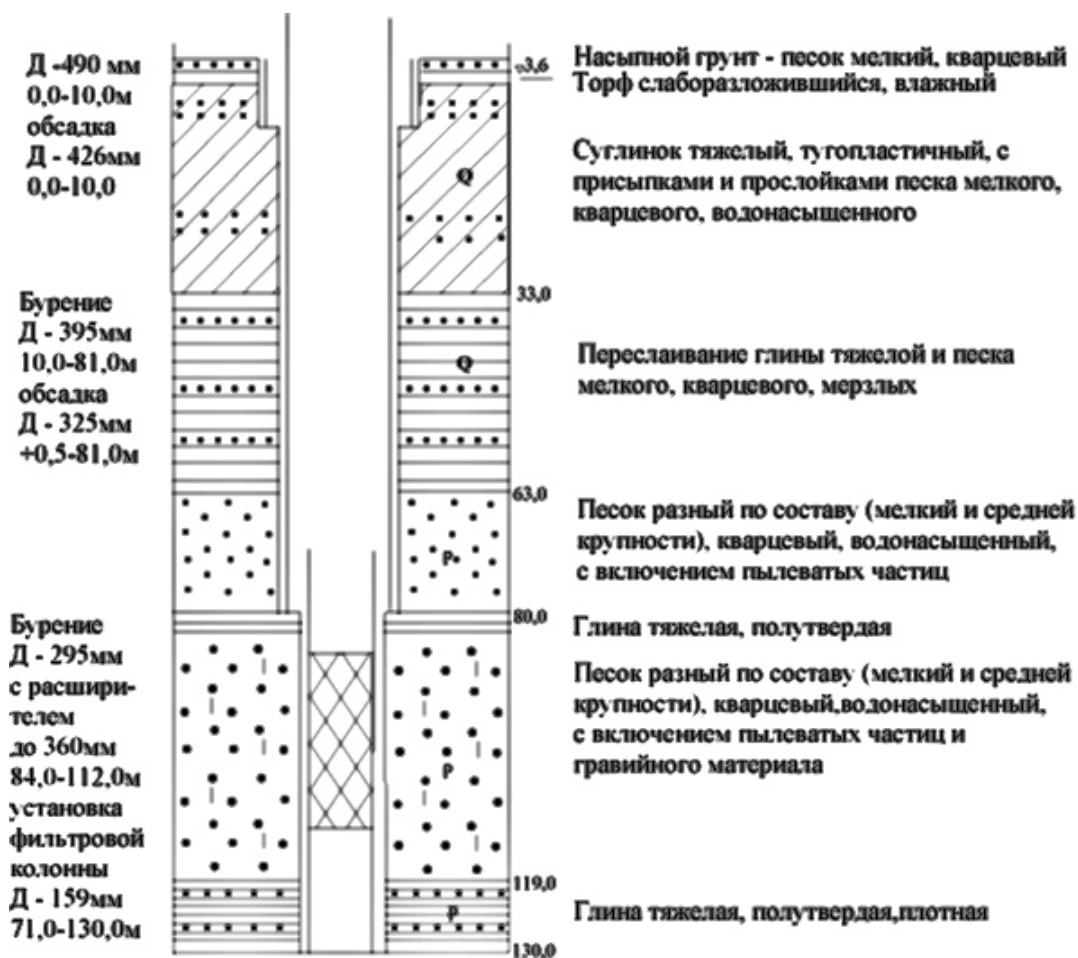


Рис. 4.21. Литологический разрез и конструкция скважин водозабора БКНС
Фестивального месторождения

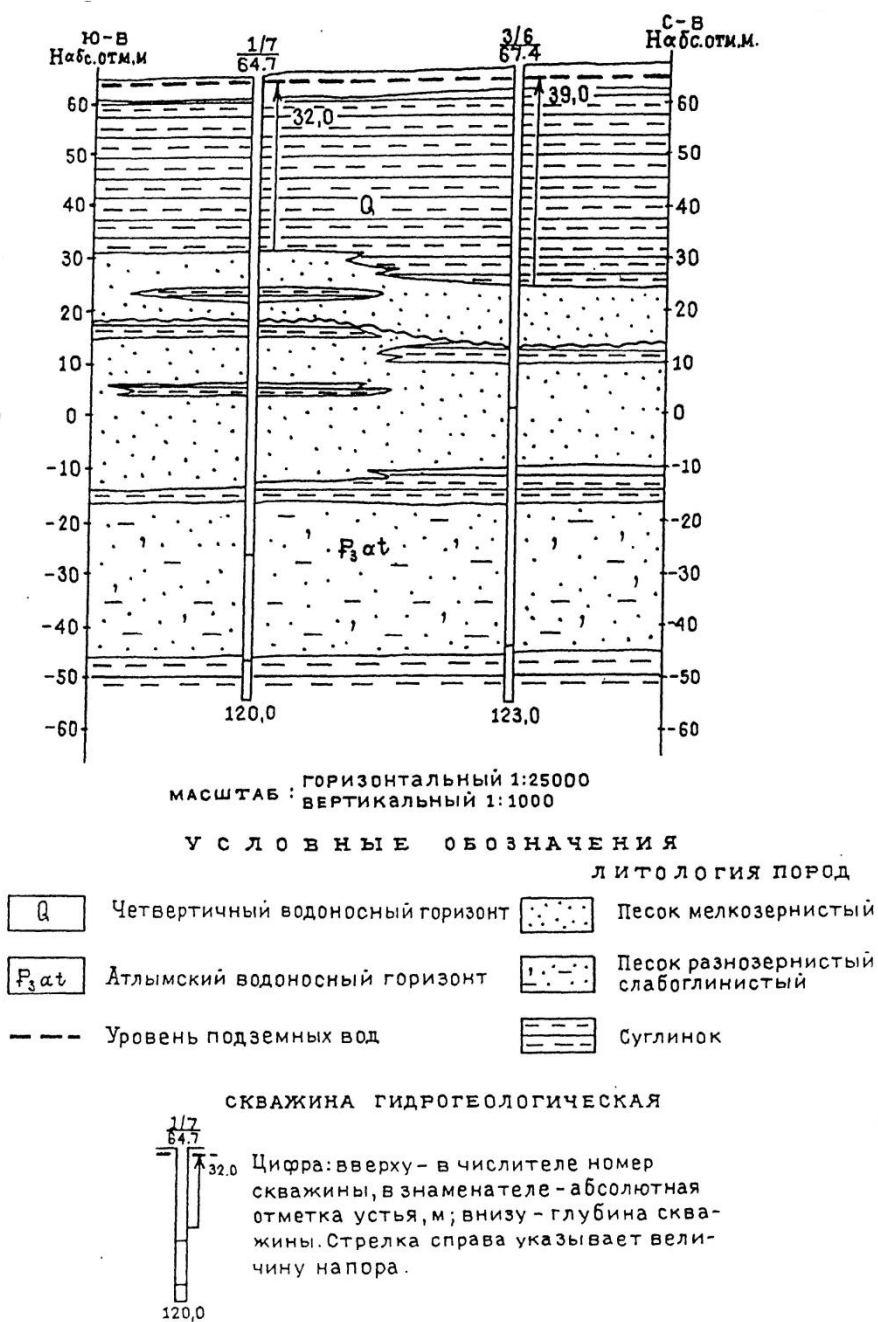


Рис. 4.22. Гидрогеологический разрез Лукьяхинского участка
(из отчёта ЗАО «Неолит»)

В конце откачки фиксируется стабилизация уровня в наблюдательной скважине. Обработка временного графика выполнена с использованием зависимостей (3.7-3.14).

Таблица 4.19 – Основные данные по откачке из скв.9, набл. скв.8

Q, м ³ /сут	t ₀ , сут	r, м	S ₀ , м	S _п , м	t _п , мин
1200	3.0	100	0.38	0.19	80

Таблица 4.20 – Расчетные характеристики зависимости $S \div \lg t$ по скв. 8

C _g , м	F(x)	e ^x	r/B	T, м ² /сут	B, м	a, м ² /сут
0.21	2.1	1.22	0.5	857	200	5.0·10 ⁵

Результаты расчётов показали, что для водоносного горизонта характерны довольно высокие фильтрационные параметры (водопроводимость – 857 м²/сутки). Следует отметить, что при обработке пробных откачек на водозаборах № 6 и № 7, из скважин 3/6 и 1/7 (отчёт ЗАО «Неолит»), получены близкие значения параметра водопроводимости (880 и 970 м²/сутки).

Значение параметра перетекания (B = 200 м), заставляет предполагать хорошую связь олигоценового водоносного горизонта с четвертичным водоносным горизонтом. В связи с кратковременностью пробных откачек, надёжность значений гидродинамических параметров необходимо проверить по данным эксплуатации водозабора.

В январе 2004 г было выполнено гидрогеологическое обследование водозабора. Измерены уровни в скважинах водозабора, сняты показания счётчиков воды на работающих скважинах (табл. 4.22). В некоторых скважинах не удалось измерить уровень в связи с наличием в скважинах ледяных пробок.

Половина скважин водозабора (№№ 7 – 12), ещё не введены в эксплуатацию, и данные измерений позволяют применить метод площадного прослеживания понижений. В связи с тем, что соотношение ($r/B < 0.05$) вероятнее всего не соблюдается, метод площадного прослеживания можно использовать только с применением эталонной кривой (3.16-3.18). Исходные данные, и результаты построений и расчётов представлены на рис. 4.23 и в табл. 4.22, табл. 4.23.

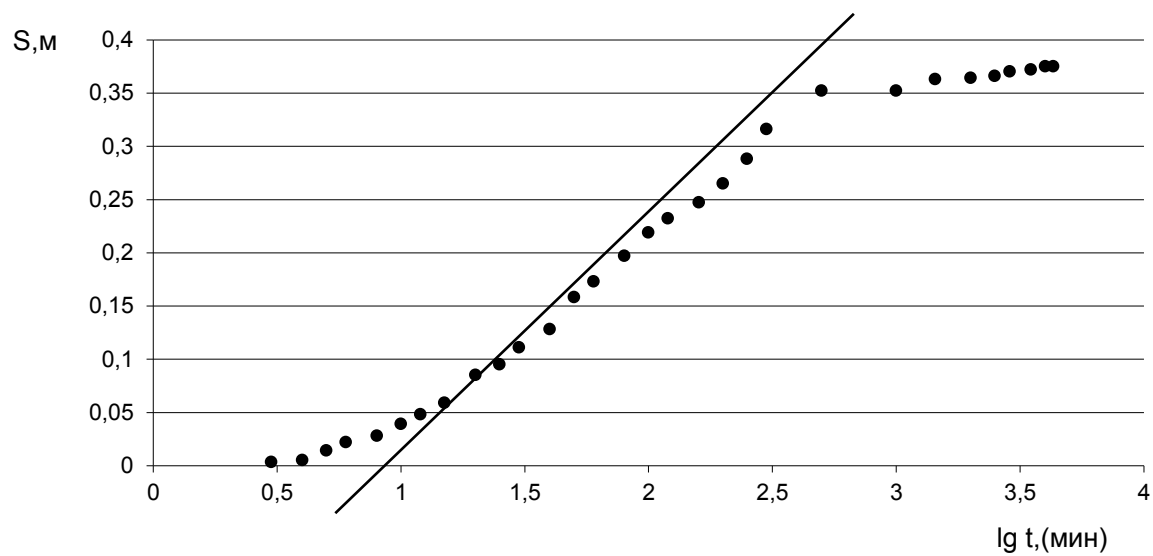


Рис. 4.23. Зависимость S от $\lg t$. Откачка из скважины 9, наблюдения в скважине 8

Таблица 4.21 – Данные по скважинам водозабора БКНС

№ скв	А.О. устья	А.О. трубы	Глубина до динам. УПВ	А.О. динам. УПВ в раб. скв.	А.О. динам. УПВ в не раб. скв.	Пониж. от стат. УПВ	Дебит, м ³ /ч	Дебит. м ³ /сут
1	66.12	67.60	7.15	60.45	-	1.65	34	819
2	66.05	67.61	10.75	56.86	-	5.24	23	552
3	65.83	67.24	6.50	60.74	-	1.36	23	552
4	65.82	67.25	7.60	59.65	-	2.45	38	912
5	65.97	67.27	-	-	-	-	37	888
6	66.00	67.37	-	-	-	-	30	720
7	65.73	67.26	5.50	-	61.76	0.34	-	-
8	65.69	67.14	5.35	-	61.79	0.31	-	-
9	65.69	67.13	5.20	-	61.93	0.17	-	-
10	65.88	67.34	5.45	-	61.89	0.21	-	-
11	65.75	67.42	5.40	-	62.02	-	-	-
12	65.64	67.07	5.20	-	61.92	-	-	-
Среднее	65.85	67.31	6.41	59.43	61.88	-	30.8	740

Таблица 4.22 – Исходные данные для построения зависимости $\lg S \div \lg r$ по БКНС

№ скв	r, м	$\lg r$	S, м	$\lg S$
7	200	2.301	0.34	-0.468
8	200	2.301	0.31	-0.509
9	300	2.477	0.17	-0.770
10	300	2.477	0.21	-0.678

Таблица 4.23 – Расчетные характеристики зависимости $\lg S \div \lg r$ по БКНС

Qв, м ³ /сут	$\lg S^0$	$\lg r^0$	S^0 , м	r^0 , м	T, м ² /сут	B, м
4440	-0.1	2.3	0.794	200	890	200

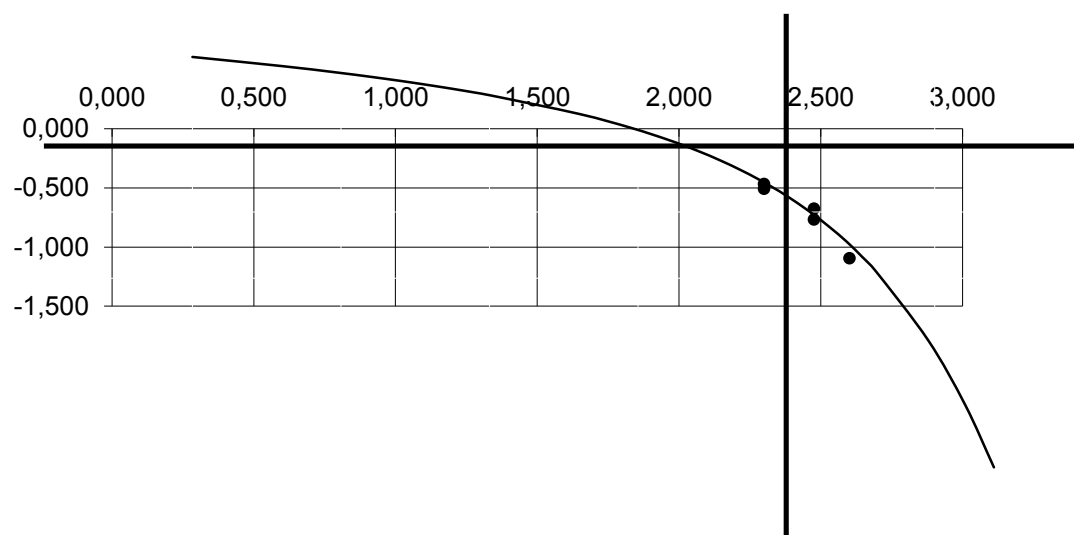


Рис. 4.24. Расчёт параметров пласта методом эталонной кривой $[\lg K_0(x) \text{ от } \lg x]$ по водозабору БКНС

Результаты показывают, что параметры, рассчитанные по данным откачки и методом площадного прослеживания понижения по водозабору, практически совпадают. Это заставляет считать, что параметры водоносного горизонта и относительного водоупора, через который происходит перетекание, достаточно однородны на участке водозабора.

Таким образом, результаты обработки данных кустовой откачки и эксплуатации показали, что на месторождении реализуется схема водоносного горизонта с перетеканием из пласта с постоянным напором. Расчётные гидрогеодинамические параметры пласта для анализа работы водозабора следует принимать: $T = 874 \text{ м}^2/\text{сутки}$, $a = 5.0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{сутки}$, $B=200 \text{ м}$.

4.7. Анализ результатов гидрогеодинамической схематизации

Результаты обработки данных опытно-фильтрационных работ по рассмотренным объектам позволяют выполнить ряд обобщений. Во всех случаях реализуется схема откачки из пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором. В большинстве случаев наблюдается перетекание из горизонта с переменным напором. Как правило, отчётливо видно, что увеличение водоотдачи происходит в десятки раз. На графиках временного прослеживания этап «ложной» стабилизации имеет выраженный уклон, поэтому понятие стабилизации, хотя и «ложной», в этих случаях является очень условным.

Первая точка перегиба, отражающая начало перетекания, фиксируется по ближайшим наблюдательным скважинам через первые десятки минут от начала откачки. Данные факты указывают на тесную связь между олигоценным водоносным горизонтом, который находится на глубине 100 - 200 м от поверхности земли, и приповерхностным четвертичным водоносным горизонтом. Относительно водоупорные горизонты, разделяющие основной пласт и четвертичный водоносный горизонт, имеют достаточно высокие фильтрационные свойства.

Окончательная стабилизация при откачках наступает не более, чем через трое суток. Данное обстоятельство, помимо высоких фильтрационных и емкостных свойств водовмещающих пород, связано с большим количеством водоёмов и водотоков на поверхности земли. Водоёмы выступают в роли питающих границ, которые поддерживают уровень подземных вод в четвертичном водоносном горизонте.

Значения основных гидродинамических характеристик олигоценного водоносного горизонта, по рассмотренным объектам (табл. 4.24), позволяют сделать определённые заключения. Основные расчётные параметры – водопроводимость и параметр перетекания, варьируют в относительно узких пределах. Значение водопроводимости меняется от 214 до

1060 м²/сутки, при среднем значении 616 м²/сутки. Крайние значения отличаются от средней величины менее, чем в 2 – 3 раза.

Таблица 4.24 – Результаты обработки данных откачек

Объект	T, м ² /сут	a, м ² /сут	B _{ос} , м	μ*	k/m, сут ⁻¹
Муравленко	272	2,1·10 ⁵	263	1,3·10 ⁻³	3,9·10 ⁻³
Губкинский	1060	1,9·10 ⁶	600	5,6·10 ⁻⁴	2,9·10 ⁻⁴
Лангепас	831	2,8·10 ⁵	362	2,9·10 ⁻³	6,3·10 ⁻³
КНС-2	214	9,3·10 ⁴	208	2,3·10 ⁻³	4,9·10 ⁻³
КНС-3	428	3,0·10 ⁵	301	1,4·10 ⁻³	4,7·10 ⁻³
БКНС	890	5,0·10 ⁵	200	1,8·10 ⁻³	2,2·10 ⁻³
Среднее значение	616	5,5·10 ⁵	322	1,7·10 ⁻³	7,5·10 ⁻³

Значения параметра перетекания ещё более устойчивы. Крайние значения отличаются от средней величины менее чем в 2 раза. Учитывая, что параметр перетекания используется, в основном, в виде логарифма этой величины, можно во многих случаях, без особого ущерба для точности расчётов, применять среднее значение. Кроме расчётов, параметр перетекания можно использовать для диагностики правильности определений гидродинамических характеристик. Следует полагать, что если при определении параметров значение параметра перетекания получаются более 1000 м, в расчётах допущена существенная ошибка.

Следует отметить, что другие гидродинамические параметры (a, μ*, k/m) имеют также довольно устойчивые значения, которые относительно мало варьируют по разным объектам. Средний коэффициент пьезопроводности имеет значение, характерное для напорных водоносных горизонтов. Среднее значение коэффициента упругой водоотдачи позволяет сделать важный вывод о том, что соотношение гравитационной и упругой водоотдачи, в рассматриваемых условиях, как правило, будет меньше ста. Соответственно, хорошо выраженный (субгоризонтальный) участок ложной стабилизации, при проведении и обработке откачек, можно фиксировать очень редко.

Среднее значение параметра k/m позволяет оценить фильтрационные свойства слоёв, разделяющих олигоценый и четвертичный водоносные горизонты. Если условно принять среднюю мощность относительного водоупора равной 50 м, то среднее значение коэффициента фильтрации составит 0.4 м/сутки. Если применить аналогичный подход к основному водоносному пласту, то окажется, что средний коэффициент фильтрации оценивается значением несколько больше 10 м/сутки. Следует сделать вывод, что роль

относительного водоупора определяется соотношением фильтрационных показателей, а не водоупорными свойствами разделяющих слоёв.

Таким образом, следует считать, что олигоцен-четвертичный гидрогеологический комплекс обладает устойчивыми, довольно высокими фильтрационными и емкостными свойствами на территории, где располагаются основные нефтяные месторождения. Хорошая связь с поверхностными водоёмами обеспечивает высокую степень пополнения запасов подземных вод для питьевых и технических целей. Эта же связь предопределяет значительный уровень уязвимости водоносных горизонтов для проникновения загрязнения с поверхности земли.

5. АНАЛИЗ ДАННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЗАБОРОВ ПИТЬЕВЫХ ВОД

5.1. Оценка эксплуатационных запасов и обработка данных по водозаборам

При оценке эксплуатационных запасов, в условиях схемы безграничного напорного пласта с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором, чаще всего применяется гидродинамический метод [7, 12, 36, 37, 70, 108]. Расчёт понижений выполняется с использованием аналитических зависимостей, соответствующих фильтрационной схеме (рис. 5.1). Расчетное понижение в водозаборных скважинах определяется суммой составляющих:

$$S_c = S_k + \Delta S_c + \Delta S_{nc} \quad (5.1)$$

где S_c – понижение в водозаборной скважине;

S_k – среднее понижение по водозабору (в «большом колодце»);

ΔS_c – дополнительное понижение в отдельной скважине, зависящее от схемы водозабора и взаимного расположения скважин;

ΔS_{nc} – дополнительное понижение в отдельной скважине, зависящее от её гидродинамического несовершенства.

В свою очередь, значение ΔS_c для скважин, расположенных в линейном ряду, можно рассчитать по уравнению:

$$\Delta S_c = \frac{Q_c}{2\pi T} \ln \frac{\sigma}{2\pi r_c}, \quad (5.2)$$

а значение ΔS_c для скважин, расположенных в площадной системе, можно рассчитать по уравнению [103]:

$$\Delta S_c = \frac{Q_c}{2\pi T} \ln \frac{\sigma}{2r_c} - 0.1, \quad (5.3)$$

где σ – расстояние между скважинами водозабора;

r_c – радиус скважины.

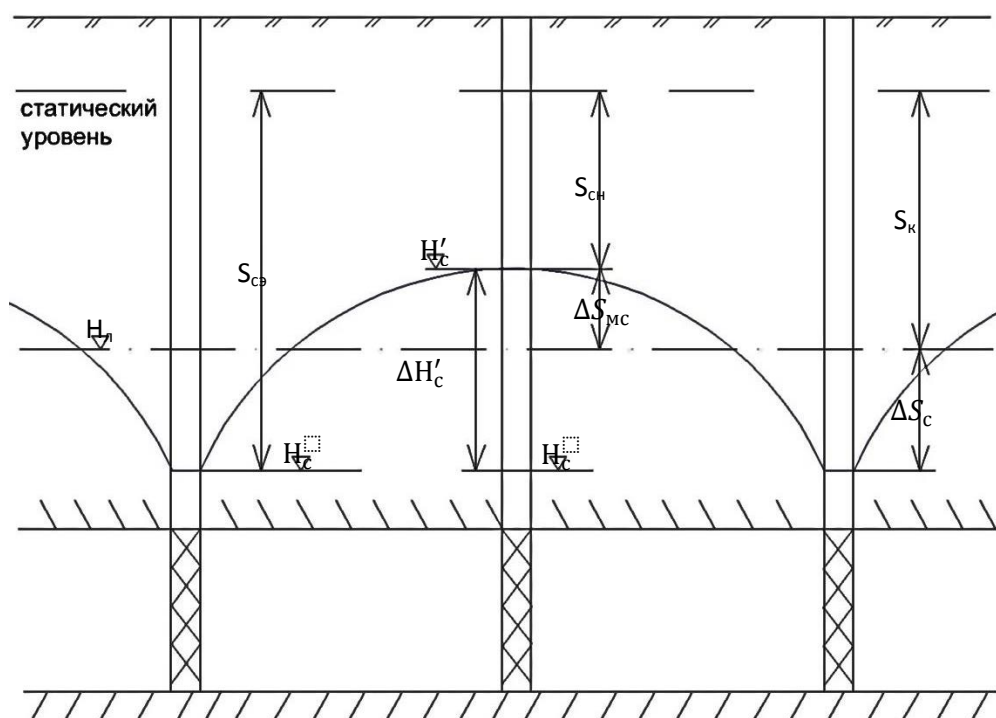
Приведенный радиус водозабора можно рассчитать на основании зависимостей:

$$r_k = 0.1P, \quad (5.4)$$

$$r_k = 0.2L, \quad (5.5)$$

где P – периметр контура водозабора;

L – длина водозабора.



$S_{св}$ – понижение в эксплуатируемой скважине;

$S_{сн}$ – понижение в остановленной (наблюдательной) скважине;

S_k – среднее понижение по водозабору (понижение в «большом колодце»);

$$\Delta S_{MC} = S_k - S_{сн}$$

$H_{л}$ – уровень подземных вод в «большом колодце»;

H'_c – уровень подземных вод в остановленной (наблюдательной) скважине;

Рис. 5.1 Схематический фрагмент водозабора. Основные расчетные показатели.

Гидродинамический метод подсчёта запасов подземных вод подразумевает сравнение расчётного и допустимого понижений в водозаборных скважинах. Важным параметром, определяющим максимальный дебит отдельной водозаборной скважины, является допустимое понижение. В безнапорных пластах, эта величина определяется выражением [70]:

$$S_{\text{доп}} = (0.5 \div 0.7)h_{\text{в}}, \quad (5.6)$$

где $h_{\text{в}}$ – мощность водоносного горизонта.

В напорных пластах принимается, что допустимое понижение складывается из напора над кровлей (H) и половины мощности пласта:

$$S_{\text{доп}} = H + 0.5h_e, \quad (5.7)$$

В напорных пластах сложного строения, каковым и является олигоценый водоносный горизонт, задача оценки предельного допустимого понижения осложняется. Используя принцип «инженерного запаса» примем, что

$$S_{\text{доп}} = H, \quad (5.8)$$

Уравнение, описывающее связь понижения с другими параметрами водозабора при данной фильтрационной схеме, следует использовать в виде

$$S_k = \frac{Q_B}{2\pi T} K_0\left(\frac{r}{B}\right), \quad (5.9)$$

где Q_B – суммарный дебит водозабора;

$K_0(r/B)$ – специальная табличная функция;

B – параметр перетекания.

Необходимо отметить, что обычно применяется уравнение

$$S_k = \frac{Q_B}{2\pi T} \ln\left(\frac{1.12B}{r}\right), \quad (5.10)$$

которое является аппроксимацией (упрощением) предыдущего уравнения. Последний, более простой вариант, можно применить в условиях, когда $r/B < 0,05$. Данное соотношение для водозаборов обычно не выполняется, и соответственно, следует вести расчеты с использованием функции $K_0(r/B)$.

На основании зависимости (5.9), можно оценить значение водопроводимости, опираясь на значение r/B , или рассчитать параметр перетекания « B », исходя из значения параметра водопроводимости. Последний вариант применяется чаще, т.к. значения водопроводимости, как правило, определяются на основании данных откачек. Кроме того, расчётные значения параметра « B » очень чувствительны к погрешностям расчёта, т. К. функция $K_0(r/B)$ близка к логарифмической зависимости. Расчёт через указанную функцию, как и через $\ln(1.12B/r)$, при исходной погрешности в 10%, приводит к различиям в параметре « B » примерно в 2 раза. Например, $\lg 500=2.7$, а $\lg 1000=3.0$, и при отличии $\lg$ на 10%, числа отличаются в 2 раза. Поэтому, при сравнении значений параметра « B » различия в 1.5-2 раза являются вполне

приемлемыми и указывают на хорошую точность исходных расчётных параметров, в первую очередь – значений параметра водопроницаемости.

Соответственно, несмотря на кажущуюся неопределённость оценки действующих параметров, данные эксплуатации водозабора позволяют надёжно рассчитать параметры, значения которых очень близки к реальным действующим параметрам водоносного пласта.

Основная задача при использовании данного подхода сводится к обоснованию правильного значения S_k . Чаще всего в качестве величины S_k принимается среднее понижение в наблюдательных скважинах, расположенных на территории водозабора, но этот подход может привести к значительным ошибкам. Достаточно надёжно можно оценить S_k опираясь на значение понижения уровня между водозаборными скважинами (S_{mc}). Уровень между скважинами очень близок к значению S_k (рис. 5.1), но несколько выше (ближе к поверхности земли) на определённую величину ΔS_{mc} .

Если между скважин водозабора имеется наблюдательная скважина, то уровень в этой скважине выше, чем уровень на линии водозабора (H_l), в соответствии с рекомендациями [108]:

$$\Delta S_{mc} = 0.11 \left(\frac{Q}{T} \right), \quad (5.11)$$

Увеличение величины ΔS_{mc} при отключении одной из скважин ряда можно оценить по специальной зависимости, учитывающей гидродинамическую ситуацию (рис. 5.1). В соответствии с рекомендациями В.М. Шестакова, обосновать зависимость для величины ΔS_{mc} можно на основании следующего вывода:

$$H_l = H'_c - \Delta S_{mc}; \quad (5.12)$$

$$\Delta S_{mc} = \Delta H'_c - \Delta S_c; \quad (5.13)$$

$$H'_l - H_c = \Delta H'_c = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{1.12B}{r_c}; \quad (5.14)$$

$$\Delta S_c = \frac{Q_c}{2\pi T} \ln \frac{\sigma}{2\pi r_c}; \quad (5.15)$$

$$\Delta S_{mc} = \frac{Q_c}{2\pi T} \ln \frac{1.12B}{r_c} - \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{\sigma}{2\pi r_c}; \quad (5.16)$$

$$\Delta S_{mc} = \frac{Q_c}{2\pi T} \ln \frac{2.24\pi B}{\sigma}; \quad (5.17)$$

Зависимости (5.17, 5.18) определяют возможность рассчитать значение величины S_k , и, соответственно, открывают путь к точным расчётам других составляющих общего понижения в водозаборных скважинах.

Важной составляющей понижения в водозаборных скважинах является дополнительное понижение, возникающее за счёт гидродинамического несовершенства водозаборных скважин. В условиях Западной Сибири, особенно при длительной эксплуатации водозаборов,

происходит «старение» скважин. Основными факторами «старения» являются снижение пропускной способности фильтров и негативные изменения фильтрационных свойств прискважинной зоны. Помимо процессов, происходящих в ходе эксплуатации водозаборов, исходное состояние скважин (после бурения и освоения), очень часто существенно различается в пределах одного участка или водозабора. Действующие гидродинамические радиусы опытных (эксплуатационных) скважин могут иметь очень низкие значения за счёт гидродинамического несовершенства скважин. Необходимо количественно оценивать степень гидродинамического несовершенства опытных и эксплуатационных скважин.

Значение величины $\Delta S_{\text{нс}}$ следует оценивать, опираясь на реальные значения понижений в скважинах водозабора:

$$\Delta S_{\text{нс}} = S_c - S_k - \Delta S_c, \quad (5.18)$$

Необходимо учитывать, что значения $\Delta S_{\text{нс}}$ зависят от дебита конкретной скважины и меняются при изменениях дебита. Показателем несовершенства скважины, независящим от дебита, является величина действующего гидродинамического радиуса скважины (r'_c). При выполнении расчётов удобнее, в качестве показателя несовершенства скважин использовать величину $\ln(r_c/r'_c)$. Эта величина рассчитывается из выражения (5.19):

$$\ln \frac{r_c}{r'_c} = \frac{2\pi T \Delta S_{\text{нс}}}{Q_c} \quad (5.19)$$

Использование величины $\ln(r_c/r'_c)$ позволяет оценивать как усреднённое гидродинамическое несовершенство всех скважин водозабора, так и максимальное значение этого показателя по скважинам, где наблюдаются максимальные понижения ($\ln(r_c/r'_c)^*$). Последняя величина необходима для оценки эксплуатационных запасов в наиболее неблагоприятных условиях и для прогнозирования понижений при «старении» скважин.

При подсчёте эксплуатационных запасов реального водозабора, нередко возникает необходимость оценки потенциальных запасов водозабора, т.е. расчёт дебита при максимальном значении допустимого понижения. Решая совместно уравнения (5.2, 5.9, 5.19), получаем зависимость, связывающую понижение в эксплуатационных скважинах и расход скважин водозабора:

$$S_c = S_k + \Delta S_c + \Delta S_{\text{нс}} = \frac{Q_c}{2\pi T} \left[n_c K_0 \left(\frac{r}{B} \right) + \ln \frac{\sigma}{2\pi r_c} + \ln \frac{r_c}{r'_c} \right], \quad (5.20)$$

где n_c - количество скважин в водозаборе.

Таким образом, можно полагать, что основные теоретические предпосылки и аналитические зависимости, описывающие гидродинамическую ситуацию на водозаборах, позволяют достоверно анализировать состояние водозабора в целом, а также и состояние отдельных скважин. Эти зависимости дают возможность сравнивать данные по водозабору с

результатами опытно-фильтрационных работ, а также проводить анализ данных, характеризующих длительную эксплуатацию водозаборов. Сопоставление прогнозного и фактического режимов эксплуатации, а также гидродинамических параметров, полученных на поисково-разведочных стадиях и при эксплуатации водозаборов, может подтвердить или опровергнуть исходные представления о гидродинамической схеме и расчётных характеристиках эксплуатируемого водоносного горизонта.

5.2. Анализ эксплуатации водозабора г. Муравленко

После завершения разведочных работ водозабор вводился в эксплуатацию постепенно. В настоящее время водозабор состоит из 30 скважин, из них 25 – рабочих, 5 – наблюдательных скважин (рис. 5.2 -5.4). Большинство скважин (15 скважин) образуют линейный ряд протяженностью около 1 км с расстоянием между скважинами 45-95 м. Остальные скважины (10 рабочих и 5 наблюдательных), расположены по обе стороны ряда от 20 до 80 м, наиболее удаленная скважина в 400 м от центрального ряда. Скважины пробурены трестом «Востокбурвод» в 1986-1990 гг. (шесть скважин перебурены в 1991-1996 гг.). Скважины оборудованы сетчатыми и проволочными фильтрами диаметром 168 мм, длиной 13-29 м с гравийной обсыпкой (рис. 5.2). Дебиты скважин при проведении откачек изменялись от 288 до 1680 м³/сутки при понижениях соответственно 58 и 42 м. В скважинах смонтированы насосы ЭЦВ8-25-100, ЭЦВ8-40-180, ЭЦВ10-63-110, КРЭГ40-110 и КРЭГ40-240.

В соответствии с лицензионным соглашением, эксплуатирующая организация осуществляет наблюдения за дебитом водозаборных скважин и периодичностью их работы. Учет дебита осуществляется по счетчикам холодной воды. Измерения уровня подземных вод в начальный период эксплуатации выполнялись три раза в месяц. В последние годы уровень измеряется один раз в месяц. В работающих скважинах измеряется динамический уровень подземных вод, а в неработающих – условный статический уровень. Производятся измерения уровня подземных вод в пяти наблюдательных скважинах. Каждый месяц по определенной форме составляется сводка по объему добытой воды и уровням воды.

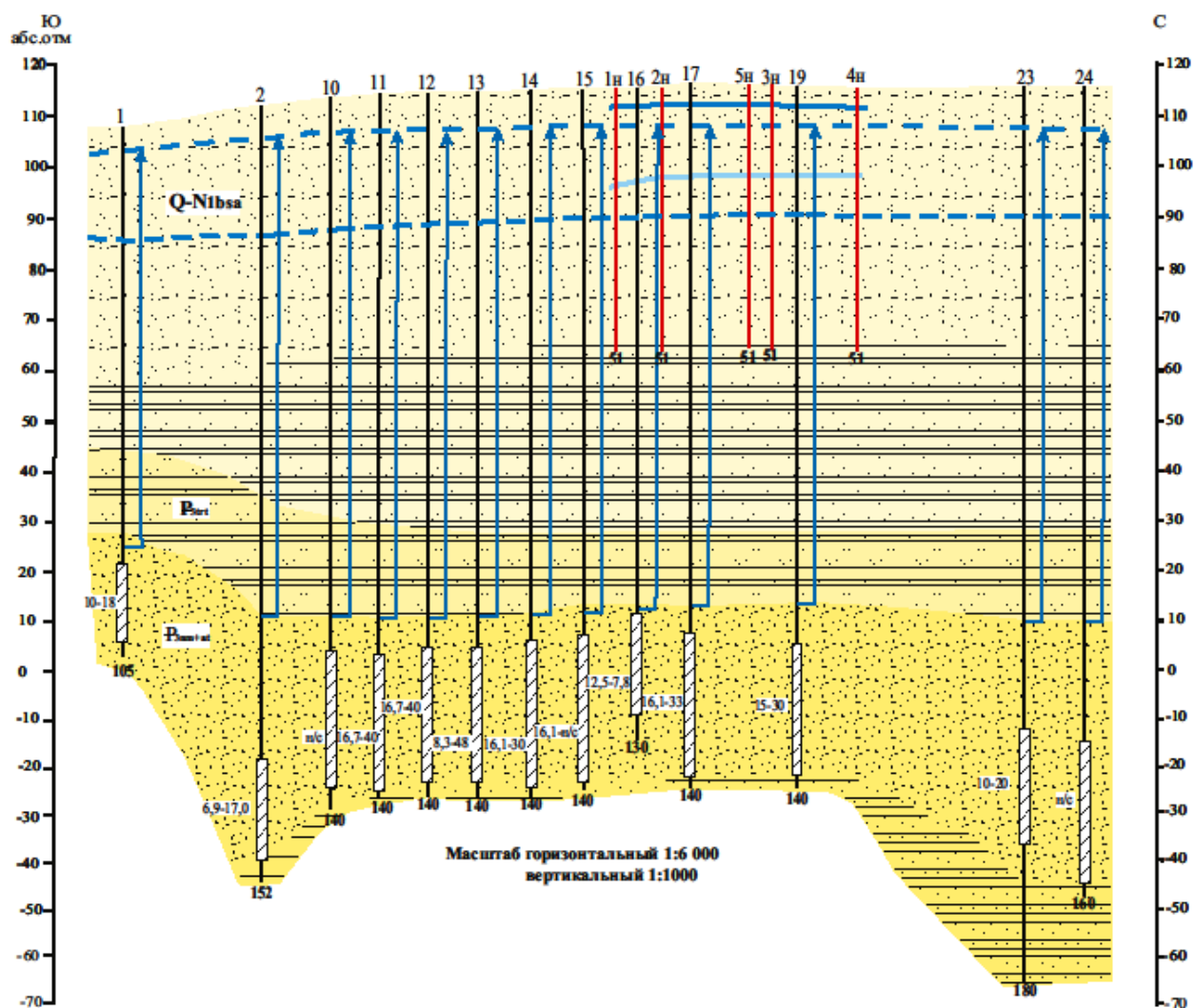
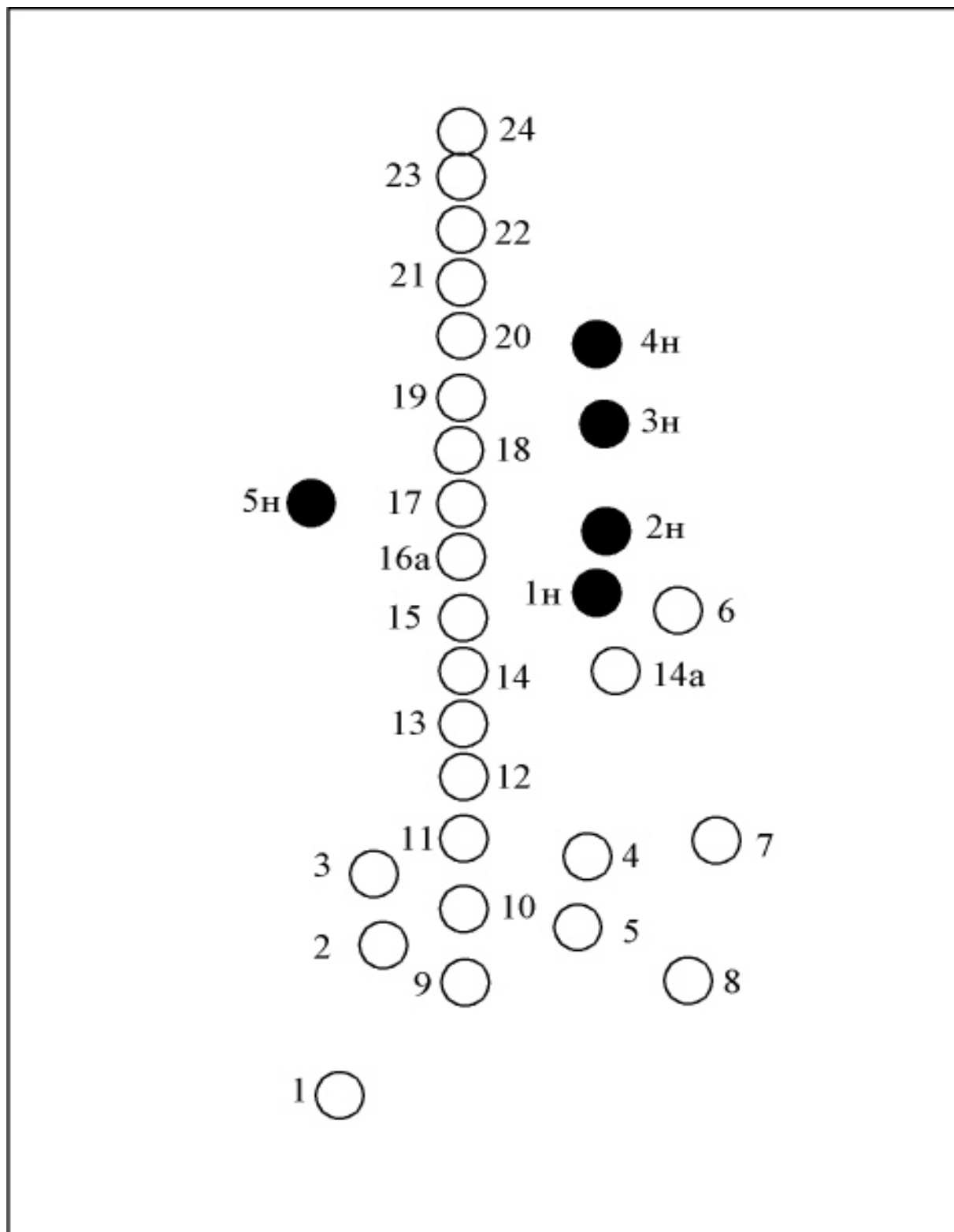


Рис. 5.2. Геолого-гидрогеологический разрез по городскому водозабору г. Муравленко.

По материалам отчёта [45]



М 1:10 000

Рис. 5.3. Схема скважин водозабора Муравленко



а) Затампонированные скважины



б) Наблюдательные скважины №№1 и 2

Рис. 5.4. Внешний вид водозабора. По материалам отчёта [45]



Рис. 5.5. Внутреннее оборудование боксов. По материалам отчёта [45]

По итогам каждого года составляется сводная таблица по забору воды. Средние значения основных показателей эксплуатации водозабора сведены в табл. 5.1. Данные свидетельствуют, что максимальная производительность водозабора была в 2001 – 2003 г.г. В те же годы наблюдалась максимальная производительность скважин, а количество эксплуатационных скважин практически не менялось. По данным отчёта [45] снижение производительности водозабора связано со снижением потребления и оптимизацией потребления воды. Гидрогеологические факторы не повлияли на снижение производительности водозабора.

Наиболее достоверные данные по уровням подземных вод, измеренным в процессе эксплуатации, имеются за период с 1990 по 2003 г.г. Эта ситуация связана с непосредственным участием автора с анализом данных по водозабору в указанный период. Поэтому дальнейший анализ будет выполнен по материалам (табл.), полученным в эти годы [29]

Таблица 5.1 – Основные показатели работы водозабора г. Муравленко

Год эксплуатации	Средняя производительность водозабора, м ³ /сутки	Количество работающих скважин	Средняя производительность скважины, м ³ /сутки
1990	10528	16	658
1998	14583	23	634
2001	16090	24	670
2003	16166	24	674
2006	14122	24	588
2007	12033	25	481
2008	10966	23	477
2009	10578	23	460
2010	10208	22	464

Анализ основных характеристик эксплуатации водозабора однозначно показывают (табл. 5.2) водозабор работает в стационарном режиме. Увеличение общего дебита прямо пропорционально связано со значениями среднего понижения по скважинам и с увеличением количества эксплуатируемых скважин. Удельный дебит водозабора и средний расход скважин сохраняются неизменными (табл. 5.2). Несколько снизился средний удельный дебит эксплуатационных скважин, что связано с процессами кольтматации фильтров

Таблица 5.2 – Показатели эксплуатации водозабора г. Муравленко в 1990, 1998, 2001 г.г.

Показатели	Годы			Соотношение показателей		
	1990	1998	2001	1998/ 1990	2001/ 1998	2001/ 1990
Производительность водозабора, м ³ /сут	10528	14583	16090	1.39	1.10	1.53
Количество рабочих скважин	16	23	24	1.44	1.04	1.50
Среднее понижения в рабочих скважинах, м	24.4	34.2	35.8	1.40	1.05	1.47
Средняя производительность скважин, м ³ /сут	658	634	670	0.96	1.06	1.06
Средний удельный дебит скважины, м ² /сут	27.0	18.5	18.7	0.69	1.01	0.69
Среднее понижение в наблюдательных скважинах основного горизонта, м	-	11.2	12.9	-	1.15	-
Максимальное понижение по эксплуатационным скважинам, м	49	54	54	1.10	1.0	1.10

В связи с возможными изменениями фильтрационного сопротивления водозаборных скважин, отдельно проанализированы данные по наблюдательным скважинам за 1998, 2001 и 2003 гг (табл. 5.3).

Анализ основных характеристик эксплуатации водозабора в 1998, 2001 и 2003 г.г. однозначно показывают (табл. 5.3), что водозабор работает в стационарном режиме. Отклонение от средних величин составляет несколько %. Удельный дебит водозабора в последние годы практически стабилен.

В течение года водопотребление, и, соответственно, дебит и понижение в скважинах водозабора меняется. Данные режимных наблюдений за 2003 г (табл. 5.4), показывают, что водопотребление снижается в летние месяцы. Понижение уровня в наблюдательных скважинах изменяется, в целом, пропорционально дебиту водозабора. Заметное влияние на динамику уровней оказывает весенне-летнее восполнение запасов подземных вод. Наиболее существенное восполнение запасов происходит в июне – июле. Восполнение запасов отчётливо проявляется в сезонном снижении удельного дебита водозабора (табл. 5.4). Эти данные подтверждают тесную связь основного эксплуатируемого горизонта с приповерхностным (четвертичным) водоносным горизонтом.

Таблица 5.3 – Показатели эксплуатации водозабора г. Муравленко за 1998, 2001 и 2003 гг

Показатели	Среднее значение	Годы		
		1998	2001	2003
Производительность водозабора, м ³ /сут	15611	14583	16090	16166
Отклонение от средней производительности, %	-	-6.6	+3.1	+3.6
Среднее понижение в набл. скважинах, м	12,00	11,20	12,90	11,90
Отклонение от среднего понижения, %	-	-6.7	+7.0	-1.0

Таблица 5.4 – Данные режимных наблюдений по водозабору г. Муравленко за 2003 г

Месяц	Дебит, м ³ /сут	Среднее понижение в месяц, м	Средний удельный дебит, м ² /сут
Январь	16993	9.98	1702
Февраль	17167	10.07	1704
Март	16583	9.40	1764
Апрель	17249	9.64	1789
Май	17274	8.98	1923
Июнь	14589	9.20	1585
Июль	13518	9.20	1469
Август	13937	8.22	1695
Сентябрь	16104	9.00	1789
Октябрь	16471	9.04	1822
Ноябрь	16884	9.28	1819
Декабрь	17324	9.06	1912
Итого за год	16166	9.26	1748

На основании данных эксплуатации водозабора, учитывая его геометрические характеристики (рис. 5.3) и среднее понижение в наблюдательных скважинах, можно оценить действующие гидродинамические параметры водоносного горизонта. Расчёты выполнены по зависимостям (5.20, 5.23, 5.28, 5.30-5.32), на основе данных 1998 и 2001 г.г. (табл. 5.5).

Таблица 5.5 – Результаты обработки данных по водозабору

год	$Q_B, \text{ м}^3/\text{сут}$	$r_K, \text{ м}$	$S_{H \text{ ср}}, \text{ м}$	$T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$K_0(r/B)$	r/B	$B, \text{ м}$
1998	14583	180	11.2	272	0.76	0.62	286
2001	16128	180	12.9	272	0.73	0.63	290

Результаты расчётов показывают, что значения действующих параметров водоносного горизонта практически точно соответствуют величинам, полученным при обработке данных кустовой откачки.

Надёжное определение гидродинамической схемы водозабора и параметров пласта позволяет рассчитать значения дополнительных понижений (ΔS_C и ΔS_{HC}) в скважинах водозабора (табл. 5.6) на основании зависимостей (2.21, 2.29-2.31).

Таблица 5.6 – Оценка значений дополнительных понижений в скважинах

год	$Q_B, \text{ м}^3/\text{сут}$	$Q_C, \text{ м}^3/\text{сут}$	$S_{H \text{ ср}}, \text{ м}$	$\sigma, \text{ м}$	$S_C, \text{ м}$	$\Delta S_C, \text{ м}$	$\Delta S_{HC}, \text{ м}$
1990	10528	658	8.44	70	24,4	1.66	14.3
1998	14583	634	11.2	70	34,2	1.60	21.4
2001	16128	670	12.9	70	35,8	1.70	21.2

Для оценки степени гидродинамического несовершенства эксплуатационных скважин рассчитаны значения необходимых показателей (табл. 5.7). Расчёты показали, что эксплуатационные скважины характеризуются как исключительно несовершенные. Степень несовершенства значительно увеличилась по сравнению с 1990 г. Дополнительное понижение в скважинах за счёт гидродинамического несовершенства скважин имеет существенные величины с начала эксплуатации водозабора. В последние годы эта величина существенно не меняется (см. табл. 5.7).

Таблица 5.7 – Основные показатели для оценки гидродинамического несовершенства скважин

годы	$Q_c, \text{м}^3/\text{сут}$	$S_{cc}, \text{м}$	$\Delta S_{nc} / S_{cc}$	$\lg(r_c/r'_c)$
1990	658	2.95	4.85	16.13
1998	634	2.85	7.51	25.06
2001	670	3.01	7.04	23.49

Общее понижение в эксплуатационных скважинах складывается из трёх составляющих ($S_K, \Delta S_c, \Delta S_{nc}$). Можно оценить роль каждой составляющей в общем понижении (табл. 5.8)

Таблица 5.8 – Оценка роли $S_K, \Delta S_c, \Delta S_{nc}$ в суммарном понижении уровня

год	S_K/S_c	$\Delta S_c/S_c$	$\Delta S_{nc}/S_c$
1990	0.35	0.07	0.58
1998	0.33	0.05	0.62
2001	0.36	0.05	0.59

Расчёты показывают, что среднее понижение по водозаборной системе (S_K) составляет примерно 1/3 от суммарного понижения в водозаборных скважинах. Значение дополнительного понижения за счёт положения скважин в водозаборной системе (ΔS_c) относительно невелико (6 %). Это показывает, что скважины можно располагать на значительно более близких расстояниях между собой. Основной вклад в суммарное понижение осуществляет гидродинамическое несовершенство скважин (60 %).

Выводы

1. Анализ показателей работы водозабора подтвердил, что в этих условиях реализуется схема пласта с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором. Водозабор эксплуатируется в стационарном режиме.
2. Значения действующих параметров водоносного горизонта практически точно соответствуют величинам, полученным при обработке данных кустовой откачки, выполненной на стадии разведки.

3. Понижение в водозаборных скважинах складывается из нескольких составляющих, но основную часть понижения (примерно 60%) составляет дополнительное понижение за счёт гидродинамического несовершенства скважин.
4. Значение дополнительного понижения за счёт положения скважин в водозаборной системе (ΔS_c) относительно невелико (6 %). Это показывает, что скважины можно располагать на значительно более близких расстояниях между собой.

5.3. Анализ эксплуатации водозабора г. Губкинский

Детальная разведка пресных подземных вод на участке, предназначенном для организации водозабора, была закончена в 1988 г. Полевые работы проводились в 1986-1987 гг. В процессе разведки месторождения, утверждения запасов и проектирования водозабора месторождение называлось Тарасовским.

Территориальная комиссия по запасам постановила утвердить по состоянию на 1.09.1988 г., на неограниченный срок использования, балансовые эксплуатационные запасы пресных подземных вод атлымского водоносного горизонта в количестве: по категории А – 16 тыс. м³/сут., по категории В - 18 тыс. м³/сут., по категории С1 – 26 тыс. м³/сут. В протоколе ТКЗ также указано, что месторождение подземных вод по сложности гидрогеологических условий относится к I группе, и, учитывая простые условия, возможно изменение схемы водозабора (в пределах утвержденных запасов).

Подсчет запасов произведен применительно к линейной двухрядной системе эксплуатационных скважин (рис. 5.6) с расстоянием между скважинами 50 м, с расстоянием между рядами 125 м, по схеме с перетеканием, с постоянным уровнем в питающем пласте. Нагрузка на скважину принималась равной 2 тыс. м³/сут. Расчетные параметры: коэффициент водопроводимости – 1020 м²/сут., эффективная мощность – 52 м, параметр перетекания 720 м, допустимое понижение – 66,9 м.

В настоящее время водозабор линейный двухрядный, расстояние между скважинами в ряду 50 м, между рядами – 100 м, за исключением скважин №№ 8 и 9, которые пробурены между первым и вторым рядами на расстоянии 50 м от них. Скважины оборудованы насосами ЭЦВ – 10 – 63 – 110 – 160; 2 ЭЦВ – 10 – 63 – 65.

Продуктивный водоносный горизонт приурочен к отложениям атлымской свиты. Водовмещающие породы представлены песками разномелкозернистыми, средне- и мелкозернистыми, слабоглинистыми и глинистыми. Кровля водоносного горизонта залегает на глубине от 65 до 125 м, подошва – от 118 до 165 м. в подошве горизонта залегают глинистые осадки, приуроченные к нижней части разреза атлымской свиты и

отделяющие его от нижележащего юрковского водоносного горизонта. Дополнительное понижение в скважинах за счёт гидродинамического несовершенства скважин имеет существенные величины с начала эксплуатации водозабора. В последние годы эта величина существенно не меняется (см. табл. 5.7).

Средняя эффективная мощность водоносного горизонта по водозабору составляет 41 м. Статический уровень подземных вод, по разным источникам, устанавливается на глубине 7-10 м, воды напорные. Величина напора над кровлей составляет в среднем 85 м. Эксплуатационные скважины оборудованы каркасно-стержневыми фильтрами длиной в среднем 30 м, диаметр фильтровой колонны 168 мм. Фактически на водозаборе до 1997 г. не было ни одной скважины с дебитов равным 2 тыс. м³/сут., принятым при подсчете запасов за расчетный.

Сведения, представленные в отчетной документации, позволяют оценить основные закономерности эксплуатации водозабора, значения действительных гидрогеологических параметров, соответствие проектной и фактической гидродинамической схемы. По итогам каждого года составляется сводная таблица по забору воды. Данные по 1997 и 1998 гг. приведены в табл. 5.9.

Таблица 5.9 – Данные по забору воды в 1997 – 1998 гг.

Месяц	Забор воды в 1997 г., м ³	Забор воды в 1998 г., м ³
Январь	365612	538138
Февраль	331565	388055
Март	364666	403158
Апрель	355224	330006
Май	331380	392679
Июнь	259047	310423
Июль	207804	237705
Август	225171	292430
Сентябрь	315034	388338
Октябрь	354941	367195
Ноябрь	346966	458537
Декабрь	304295	472541
Итого	3761705	4579205

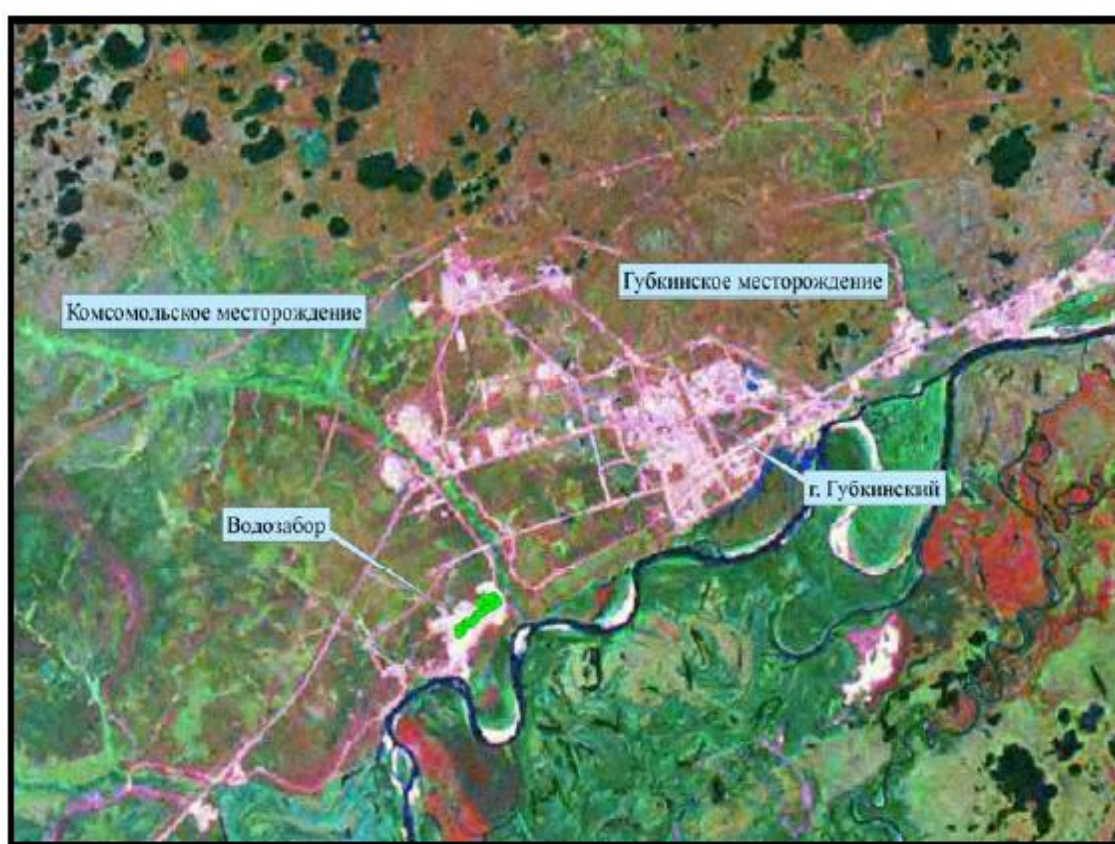


Рис. 5.6. Расположение водозабора г. Губкинский

Для сравнительного анализа данных эксплуатации и расчетных параметров водозабора по результатам разведки выполнен перерасчет показателей работы водозабора в гидрогеологические единицы измерения ($\text{м}^3/\text{сутки}$). Результаты перерасчета показывают, что основные количественные характеристики водоотбора в 1997-1999 гг. не имеют значительных отличий. Средние годовые дебиты составили в 1997 г и 1998 г. соответственно 10306 и 12546 $\text{м}^3/\text{сут.}$ В летний период в эти годы водоотбор снижался, и составлял, соответственно, 6703 и 7668 $\text{м}^3/\text{сутки}$.

Для детального анализа водоотбора из скважин выполнен перерасчет фактических данных 1998 г. (табл. 5.10). Из отчетной документации взяты данные, позволяющие рассчитать средние показатели расходов и уровней в водозаборных скважинах. Среднее количество работающих скважин в 1998 г. было 12; средний дебит скважины – 1072 $\text{м}^3/\text{сут.}$; средний динамический уровень – 19,1 м; средний уровень в неработающих скважинах составлял 10,3 м.

В качестве показателя устойчивости средних месячных характеристик приведены значения квадратичных отклонений от средних значений динамического уровня (см. табл. 5.10). Средние отклонения составляют 1-3 м, что показывает устойчивость и достаточную равномерность работы водозаборных скважин. Следовательно, средние показатели скважин позволяют надежно оценить работу водозабора в целом.

Динамика изменения средних показателей в течение года, позволяет считать, что вариации средних месячных значений относительно средних годовых показателей невелики, что также подтверждает устойчивость работы водозабора и приемлемость использования средних показателей.

Первый этап сравнительной оценки фактической и прогнозной (по данным разведки) работы водозабора следует выполнить путем сопоставления значений расходов и уровней. Дебит водозабора на первую очередь проектировался 32650 $\text{м}^3/\text{сут.}$ Расчетное понижение в водозаборных скважинах (35 шт.) должно было составить 26 м.

Фактический средний водоотбор в 1998 г. составил 12546 $\text{м}^3/\text{сут.}$, т.е. более чем в два раза меньше проектного. Среднее понижение в работающих скважинах, если его отсчитывать от начального статического уровня (7.0 м), составило 12,1 м. Данное значение, также как и дебит водозабора, более чем в 2 раза меньше проектной величины. Следует отметить, что количество работающих водозаборных скважин (12 шт.), практически в 3 раза меньше проектного количества (35 шт.), т.е. нагрузка на работающую скважину несколько больше проектной нагрузки, но примерно ей

соответствует. Фактические данные показывают, что водозабор с высокой степенью запаса обеспечен эксплуатационными ресурсами подземных вод.

При оценке эксплуатационных запасов авторами была принята схема безграничного напорного пласта с перетеканием, с постоянным уровнем в питающем пласте. Фактические данные эксплуатации (стационарный режим водоотбора) полностью подтверждают указанную фильтрационную схему месторождения.

Таким образом, анализ эксплуатации водозабора на месторождении подземных вод подтверждает, что водозабор обеспечен эксплуатационными запасами. Надёжно подтверждается гидродинамическая схема эксплуатируемого водоносного горизонта как напорного пласта с питанием за счёт перетекания из пласта с постоянным напором.

На основании данных эксплуатации водозабора, учитывая его геометрические характеристики и среднее понижение в наблюдательных скважинах, можно оценить действующие гидродинамические параметры водоносного горизонта. Расчёты выполнены по зависимостям (2.20, 2.23, 2.28, 2.30-2.32), на основе данных 1998 г. (табл. 5.11).

Таблица 5.11 – Результаты обработки данных по водозабору

$Q_b, \text{ м}^3/\text{сут}$	$r_k, \text{ м}$	$S_{н\text{ ср}}, \text{ м}$	$T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$K_0(r/B)$	r/B	B
12546	110	3.52	1060	1.87	0.17	647

Результаты расчётов показывают, что значения действующих параметров водоносного горизонта практически точно соответствуют величинам, полученным при обработке данных кустовой откачки.

Надёжное определение гидродинамической схемы водозабора и параметров пласта позволяет рассчитать значения дополнительных понижений (ΔS_c и ΔS_{nc}) в скважинах водозабора (табл. 5.12) на основании зависимостей (2.21, 2.29-2.31).

Таблица 5.12 – Оценка значений дополнительных понижений и гидродинамического несовершенства скважин

$Q_c, \text{ м}^3/\text{сут}$	$S_k, \text{ м}$	$\sigma, \text{ м}$	$S_c, \text{ м}$	$\Delta S_c, \text{ м}$	$\Delta S_{nc}, \text{ м}$	$\lg(r_c/r'_c)$
1070	3.52	50	12.1	0.36	8.22	22.6

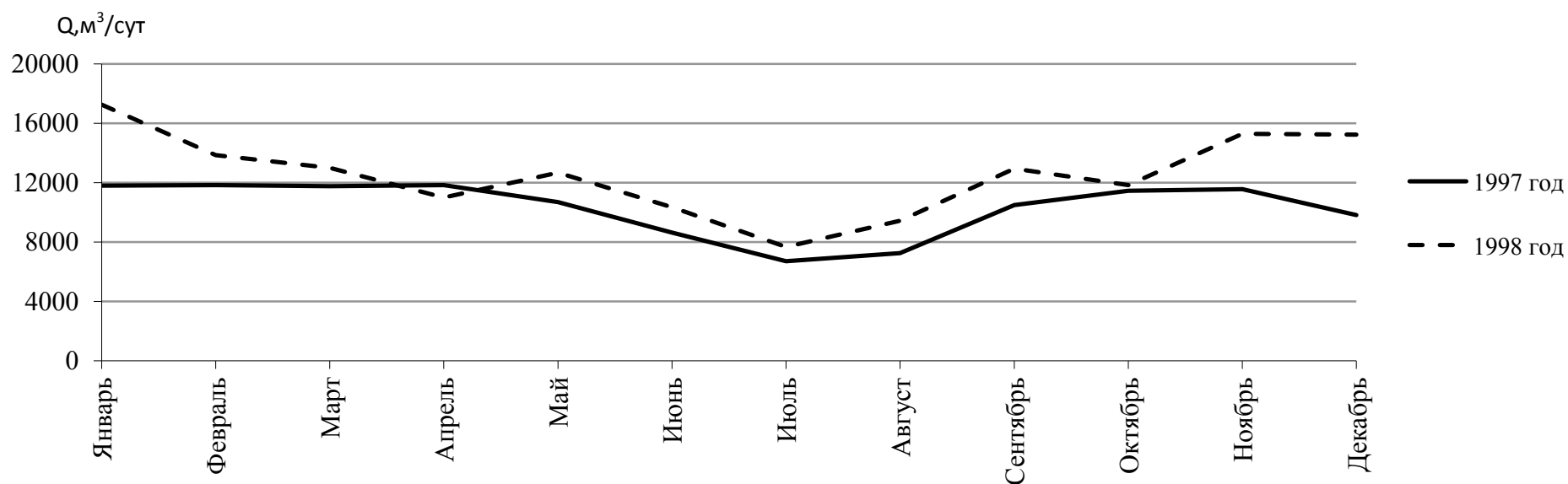


Рис. 5.7. Среднесуточный отбор воды на водозаборе г. Губкинский по месяцам в 1997 – 1998 г.

Таблица 5.10 – Данные по водоотбору из скважин в 1998 г.

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Среднее годовое значение
Кол-во работающих скважин	15	-	13	13	13	12	7	7	11	11	13	14	11.7
Сред. расход скважин, м ³ /сут	1157	-	1000	846	974	862	1095	1348	1178	1077	1176	1088	1064,4
Сред. уровень в нераб. скв. (глубина), м	9.0	-	10.4	11	10.6	-	-	-	11.5	11.0	8.8	10.0	13,3
Динам. уровень (глубина), м	18.0	-	21.2	18.1	19.5	22.2	17.7	18.4	19.5	18.6	18.3	18.2	1072,8

Для оценки степени гидродинамического несовершенства эксплуатационных скважин рассчитано значение $\lg(r_c/r'_c)$. Расчёты показали, что эксплуатационные скважины характеризуются как исключительно несовершенные (см. табл. 5.12).

Общее понижение в эксплуатационных скважинах складывается из трёх составляющих (S_k , ΔS_c , ΔS_{nc}). Можно оценить роль каждой составляющей в общем понижении (табл. 5.13)

Таблица 5.13 – Оценка роли S_k , ΔS_c , ΔS_{nc} в суммарном понижении уровня.

Год	S_k/S_c	$\Delta S_c/S_c$	$\Delta S_{nc}/S_c$
1998	0.29	0.03	0.68

Расчёты показывают, что среднее понижение по водозаборной системе (S_k) составляет меньше 1/3 от суммарного понижения в водозаборных скважинах. Значение дополнительного понижения за счёт положения скважин в водозаборной системе (ΔS_c) очень мало (3 %). Это показывает, что скважины можно располагать на значительно более близких расстояниях между собой. Основной вклад в суммарное понижение осуществляет гидродинамическое несовершенство скважин (68 %).

Выводы

1. Анализ показателей работы водозабора подтвердил, что на этом участке реализуется схема пласта с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором. Водозабор эксплуатируется в стационарном режиме.
2. Результаты расчётов показывают, что значения действующих параметров водоносного горизонта практически точно соответствуют величинам, полученным при обработке данных кустовой откачки, выполненной на стадии разведки.
3. Понижение в водозаборных скважинах складывается из нескольких составляющих, но основную часть понижения (68%) составляет дополнительное понижение за счёт гидродинамического несовершенства скважин.
4. Значение дополнительного понижения за счёт положения скважин в водозаборной системе (ΔS_c) очень небольшое (3%). Это показывает, что скважины можно располагать на значительно более близких расстояниях между собой.

5.4. Анализ эксплуатации водозабора г. Лангепас

Наблюдения за количеством отбираемой воды по каждой эксплуатационной скважине, положением динамических уровней подземных вод и качеством воды на водозаборе ВОС-8000 выполняются недропользователем (ЛП МУП «Тепловодоканал»). Полученные данные позволяют судить об относительном постоянстве режима эксплуатации водозаборных скважин на протяжении многих лет и относительно постоянном положении динамических уровней, свидетельствующих о том, что водозабор работает в стационарном режиме.

Всего на территории водозабора ВОС-8000 на данный момент располагается 19 скважин (рис. 5.8.), вскрывающих основной продуктивный (атлымский) водоносный горизонт, одна из которых используется в качестве наблюдательной (№ 4, по паспорту – НЖ-240). Одна наблюдательная скважина (№ 8Q) пройдена на четвертичный водоносный горизонт прямо на территории водозабора, вторая наблюдательная скважина (№ 7Q) находится возле автотрассы Сургут – Нижневартовск в 700 м от водозабора. Большинство эксплуатационных скважин непрерывно находится в работе, меньшая часть находится в резерве в процессе ремонта или технического обслуживания.

Анализ режимных данных по наблюдательной скважине № 4, расположенной на территории артезианского водозабора ВОС-8000, позволяет выявить тесную взаимосвязь между понижением в наблюдательной скважине и величиной суммарного водоотбора. На рис. 5.9 представлены данные за 1998–2001 г.г. График дает четкое представление об обратной зависимости, установившейся между величиной производительности водозабора и положением абсолютной отметки уровня подземных вод в продуктивном атлымском водоносном горизонте. Кроме того, прослеживается четкая взаимосвязь между положением уровня в атлымском водоносном горизонте и уровнем подземных вод в приповерхностном четвертичном водоносном горизонте (по результатам наблюдений в скв. 8Q).

Таким образом, взаимосвязь уровней и расходов наглядно показывает, что артезианский водозабор ВОС-8000 работает в стационарном режиме, а колебания динамического уровня связаны исключительно с изменением суммарной производительности водозаборных скважин по сезонам года, что, в свою очередь, обусловлено чисто техническими причинами. Наличие прямой взаимосвязи между положениями уровней в приповерхностном и продуктивном водоносных горизонтах однозначно свидетельствуют о тесной гидравлической связи, дополнительном питании основного продуктивного горизонта и, как следствие, реализации гидродинамической

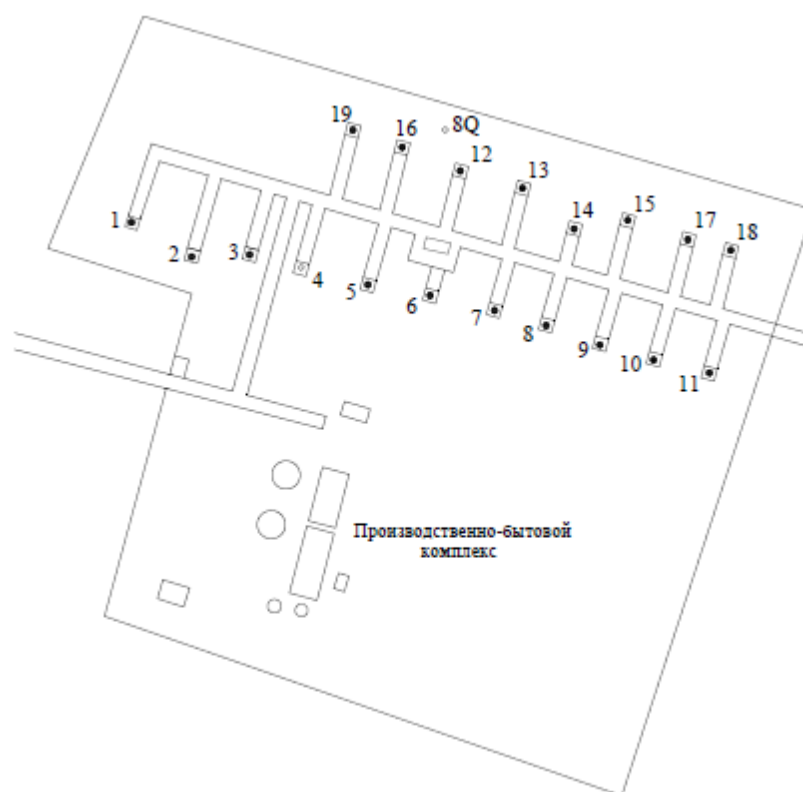
схемы пласта с перетеканием при эксплуатации водозабора. Стационарный режим эксплуатации водозабора обеспечивается компенсацией отбираемого расхода подземных вод за счет дополнительного питания в результате перетекания из вышележащих водоносных горизонтов.

Стационарный режим эксплуатации водозабора характеризуется постоянным положением динамического уровня подземных вод. Стабилизация уровней происходит благодаря компенсации водоотбора за счет дополнительного питания основного продуктивного атлымского горизонта за счет перетекания. Таким образом, основные ресурсы подземных вод поступают в продуктивный горизонт извне, а именно – из водоносных горизонтов, залегающих выше, главным образом – четвертичного водоносного горизонта с привлечением дополнительного питания за счет атмосферных осадков и из поверхностных источников.

Таким образом, на основании анализа данных режимных наблюдений выполнена достоверная оценка источников формирования эксплуатационных запасов. При выполнении прогнозных расчетов изменения основных показателей при эксплуатации водозабора следует применять решение Хантуша для условно однородного безграничного в плане пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором.

Рассчитанная потребность ЛГ МУП «Тепловодоканал» в воде для обеспечения хозяйственно–питьевого и производственно–технического водоснабжения г. Лангепас и промышленных предприятий составляет 7091449 м³/год (19429 м³/сут). Численность населения г. Лангепас составляет 44500 человек. Данные режимных наблюдений, основанные на показаниях контрольно–измерительной аппаратуры, свидетельствуют, что средняя величина фактического водоотбора имеет значения, существенно меньшие величины заявленной потребности (табл. 5.14) и за последние пять лет не превышала 68% от расчетного значения. В течение года пик водопотребления и, соответственно, максимальный отбор подземных вод приходится, как правило, на февраль. Максимальный среднемесячный дебит водозабора, отмечающийся в это время, также никогда не превышает расчетной величины заявленной потребности и составляет 78–90% от рассчитанного значения. Таким образом, расчетная величина заявленной потребности в питьевой воде имеет определенный запас.

По данным материалов детальной разведки, выполненной на участке Лангепасского месторождения пресных подземных вод в 1985 г, до начала эксплуатации статический уровень в продуктивном атлым–новомихайловском водоносном комплексе располагался на глубине 2,1–2,8 м, в среднем – 2,5 м с абсолютной отметкой 39,0 м [3].



11 (●) - водозаборная скважина и её номер;

8Q - наблюдательная скважина на приповерхностный горизонт;

4 (■) - наблюдательная скважина на продуктивный (атльмский) водоносный горизонт.

М 1:2000

Рис. 5.8. Схема расположения скважин на артезианском водозаборе питьевого водоснабжения ВОС-8000, г. Лангепас

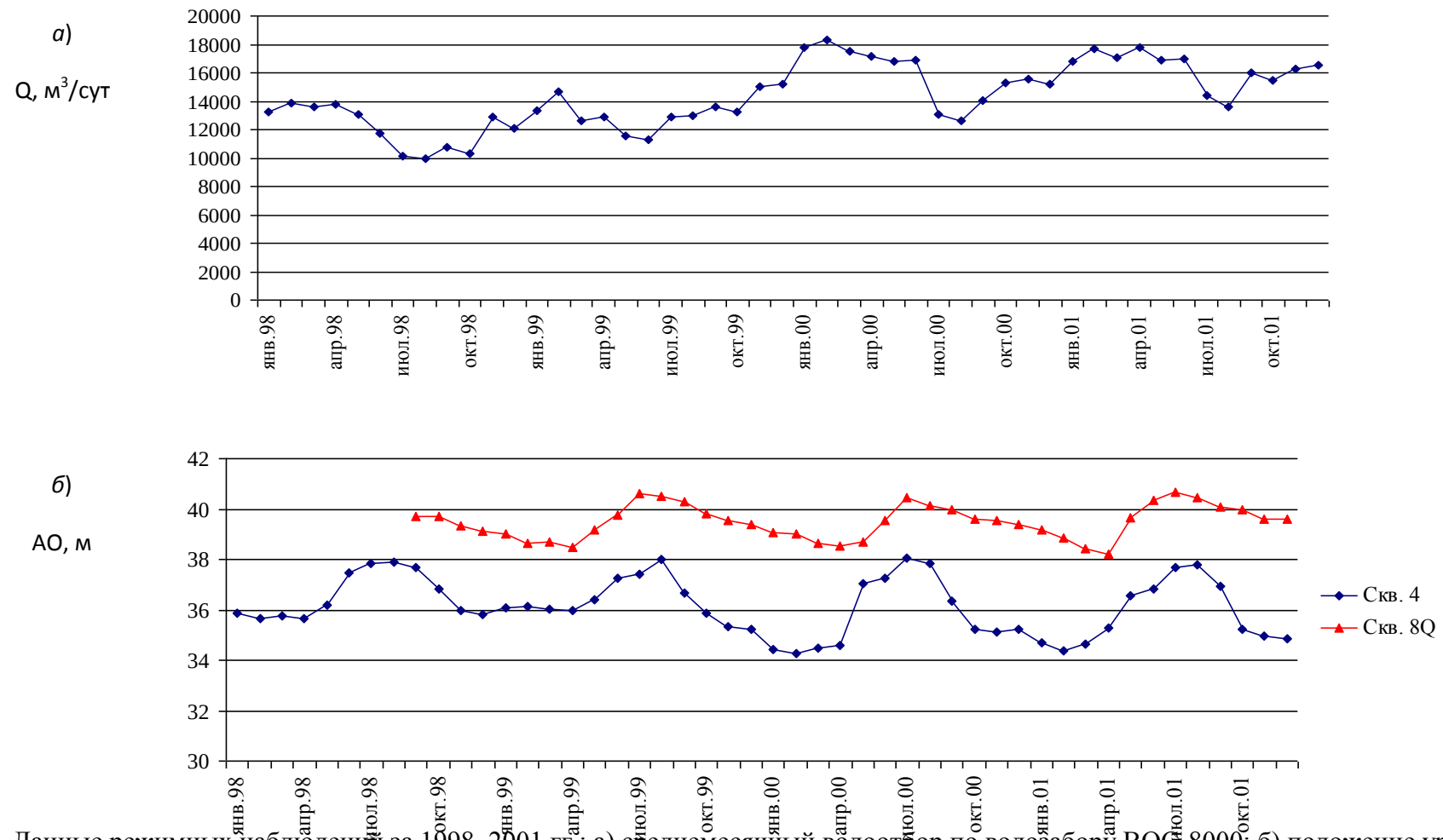


Рис. 5.9. Данные режимных наблюдений за 1998–2001 гг.: а) среднемесечный водоотбор по водозабору ВОС-8000; б) положение уровней в наблюдательных скважинах №№ 4 (атлымский горизонт) и 8Q (четвертичный горизонт).

Таблица 5.14 – Величина добычи подземных вод по водозабору ВОС-8000

Годы	2005	2006	2007	2008	2009
Объем добычи, м ³	4806602	4832921	4832921	4736647	4656522
Дебит водозабора, м ³ /сут	13168,8	13240,9	13240,9	12941,7	12757,6

На момент обследования водозабора ВОС-8000 16 декабря 2009 года в работе находилось 14 скважин, 4 скважины (№№ 3, 5, 8, 10) были остановлены с целью технического обслуживания. Контрольные замеры показали, что динамические уровни, в работающих скважинах, располагаются на глубинах от 8,31 до 23,34 м. Понижения уровней составляют от 3,81 до 18,84 м, в среднем – 11,0 м. Абсолютные высотные отметки динамических уровней составляют от 35,19 до 20,16 м. В среднем, динамический уровень в работающих скважинах находится на отметке 28,0 м.

Особое внимание было уделено замерам уровней по неработающим скважинам, т.к. они в сложившейся ситуации выступали в роли наблюдательных. Во временно неработающих скважинах №№ 5, 8 и 10 и в наблюдательной скважине № 4 уровни располагались на глубине 6,68–9,41 м. Понижения динамического уровня составляли от 2,38 до 4,91 м, в среднем – 4,0 м. Абсолютные отметки уровней имели значения от 36,62 до 34,09 м, среднее значение составляло 35,0 м..

В наблюдательных скважинах и скважинах, временно выведенных из работы, отсутствует значительный градиент от работы водоподъемного оборудования. Как следствие, несовершенство наблюдательных скважин практически не сказывается на положении динамических уровней. Поэтому, наблюдательные скважины, расположенные на территории водозаборных сооружений, как правило, отражают среднее понижение по водозабору или, с гидродинамических позиций, понижение в совершенной скважине (большом колодце). Именно поэтому, полученное среднее понижение по временно неработающим скважинам водозабора ВОС-8000, которое составляет 4,0 м, является важным расчетным параметром и должно быть учтено при приведении водозабора к схеме «большого колодца».

Водозаборные скважины на водозаборе ВОС-8000 расположены в два ряда. Расстояние между рядами составляет 60 м, скважины в ряду расположены на расстоянии 27 м друг от друга. В плане площадь, занимаемая водозабором, имеет форму трапеции. Такое расположение скважин делает необходимым расчет приведенного радиуса (радиуса

«большого колодца») по формуле площадного водозабора [70], а не по формуле линейного ряда.

Используя соответствующие зависимости (5.4), учитывая, что периметр водозабора равен 624 м, а площадь – 14404 м², получим два значения r_k – 62,4 и 67,7 м. Полученные значения весьма близки между собой, для последующих расчетов следует принять среднее значение приведенного радиуса, равное 65 м.

Среднегодовой водоотбор на водозаборе ВОС-8000 составляет около 13100 м³/сут. На момент обследования водозабора и массового замера уровней 14.12 2009 г текущий объем добычи по водозабору составлял 12000 м³/сут. Существенная величина водоотбора при незначительном общем понижении по водозабору (понижении в «большом колодце»), равном 4,0 м, свидетельствует о значительных фильтрационных свойствах пласта, о чрезвычайно высокой обеспеченности артезианского водозабора ВОС-8000 запасами подземных вод и о компенсации водоотбора за счет привлекаемых ресурсов в результате перетекания из соседних водоносных горизонтов.

При реализации схемы пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором расчеты выполняются на основании решения Хантуша, которое при наступлении стационарного режима упрощается до зависимости (5.9). Стационарный режим отражает установившийся режим фильтрации, когда водоносная система приходит в равновесие. Данное равновесие характеризуется усредненным значением водопроводимости, характеризующим фильтрационные свойства пласта по завершению влияния различных гидродинамических эффектов.

Используя зависимость (5.9), опираясь на значение $T = 831$ м²/сут (табл. 4.12), можно оценить достоверность определения параметров. В результате обработки данных по характеристикам большого колодца, получим значение $B = 310$ м (табл. 5.15). Величина параметра перетекания, рассчитанная по данным разведочных работ, составляет 362 м. Таким образом, можно считать, что гидродинамические параметры, полученные по данным разведочных работ, являются достоверными. Значения параметров водопроводимости и перетекания следует использовать для анализа данных эксплуатации и переоценки запасов подземных вод по участку водозабора ВОС-8000.

Таблица 5.15 – Оценка достоверности определения гидродинамических параметров

Q_B , м ³ /сут	T , м ² /сут	S_k , м	r_k , м	$K_0(r/B)$	(r/B)	B , м
12000	831	4,0	65	1,79	0,21	310

Одним из опорных параметров при подсчете запасов подземных вод является величина допустимого понижения уровня в эксплуатационных скважинах. Величина допустимого понижения в водозаборной скважине определяется, прежде всего, строением гидрогеологического разреза на участке водозабора. Для безнапорного пласта она составляет половину от его мощности, для напорного пласта – соответствует напору над кровлей водоносной толщи. На водозаборе ВОС-8000 в качестве напорного водоносного горизонта выступает атлымский водоносный горизонт. В естественном состоянии напор в атлымском водоносном горизонте на территории водозабора ВОС-8000 составлял, в среднем 160 м [3].

Наличие существенного напора над кровлей основного продуктивного водоносного горизонта означает, что величина допустимого понижения в водозаборных скважинах будет определяться глубиной установки водоподъемного оборудования. В настоящее время насосы в эксплуатационных скважинах водозабора ВОС-8000 установлены на глубине 30–40 м. Относительно небольшая глубина установки насосов определяется незначительными динамическими понижениями уровней. В создавшейся ситуации опускать насосы на большую глубину является нецелесообразным, так как в этом случае увеличивается длина водоподъемных труб, происходит их износ и существенно возрастают затраты энергии на подъём воды.

Следует отметить, что глубина установки погружных насосов 40 м не является предельной. Конструкция эксплуатационных скважин водозабора ВОС-8000 позволяет поместить их на большую глубину. В качестве расчетной при переоценке запасов подземных вод по участку водозабора ВОС-8000 была принята глубина установки насосов, равная 60 м. С учетом положения статического уровня на глубине 2,5 м допустимое понижение ($S_{\text{доп}}$) для подземного артезианского водозабора ВОС-8000 составит 57,5 м.

При подсчете запасов подземных вод по водозабору ВОС-8000 величина понижения уровня вследствие водоотбора на конец расчетного периода ($t = 10\,000$ суток) не должна превысить значения $S_{\text{доп}} = 57,5$ м. Это является основным критерием обеспеченности подземного водозабора запасами подземных вод.

Эксплуатационные скважины водозабора ВОС-8000 обладают высоким несовершенством. Об этом свидетельствуют существенные превышения фактических понижений уровней над средним понижением по водозабору. Среднее понижение по водозабору характеризует величину понижения в «большом колодце», т.е. понижение в одной условной большой скважине, совершенной по степени и характеру вскрытия,

радиус которой равен приведенному радиусу водозабора, а производительность равна суммарному дебиту.

Высокая степень несовершенства скважин связана с геолого-гидрогеологическими особенностями района и характерна для артезианских водозаборов Западной Сибири в целом [82, 83]. Процессы вымывания мелкой песчаной фракции из олигоценного водоносного горизонта, а также особенности химического состава подземных вод, приводят к быстрой кальматации и износу фильтров эксплуатационных скважин. Снижение пропускной способности фильтровой колонны приводит к существенному росту фильтрационного сопротивления на границе «скважина – водоносный пласт», что отражается в изменении такого параметра, как действующий гидродинамический радиус скважины (r_c'). В результате роста фильтрационного сопротивления за счет высокого несовершенства величина действующего гидродинамического радиуса может быть на несколько порядков (или даже на десятки порядков) меньше фактического радиуса водозаборной скважины.

Понижения уровней в действующих скважинах на водозаборе ВОС-8000 составляют от 6,51 до 18,84 м. Это означает, что понижения в скважинах в 1,6 – 4,7 раза превышают понижение в совершенном «большом колодце». Поскольку подсчет запасов ведется с учётом прогнозного понижения уровня в эксплуатационных скважинах, дополнительные понижения за счет несовершенства скважин должны быть в обязательном порядке учтены при прогнозных расчетах. В противном случае, при максимальном рассчитанном дебите водозабора фактические понижения в несовершенных скважинах могут существенно превысить прогнозные.

Понижение в эксплуатационной скважине, действующей на территории группового водозабора, складывается из трех составляющих (5.1). Величина среднего понижения известна по результатам контрольных замеров в неработающих и наблюдательной скважине № 4 водозабора ВОС-8000 и составляет $S_k = 4,0$ м. На основании зависимости (3.21), с учетом среднего расстояния между скважинами $\sigma = 27$ м, было рассчитано среднее дополнительное понижение ΔS_c для каждой скважины. Далее, на основании известных значений S_k , ΔS_c и фактических понижений в скважинах S_c , замеренных 16.12.2009 г., было вычислено дополнительное понижение от несовершенства для всех эксплуатационных скважин ΔS_{nc} . Фактический радиус эксплуатационных скважин был принят равным $r_c = 0,1$ м. На основании зависимости (5.19) были вычислены действующие гидродинамические радиусы водозаборных скважин.

Таким образом, разложение фактического измеренного понижения на три составляющих позволяет оценить степень взаимного влияния скважин, рассчитать их действующие гидродинамические радиусы, классифицировать по степени несовершенства и учесть возможность возникновения значительных дополнительных понижений в течение расчетного срока эксплуатации. Результаты расчетов приведены в таблице 5.16.

На основании расчётов (табл. 5.16) можно сделать вывод о том, что эксплуатационные скважины водозабора ВОС-8000 в целом обладают значительным несовершенством. Процессы колюматации и износа фильтров скважин приводят к существенному уменьшению действующих гидродинамических радиусов и значительному увеличению фактических понижений.

Доля понижения за счет несовершенства скважин в общем значении фактического понижения, установленного при контрольном замере, для эксплуатационных скважин водозабора ВОС-8000 изменяется в пределах 20–76 % (табл. 5.17). В относительно благополучных скважинах №№ 13 и 14 доля понижений за счет их несовершенства составляет 20–25 %, превышая величину понижения в совершенном «большом колодце» с учетом влияния соседних скважин не более чем на четверть. В остальных скважинах доля дополнительного понижения за счет несовершенства составляет 38–76 %.

Полученные данные позволяют разделить водозаборные скважины по степени их несовершенства. Различная степень несовершенства подразумевает особый режим эксплуатации водозаборных скважин, позволяет провести ревизию фонда скважин, определить степень их изношенности и наметить работы по ремонту и замене наименее благополучных. Рассчитанные гидродинамические показатели позволяют разделить скважины по степени их несовершенства (табл. 5.17, 5.18) в соответствие с классификацией, представленной в разделе 3.

Таким образом, две скважины водозабора ВОС-8000 (11 % от рабочего фонда) можно отнести к группе умеренно несовершенных, семь скважин (39%) – к группе весьма несовершенных, шесть скважин – к группе исключительно несовершенных (33%). Четыре скважины №№ 3 и 11 являются условно глухими (11%).

В целом, ситуация на артезианском водозаборе ВОС-8000 является типовой и характерна для многих водозаборов Западной Сибири, эксплуатирующих олигоценый водоносный горизонт. Понижения за счет несовершенства скважин составляют основную долю фактического понижения в скважинах. Несмотря на существенную степень несовершенства, значительный запас понижения по эксплуатационным скважинам

Таблица 5.16 – Расчет действующего гидродинамического радиуса эксплуатационных скважин

Скважина	Q, м ³ /сут	S _с , м	S _к , м	ΔS _с , м	ΔS _{нс} , м	lg (r _с /r _{с'})	r _{с'} , м
1 (21э)	984	15,10	4,0	0,79	10,31	24,68	2,11·10 ⁻²⁶
2 (НЖ-238)	912	11,67		0,73	6,94	17,93	1,16·10 ⁻¹⁹
3 (НЖ-237)	800	19,3		0,62	14,68	43,21	6,21·10 ⁻⁴⁵
5 (НЖ-236)	1001	8,40		0,81	3,59	8,46	3,50·10 ⁻¹⁰
6 (НЖ-235)	926	8,67		0,74	3,93	10,00	1,00·10 ⁻¹¹
7 (НЖ-99)	948	10,32		0,76	5,56	13,82	1,52·10 ⁻¹⁵
8 (НЖ-98)	789	9,23		0,61	4,62	40,85	1,67·10 ⁻¹⁵
9 (НЖ-97)	739	12,22		0,57	7,65	24,38	4,13·10 ⁻²⁶
10 (НЖ-96)	759	8,31		0,59	3,72	71,10	2,8·10 ⁻¹³
11 (НЖ-103)	876	18,84		0,69	14,15	38,04	9,20·10 ⁻⁴⁰
12 (НЖ-545)	912	12,86		0,73	8,13	21,01	9,84·10 ⁻²³
13 (НЖ-549)	804	6,51		0,63	1,88	5,51	3,07·10 ⁻⁷
14 (34 Э)	782	6,88		0,61	2,27	6,84	1,44·10 ⁻⁸
15 (НЖ-552)	948	10,49		0,76	5,73	14,24	5,75·10 ⁻¹⁶
16 (103 Э)	773	8,34		0,60	3,74	11,40	4,02·10 ⁻¹³
17 (105 Э)	720	8,50		0,55	3,95	12,92	1,22·10 ⁻¹⁴
18 (101 Э)	816	9,94		0,64	5,30	15,30	5,00·10 ⁻¹⁷
19 (110 Э)	862	13,33		0,68	8,65	23,63	2,32·10 ⁻²⁵

водозабора ВОС-8000 позволяет не опасаться угрозы снижения динамических уровней до глубины установки погружных насосов. Одновременно следует учитывать, что увеличение высоты подъёма воды, за счёт дополнительного понижения уровня, существенно повышает энергетические затраты на эксплуатацию водозабора.

В целом, ситуация на артезианском водозаборе ВОС-8000 является типовой и характерна для многих водозаборов Западной Сибири, эксплуатирующих олигоценый водоносный горизонт. Понижения за счет несовершенства скважин составляют основную долю фактического понижения в скважинах. Несмотря на существенную степень несовершенства, значительный запас понижения по эксплуатационным скважинам водозабора ВОС-8000 позволяет не опасаться угрозы снижения динамических уровней до глубины установки погружных насосов. Одновременно следует учитывать, что увеличение высоты подъёма воды, за счёт дополнительного понижения уровня, существенно повышает энергетические затраты на эксплуатацию водозабора.

Как уже отмечалось выше, доля понижения за счет несовершенства скважин в общем значении фактического понижения, установленного в результате контрольных замеров, для эксплуатационных скважин водозабора ВОС-8000 изменяется в пределах 20–83 %. Перепонижение динамического уровня за счет несовершенства эксплуатационных скважин должно в обязательном порядке учитываться при выполнении прогнозных

Таблица 5.18 – Классификация водозаборных скважин по степени несовершенства

Характеристика скважины	$\lg (r_c / r_c')$	$r_c', \text{ м}$	Номера скважин
Совершенные	0	0,1	-
Условно совершенные	0 – 3,5	$0 - 3 \cdot 10^{-5}$	-
Умеренно несовершенные	3,5 – 7	$3 \cdot 10^{-5} - 10^{-8}$	13, 14
Весьма несовершенные	7 – 14	$10^{-8} - 10^{-15}$	5, 6, 7, 8, 10, 16, 17
Исключительно несовершенные	14 – 28	$10^{-15} - 10^{-29}$	1, 2, 9, 12, 18, 19
Условно глухие	> 28	$> 10^{-29}$	3, 11

Таблица 5.17 – Доля понижения уровня в скважинах водозабора
за счет их несовершенства

Скважина	S_c , м	ΔS_{nc} , м	$\Delta S_{nc} / S_c$
1 (21э)	15,10	9,62	64 %
2 (НЖ-238)	11,67	6,30	54 %
3 (НЖ-237)	19,3	14,68	76 %
5 (НЖ-236)	8,40	2,89	34 %
6 (НЖ-235)	8,67	3,28	38 %
7 (НЖ-99)	10,32	4,89	47 %
8 (НЖ-98)	9,23	4,62	50 %
9 (НЖ-97)	12,22	7,65	58 %
10 (НЖ-96)	8,31	3,72	45 %
11 (НЖ-103)	18,84	13,52	72 %
12 (НЖ-545)	12,86	7,49	58 %
13 (НЖ-549)	6,51	1,30	20 %
14 (34 Э)	6,88	1,70	25 %
15 (НЖ-552)	10,49	5,06	48 %
16 (103 Э)	8,34	3,18	38 %
17 (105 Э)	8,50	3,41	40 %
18 (101 Э)	9,94	4,71	47 %
19 (110 Э)	13,33	8,03	60 %

расчетов на срок эксплуатации водозабора. Дополнительное понижение за счет несовершенства является индивидуальной характеристикой скважины, и при увеличении водоотбора будет возрастать

Выводы

1. Анализ показателей работы водозабора подтвердил, что на участке водозабора ВОС-8000 реализуется схема пласта с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором. Водозабор эксплуатируется в стационарном режиме.
2. Результаты расчётов показывают, что значения действующих параметров водоносного горизонта, несмотря на неоднородность пласта, практически точно соответствуют величинам, полученным при обработке данных кустовых откачек, выполненных на стадии разведки.
3. Доля понижения за счет несовершенства скважин в общем значении фактического понижения, для эксплуатационных скважин водозабора ВОС-8000 изменяется в пределах 20–76 % . В относительно благополучных скважинах доля понижений за счет их несовершенства составляет 20–25 %. В остальных скважинах доля дополнительного понижения за счет несовершенства составляет 38–76 %.
4. Значение дополнительного понижения за счёт положения скважин в водозаборной системе (ΔS_c) очень небольшое (в среднем 0.65 м), его доля от общего понижения примерно 3%. Этот факт показывает, что хотя скважины в водозаборе расположены относительно близко (27 м), их можно располагать на значительно более близких расстояниях между собой.

5.5. Результаты анализа данных эксплуатации водозаборов

Анализ данных по водозаборах питьевых вод показал, что при эксплуатации реализуется схема пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором. При правильной интерпретации данных разведочных работ гидродинамические параметры пласта, определённые по данным разведки, соответствуют значениям параметров, рассчитанным по данным эксплуатации водозаборов.

Понижение уровня в водозаборных скважинах складывается из нескольких составляющих, но основную часть понижения (примерно 2/3) составляет дополнительное понижение за счёт гидродинамического несовершенства скважин. Значение дополнительного понижения за счёт положения скважин в водозаборной системе (ΔS_c) очень небольшое (несколько процентов). Это показывает, что скважины можно располагать на значительно более близких расстояниях между собой.

По степени гидродинамического совершенства большинство скважин отличаются между собой как в пределах одного водозабора, так по разным водозаборам. Некоторые скважины можно рассматривать как практически совершенные. Встречаются скважины с очень высокой степенью несовершенства. Сравнение данных разных лет показало, что степень гидродинамического несовершенства увеличивается по всем скважинам.

В зависимости от показателей несовершенства скважин, дебит водозаборов может быть увеличен в несколько раз. Наряду с высокими фильтрационными свойствами и уровнем восполнения запасов подземных вод, потенциальные возможности водозаборов связаны с их избыточными размерами. Главным образом, существенно завышены расстояния между скважинами.

6. АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПО ВОДОЗАБОРАМ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОД

6.1. Анализ данных по водозабору КНС –2 Южно-Харампурского месторождения

Водозабор КНС-2 обеспечивает систему ППД на Южно-Харампурском месторождении (рис. 6.1). Первая очередь водозабора состояла из 10 скважин, которые были пробурены ЗАО "Недра" в 1995 г. Эксплуатационные запасы этого водозабора были утверждены в количестве 5 тыс. м³/сутки по категории С₁. Для целей производственно-технического водоснабжения системы поддержания пластового давления (ППД) НГДП «Харампурнефть» возникла необходимость увеличения добычи подземных вод на водозаборе КНС-2 до 15000 м³/сутки. Для расширения водозабора в 2001 – 2002 г.г. были пробурены и опробованы 10 новых скважин. В настоящее время водозабор КНС-2 состоит из 20 скважин (рис. 6.1, 6.2). Эксплуатационные запасы расширенного водозабора были утверждены в количестве 5 тыс. м³/сутки по категории А и 10 тыс. м³/сутки по категории С₁. По гидрогеологическим условиям месторождение было отнесено к II группе сложности. Подсчет запасов выполнен комбинированным способом с применением гидродинамического метода, а также метода аналогии [94].

В качестве элемента мониторинга водозабора КНС-2 в январе 2004 г. выполнено обследование водозабора. В ходе обследования были сняты показания счётчиков воды на работающих скважинах и измерено положение уровня подземных вод, как в работающих, так и в неработающих скважинах. Сравнительный анализ данных, использованных при подсчёте запасов и полученных в ходе обследования водозабора, позволяет оценить правильность гидрогеологических решений, лежащих в основе подсчёта запасов.

Анализ данных эксплуатации 1-ой очереди водозабора представлен в отчёте по подсчёту запасов [94]. Последние измерения, на тот период, на водозаборе были выполнены в июне 2002 г. Водозабор в тот период эксплуатации работал в стационарном режиме. Основные данные и результаты анализа данных эксплуатации представлены в табл. 6.1, табл. 6.2.

В январе 2004 г., в период обследования, одновременно эксплуатировались скважины 1-ой и 2-ой очереди (табл. 6.3-6.7). Сравнительный анализ данных, использованных при подсчёте запасов и полученных в ходе обследования водозабора, позволяет оценить правильность гидрогеологических решений.

Таблица 6.1 – Показатели эксплуатации скважин 1-ой очереди водозабора КНС-2.

Июнь 2002 г.

Общее кол-во скважин	Кол-во эксплуат. скважин	Q_B , м ³ /сут	Q_c , м ³ /сут	$S_{сэ}$, м	$S_{сн}$, м
10	8	4454	557	23.3	7.20

Таблица 6.2 – Расчетные характеристики водозабора КНС-2. Июнь 2002 г.

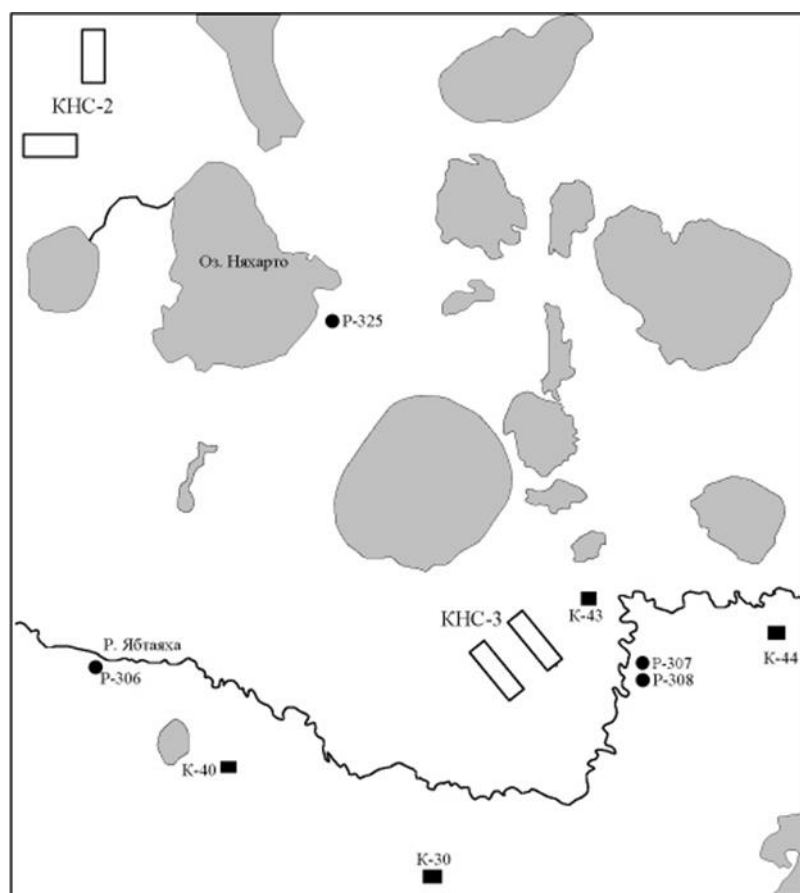
q_c , м ² /сут	ΔS_{mc} , м	S_k , м	r_k , м	T , м ² /сут	B , м
23.9	0.57	7.77	90	214	818

Таблица 6.3 – Данные измерений по скважинам водозабора КНС-2. Январь 2004 г.

Скважины 1-ой очереди								
№ скв	2		4	5	8	9		10
Qс, м³/ч	18		-	24	-	25		25
Глубина до воды, м	22.20		10.27	16.40	7.85	35.65		33.00
Скважины 2-ой очереди								
№ скв	11	12	13	14	16	18	19	20
Qс, м³/ч	20	21	10	21	25	15	15	20
Глубина до воды, м	-	23.10	-	21.15	17.85	-	-	14.30

Таблица 6.4 – Показатели эксплуатации водозабора КНС-2. Январь 2004 г.

Общее кол-во скважин	Кол-во эксплуат. скважин	Q_B , м ³ /сут	Q_c , м ³ /сут	$S_{сэ}$, м	$S_{сн}$, м
20	12	5736	478	18.1	4.26



М 1: 50000

Условные обозначения:

- P-306 Разведочные скважины
- K-43 Кусты скважин
- КНС Водозаборы КНС-2 и КНС-3

Рис. 6.1. Расположение водозаборов КНС-2 и КНС-3

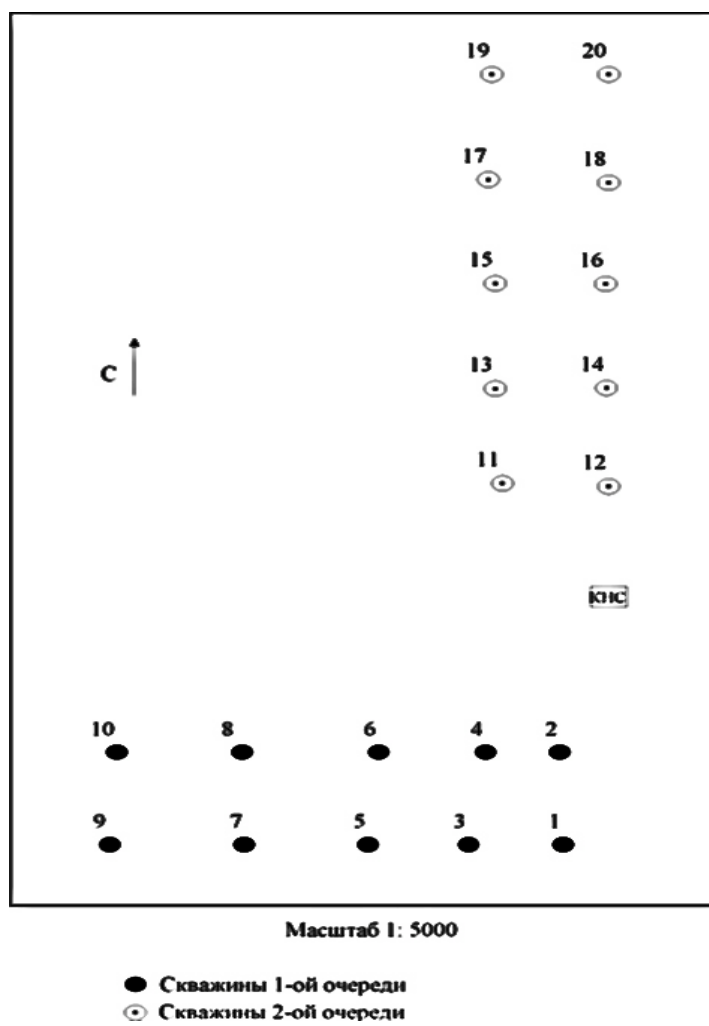


Рис. 6.2. Схема расположения скважин водозабора КНС-2

Таблица 6.5 – Расчетные характеристики водозабора КНС-2. Январь 2004 г.

q_c , м ² /сут	ΔS_{mc} , м	S_k , м	r_k , м	T , м ² /сут	B , м
26.4	0.49	4.75	210	214	538

Таблица 6.6 – Характеристика скважин 1-ой и 2-ой очереди водозабора КНС-2.
Январь 2004 г.

Кол-во скв	Кол-во раб.скв	Q_b , м ³ /сут	Q_c , м ³ /сут	$S_{cэ}$, м	q_c , м ² /сут	ΔS_c , м
Скважины 1-ой очереди						
10	4	2208	552	22.0	25.1	2.11
Скважины 2-ой очереди						
10	8	3528	456	14.1	32.3	1.74

Таблица. 6.7 – Сравнение основных характеристик водозабора за 2002 и 2004 гг.

Год	Кол-во скв	Кол-во экспл. скв.	Q_b , м ³ /сут	$S_{cэ}$, м	r_k , м	B , м
2002	10	8	4454	23,3	90	818
2004	20	12	5736	18,1	210	538

Подсчёт запасов водозабора был выполнен на основании анализа данных по эксплуатации 1-ой очереди водозабора и обработки результатов откачек, проведённых в скважинах 2-ой очереди. Основные результаты этих работ представлены в таблицах 4.7-4.8. Данные наблюдений и измерений, проведённых в январе 2004 г, и расчётные показатели эксплуатации водозабора после введения в работу скважин 2-ой очереди приведены в табл. 6.3 - 6.7.

Общее количество водозаборных скважин увеличилось с 10 до 20. На период обследования в эксплуатации находилось 12 скважин, из них 4 – скважины 1-ой очереди, и 8 - скважины 2-ой очереди (табл. 6.3). Общий дебит водозабора увеличился с 4454 до 5736 м³/сутки, средний дебит водозаборных скважин несколько уменьшился. Средние

значения понижений в эксплуатируемых скважинах заметно снизились (с 23.3 до 18.1 м). Значительно, почти в 2 раза, уменьшились понижения в неработающих скважинах (с 7.2 до 4.26 м). Средний удельный дебит водозаборных скважин увеличился на относительно небольшую величину (с 23.9 до 26.4 м²/сутки).

Для правильного понимания ситуации на водозаборе, выполнено сравнение показателей скважин 1-ой и 2-ой очереди (табл. 6.6 - 6.7). Несмотря на несколько меньший дебит, новые скважины отличаются более высокими значениями удельного дебита. Расчёты показали, что главное отличие «новых» и «старых» скважин заключается в значениях дополнительных понижений, возникших за счёт их гидродинамического несовершенства. В «старых» скважинах эта величина составляет 15.14 м, а в «новых» - 7.52 м. Следует отметить, что по сравнению с данными 2002 г, скважины несколько «постарели». Дополнительное понижение в скважинах 1-ой очереди увеличилось с 14.05 до 15.14 м, а в скважинах 2-ой очереди – с 5.61 до 7.52 м. Эти данные показывают, что кольтматация фильтров скважин развивается постоянно. Следует отметить, что по степени гидродинамического несовершенства, скважины 1-ой очереди и скважинах 2-ой очереди имеют различную характеристику. Скважины 1-ой очереди характеризуются как «исключительно несовершенные», а скважины 2-ой очереди – как «весьма несовершенные».

Таблица 6.8 – Сравнение степени несовершенства скважин водозабора за 2002 и 2004 гг.

Год	S _{сз} , м	$\Delta S_{нс}$, м		$\lg(r_c/r'_c)$	
		скв.1-ой очереди	скв.2-ой очереди	скв.1-ой очереди	скв.2-ой очереди
2002	23.3	14.05	5.61	14.94	7.22
2004	18.1	15.14	7.52	16.09	9.68

Проверка гидродинамической схемы и расчётных (действующих) параметров водоносного горизонта выполнена на основании зависимостей, представленных в разделе 3. Расчёты подтвердили достоверность гидродинамической схемы и фильтрационных параметров, принятых при подсчёте эксплуатационных запасов. Самый «чувствительный» параметр – параметр перетекания несколько уменьшился (с 818 до 538 м). Данное изменение связано с тем, что на участке расположения скважин 2-ой очереди значение параметра перетекания значительно меньше (B=208 м), чем на участке скважин 1-ой

очереди. Усреднённый параметр перетекания ($B=538$ м) получен при рассмотрении водозабора как единого, без разделения на «старые» и «новые» скважины.

В целом наблюдения и расчёты показали, что водозабор эксплуатируется в стационарном режиме, что подтверждает достоверность гидродинамической схемы пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором.

Выводы

1. Анализ показателей работы водозабора показал, что в рассматриваемых условиях реализуется схема пласта с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором. Водозабор эксплуатируется в стационарном режиме.
2. Результаты расчётов показывают, что значения действующих параметров водоносного горизонта, рассчитанных на основании данных по эксплуатации водозабора, удовлетворительно соответствуют величинам, полученным по данным опытных откачек, и сохраняют устойчивые значения при расширении водозабора.
3. По степени гидродинамического несовершенства скважины 1-ой очереди и скважинах 2-ой очереди имеют различную характеристику. Скважины 1-ой очереди характеризуются как «исключительно несовершенные», а скважины 2-ой очереди – как «весьма несовершенные».
4. Сравнение данных 2002 г и 2004 г показало, что степень гидродинамического несовершенства увеличилась по всем скважинам. Это показывает, что кольтматация фильтров скважин развивается постоянно.
5. Неоднородность гидрогеологического разреза, выявляемая как по геологической документации, так и по значениям гидродинамических параметров, заставляет полагать, что водозаборные участки и месторождения подземных вод, эксплуатирующие эоцен-олигоценый водоносный горизонт, как правило, следует относить к II группе сложности.

6.2. Анализ данных и оценка запасов по водозабору КНС – 3 Южно – Харампурского месторождения

6.2.1. Анализ данных по эксплуатации водозабора

Скважины водозабора располагаются в 4 ряда, которые параллельны друг другу и имеют северо-западную ориентировку (рис. 6.3). Расстояние между скважинами составляют 100 м (в ряду). Между крайними рядами расстояние равно 100 м, между средними рядами – 260 м.

Водозабор вводился в эксплуатацию постепенно с начала 2003 г. За этот период были введены в эксплуатацию первые 10 скважин. Документация характеристик этих скважин, в первую очередь, эксплуатационного дебита, даёт исходный материал для прогнозного анализа. В январе 2004 г было выполнено гидрогеологическое обследование водозабора. Измерены уровни в скважинах водозабора, сняты показания счётчиков воды на работающих скважинах. На момент обследования в работе находились 8 скважин. Все сведения полученные эксплуатирующей организацией и в процессе обследования, использованы для анализа гидрогеологических условий и подсчёта эксплуатационных запасов.

В январе 2004 г было выполнено гидрогеологическое обследование водозабора. Измерены уровни в скважинах водозабора, сняты показания счётчиков воды на работающих скважинах. В некоторых скважинах не удалось измерить уровень в связи с наличием в скважинах ледяных пробок.

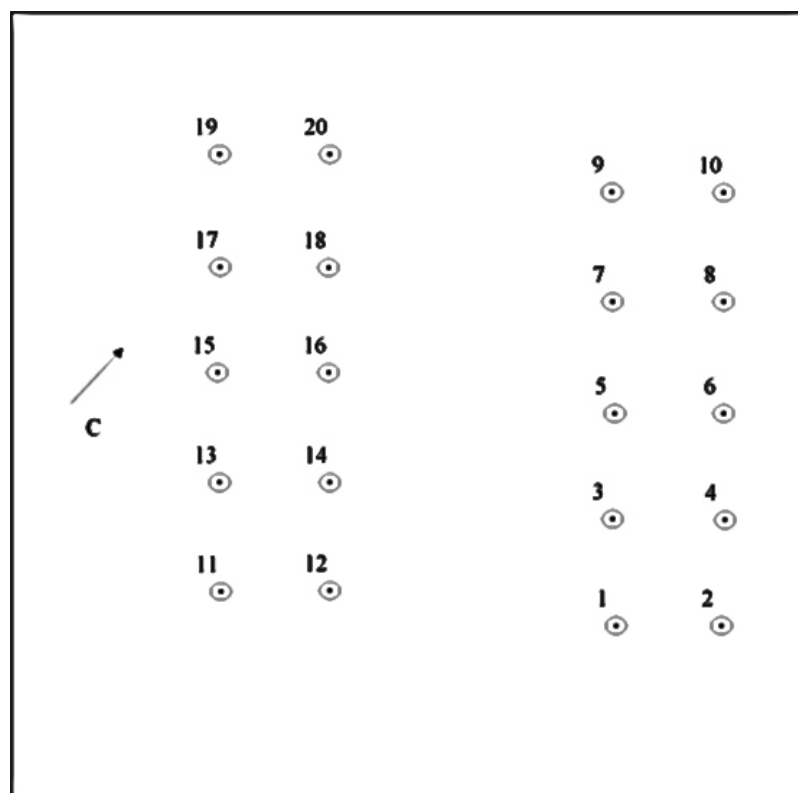
Принимая величину понижения уровня в неработающей скважине № 6 как близкую к величине среднего понижения по водозабору, и вводя дополнительную поправку ΔS_{mc} , можно рассчитать величину S_k (2.30).

Принимая радиус работающей части водозабора по зависимости (2.23), можно оценить точность рассчитанных параметров (2.28). Результаты расчётов показывают (табл. 6.9), что значение «чувствительного» параметра «В» укладываются в допустимую погрешность. Следует считать, что этот способ проверки надёжности гидродинамических параметров подтверждает достаточную точность расчётных значений.

Таблица 6.9 - Результаты расчета параметров по водозабору КНС-3

Q_v , м ³ /сут	Q_c , м ³ /сут	T , м ² /сут	S_{ch} , м	ΔS_{mc} , м	S_k , м	$K_o(r/B)$	r_k , м	r/B	B , м
5592	699	428	1.22	0.36	1.58	0.76	100	0.61	164

Данные обследования водозабора позволяют рассчитать показатели несовершенства водозаборных скважин (2.31, 2.32). Результаты расчётов показывают, что среднее значение дополнительного понижения за счёт их гидродинамического несовершенства составляет 2.09 м (табл. 6.10).



Масштаб 1 : 5000

Рис. 6.3. Расположение скважин водозабора КНС-3

Таблица 6.10 – Средние показатели водозаборных скважин

Q_c , м ³ /сут	S_c , м	q , м ² /сут	S_k , м	ΔS_c , м	ΔS_{nc} , м	$\lg r_c/r_c'$	$\ln r_c/r_c'$
699	4.88	143	1.58	1.21	2.09	3.49	8.03

В целом скважины водозабора, по степени их гидродинамического совершенства, можно рассматривать как «условно совершенные». Это очень хороший показатель для водозаборных скважин.

Кроме средних показателей, можно оценить величину дополнительного понижения в «хороших» и «плохих» скважинах. В качестве «хорошей» скважины следует рассматривать скважины с относительно большим дебитом и относительно небольшим понижением. Соответственно, критерии выбора «плохой» скважины будут противоположными. Результаты расчётов показывают, что дополнительное понижение, удельный дебит и показатель действующего гидродинамического радиуса ($\lg r_c/r_c'$) очень существенно различаются по своим значениям (табл. 6.11). При расчётах потенциальных возможностей водозабора необходимо рассчитывать, кроме средних значений понижений, также и величины дополнительных понижений в «плохих» скважинах (ΔS_{nc}^*).

Таблица 6.11 – Сравнение показателей скважин № 5 и № 8

№ скв	Характеристика скважины	Q_c , м ³ /сут	S_c , м	q , м ² /сут	ΔS_c , м	ΔS_{nc} , м	$\lg r_c/r_c$	$\ln r_c/r_c$
5	плохая	312	8.73	35.73	0.54	6.61	24.75	56.95
8	хорошая	744	3.14	237	1.29	0.27	0.42	0.97

«Хорошие» скважины можно рассматривать как практически совершенные. «Плохие» скважины следует характеризовать как «исключительно несовершенные». Эти данные показывают, что в пределах одного, в целом благополучного водозабора, качество бурения и оборудования скважин может существенно различаться.

Обобщая результаты расчётов гидродинамических параметров пласта и водозаборных скважин для проведения расчётов по оценке запасов подземных вод на водозаборе, следует принять средние, наиболее достоверные значения необходимых величин (табл. 6.12).

Таблица 6.12 – Расчетные параметры водоносного горизонта и показатели гидродинамического несовершенства скважин водозабора КНС-3

$T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$B, \text{ м}$	$a, \text{ м}^2/\text{сут}$	$\ln r_c/r_c'$	$\ln^* (r_c/r_c')$
428	255	$3 \cdot 10^5$	8.03	56.95

Таким образом, олигоценый водоносный горизонт на участке водозабора КНС – 3 следует рассматривать как условно однородный безграничный в плане напорный пласт с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором. Значения гидродинамических параметров пласта и водозаборных скважин определены с достаточно высокой степенью надёжности.

6.2.2. Подсчет эксплуатационных запасов подземных вод

В соответствии с техническим заданием, общая производительность водозабора, при работе 20 скважин, должна составить 12900 м³/сутки. Средняя производительность одной скважины – 645 м³/сутки. При подсчете эксплуатационных запасов принимается, что водозабор будет эксплуатироваться постоянно, с максимальным утвержденным дебитом, без ограничения срока эксплуатации, без каких-либо сезонных ограничений, в стационарном режиме (с постоянным понижением уровня). Опыт эксплуатации водозаборов позволяет применить для оценки эксплуатационных запасов комбинированный метод, который включает гидродинамический метод и элементы метода аналогии.

Метод аналогии, в данном случае, кроме учёта опыта эксплуатации водозаборов – аналогов, предусматривает анализ данных по начальному этапу эксплуатации водозабора. Анализ данных обследования водозабора в январе 2004 г рассмотрен в предыдущем разделе. Кроме определения параметров и схемы пласта необходимо оценить фактическую производительность скважин. Для этого использованы данные наблюдений, выполненные эксплуатирующей организацией.

Скважины водозабора вводились в эксплуатацию постепенно. До мая 2003 г в работе находились 6 скважин, с мая по ноябрь 2003 г – 7 скважин, с декабря 2003 г по январь 2004 г – 8 скважин. За 2003 г в эксплуатации побывали все первые 10 скважин (№№ 1 – 10). Средний дебиты скважин варьируют от 535 до 864 м³/сутки. Дебит отдельной скважины определяется, главным образом техническими причинами. Например, скважина № 4, в которой отмечен самый низкий средний дебит (535 м³/сутки)

за годовой период эксплуатации, в первые месяцы имела низкий дебит – 410 м³/сутки, а в последние месяцы – 700 м³/сутки. Эти данные показывают, что гидрогеологические ограничения дебита по отдельным скважинам не имеют существенных отличий в диапазоне приведённых значений дебита, и при подсчёте запасов следует ориентироваться на средние значения дебита.

В целом, анализ данных по первому этапу эксплуатации водозабора показал, что все скважины способны обеспечить дебит 645 м³/сутки. Дебит скважин в рассматриваемых условиях определяется производительностью насосов. Кроме фактических значений дебита, важным показателем являются относительно небольшие значения фактических понижений.

При оценке эксплуатационных запасов принята схема безграничного напорного пласта с перетеканием, с постоянным уровнем в питающем пласте. В настоящее время отсутствуют данные, которые заставляли бы подвергать ревизии указанную фильтрационную схему водозаборного участка. Расчётные параметры принимаются на основании анализа данных опытно-фильтрационных работ и обработки сведений по первому этапу эксплуатации водозабора кроме гидродинамических параметров пласта, необходимо рассчитать приведённый радиус водозабора (радиус «большого колодца» - r_k), также обосновать значение допустимого понижения в водозаборных скважинах.

Допустимое понижение в скважинах определяется гидрогеологическими закономерностями и техническими особенностями скважин. С гидрогеологических позиций допустимое понижение можно принимать не меньше напора над кровлей пласта (2.27). Напор над кровлей составляет 78 м. Эта величина показывает высокие потенциальные возможности водозабора. В технические характеристики скважин, определяющие допустимое понижение, входит глубина установки насоса и глубина установки датчика «сухого хода», предохраняющего насос от осушения. Насосы установлены на глубине 50 м, а датчики «сухого хода» располагаются на 2 м выше насосов, т.е. на глубине 48 м. Учитывая глубину положения статического уровня (3 м), получим, что допустимое понижение составит 45 м. Эта величина значительно меньше «гидрогеологического» значения допустимого понижения.

На основании зависимости (2.23), опираясь на значение периметра водозабора ($P = 1720$ м), принимаем $r_k = 172$ м. Основные расчётные характеристики водозабора сведены в табл. 6.13. Для учёта взаимодействия скважин и их гидродинамического несовершенства, использованы соответствующие показатели (табл. 6.14).

Таблица 6.13 – Исходные расчетные характеристики водозабора КНС-3

$Q_B, \text{ м}^3/\text{сут}$	$Q_c, \text{ м}^3/\text{сут}$	$T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$B, \text{ м}$	$S_{\text{доп}}, \text{ м}$	$P, \text{ м}$	$r_K, \text{ м}$
1290	645	428	255	45	1720	172

Таблица 6.14 – Характеристики водозаборных скважин

$\sigma, \text{ м}$	$r_c, \text{ м}$	$\ln r_c/r'_c$	$\lg r_c/r'_c$	$\ln^* r_c/r'_c$	$\lg^* r_c/r'_c$
100	0.15	8.03	3.49	56.95	24.75

На основании аналитических зависимостей, соответствующих принятой гидродинамической схеме и структуре водозабора, рассчитаны среднее понижение по водозабору (S_K), среднее дополнительное понижение в водозаборных скважинах за счёт их взаимодействия (ΔS_c), среднее дополнительное понижение в скважинах за счёт их гидродинамического несовершенства (ΔS_{nc}), а также максимальное дополнительное понижение в скважинах за счёт их гидродинамического несовершенства (ΔS_{nc}^*). Соответственно, получены значения среднего (S_c) и максимального (S_c^*) понижения в водозаборных скважинах (табл. 6.15).

Таблица 6.15 – Расчетные средние и максимальные значения понижений в водозаборных скважинах

$S_K, \text{ м}$	$\Delta S_c, \text{ м}$	средние		максимальные	
		$\Delta S_{nc}, \text{ м}$	$S_c, \text{ м}$	$\Delta S_{nc}^*, \text{ м}$	$S_c^*, \text{ м}$
3.31	1.12	1.92	6.35	13.65	18.08

Гидродинамический метод подсчёта запасов подземных вод подразумевает сравнение расчётного и допустимого понижений. Среднее расчётное значение понижения в скважинах (S_c), при дебите водозабора 12900 $\text{м}^3/\text{сутки}$, с учётом всех возможных составляющих, составит 6.35 м. Эта величина значительно меньше значения допустимого понижения (45 м). Если принять максимальные показатели несовершенства скважин, то понижение в скважинах составит 18.08 м. И в этом случае расчётные понижения в скважинах в 2.5 раза меньше допустимого значения. Таким образом, следует считать, что эксплуатационные запасы водозабора являются обеспеченными.

Учитывая высокую надёжность обеспечения водозабора эксплуатационными запасами при заявленной потребности, можно оценить потенциальные возможности водозабора, опираясь на значение допустимого понижения (45 м). Подразумевается, что при определённом расходе скважин (установке более мощных насосов), понижение в скважинах достигнет допустимой величины. Аналитическая зависимость, для этого случая, представлена в соответствующем разделе (5.20), результаты расчётов сведены в табл. 6.16. Следует понимать, что данный расчёт носит отвлечённый, чисто теоретический характер, т.к. не учитывает возможность (и высокую вероятность) нарушения линейного закона фильтрации. В этом случае связь расхода и понижения уровня будет носить более сложный характер.

Таблица 6.16 – Оценка потенциальных возможностей водозабора

Средние значения несовершенства скважин			Максимальные значения несовершенства		
$Q_c, \text{ м}^3/\text{сут}$	$Q_{в.}, \text{ м}^3/\text{сут}$	коэффициент увеличения	$Q_c, \text{ м}^3/\text{сут}$	$Q_{в.}, \text{ м}^3/\text{сут}$	коэффициент увеличения
4566	91320	7.2	1604	32080	2.5

Расчёты показывают, что при средних показателях несовершенства скважин, дебит отдельной скважины и водозабора в целом может быть увеличен в 7.2 раза. При максимальных показателях несовершенства скважин, дебит отдельной скважины и водозабора в целом, может быть увеличен в 2.5 раза. Выполненные оценки показывают довольно высокие потенциальные возможности водозабора.

В результате выполненных работ геологические и гидрогеологические условия месторождения изучены с достаточной полнотой, необходимой для оценки и обоснования обеспеченности эксплуатационных запасов подземных вод. Достоверность принятых при подсчете запасов параметров подтверждена результатами откачек из водозаборных скважин и данными эксплуатации первой очереди водозабора.

Эксплуатационные запасы обеспечены естественными ресурсами подземных вод за счёт перетекания из четвертичного водоносного горизонта. Четвертичный водоносный горизонт пополняется за счёт ресурсов поверхностных вод. Об очень больших ресурсах поверхностных вод можно судить, оценивая расход р. Ябтаяха. Расход реки составляет примерно $100000 \text{ м}^3/\text{сутки}$ и превосходит примерно на порядок дебит водозабора.

Оценка запасов выполнена как для наиболее вероятных, «средних» условий, так и для достаточно «жёстких» условий, учитывающих нарастание гидродинамического

несовершенства скважин. Данные откачек, опыт эксплуатации водозаборов – аналогов и результаты гидродинамических расчетов доказывают, что в пределах установленных дебитов понижение в скважинах не превысит допустимых значений.

Выводы

1. Анализ показателей работы водозабора показал, что в рассматриваемых условиях реализуется схема пласта с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором. Водозабор эксплуатируется в стационарном режиме.
2. Результаты расчётов показывают, что значения действующих параметров водоносного горизонта, рассчитанных на основании данных по эксплуатации водозабора, практически точно соответствуют величинам, полученным по данным опытной откачки.
3. В целом скважины водозабора по степени их гидродинамического совершенства, можно рассматривать как «условно совершенные». Это очень хороший показатель для водозаборных скважин.
4. Результаты расчётов показывают, что дополнительное понижение, удельный дебит и показатель действующего гидродинамического радиуса (lgr_c/r_c') очень существенно различаются по разным скважинам. При расчётах потенциальных возможностей водозабора необходимо рассчитывать, кроме средних значений понижений, также и величины дополнительных понижений в «плохих» скважинах.
5. При средних показателях несовершенства скважин дебит отдельной скважины и водозабора в целом может быть увеличен в 7.2 раза. При максимальных показателях несовершенства скважин дебит отдельной скважины и водозабора в целом может быть увеличен в 2.5 раза. Выполненные оценки показывают довольно высокие потенциальные возможности водозабора.

6.3. Анализ данных и оценка запасов по водозабору БКНС Фестивального месторождения

6.3.1. Общие сведения по водозабору

Водозабор предназначен для водоснабжения блочной кустовой насосной станции (БКНС). Скважины водозабора располагаются в 2 ряда, которые параллельны друг другу и имеют северо-восточную ориентировку (рис. 96). Расстояние между скважинами составляют 100 м (в ряду). Между рядами расстояние равно 100 м.

Водозаборы, расположенные на Южно-Харампурском месторождении, находятся на значительном расстоянии от водозабора БКНС (КНС – 2 в 24 км, КНС – 3 в 21 км, КНС – 1 в 18 км). На водозаборах КНС-2 и КНС-3 были выполнены специальные работы,

которые включали элементы мониторинга на этих объектах. На основании имеющихся данных, при подсчёте запасов, было установлено, что водозаборы эксплуатируются в стационарном режиме, а радиусы депрессионных воронок не превышают 2-3 км. Данные по водозаборам Южно-Харампурского месторождения показывают, что указанные водозаборы не взаимодействуют между собой, и, тем более, не могут оказывать влияние на водозабор БКНС. Соответственно, отсутствует необходимость учитывать их влияние при подсчёте запасов водозабора БКНС.

Как выше отмечено, водозабор БКНС располагается в пределах Лукьяхинского участка, по которому выполнена оценка запасов подземных вод. На этом участке располагались водозаборы №6 и №7. Водозаборы № 6 и № 7 не эксплуатируются с 2003 г. В январе 2004 г в скв. 1/6 был измерен уровень подземных вод. Глубина до уровня воды от устья составила 4.25 м, абсолютная отметка уровня 63.15 м. Эта скважина находится в 0.9 км восточнее от центра водозабора БКНС. Уровень в скважине несколько выше, чем статический уровень в скважинах водозабора. Данное различие объясняется тем, что поток подземных вод направлен к р. Харампур, а разница в уровнях вероятно отражает напорный градиент потока в естественных условиях. Эти данные также свидетельствуют, что размеры депрессионной воронки вокруг водозабора БКНС имеют относительно небольшие размеры.

Водоносный комплекс разделяется на четвертичный и атлымский водоносный горизонт. Единый горизонт имеет достаточно хорошую выдержанность на рассматриваемой территории. Совокупность всех данных по участку позволяет считать, что рассматриваемый участок отличается более благоприятными условиями для добычи подземных вод по сравнению со многими другими водозаборными участками. Усреднённый разрез по всем скважинам достоверно отражает геолого-гидрогеологическую ситуацию в районе водозабора (рис. 99).

Скважины оборудованы фильтрами на эоцен-олигоценый водоносный горизонт. Геологическое строение водоносного горизонта, опыт эксплуатации и анализ работы действующих водозаборов позволяет рассматривать данный горизонт с позиций гидродинамической схематизации как единый водоносный горизонт. Кровля горизонта залегает на глубине 63.0 м, подошва – на глубине 119.0 м. Горизонт напорный.

Эффективная мощность водоносного слоя составляет 56 м. Единый статический уровень подземных вод устанавливается на средней глубине 3.75 м. Напор над кровлей водоносного горизонта составляет 59.3 м.

6.3.2. Оценка надежности расчетных параметров и степени несовершенства водозаборных скважин

Результаты расчётов показали (см. раздел 4), что для водоносного горизонта характерны довольно высокие фильтрационные параметры (водопроводимость – 890 м²/сутки). Значение параметра перетекания ($B = 200$ м), заставляет предполагать хорошую связь олигоценового водоносного горизонта с четвертичным водоносным горизонтом. Надёжность значений гидродинамических параметров необходимо проверить по данным эксплуатации водозабора.

В январе 2004 г было выполнено гидрогеологическое обследование водозабора. Измерены уровни в скважинах водозабора, сняты показания счётчиков воды на работающих скважинах. На основании схемы водозабора и данных по положению уровня воды в работающих и неработающих скважинах, определены основные расчётные показатели.

Результаты расчётов показывают (табл. 6.17), что значение «чувствительного» параметра « B » точно соответствует предыдущим определениям. Следует считать, что этот способ проверки надёжности гидродинамических параметров подтверждает достаточную точность расчётных значений.

Таблица 6.17 – Результаты расчета параметров по водозабору БКНС

Q_B , м ³ /сут	Q_c , м ³ /сут	T , м ² /сут	S'_c , м	ΔS_{mc} , м	S_k , м	$Ko(r/B)$	r_k , м	r/B	B , м
4440	740	890	0.55	0.33	0.88	1.11	79.8	0.4	199.5

Надёжные значения гидродинамических параметров и данные обследования водозабора позволяют рассчитать показатели несовершенства водозаборных скважин. Результаты расчётов показывают, что среднее значение дополнительного понижения за счёт их гидродинамического несовершенства составляет 1.18 м (табл. 6.18). В целом скважины водозабора, по степени их гидродинамического совершенства, можно рассматривать как «условно совершенные». Это хороший показатель для водозаборных скважин.



Рис. 6.3. Водозабор БКНС:
вверху – общий вид БКНС; в середине – общий вид водозабора; внизу – блок-бокс.

Таблица 6.18 – Оценка степени несовершенства эксплуатационных скважин

$S_{сэ}, м$	$S_k, м$	$\Delta S_c, м$	$\Delta S_{nc}, м$	$S_{cc}, м$	lgr_c/r_c'
2.68	0.88	0.62	1.18	0.97	3.87

Кроме средних показателей, можно оценить величину дополнительного понижения во всех работающих скважинах. В качестве «хорошей» скважины следует рассматривать скважины с относительно большим дебитом и относительно небольшим понижением. Соответственно, критерии выбора «плохой» скважины будут противоположными. В качестве критерия можно сравнивать расчётное понижение в скважине, при котором $\Delta S_{nc} = 0$, и фактическое понижение в скважине.

Результаты расчётов показывают, что дополнительное понижение, удельный дебит и показатель действующего гидродинамического радиуса (lgr_c/r_c') очень существенно различаются по своим значениям (табл. 6.19). В скважинах №№ 1 и 3 действующий гидродинамический радиус практически равен фактическому, что позволяет считать их «очень хорошими». Если дополнительное понижение в скважине за счёт её несовершенства составляет менее расчётного понижения в совершенной скважине, то такую скважину можно считать «хорошей» (скв. № 4). В «плохой» скважине ΔS_{nc} существенно больше расчётного понижения (скв. № 2).

Таблица 6.19 – Сравнение показателей скважин

№ скв	Характеристика скважины	$Q_c, м^3/сут$	$S_{св}, м$	$\Delta S_c, м$	$\Delta S_{nc}, м$	lgr_c/r_c'
1	Условно совершенная	819	1.65	0.68	0.09	0.267
2	Исключительно несовершенная	552	5.24	0.46	3.90	17.17
3	Условно совершенная	552	1.36	0.46	0.02	0.09
4	Условно совершенная	912	2.45	0.76	0.81	2.16

«Хорошие» скважины можно рассматривать как практически совершенные. «Плохие» скважины следует характеризовать как «исключительно несовершенные». Эти

данные показывают, что в пределах этого, хорошего водозабора, качество бурения и оборудования скважин может существенно различаться.

При расчётах потенциальных возможностей водозабора необходимо рассчитывать, кроме средних значений понижений, также и величины дополнительных понижений в «плохих» скважинах (ΔS_{nc}^*).

Обобщая результаты расчётов гидродинамических параметров пласта и водозаборных скважин для проведения расчётов по оценке запасов подземных вод на водозаборе, следует принять средние, наиболее достоверные значения необходимых величин (табл. 6.20).

Таблица 6.20 – Расчетные параметры водоносного горизонта и показатели гидродинамического несовершенства скважин водозабора БКНС

Т, м ² /сут	В, м	а, м ² /сут	lg r_c/r_c'	ln (r_c/r_c')*
890	200	$5.0 \cdot 10^5$	3.87	8.90

Таким образом, олигоценый водоносный горизонт на участке водозабора БКНС следует рассматривать как условно однородный безграничный в плане напорный пласт с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором. Значения гидродинамических параметров пласта и водозаборных скважин определены с достаточно высокой степенью надёжности.

6.3.3. Подсчет эксплуатационных запасов

В соответствии с техническим заданием, общая производительность водозабора, при работе 12 скважин, должна составить 7200 м³/сутки. Средняя производительность одной скважины – 600 м³/сутки. При подсчете эксплуатационных запасов принимается, что водозабор будет эксплуатироваться постоянно, с максимальным утвержденным дебитом, без ограничения срока эксплуатации, без каких-либо сезонных ограничений, в стационарном режиме (с постоянным понижением уровня). Опыт эксплуатации водозаборов позволяет применить для оценки эксплуатационных запасов комбинированный метод, который включает гидродинамический метод и элементы метода аналогии.

Метод аналогии, в данном случае, кроме учёта опыта эксплуатации водозаборов – аналогов, предусматривает анализ данных по начальному этапу эксплуатации водозабора. Кроме определения параметров и схемы пласта необходимо оценить фактическую производительность скважин за предыдущий период эксплуатации. Для этого

использованы данные наблюдений, выполненные эксплуатирующей организацией в 2004 - 2005 гг.

В соответствии с лицензионным соглашением, эксплуатирующая организация проводила измерения дебита и понижения уровня в скважинах водозабора в 2004 г и в первом квартале 2005 г (табл. 6.21). Средние дебиты скважин варьируют от 552 до 1080 м³/сутки. Дебит отдельной скважины определяется, главным образом техническими причинами (работой насоса). Например, даже в скважине № 2, в которой отмечен самый низкий дебит (552 м³/сутки) и наблюдается самое большое понижение (5.24 м) по сравнению с другими скважинами (1.36 – 2.45 м), такое значение понижения (или понижение такого порядка), не может существенно влиять на производительность скважины. Эти данные показывают, что гидрогеологические ограничения дебита по отдельным скважинам не имеют существенных отличий в диапазоне приведённых значений дебита, и при подсчёте запасов следует ориентироваться на средние значения дебита.

Средний дебит скважин составил 745 м³/сутки (табл. 6.21), средняя производительность водозабора – 4464 м³/сутки. Следует отметить, что при работе 6 скважин (50 % общего количества), общая производительность водозабора достигла 62 %. При этом значения понижений уровня в рабочих скважинах имеют относительно небольшие значения.

Таблица 6.21 – Средние значения дебита скважин БКНС

Дата		4кв 03г	1кв 04г	2кв 04г	3кв 04г	4кв 04г	1кв 05г	Средн.
Q _{общ} водозаб.	м ³ /час	187	185	197	271	266	286	-
	м ³ /сут	4488	4440	4728	6504	6384	6856	-
Q _{ср} скваж	м ³ /час	31	31	33	30	30	32	31
	м ³ /сут	748	739	788	720	709	763	745

В целом, анализ данных по эксплуатации водозабора в 2003 – 2005 гг. показал, что все скважины способны обеспечить дебит более 600 м³/сутки. Кроме фактических значений дебита, важным показателем являются относительно небольшие значения фактических понижений. Средняя глубина до статического уровня от точки измерений (края обсадной трубы) составляет 5.0 м. В скважинах, которые не эксплуатируются, уровень подземных вод близок к статическому. В эксплуатируемых скважинах среднее

понижение составляет около 3 м. К сожалению, недостаточная точность измерений при эксплуатации (точность 0,5 – 1 м) не позволяет выполнить более детальный анализ по данным последнего этапа эксплуатации.

При оценке эксплуатационных запасов принята схема безграничного напорного пласта с перетеканием, с постоянным уровнем в питающем пласте. В настоящее время отсутствуют данные, которые заставляли бы подвергать ревизии указанную фильтрационную схему водозаборного участка. Расчётные параметры принимаются на основании анализа данных опытно-фильтрационных работ и обработки сведений по первому этапу эксплуатации водозабора. Кроме гидродинамических параметров пласта, необходимо рассчитать приведённый радиус водозабора (радиус «большого колодца» - r_k), и также обосновать значение допустимого понижения в водозаборных скважинах.

Допустимое понижение в скважинах определяется гидрогеологическими закономерностями и техническими особенностями скважин. С гидрогеологических позиций допустимое понижение можно принимать не меньше напора над кровлей пласта. Напор над кровлей составляет 59,3 м. Эта величина показывает высокие потенциальные возможности водозабора. В технические характеристики скважин, определяющие допустимое понижение, входит глубина установки насоса и глубина установки датчика «сухого хода», предохраняющего насос от осушения. Насосы установлены на глубине 50 м, а датчики «сухого хода» располагаются на 2 м выше насосов, т.е. на глубине 48 м. Учитывая глубину положения статического уровня (3,75 м), получим, что допустимое понижение составит 44 м. Эта величина заметно меньше «гидрогеологического» значения допустимого понижения.

На основании зависимости (2.23), опираясь на значение периметра водозабора ($P = 1200$ м), принимаем $r_k = 120$ м. Основные расчётные характеристики водозабора сведены в таблице 6.22. Для учёта взаимодействия скважин и их гидродинамического несовершенства, использованы соответствующие показатели (табл. 6.23).

На основании аналитических зависимостей (5.1 – 5.19), соответствующих принятой гидродинамической схеме и структуре водозабора, определены основные расчётные характеристики: среднее понижение по водозабору (S_k), среднее дополнительное понижение в водозаборных скважинах за счёт их взаимодействия (ΔS_c), среднее дополнительное понижение в скважинах за счёт их гидродинамического несовершенства (ΔS_{nc}), а также максимальное дополнительное понижение в скважинах за счёт их гидродинамического несовершенства (ΔS_{nc}^*). Соответственно, получены значения среднего (S_c) и максимального (S_c^*) понижения в водозаборных скважинах (табл. 6.24).

Таблица 6.22 – Исходные расчетные характеристики водозабора БКНС

$Q_B, \text{ м}^3/\text{сут}$	$Q_c, \text{ м}^3/\text{сут}$	$T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$B, \text{ м}$	$S_{\text{доп}}, \text{ м}$	$P, \text{ м}$	$r_K, \text{ м}$
7200	600	890	200	44	1200	120

Таблица 6.23 – Характеристики водозаборных скважин

$\sigma, \text{ м}$	$r_c, \text{ м}$	$\ln r_c/r_c'$	$\lg r_c/r_c'$	$\ln^* r_c/r_c'$	$\lg^* r_c/r_c'$
100	0.15	7.33	3.19	37.4	16.3

Таблица 6.24 – Расчетные средние и максимальные значения понижений
в водозаборных скважинах

$S_K, \text{ м}$	$\Delta S_c, \text{ м}$	средние		максимальные	
		$\Delta S_{nc}, \text{ м}$	$S_c, \text{ м}$	$\Delta S_{nc}^*, \text{ м}$	$S_c^*, \text{ м}$
1.00	0.50	0.79	2.29	4.02	5.52

Гидродинамический метод подсчёта запасов подземных вод подразумевает сравнение расчётного и допустимого понижений. Среднее расчётное значение понижения в скважинах (S_c), при дебите водозабора $7200 \text{ м}^3/\text{сутки}$, с учётом всех возможных составляющих, составит 2,29 м. Эта величина значительно меньше значения допустимого понижения (44 м). Если принять максимальные показатели несовершенства скважин, то понижение в скважинах составит 5,52 м. И в этом случае расчётные понижения в скважинах в 8 раз меньше допустимого значения. Таким образом, следует считать, что эксплуатационные запасы водозабора являются обеспеченными.

Учитывая высокую надёжность обеспечения водозабора эксплуатационными запасами при заявленной потребности, можно оценить потенциальные возможности водозабора, опираясь на значение допустимого понижения (44 м). Подразумевается, что при определённом расходе скважин (установке более мощных насосов), понижение в скважинах достигнет допустимой величины. Аналитическая зависимость, для этого случая, представлена в соответствующем разделе (2.34), результаты расчётов сведены в табл. 6.25.

Таблица 6.25 – Оценка потенциальных возможностей водозабора

Средние значения несовершенства скважин			Максимальные значения несовершенства		
Q_c , м ³ /сут	Q_b , м ³ /сут	коэффициент увеличения	Q_c , м ³ /сут	Q_b , м ³ /сут	коэффициент увеличения
11540	138480	19	4786	57432	8

Расчёты показывают, что при средних показателях несовершенства скважин, дебит отдельной скважины и водозабора в целом, может быть увеличен в 19 раз. При максимальных показателях несовершенства скважин, дебит отдельной скважины и водозабора в целом, может быть увеличен в 8 раз. Выполненные оценки показывают очень высокие потенциальные возможности водозабора.

Оценивая структуру эксплуатационных запасов с позиции действующих нормативов [36], можно заключить, что оценку эксплуатационных запасов следует выполнять по разным категориям для скважин, которые находятся в эксплуатации больше 1 года (№№ 1 – 6), и для остальных скважин (№№ 7 – 12). Работа водозабора в течение нескольких месяцев с дебитом близким к потребности, и дебитом отдельных скважин, превышающим дебит, обеспечивающий эту потребность, позволяет рекомендовать к утверждению запасы по скважинам №№ 1 – 6 по категории «А» в количестве 4.5 тыс. м³/сутки. Запасы по скважинам №№ 7 – 12 можно рекомендовать к утверждению по категории «В» в количестве 2.7 тыс м³/сутки.

Эксплуатационные запасы обеспечены привлекаемыми ресурсами подземных вод за счёт перетекания из четвертичного водоносного горизонта. Четвертичный водоносный горизонт пополняется за счёт ресурсов поверхностных вод. Ресурсы поверхностных вод в рассматриваемом регионе весьма значительны.

При анализе данных по водозаборам-аналогам, было показано, что в рассматриваемых гидрогеологических условиях разрез отличается существенной фильтрационной неоднородностью. Это обстоятельство предопределяет неравномерное перетекание по площади депрессионной воронки, что обычно выражается в вариациях параметра перетекания. Анализ фактических материалов по данному водозаборному участку показал, что этот участок отличается относительно простыми геолого-гидрогеологическими условиями, устойчивым геологическим разрезом. Указанные

обстоятельства позволяют отнести участок расположения водозабора БКНС Фестивального месторождения к I группе сложности (с простыми условиями).

Оценка запасов выполнена как для наиболее вероятных, «средних» условий, так и для достаточно «жёстких» условий, учитывающих нарастание гидродинамического несовершенства скважин. Данные откачек, опыт эксплуатации водозаборов – аналогов и результаты гидродинамических расчетов доказывают, что в пределах установленных дебитов понижение в скважинах не превысит допустимых значений. В последующий период времени, по результатам мониторинга эксплуатации подземных вод можно будет выполнить переоценку запасов для новых водохозяйственных условий, например – для более высоких значений водопотребления.

Выводы

1. Анализ показателей работы водозабора показал, что в рассматриваемых условиях реализуется схема пласта с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором. Водозабор эксплуатируется в стационарном режиме.
2. Результаты расчётов показывают, что значения действующих параметров водоносного горизонта, рассчитанных на основании данных по эксплуатации водозабора, практически точно соответствуют величинам, полученным по данным опытной откачки.
3. В целом скважины водозабора, по степени их гидродинамического совершенства, можно рассматривать как «условно совершенные». Это очень хороший показатель для водозаборных скважин.
4. Результаты расчётов показывают, что дополнительное понижение, удельный дебит и показатель действующего гидродинамического радиуса (lgr_c/r_c') очень существенно различаются по разным скважинам. При расчётах потенциальных возможностей водозабора необходимо рассчитывать, кроме средних значений понижений, также и величины дополнительных понижений в «плохих» скважинах.
5. При средних показателях несовершенства скважин, дебит отдельной скважины и водозабора в целом, может быть увеличен в 19 раз. При максимальных показателях несовершенства скважин, дебит отдельной скважины и водозабора в целом, может быть увеличен в 8 раз. Выполненные оценки показывают очень высокие потенциальные возможности водозабора.

6.4. Результаты анализа и оценки эксплуатационных запасов

Анализ данных по водозаборам технических вод позволяет сделать выводы, аналогичные результатам анализа по питьевым водозаборам. Несмотря на относительно небольшой объём опытно-фильтрационных работ, гидродинамические параметры пласта, определённые по данным предварительных работ, соответствуют значениям параметров, рассчитанным по данным эксплуатации водозаборов. Во всех случаях реализуется схема пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором.

По степени гидродинамического совершенства большинство скважин отличаются между собой как в пределах одного водозабора, так по разным водозаборам. Некоторые скважины можно рассматривать как практически совершенные. Встречаются скважины с очень высокой степенью несовершенства. Сравнение данных разных лет показало, что степень гидродинамического несовершенства увеличивается по всем скважинам. Данное обстоятельство заставляет полагать, что колюматация фильтров скважин развивается постоянно. Необходимо проводить мониторинг состояния скважин и оценивать экономическую эффективность их эксплуатации.

Оценка эксплуатационных запасов показала, что в зависимости от показателей несовершенства скважин, дебит водозаборов может быть увеличен примерно на порядок. Выполненные оценки показывают очень высокие потенциальные возможности большинства водозаборов. Наряду с высокими фильтрационными свойствами и уровнем восполнения запасов подземных вод, потенциальные возможности водозаборов связаны с их избыточными размерами. Главным образом, очень существенно завышены расстояния между скважинами.

7. ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ДЕПРЕССИОННЫХ ВОРОНОК И ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДОЗАБОРОВ НА ПОДЗЕМНУЮ ГИДРОСФЕРУ

7.1. Исследование взаимосвязи размеров депрессии и дебита скважин

При обработке данных опытно-фильтрационных работ, подсчете эксплуатационных запасов подземных вод и прогнозе водопритоков в горные выработки, как правило, не рассматривается взаимосвязь дебита скважины (колодца, шахтного ствола, карьера) и размеров депрессионной воронки. Такая практика основывается на наиболее часто применяемых аналитических зависимостях гидрогеодинамики. Теоретический анализ исходных уравнений показывает, что взаимосвязь дебита и размеров депрессии существует, и необходимо оценить влияние этого фактора на качество гидрогеологических расчетов и прогнозов.

В качестве основной гидродинамической схемы при проведении опытно-фильтрационных работ обычно применяется схема безграничного изолированного пласта.

Даже при реализации этой схемы следует рассчитывать величину радиуса влияния откачки из скважины, т.е. дальность её действия [12]. Под этой характеристикой понимается такое расстояние от оси опытной скважины, дальше которого эффект откачки практически не сказывается. Дальность действия откачки можно оценивать по понижению уровня или по расходу. При очень строгом подходе следует принимать, что на границе депрессионной воронки понижение уровня и расход потока, который движется к скважине, равны нулю. Реальные размеры депрессии можно рассчитывать, опираясь на минимальные значения понижения, соответствующие принимаемой погрешности наблюдений [12, 109].

В условиях безграничного пласта размеры депрессионной воронки описываются известными выражениями [108]:

$$R_{\pi} = 1,5\sqrt{at}, \quad (7.1)$$

$$R_{вл} = 3,5\sqrt{at}, \quad (7.2)$$

R_{π} – условный радиус питания;

$R_{вл}$ – радиус влияния;

a – коэффициент пьезопроводности;

t – время от начала откачки;

Радиус депрессионной воронки оценивается уравнением (7.2), т.е. соответствует радиусу влияния. Выражение, описывающее условный радиус питания (7.1) вытекает из формального сопоставления формул Джейкоба и Дюпюи. В строгой постановке формула

Дюпюи описывает откачку из пласта с контуром питания в виде окружности. В реальных условиях аналогом радиуса питания является круглый остров, окруженный водой.

В условиях безграничного пласта радиус питания представляет собой условную расчетную характеристику. Эта величина является удобной для расчетов, но не имеет реального гидрогеологического содержания. Из выражений (7.1, 7.2) следует, что размер депрессии не зависит от расхода скважины (водозабора). В строгой постановке данное представление не является правильным. На некорректность использования этих выражений без учета дебита указывал Ф.М. Бочевевер [12].

Граница депрессионной воронки может определяться по значению минимального понижения ($S_{\min}$), которое фиксируется в полевых условиях [12, 108]. Значение $S_{\min}$ обычно принимается равным 0,01 м. Депрессионная воронка в условиях безграничного пласта описывается уравнением Тэйса:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u), \quad (7.3)$$

Q – дебит откачки, м³/сутки;

T – водопроводимость пласта, м²/сутки;

$W(u)$ – специальная функция (функция скважины).

Аргумент специальной функции описывается выражением:

$$u = \frac{r^2}{4at}, \quad (7.4)$$

r – расстояние от оси центральной скважины (колодца, карьера) до точки, где измеряется понижение уровня.

Обычно принимается, что типичное значение понижения уровня в центральной скважине составляет 10 ÷ 15 м [108]. Величина водопроводимости связана с удельным дебитом выражением

$$T = \xi \frac{Q}{S_c}, \quad (7.5)$$

ξ – численный коэффициент.

Для реальных условий коэффициент ξ рекомендуется принимать равным 1,0 ÷ 1,5 [2]. В этом случае соотношение $Q/T \approx 10$.

Если принимать, $S_{\min} = 0.01$ м (для границы депрессионной воронки), а значение соотношения $Q/T = 10$ м, то при решении уравнения Тэйса будет получено, что функция $W(u) = 0,013$. Значение аргумента определяется по таблице функции $W(u)$ [109]. Для рассматриваемого случая $u = 3.0$. Соответственно, границы депрессионной воронки определяется из выражения:

$$\frac{R_{\text{вл}}^2}{4at} = 3,0, \quad (7.6)$$

$$R_{вл} = \sqrt{12at}, \quad (7.7)$$

$$R_{вл} = \chi\sqrt{at} = 3,46\sqrt{at} \approx 3,5\sqrt{at}, \quad (7.8)$$

Приведенные рассуждения в таком же или близком виде представлены в специальной литературе [12, 108].

Очевидно, что числовой коэффициент (χ) равен 3,5 только в том случае, если $Q/T \approx 10$. При других соотношениях дебита скважины и параметра водопроницаемости значения коэффициента χ будут другими (табл. 7.1).

Таблица 7.1 – Оценка значений коэффициента χ

Q/T, м	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1
W(u)	0,0025	0,006	0,025	0,025	0,063	0,13	0,25	0,63	1,3
u	4,4	3,5	3,0	2,5	1,8	1,3	0,92	0,45	0,18
χ	4,2	3,7	3,5	3,2	2,7	2,3	1,9	1,3	0,72

Результаты расчетов показывают (табл. 7.1), что значение $\chi = 3,5$ можно принимать, с допустимой погрешностью, только для типичных значений соотношения $Q/T = 5 \div 20$.

Отношение $Q/T > 10$ не часто встречается при откачках из одиночных скважин. Водозаборы, которые эксплуатируются в условиях реализации схемы безграничного пласта, редко встречаются в практике гидрогеологических работ. Соответственно, необходимость применения значений $\chi > 3,5$ в обычных гидрогеологических условиях имеет низкую вероятность.

Другое дело, если возникает необходимость прогнозировать развитие депрессионной воронки вокруг шахтных стволов или карьеров. В этих случаях отношение $Q/T > 10$ встречается довольно часто. Следовательно, числовой коэффициент χ в уравнении (7.8) потребует специального обоснования и его значения могут быть значительно выше, чем средняя величина.

Нередко, для различных целей, выполняются относительно малodeбитные откачки и эксплуатируются водозаборы с небольшими расходами. Как показывают расчеты (табл. 7.1), при небольших соотношениях Q/T , размеры депрессионной воронки существенно меньше, чем получаются по выражению (7.2). Например, при $Q/T=0,1$ коэффициент $\chi = 0,72$. Это значит, радиус влияния такой откачки будет в 5 раз меньше рассчитанного по выражению (7.2). Таким образом, при оценке размеров депрессии необходимо учитывать соотношение дебита и водопроницаемости пласта.

На графике зависимости χ от $\lg(Q/T)$ хорошо видно (рис. 7.1), что данную зависимость можно аппроксимировать двумя прямыми линиями.

Эти прямые позволяют рассчитывать значения коэффициента χ :

$$\chi = 2.4 + 1.6 \lg(Q/T), \text{ при } \lg(Q/T) \leq 0 \ (Q/T \leq 1.0), \quad (7.9)$$

$$\chi = 2.4 + 1.1 \lg(Q/T), \text{ при } \lg(Q/T) \geq 0 \ (Q/T \geq 1.0). \quad (7.10)$$

В натуральных условиях схема безграничного изолированного пласта относительно часто реализуется на начальном этапе откачек из скважин, но очень редко встречается при эксплуатации водозаборов. Основной гидродинамической схемой, к которой обычно сводятся условия проведения опытных и эксплуатационных откачек, является схема пласта с перетеканием.

При относительно длительных откачках, не превышающих по длительности $15 \div 20$ суток, как правило, наступает стабилизация депрессионной воронки. В этих случаях реализуется схема перетекания из пласта с постоянным напором. При реализации этой гидродинамической схемы обычно не важно, что обеспечивает стабилизацию уровней: собственно водообильный пласт, из которого происходит перетекание или питающие границы (водотоки, водоемы) взаимодействующие с этим пластом.

Обработка данных откачек, выполненных в пластах с перетеканием, имеет ряд существенных особенностей по сравнению с условиями безграничных пластов. К сожалению, эти особенности обычно не учитываются при производстве гидродинамических расчетов, что приводит к существенным ошибкам в определении параметров пластов и выполнении прогнозных расчетов.

Оценка размеров депрессии в водоносных горизонтах с перетеканием из пластов с постоянным напором базируется на уравнении, описывающем стационарный режим депрессии при перетекании:

$$S = \frac{Q}{2\pi T} K_0(r/B), \quad (7.12)$$

$K_0(r/B)$ - специальная функция (функция Бесселя второго рода от мнимого аргумента);

B – параметр перетекания.

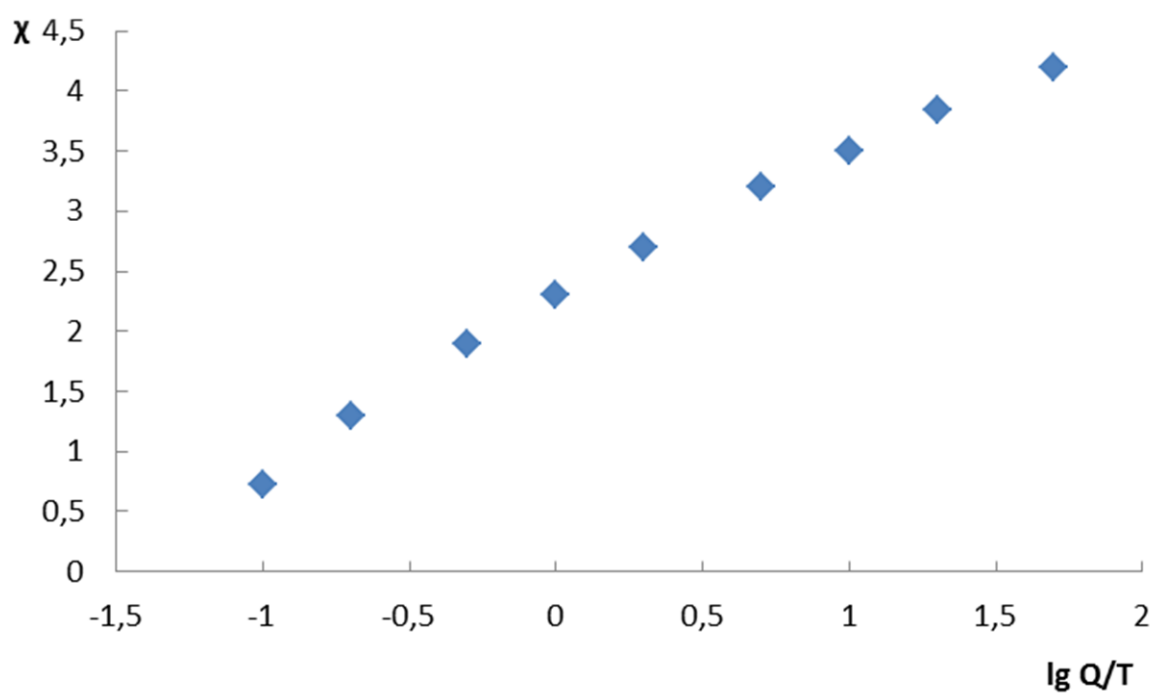
Если выполняется условие $r/B < 0,1 \div 0,3$, то уравнение (7.11) можно использовать в виде

$$S = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{1,12B}{r}, \quad (7.12)$$

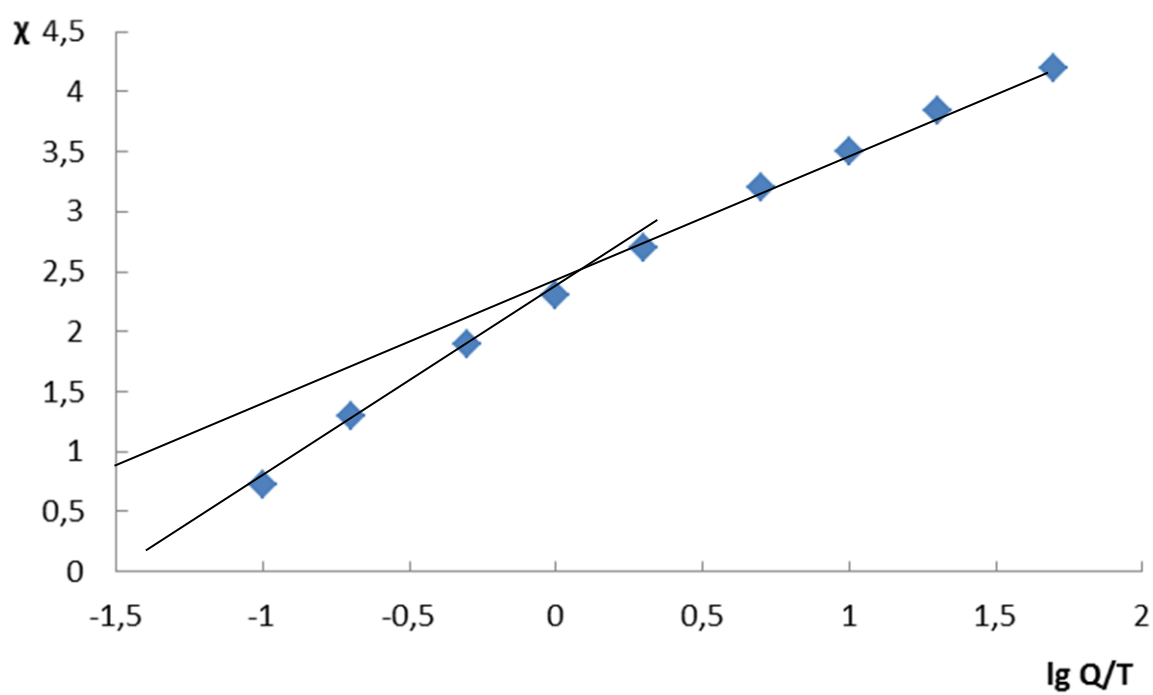
$$K_0(r/B) \approx \ln \frac{1,12B}{r}. \quad (7.13)$$

При формальном сопоставлении уравнения (9) с формулой Дюпюи получается, что для оценки условного радиуса питания можно использовать выражение

$$R_n = 1,12B. \quad (7.14)$$



а



б

Рис. 7.1. Зависимость χ от $\lg Q/T$: а - расчётные точки, б – аппроксимирующие прямые

При обработке данных центральных и ближних наблюдательных скважин, выражение (7.14) удобно применять, но следует помнить, что величина R_{π} носит формальный характер и не имеет прямой связи с размерами депрессионной воронки.

Для оценки значения радиуса влияния в пластах с перетеканием можно использовать рассуждения, аналогичные приведённым выше для безграничных пластов. Если применить для границы депрессии $S_{\min} = 0,01$ м, и задаваться отношением Q/T , то можно получить значение $K_0(R_{\text{вл}}/B)$:

$$K_0(R_{\text{вл}}/B) = 2\pi \frac{T}{Q} S_{\min}, \quad (7.15)$$

Далее отношение $R_{\text{вл}}/B$ рассчитывается с помощью таблицы функции $K_0(R_{\text{вл}}/B)$ [61].

Таблица 7.2 – Результаты расчета зависимости $R_{\text{вл}}/B$ от Q/T

Q/T , м	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10	20	50	100
$\frac{R_{\text{вл}}}{B}$	0,75	1,2	1,9	2,5	3,1	3,9	4,5	5,2	6,0	6,6

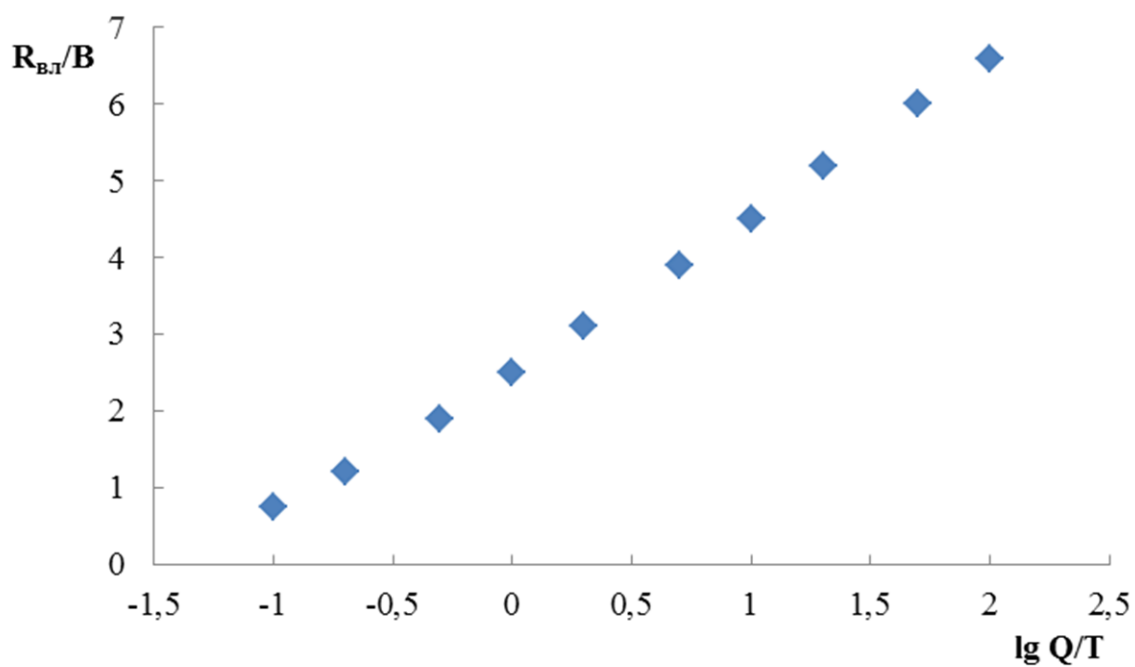
Результаты расчетов показывают, что при небольших дебитах откачек относительно водопроницаемости пласта, радиус влияния может быть меньше параметра перетекания. При возрастании отношения Q/T , существенно увеличивается значение соотношения $R_{\text{вл}}/B$.

На графике зависимости $R_{\text{вл}}/B$ от $\lg(Q/T)$ хорошо видно (рис. 7.2), что данную зависимость можно аппроксимировать двумя прямыми линиями:

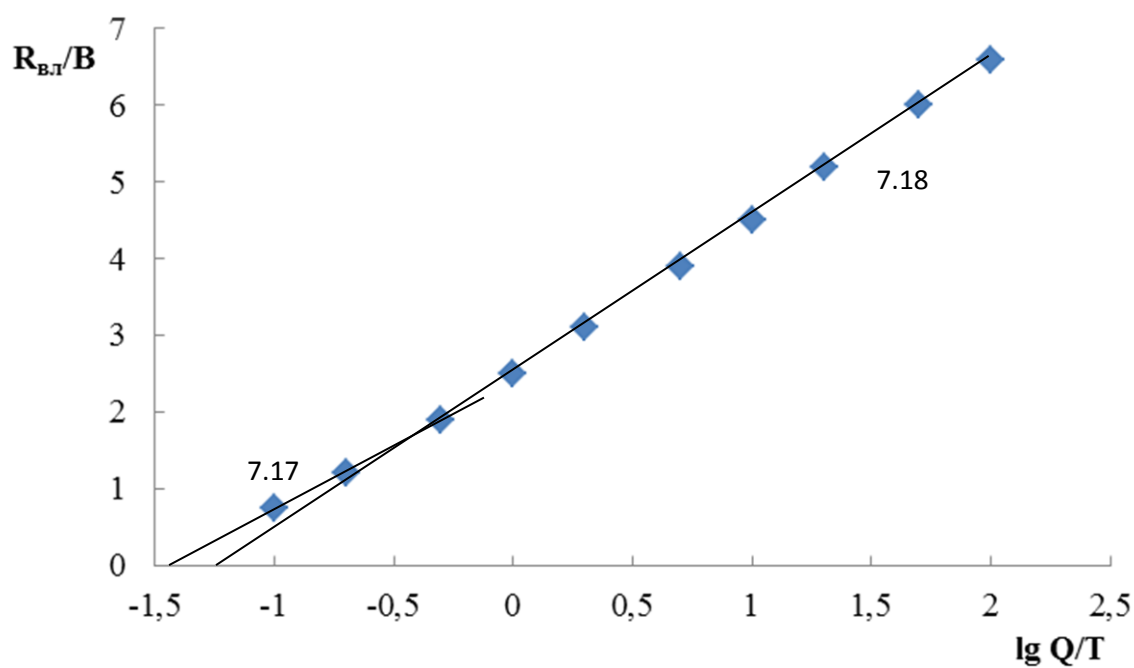
$$R_{\text{вл}}/B = 2.4 + 1.64 \lg(Q/T), \text{ при } \lg(Q/T) < 0 \text{ (} Q/T < 1.0 \text{);} \quad (7.16)$$

$$R_{\text{вл}}/B = 2.5 + 2.0 \lg(Q/T), \text{ при } \lg(Q/T) \geq 0 \text{ (} Q/T \geq 1.0 \text{).} \quad (7.17)$$

При оценке влияния водозаборов на подземную гидросферу необходимо учитывать реальные условия наблюдений. Режимные скважины, расположенные за пределами депрессионной воронки, можно рассматривать только как фоновые, отражающие естественный режим подземных вод. Естественные колебания уровней в регионе составляют примерно 2 м в год. Влияние эксплуатации на уровенный режим можно отследить, если техногенное понижение будет достигать 0,5 ÷ 1,0 м. Это условие накладывает определенные ограничения на расположение наблюдательных скважин.



а



б

Рис. 7.2. Зависимость $R_{в.т}/B$ от $\lg(Q/T)$

Расчеты показывают, что надежные результаты можно получить по наблюдательным скважинам, которые располагаются на расстояниях от центра водозабора не более половины радиуса депрессионной воронки.

Выводы

1. Анализ базовых уравнений скважинной гидрогеодинамики показывает, что размер депрессионной воронки зависит от соотношения дебита скважины (водозабора, шахтного ствола, карьера) и значения водопроводимости пласта.
2. Оценка размеров депрессионных воронок в безграничных пластах на основании известного выражения (7.2), может производиться в тех случаях, когда соотношение $Q/T \approx 5 \div 20$. При относительно небольших дебитах расчетные размеры депрессии уменьшаются в несколько раз.
3. Размеры депрессионных воронок в пластах с перетеканием определяются соотношением радиуса влияния с параметром перетекания. При относительно небольших дебитах радиусы депрессии имеют значения меньше величины параметра перетекания. При эксплуатации крупных водозаборов радиус депрессии превышает значение параметра перетекания в $4 \div 7$ раз.
4. Надежное отслеживание техногенных изменений уровней подземных вод возможно при использовании наблюдательных скважин, которые располагаются не далее половины радиуса влияния от центра депрессии.

7.2. Анализ размеров депрессии при эксплуатации водозаборов

7.2.1. Оценка депрессии водозабора БКНС

Описание ситуации по водозабору БКНС представлено в разделах 4 и 6. Вблизи водозабора, на расстояниях в несколько сотен м располагаются многочисленные озёра и реки. В 2.5 км на юго-запад от водозабора протекает р. Лукьяха, в 6.5 км на северо-запад – р. Харампур. Скважины водозабора располагаются в 2 ряда, которые параллельны друг другу и имеют северо-восточную ориентировку. Общее количество скважин составляет 12 штук. Расстояние между скважинами составляют 100 м (в ряду). Между рядами расстояние равно 100 м.

На период обследования водозабора эксплуатировались скважины 1 – 6. Остальные скважины использовались как наблюдательные. Ранее техническое водоснабжение осуществлялось из водозаборов №6 и №7. Указанные водозаборы по своему положению находились в непосредственной близости от водозабора БКНС. Центр водозабора № 6, состоявшего из трёх скважин, находился в 0.9

км восточнее от центра водозабора БКНС. Центр водозабора № 7, состоявшего из семи скважин, находился в 1.7 км на юго-запад от центра водозабора БКНС. Водозаборы № 6 и № 7 не эксплуатируются с 2003 г.

Водозабор КНС-1 наблюдался в 2001 - 2002 гг. Сведения по мониторингу этого участка представлены в отчёте [94]. Авторы отчёта считают, что данные режимных наблюдений свидетельствуют о стационарном режиме эксплуатации водозабора. Данные по режиму уровней в наблюдательной скважине № 17/4 (крайняя скважина водозабора) показывают, что понижение уровня в ней составляет десятки см. Этот факт свидетельствует о том, что размеры депрессии вокруг водозабора КНС-1 имели относительно небольшие размеры.

Вахтовый посёлок Фестивальный снабжается хозяйственно-питьевой водой из скважин участка ОБП. Эти скважины располагаются на расстоянии 0.7 км от центра водозабора БКНС. Общий дебит этого водозабора, согласно представленной справке, составляет в среднем $52 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Водозабор эксплуатируется в прерывистом режиме небольшую часть суток. При отключении скважин участка ОБП, уровень в них восстанавливается практически до статического уровня. Несмотря на недостаточную точность, эти данные свидетельствуют, что размеры депрессионной воронки вокруг водозабора БКНС имеют относительно небольшие размеры.

В январе 2004 г в скв. 1/6 водозабора №6 был измерен уровень подземных вод. Глубина до уровня воды от устья составила 4.25 м, абсолютная отметка уровня 63.15 м. Эта скважина находится в 0.9 км восточнее от центра водозабора БКНС. Уровень в скважине несколько выше, чем статический уровень в скважинах водозабора. Данное различие объясняется тем, что поток подземных вод направлен к р. Харампур, а разница в уровнях вероятно отражает напорный градиент потока в естественных условиях. Эти данные также свидетельствуют, что размеры депрессионной воронки вокруг водозабора БКНС имеют относительно небольшие размеры.

Данные измерений динамических уровней в скважинах водозабора показывают (табл. 7.3), что радиус депрессии немногим превышает расстояние от центра водозабора до самой крайней наблюдательной скважины (400 м). Эти данные также свидетельствуют, что размеры депрессионной воронки вокруг водозабора БКНС имеют относительно небольшие размеры. Результаты наблюдений позволяют предполагать, что радиус влияния водозабора не превышает 0.7 - 0.9 км.

На основании методики расчета, представленной в разделе 7.1, можно рассчитать радиус депрессии, исходя из параметров пласта и характеристик водозабора (табл. 7.4).

Таблица 7.3 – Исходные данные для построения зависимостей $S \div r$, $S \div \lg r$
по водозабору БКНС

№ скв	r, м	lgr	S, м	lgS
r_k	79.8	1.902	0.880	-0.056
7, 8	200	2.301	0.325	-0.509
9, 10	300	2.477	0.190	-0.721
11, 12	400	2.602	0.085	-1.071
$R_{вл}$	780	2.892	0.010	-2.000

Таблица 7.4 – Результаты расчёта радиуса влияния водозабора БКНС

Q, м ³ /сут	T, м ² /сут	B, м	Q/T, м	$R_{вл}/B$	$R_{вл}$, м
4440	890	200	4.99	3.9	780

Для визуальной оценки размеров депрессии построены графики зависимостей $S \div r$ и $S \div \lg r$ (рис.7.3). Эти графики наглядно показывают, что размеры депрессии, рассчитанные по предлагаемой методике и представленные на графиках, хорошо соответствуют между собой.

Таким образом, можно считать, что совокупность данных по водозабору БКНС подтверждает правильность теоретических разработок и правомерность предлагаемых методических подходов к оценке размеров депрессионной воронки.

7.2.2. Оценка депрессии водозабора КНС-3

Водозабор располагается в 5 км юго-западнее озёра Няхарто, в 10 км на запад от водозабора протекает р. Харампур, в 1 км южнее территорию водозабора огибает р. Ябтаяха. Скважины водозабора располагаются в 4 ряда, которые параллельны друг другу и имеют северо-западную ориентировку. Расстояние между скважинами составляют 100 м (в ряду). Между крайними рядами расстояние равно 100 м, между средними рядами – 260 м.

Водозабор вводился в эксплуатацию постепенно с начала 2003 г. За этот период были введены в эксплуатацию первые 10 скважин. Документация характеристик этих скважин, в первую очередь, эксплуатационного дебита, даёт исходный материал для прогнозного анализа. В январе 2004 г было выполнено гидрогеологическое обследование водозабора. Измерены уровни в скважинах водозабора, сняты показания счётчиков воды на работающих скважинах. На момент обследования в работе находились 8 скважин.

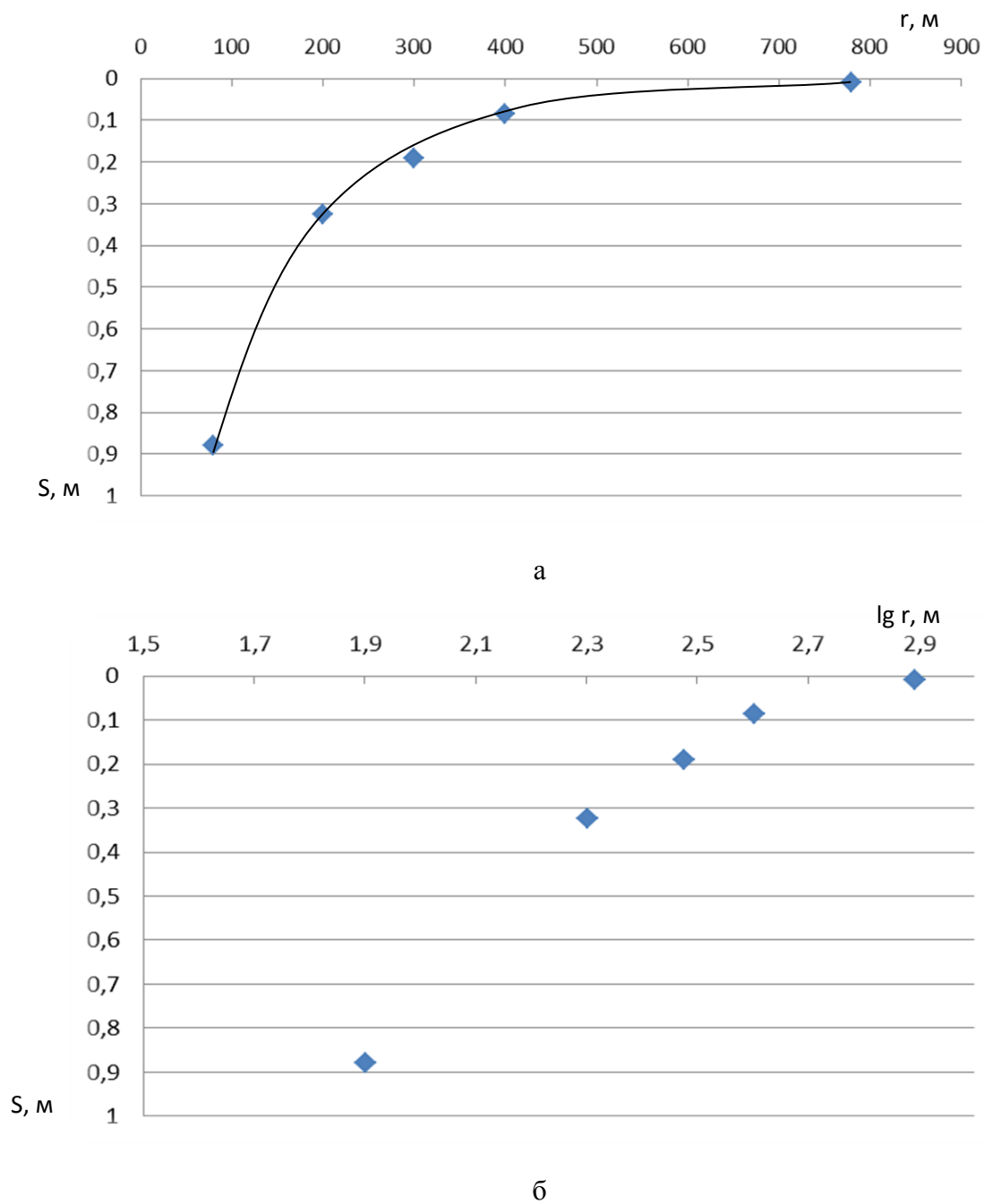


Рис. 7.3 Депрессионная воронка по водозабору БКНС:

а – зависимость $S \div r$, б – зависимость $S \div \lg r$

Все сведения полученные эксплуатирующей организацией и в процессе обследования, использованы для анализа гидрогеологических условий и подсчёта эксплуатационных запасов. Скважины 1 -5 и 7-10 используются как эксплуатационные, а скважины 11-13, 18 были измерены, и рассматриваются как наблюдательные (см. раздел 6).

Данные измерений динамических уровней в скважинах водозабора показывают (табл. 7.5), что радиус депрессии превышает расстояние от центра водозабора до самой крайней наблюдательной скважины 11 (457 м) Эти данные также свидетельствуют, что размеры депрессионной воронки вокруг водозабора КНС-3 имеют относительно небольшие размеры.

Таблица 7.5 – Исходные данные для оценки размеров депрессионной воронки водозабора КНС-3

№ скв	г, м	S, м
11	457	0.36
12	380	0.51
13	425	0.61
18	322	0.96
r_k	100	1.58

На основании методики расчета, представленной в разделе 7.1, рассчитан радиус депрессии, исходя их параметров пласта и характеристик водозабора (табл. 7.6)

Таблица 7.6 – Результаты расчёта радиуса влияния водозабора КНС -3

Q, м ³ /сут	T, м ² /сут	B, м	Q/T, м	R _{вл} /B	R _{вл} , м
5592	428	255	13.1	4.73	1206

Таким образом, радиус влияния вокруг водозабора КНС-3 (радиус депрессии) составляет 1206 м. Совокупность данных по водозабору КНС-3 подтверждает правильность теоретических разработок и правомерность предлагаемых методических подходов к оценке размеров депрессионной воронки.

7.2.3. Оценка размеров депрессии вокруг водозаборов питьевых вод

Теоретические проработки и анализ данных по конкретным водозаборам позволяют полагать, что рассмотренная методика даёт возможность оценивать размеры депрессионных воронок, которые формируются вокруг водозаборов. Для выполнения расчётов необходимо иметь достоверную информацию о значениях параметров водопроницаемости, перетекания и суммарном значении дебита водозабора. На основании этих данных выполнены расчёты по наиболее водозаборам питьевых вод (табл. 7.7).

Таблица 7.7 – Результаты расчёта радиусов влияния водозаборов

Водозабор	Год	Q, м ³ /сут	T, м ² /сут	B, м	Q/T, м	lgQ/T	R _{вл} /B	R _{вл} , м
Муравленко	1990	10528	272	263	38.7	1.59	5.68	1494
	1998	14583			53.6	1.73	5.96	1568
	2001	16090			59.2	1.77	6.04	1589
Губкинский	1997	10306	1090	600	9.46	0.98	4.00	2400
	1998	12546			11.5	1.06	4.62	2772
Лангепас	2009	12758	831	362	15.4	1.19	4.87	1763

Для оценки реальных значений радиуса влияния рассмотрены условия эксплуатации водозаборов, расположенных на территории нефтедобывающих регионов Западной Сибири. Большинство водозаборов эксплуатируют олигоценый водоносный горизонт, залегающий на глубине 100÷200 м. Все водозаборы работают в стационарном режиме, реализуется схема перетекания из пласта с постоянным напором. Верхний четвертичный водоносный горизонт, из которого происходит перетекание, пополняется ресурсами многочисленных рек, озер и болот.

Крупные городские водозаборы эксплуатируются с дебитам десятками тысяч м³/сутки. Значение параметра водопроницаемости основного горизонта варьирует от 272 до 1100 м²/сутки. Соответственно, отношение Q/T по крупным водозаборам составляет от 10 до 60, а R_{вл}/B = 4 ÷ 6. Если ориентироваться на среднее значение параметра перетекания равное 322 м, то радиус влияния крупных водозаборов можно оценивать величиной в 1.5 ÷ 3,0 км (табл. 7.7). Мелкие одиночные водозаборы с эксплуатационным дебитом десятки - сотни м³/сутки создают депрессионные воронки, радиус которых, как правило, не превышает 1 км. Большинство водозаборов не взаимодействует между собой.

7.3. Выводы

1. Анализ базовых уравнений скважинной гидрогеологии показывает, что размер депрессионной воронки зависит от соотношения дебита скважины (водозабора) и значения водопроводимости пласта.
2. Оценка размеров депрессионных воронок в безграничных пластах на основании известного выражения (7.2), может производиться в тех случаях, когда соотношение $Q/T \approx 5 \div 20$. При относительно небольших дебитах расчетные размеры депрессии уменьшаются в несколько раз.
3. Размеры депрессионных воронок в пластах с перетеканием определяются соотношением радиуса влияния с параметром перетекания. При относительно небольших дебитах радиусы депрессии имеют значения меньше величины параметра перетекания. При эксплуатации крупных водозаборов радиус депрессии превышает значение параметра перетекания в $4 \div 6$ раз.
4. Надежное отслеживание техногенных изменений уровней подземных вод возможно при использовании наблюдательных скважин, которые располагаются не далее половины радиуса влияния от центра депрессии (не далее 2 В).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современных представлений и разнообразных данных по гидрогеологическому строению территории, где располагается основные нефтедобывающие районы Западной Сибири, показал, что основную роль в обеспечении питьевого и технического водоснабжения играют подземные воды олигоцен - четвертичного (эоцен – олигоцен - четвертичного) гидрогеологического комплекса. Этот гидрогеологический комплекс представляет собой преимущественно проницаемую, единую водонасыщенную толщу.

Многолетние наблюдения за режимом подземных вод заставляют полагать, что все водоносные горизонты олигоцен-четвертичного комплекса тесно взаимосвязаны между собой. Воды олигоценового (эоцен - олигоценового) водоносного горизонта являются межпластовыми напорными и не имеют непосредственной взаимосвязи с поверхностными водными объектами. Эксплуатационные запасы на участках добычи подземных вод формируются, главным образом, за счет перетекания из выше залегающих рыхлообломочных песчано-глинистых толщ четвертичного возраста.

Четвертичный водоносный комплекс (горизонт) имеет тесную гидравлическую связь с многочисленными водоёмами и водотоками, которые получили широкое развитие на территории Западной Сибири. Тесная взаимосвязь четвертичного водоносного горизонта с водными объектами на поверхности земли предопределяет относительное постоянство напора в четвертичном водоносном горизонте при проведении откачек и эксплуатации водозаборов. Совокупность гидрогеологических сведений по рассматриваемой территории заставляют полагать, что при обработке данных откачек и эксплуатации водозаборов следует рассматривать, в качестве основной, гидродинамическую схему безграничного в плане пласта с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором.

Основные выводы по представленным в диссертационной работе результатам анализа теоретических и полевых исследований сводятся к следующему:

1. Теоретические основы обработки данных откачек в слоистых пластах детально разработаны для различных гидрогеодинамических схем. В реальных гидрогеологических условиях обычно реализуется схема одного пласта с жёстким режимом перетекания из соседних горизонтов. Для пластов слоистого строения применима схема гетерогенного пласта с двойной пористостью. Теоретический анализ и опыт работ в слоистых пластах показывает, что изменение водоотдачи нередко происходит в относительно небольших пределах (в десятки раз). Обработка данных откачек в пластах с перетеканием имеет ряд

отличительных особенностей от обработки опытов, выполненных в безграничных пластах. Игнорирование этих отличий очень часто приводит к существенным ошибкам в определении гидродинамических параметров пластов.

2. В зависимости от конкретных природных условий, при выполнении откачек могут реализоваться различные гидродинамические схемы, которые, в свою очередь, требуют выполнения надёжной диагностики и использования соответствующих методов расчётов. На начальной этапе откачки очень часто реализуется схема пласта с перетеканием из водоносного горизонта с изменяющимся (переменным) напором. При откачке из пласта с перетеканием из водоносного горизонта с изменяющимся (переменным) напором депрессия в верхнем горизонте, как правило, достигает питающих границ и наступает окончательная стабилизация, реализуется схема пласта с постоянным напором. Эти условия рассматриваются как схема «откачка из пласта с перетеканием из горизонта с переменным-постоянным напором».

3. Результаты обработки и анализа данных опытно-фильтрационных работ, выполненных на рассматриваемой территории, показывают, что во всех случаях реализуется схема откачки из пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором. В большинстве случаев наблюдается перетекание из горизонта с переменным-постоянным напором. Олигоцен - четвертичный гидрогеологический комплекс обладает устойчивыми, довольно высокими фильтрационными и ёмкостными свойствами. Хорошая связь с поверхностными водоёмами обеспечивает высокую степень пополнения запасов подземных вод для питьевых и технических целей. Эта же связь предопределяет значительный уровень уязвимости водоносных горизонтов для проникновения загрязнения с поверхности земли.

4. Окончательная стабилизация при откачках обычно наступает не более, чем через трое суток. Основные расчётные характеристики – водопроводимость и параметр перетекания, варьируют в относительно узких пределах. Значение параметра водопроводимости меняется от 200 до 1200 м²/сутки, при среднем значении 616 м²/сутки. Значения параметра перетекания изменяется от 200 до 600 м, при среднем значении 322 м. Средний коэффициент пьезопроводности имеет значение, характерное для напорных водоносных горизонтов ($5.5 \cdot 10^{-5}$ м²/сутки). Среднее значение коэффициента упругой водоотдачи ($1,7 \cdot 10^{-3}$) позволяет сделать важный вывод о том, что соотношение гравитационной и упругой водоотдачи, в рассматриваемых условиях, будет, как правило, меньше ста. Соответственно, хорошо выраженный участок ложной стабилизации, при проведении и обработке откачек, можно фиксировать относительно редко. Среднее

значение параметра k/m ($7,5 \cdot 10^{-3}$) позволяет предполагать, что фильтрационные свойства слоёв, разделяющих олигоценый и четвертичные водоносные горизонты, можно оценить значениями порядка десятые доли м/сутки..

5. Анализ данных по водозаборам питьевых и технических вод показал, что при эксплуатации реализуется схема пласта с перетеканием из горизонта с постоянным напором. При правильной интерпретации данных разведочных работ гидродинамические параметры пласта, определённые по данным разведки, соответствуют значениям параметров, рассчитанным по данным эксплуатации водозаборов. Понижение уровня в водозаборных скважинах складывается из нескольких составляющих, но основную часть понижения (примерно $2/3$) составляет дополнительное понижение за счёт гидродинамического несовершенства скважин. Значение дополнительного понижения за счёт положения скважин в водозаборной системе очень небольшое (несколько процентов). Это показывает, что скважины можно располагать на значительно более близких расстояниях между собой.

6. По степени гидродинамического совершенства большинство скважин отличаются между собой как в пределах одного водозабора, так по разным водозаборам. Некоторые скважины можно рассматривать как практически совершенные. Встречаются скважины с очень высокой степенью гидродинамического несовершенства. Сравнение данных разных лет показало, что степень гидродинамического несовершенства увеличивается во времени по всем скважинам. В зависимости от показателей несовершенства скважин, дебит водозаборов может быть увеличен в несколько раз. Наряду с высокими фильтрационными свойствами и уровнем восполнения запасов подземных вод, потенциальные возможности водозаборов связаны с их избыточными размерами. Главным образом, существенно завышены расстояния между скважинами.

7. Для водозаборов, которые эксплуатируются в условиях перетекания, необходимо оценивать размеры депрессионной воронки вокруг водозабора. Депрессионная воронка оказывает воздействие на геологическую среду, её размеры определяют степень взаимодействия соседних водозаборов и вероятность загрязнения подземных вод. Анализ базовых уравнений скважинной гидрогеодинамики показывает, что размер депрессионной воронки зависит от соотношения дебита скважины (водозабора) и значения водопроводимости пласта. Размеры депрессионных воронок в пластах с перетеканием определяются соотношением радиуса влияния с параметром перетекания. При относительно небольших дебитах радиусы депрессии имеют значения меньше величины параметра перетекания. При эксплуатации крупных водозаборов радиус депрессии

превышает значение параметра перетекания в $4 \div 6$ раз. Надежное отслеживание техногенных изменений уровней подземных вод возможно при использовании наблюдательных скважин, которые располагаются не далее половины радиуса влияния от центра депрессии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Авилина И.В., Григорина Г.Д., Невечеря И.К. Определение геофильтрационных параметров трехпластового потока по данным откачки // Внедрение математических методов и вычислительной техники в практику геологоразведочных работ Советской Прибалтики. Вильнюс. 1988. С. 76-79.
2. Агейчик Л.А., Ерке С.И., Тимошенко Ф.А. Отчёт по поисково-разведочным работам для хозяйственно-питьевого водоснабжения пос. Муравленковский, Тюменская комплексная геологоразведочная экспедиция, г. Тюмень, 1986.
3. Агейчик Л.А., Тимофеев Ф.А. Отчет о результатах разведочных работ для хозяйственно – питьевого водоснабжения поселка Лангепас с подсчетом эксплуатационных запасов на 01.05.1985 г. Тюменская комплексная геологоразведочная экспедиция, г. Тюмень, 1985.
4. Архипов С.А. Четвертичный период в Западной Сибири /Архипов С.А.; Ред. В.Н.Сакс; АН СССР.СО. Ин-т геологии и геофизики.-Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1971. 331с.
5. Бешенцев В.А. Гидрохимия пресных подземных вод ЯНАО. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. – Екатеринбург, 2000. 164 с.
6. Бешенцев В.А., Иванов Ю.К., Бешенцева О.Г. Гидрогеология и техногенез природных вод Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. 125 с.
7. Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1970. 255 с.
8. Боровский Б.В. и др. Мониторинг подземных вод Лангепасского месторождения пресных подземных вод. ГИДЭК, Москва-Екатеринбург, 2001.
9. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Определение гидрогеологических параметров по данным откачек. М.: Недра. 1973. 320 с.
10. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М.: Недра. 1979, изд. 2-ое. 326 с.
11. Боровский В.В., Файбусович Я.Э. Составление геолого-литологических карт современного (в масштабе 1:500 000) и дочетвертичного (в масштабе 1:1000000) срезов территории ЯНАО. Объяснительная записка. СибНАЦ. Тюмень, 2001.
12. Бочеввер Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра. 1968. 324 с.

13. Бочеввер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчетов. М.: Недра. 1969. 366 с.
14. Веселова В.Л., Раткович Г.Д. Численно-аналитические решения для линейных и радиальных одномерных в плане многопластовых потоков // Применение методов математического моделирования для решения гидрогеологических задач: Сб. научн. тр. ТашГУ, Ташкент. 1987. С. 41-46.
15. Ветошников И.В. Организация зоны санитарной охраны водозабора ВОС-8000 г. Лангепас. Проект. ООО «Водгео», г. Мегион, 2006.
16. Геология нефти и газа Западной Сибири //Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др. М.: Недра, 1975. 341 с.
17. Гидрогеология СССР. Том XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области). М.: Недра, 1970. 627 с.
18. Де Уист Р. Гидрогеология с основами гидрологии суши. М.: Мир. 1969. 312 с.
19. Доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. ГУ «Ресурсы ЯМАЛА». Салехард, 2003. 83с.
20. Доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов на территории Ямало – Ненецкого автономного округа. – Салехард: ГУ «Ресурсы Ямала», 2004, - 146 с.
21. Дульките О.А. Анализ геофильтрационного процесса и определение параметров при откачке из двухпластовой и трехпластовой систем // Водные ресурсы, 1988, №1. С. 100-108.
22. Дюнин В.И. Гидрогеодинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов. М., Научный мир, 2000. С.471.
23. Западная Сибирь // Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т. 2 / Гл. ред. В. П. Орлов. Ред. 2-го тома: А. Э. Конторович, В. С. Сурков. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 477 с.
24. Зубаков В.А. Палеогеография Западно-Сибирской низменности. Л.: Наука, 1972, 200 с.
25. Иванов Ю.К. Техногенная трансформация состава природных вод Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Дисс... канд. геол.-мин. наук. – Екатеринбург, 2002. –С.140.

26. Иванов Ю.К., Бешенцев В.А., Ковальчук А.И. и др. Оценка ресурсов и качества подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа. ОАО СибНАЦ, Тюмень, 2003.
27. Иванов Ю.К., Ковальчук А.И. Оценка современного состояния хозяйственно-питьевого водоснабжения ЯНАО. Водозабор п.г.т. Тарко-Сале. Фонды СибНАЦ, Тюмень, 1998.
28. Иванов Ю.К., Тагильцев С.Н. Оценка современного состояния хозяйственно-питьевого водоснабжения ЯНАО. Водозабор г. Губкинский. Фонды СибНАЦ, Тюмень, 1999.
29. Иванов Ю.К., Тагильцев С.Н.. Оценка современного состояния хозяйственно-питьевого водоснабжения ЯНАО. Водозабор г. Муравленко. Фонды СибНАЦ, Тюмень, 1999.
30. Иванов Ю.К., Тагильцев С.Н. Оценка современного состояния хозяйственно-питьевого водоснабжения ЯНАО. Водозаборы г. Надым и ЛПУ. Фонды СибНАЦ, Тюмень, 2000.
31. Иванов Ю.К., Тагильцев С.Н.. Оценка современного состояния хозяйственно-питьевого водоснабжения ЯНАО. Водозабор г. Ноябрьск. Фонды СибНАЦ, Тюмень, 2000.
32. Иванов Ю.К., Тагильцев С.Н.. Оценка современного состояния хозяйственно-питьевого водоснабжения ЯНАО. Водозаборы г. Новый Уренгой и пос. Пангоды. Фонды СибНАЦ, Тюмень, 2000.
33. Ишмаев А.П. Отчет по комплексному изучению подземных вод с целью удовлетворения запросов потребителей на территории Тюменской области за 1989-1990 г.г. (в двух книгах). ТКГРЭ. – Тюмень, 1991.
34. Карцев А.А., Вагин С.Б., Матусевич В.М. Гидрогеология нефтегазоносных бассейнов. М.: Недра, 1986. 224 с.
35. Карцев А.А. и др. Теоретические основы нефтегазовой гидрогеологии. – М.: Недра, 1992. 205 с.
36. Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод. Утв. Мин. прир. ресурсов РФ 30.07.07 г. № 159.
37. Классификация эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод. Утв. Мин. прир. ресурсов РФ 07.03.97 г. № 40.
38. КНС-3 Южно-Харампурского месторождения. Т.1, книга 3. Охрана окружающей среды. ОВОС. Рабочий проект. – НИПИНЕФТЕГАЗ, Тюмень, 2002.

39. Коваленко С.В., Агейчик Л.А. и др. Подсчет запасов Тарасовского месторождения подземных вод по состоянию на 1.09.1988. Отчет Нижневартовской гидрогеол. партии о результатах разведочных работ. ТКГРЭ, Тюмень, 1988, 119 с.
40. Ковальчук А.И., Иванов Ю.К., Бешенцева О.Г. Оценка современного состояния хозяйственно-питьевого водоснабжения ЯНАО. Водозабор г.Салехард. Фонды СибНАЦ, Тюмень, 1998.
41. Кравченко Ю.Г. Эксплуатационная разведка на участках действующих водозаборов Харампурской группы месторождений с подсчётом эксплуатационных запасов по состоянию на 01.10. 02. Отчёт ЗАО «Неолит», Новый Уренгой, 2003.
42. Кругликов Н.М., Нелюбин В.В., Яковлев О.Н. Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна и особенности формирования залежей углеводородов. Л.: Недра, 1985. .279 с.
43. Купалов-Ярополк К.О., Ленченко Н.Н. Предложения по методике расчётов зон санитарной охраны водозаборов подземных вод.// «Геоэкология», № 3, 2002.
44. Курчиков А.Р. Гидрогеотермический режим Западно-Сибирского мегабассейна. Матер. XV Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. Тюмень, 1997.С. .30-31.
45. Луковская и др. Отчёт по переоценке запасов пресных подземных вод для питьевого и производственного водоснабжения г. Муравленко и производственного водоснабжения котельных, питьевого и производственного водоснабжения комплекса КОС. ООО НПП «ЯмалЭГЭМП». г. Салехард, 2011.
46. Лукьянов А.Е., Тагильцев В.С., и др. Особенности освоения водозаборных скважин в предгорных конусах выноса. // Междунар. науч.-практ. конф. «Уральская горная школа – регионам». Екатеринбург: УГГУ, 2011. С. 46 – 47.
47. Манукьян Д.А., Моркос Н.З. Методика определения гидрогеологических параметров двухслойной среды по данным опытно-фильтрационных работ // Разведка и охрана недр. 1968, №10. С 38-43.
48. Матусевич В.М. Гидрогеологические бассейны Западно-Сибирской равнины. 27 сессия Международного геологического конгресса. Тезисы, т. IX, часть 2.- М., 1984.- С.373-374.
49. Матусевич В.М. Краткая история изучения глубоких подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна и эволюция научных представлений. // Известия вузов. Нефть и газ. – Тюмень, 1999, № 4. С.24-31.

50. Матусевич В.М., Бакуев О.В. Геодинамика водонапорных систем Западно-Сибирского нефтегазового бассейна. // Советская геология, 1986, № 2.-С.117-122.
51. Матусевич В.М., Чистякова Н.Ф. Гидрогеохимические и гидродинамические особенности нефтяных месторождений Сургутского района. // Многоцелевые гидрогеохимические исследования в связи с поисками полезных ископаемых и охраной подземных вод. Тез. Всерос. конф. Томск, 1993. С. 81-82.
52. Матусевич В.М., Шубенин Н.Г., Цацульников В.Т. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири: Учебное пособие. – Тюмень, 1990. 102с.
53. Матусевич В. М., Курчиков А.Р., Семенова Т.В., Павленко О.Л. Нефтегазовая гидрогеология Западно-Сибирского мегабассейна: Учебное пособие. – Тюмень, 2008. 100 с.
54. Мироненко В.А., Сердюков Л.И. Обработка результатов опытных откачек, проведенных в условиях двухслойной толщи. // Разведка и охрана недр. 1968, № 10. С. 34-38.
55. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. М.: Недра. 1978. 325 с.
56. Мироненко В.А. О концепции государственного гидрогеоэкологического мониторинга России //Геоэкология. 1993. С. 19-29.
57. Моркос Н.З. Экспериментальное изучение динамики водоотдачи // Вестн. МГУ, серия геол. 1970, № 3. С. 96-101.
58. Некрасов А.И. Геологическое строение Широкого Приобья (отчет Нижневартовской ГГП о результатах ГГС масштаба 1:200000 за 1981-91 гг).
59. Ныров Г. А. О результатах геологоразведочных работ (стадия эксплуатационной разведки) с оценкой эксплуатационных запасов пресных подземных вод Харампурской группы месторождений по состоянию на 01.06.97. Отчет предп. «Аквагеосервис. 1997.
60. Обустройство Южно-Харампурского месторождения. Т.1, книга 1. Пояснительная записка. Проект. – ОАО «Гипротюменнефтегаз», Тюмень, 1998.
61. Опытно-фильтрационные работы. // В.М. Шестаков, Д.Н. Башкатов. – М.: Недра, 1974.
62. Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н. Санитарная охрана водозаборов подземных вод. М.: Недра, 1987. 185 с.
63. Оценка ресурсов и качества подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа. Отчет о научно-исследовательской работе по теме № 30-02. //: А.И. Ковальчук,

- И.В. Абатурова, В.А. Бешенцев, О.Г. Бешенцева, Ю.В. Васильев, Ю.К. Иванов, А.В. Соколова, С.Н. Тагильцев, В.Т. Цацульников, А.А. Ястребов. - Бюро экологических экспертиз, УрО РАН. Екатеринбург, 2003.
64. Палкин С.С. и др. Оценка обеспеченности населения ХМАО ресурсами подземных вод для ХПВ (II этап). Отчет о выполнении тематических работ по договору 14-98/94-98. Ханты-Мансийск – Москва, 2001.
 65. Палкин С.В., Хлопенко В.А. Программа ведения мониторинга подземных вод на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. ГИДЭК, Москва-Салехард, 2001.
 66. Палкин С.С., Палкин С.В. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. ГИДЭК, Москва-Салехард, 2002. С.136.
 67. Пашковский И.С. Определение гидрогеологических параметров в условиях взаимодействия водоносных горизонтов // Вестник МГУ, Геология, 1969, № 2. С.100-103.
 68. Пашковский И.С., Кухтина В.Л. Особенности определения гидрогеологических параметров в неоднородных водоносных горизонтах // Тем.сб. ВСЕГИНГЕО. Вып. 49, 1972. С. 102-113.
 69. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения. СанПиН 2.1.4.027-95.// Госкомсанэпиднадзор России. – М., 1995.
 70. Плотников Н.И. Поиски и разведка пресных подземных вод: Учебн. пособие для вузов. – М.: Недра, 1985. 385 с.
 71. Рекомендации по содержанию, оформлению и порядку представления на государственную экспертизу материалов подсчёта эксплуатационных запасов питьевых, технических и лечебных минеральных подземных вод. – М.: ГКЗ МПР РФ, 1998.
 72. СанПиН 2.1.4.1110-02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого водоснабжения. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2002.
 73. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав России, 2001.

74. Семячков А.И., Тагильцев С.Н., Рудакова Л.В., Балашенко В.В., Мельников А.В., Масленников В.В., Лукьянов А.Е., Тагильцев В.С. Экономико-гидрогеологическая оценка чрезвычайных ситуаций в горнопромышленных районах.– Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН. 2009. – 120 с.
75. Синдаловский Л.Н. Справочник аналитических решений для интерпритации опытно-фильтрационных опробований. СПб.: Из-во С.-Пб. ун-та, 2006.-769 с.
76. Смоленцев Ю.К. Пресные подземные воды Западно-Сибирского мегабассейна. Автореф. Дисс. ... доктора геол.-минер. наук. – Иркутск, 1995. С.30.
77. Соколова А.В. Оценка обеспеченности населения Ямало-Ненецкого автономного округа ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. – Тюмень, Сибирский научно-аналитический центр, ТКГРЭ, 2001.
78. Сычева А.В., Волдин В.В. Переоценка эксплуатационных запасов Ноябрьского месторождения пресных подземных вод для водоснабжения г. Ноябрьска. ГИДЭК, Мегион-Москва, 1997.
79. Стрельцова Т.Д., Шестаков В.М. Определение гидрогеологических параметров безнапорных пластов по данным опытных откачек из совершенных скважин // Вопросы определения гидрогеологических параметров и расчета эксплуатационных запасов подземных вод. Выпуск 1. М.: ВСЕГИНГЕО. 1967. С. 4-24.
80. Тагильцев С.Н., Тагильцев В.С. Анализ данных эксплуатации водозаборов в нефтегазодобывающих регионах Западной Сибири. // Подземные воды востока России: материалы XIX Совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Тюмень: Тюменский дом печати, 2009. – С. 293–297.
81. Тагильцев С.Н., Лукьянов А.Е., Тагильцев В.С., Урядов П.В. Формирование эксплуатационных запасов подземных вод в нефтегазодобывающих регионах западной Сибири. //Ресурсы подземных вод: Современные проблемы изучения и использования: Матер. междунар. научн. конф. Москва, МГУ, 13 - 14 мая 2010 г.- М.: МАКС Пресс, 2010. С. 195 – 200.
82. Тагильцев С.Н., Тагильцев В.С., Лукьянов А.Е. Особенности и недостатки оценки эксплуатационных запасов пресных подземных вод на территории Западной Сибири. //Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии: Матер. междунар. научно-практ. конф. Часть 2. Московская обл., п. Зелёный, ВСЕГИНГЕО, - 2011. С. 25 - 38.

83. Тагильцев С.Н., Тагильцев В.С., Лукьянов А.Е. Особенности откачек в слоистых пластах с перетеканием. //Гидрогеология сегодня и завтра: наука, образование и практика: Матер. междуна. науч. конф. М.: МАКСПресс, 2013. С.456-463.
84. Тагильцев С.Н., Тагильцев В.С. Взаимосвязь размеров депрессионной воронки с дебитом скважин и водопроницаемостью пласта. //Гидрогеология сегодня и завтра: наука, образование и практика: Матер. междуна. науч. конф. М.: МАКСПресс, 2013. С.469-474.
85. Тагильцев С.Н., Тагильцев В.С. Оценка степени гидродинамических несовершенств разведочных и эксплуатационных скважин. // Горный журнал. Изв. ВУЗов. – 2013. № 5. С. 97 – 104.
86. Тагильцев С.Н., Тагильцев В.С., Лукьянов А.Е. Определение гидродинамических параметров слоистых неоднородных пластов на территории Западной Сибири. // Подземная гидросфера: Матер. Всеросс. совещ. по подз. водам востока России. Иркутск: Изд-во ООО «Географ», 2012. С.391-396.
87. Тагильцев С.Н., Тагильцев В.С. Формирование эксплуатационных запасов подземных вод в нефтегазодобывающих регионах западной Сибири. //Ресурсы подземных вод: Современные проблемы изучения и использования: Матер. междуна. научн. конф. Москва, МГУ, 13 - 14 мая 2010 г.- М.: МАКС Пресс, 2010. С. 195 – 200.
88. Тагильцев С.Н., Тагильцев В.С., Лукьянов А.Е. Оценка запасов пресных подземных вод на участке действующего водозабора ООО «НижевартовскСибурСервис». ООО «Уральская компания экологического сопровождения проектов фирма «Геоэкология»», Екатеринбург, 2010, 115 с.
89. Тагильцев С.Н., Тагильцев В.С., Лукьянов А.Е. Оценка запасов подземных вод по участку группового водозабора ОАО «Южно-Балыкский ГПК». ООО «Уральская компания экологического сопровождения проектов фирма «Геоэкология»», Екатеринбург, 2009, 99 с.
90. Тагильцев С.Н., Тагильцев В.С., Лукьянов А.Е. Переоценка запасов подземных вод действующего водозабора г. Лангепас (ВОС-8000). Книга 1. Екатеринбург, ООО «Уралгеопроект», 163 с.
91. Тагильцев В. С. Оценка взаимосвязи размеров депрессионной воронки и дебита скважин в типовых гидрогеологических условиях. // Горный журнал. Изв. ВУЗов. – 2012. № 6. С. 103 – 108.

92. Тагильцев В.С., Тагильцев С.Н. Особенности эксплуатационной разведки на водозаборах ЯНАО// 85 лет геологической службе Урала. Матер.конф. Екатеринбург, 2005. С 64 – 67.
93. Тагильцев В.С., Кибанова Т.Н., Тагильцев С.Н. Оценка влияния напряженного состояния земной коры на формирование месторождений углеводородов на территории ЯНАО. //Горнопромышленная декада. Тез. докл. конф.- Екатеринбург: УГГУ, 2004. С.25-27.
94. Тагильцев В.С., Кибанова Т.Н., Тагильцев С.Н. Гидродинамические особенности оценки эксплуатационных запасов пресных подземных вод в южной части ЯНАО//Горнопромышленная декада. Тез. докл. конф.- Екатеринбург: УГГУ, 2004. С.27-29.
95. Тагильцев В.С. Оценка степени гидродинамического несовершенства опытных и эксплуатационных скважин. //Горнопромышленная декада. Материалы конф.- Екатеринбург: УГГУ, 2006. С.63-64.
96. Тагильцев В.С., Тагильцев С.Н. Гидродинамические особенности разведки и эксплуатации водозаборов в нефтегазодобывающих регионах Западной Сибири //Всероссийское совещание по подземным водам востока России. Иркутск, 2006. С.298-301.
97. Тагильцев В.С., Вятченников В.А. Особенности обработки откачек в слоистых пластах на территории Западной Сибири. // Междунар научно-практ. конф. С.б. докл., Екатеринбург, УГГУ, 2013. С. 150-151.
98. Тагильцев В.С. Зависимость размеров депрессионной воронки от дебита скважин // Междунар научно-практ. конф. С.б. докл., Екатеринбург, УГГУ, 2013. С. 152-153.
99. Тагильцев В.С., Кибанова Т.Н., Тагильцев С.Н. Планирование кустовой откачки. Метод. указания. Екатеринбург: УГГГА, 2004. 31 с.
100. Тагильцев В.С., Кибанова Т.Н., Тагильцев С.Н., Лукьянов А.Е. Опытнo-фильтрационные работы. Учебное пособие. Екатеринбург: УГГУ, 2005. 67 с.
101. Филиппова Н. Ф., Тагильцев С.Н. и др. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод водозабора КНС-2 Южно-Харампурского месторождения для производственно-технического водоснабжения системы ППД. – Отчёт ЗАО «Недра», Ноябрьск, 2002.
102. Филиппова Н. Ф., Тагильцев С.Н. и др. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод водозабора КНС-3 Южно-Харампурского месторождения для

- производственно-технического водоснабжения системы ППД. – Отчёт ЗАО «Недра», Ноябрьск, 2004.
103. Филиппова Н. Ф. и др. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод для производственно-технического водоснабжения г. Муравленко. – Отчёт ЗАО «Недра», Ноябрьск, 2003.
 104. Филиппова Н. Ф., Тагильцев С.Н. и др. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод водозабора БКНС Фестивального месторождения для производственно-технического водоснабжения системы ППД. – Отчёт ЗАО «Недра», Ноябрьск, 2005.
 105. Филиппова Н. Ф. и др. Водозабор системы ППД на БКНС Фестивального месторождения. Бурение водозаборных скважин. Рабочий проект. – ЗАО «Недра», Ноябрьск, 2002.
 106. Хантуш М.С. Анализ данных опытных откачек из скважин в водоносных горизонтах с перетеканием // В кн. Вопросы гидрогеологических расчетов. М.: Мир. 1964. С. 27-42.
 107. Хантуш М.С. Неустановившийся приток подземных вод к скважине, несовершенной по степени вскрытия // В кн. Вопросы гидрогеологических расчетов. М.: Мир. 1964. С. 61-84.
 108. Хантуш М.С. Новое в теории перетекания // В сб. Вопросы гидрогеологических расчетов. М.: Мир. 1964. С. 43-60.
 109. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. М.: Изд-во МГУ, 1979. 368 с.
 110. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. – М.: КДУ, 2009. 334 с.
 111. Шестаков В.М. Расчетные зависимости для обработки опытных откачек при различных формах перетекания // Рациональное использование водных ресурсов. 1986, вып. 6. С. 41-48.
 112. Шестаков В.М. Теоритические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М.: Изд-во МГУ. 1965. 234 с.
 113. Шестаков В.М. Фильтрационный расчет откачки из скважины в двухпластовой системе // Известия ВУЗов, Геология и разведка. 1982, №1. С. 67-75.
 114. Шестаков В.М. Интерпретация опытных откачек при перетекании между пластами // Вестн. Моск. ун-та, сер. 4, Геология, 1983 №6. С. 49-64.
 115. Шестаков В.М. Прикладная гидрогеология: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ. – 201 с.

116. Шестаков В.М., Невечеря И.К., Авилина И.В. Методы расчётов опытных откачек в водоносных пластах с перетеканием. М.: Научный мир, 2011. 144 с.
117. Boulton N.S. The drawdown of the waterable under nonsteady conditions near a pumped wells in an unconfined formation. Pros. Inst. Civil Engrs, 1954, v. 3, pt. 3. P. 564-570.
118. Boulton N.S. The analysis of data from non-equilibrium pumping test allowing for delayed yield from storage. Pros. Inst. Civil Engrs, 1963 v. 26. P. 462-482.
119. Boulton N.S., Pontin J. An extended theory of delayed yield from storage applied to pumping tests in unconfined anisotropic aquifer // Journal of Hydrology, 1971 v. 14, N 1. P. 53-65.
120. Hantush M.S., Jacob C.E. Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer // Trans Amer. Geophys. Union, 1955, v. 36. P. 95-100.
121. Hantush M.S. Modification of the theory of leaky aquifer // Journal of Geophysical Res., 65, 1960, № 11. P. 3712-3724.
122. Hunt B. Flow to a well in a multiaquifer system // Water Resources Research, 1985, v. 21, № 11. P. 1637-1641.
123. Neuman S.P. Theory of flow on unconfined – aquifers considering delayed gravity response // Water Resources Research, 1972 v. 8, № 4. P. 1031-1045.
124. Neuman S.P. On methods of determining specific yield // Ground Water, 1986 v. 25, № 6. P. 679-684.
125. Neuman S.P., Witherspoon P.A. Applicability of current theories of flow in leaky aquifers // Water Resources Research, 1969b v. 5. P. 817-829.
126. Neuman S.P., Witherspoon P.A. Field definition of the hydraulic properties of leaky multiple aquifer systems // Water Resources Research, 1972 v. 8, № 5. P. 1284-1297.