

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО НИ ТПУ)

На правах рукописи

ЛУКИН АЛЕКСЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ
ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА НАПОРНОЕ
ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ**

25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология,
геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель
доктор геолого-минералогических наук, профессор
Ерофеев Леонид Яковлевич

Томск – 2012

Введение.....	4
1. Гидрогеодинамический мониторинг и обзор исследований по переменному воздействию на гидрогеодинамическое напорное поле	9
1.1. Гидродинамический мониторинг горнотехнических систем.....	11
1.1.1. Гидрогеодинамический мониторинг как составляющая геофизико-экологического мониторинга	11
1.1.2. Нормативная база по проведению мониторинга подземных вод.....	13
1.1.3. Геофизические методы, применяемые для мониторинга геологической среды в процессе эксплуатации полигонов глубинного захоронения и водозаборов подземных вод.....	15
1.1.4. Организация и ведение гидрогеодинамического мониторинга на водозаборах.....	17
1.2. Численное моделирование процессов геофильтрации.....	19
1.2.1. Физико-математические основы законов гидрогеодинамики....	19
1.2.2. Численная реализация метода конечных разностей	21
1.2.3. Обзор программных продуктов, применяемых для моделирования процессов геофильтрации.....	25
2. Геологическая и гидрогеологическая основа моделей.....	26
2.1. Географическое и административное положение района.....	26
2.2. Геологическая и геофизическая изученность строения района.....	27
2.3. Геологическое строение района	32
2.3.1. Тектоника.....	32
2.3.2. Стратиграфия.....	35
2.4. Гидрогеологические условия и гидродинамический режим подземных вод района.....	40
2.5. Фильтрационно-емкостные свойства водоносных горизонтов и методы их получения.....	48
3. Гидрогеосейсмическая технология.....	58
3.1. Моделирование колебаний напорного поля водоносного горизонта, возбуждаемых режимом работы скважин Томского водозабора подземных вод.....	58
3.1.1. Методика моделирования и принятые условия.....	58
3.1.2. Статистический анализ режимов технологической работы Томского водозабора подземных вод	61
3.1.3. Результаты моделирования и их анализ и методика определения границ влияния скважин.....	64
3.2. Моделирование колебаний напорного поля нагнетательных скважин полигонов подземного захоронения ЖРО Сибирского химического комбината	71
3.2.1. Методика моделирования и принятые условия.....	72
3.2.2. Статистический анализ технологического режима работы полигона глубинного захоронения ЖРО СХК.....	75

3.2.3. Результаты моделирования и их анализ.....	78
3.2.4. Методика определения границ влияния режима работы скважин полигона.....	80
3.3. Общее описание гидрогеосейсмической технологии.....	84
4. Выявление воздействия режима работа ГТС на колебательный режим напоров в наблюдательных скважинах	87
4.1. Методика расчета.....	88
4.2. Анализ результатов и выводы.....	91
Заключение	95
Список литературы.....	97

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Проблема оценки гидрогеодинамических границ влияния таких горнотехнических систем (ГТС) как водозаборы подземных вод и полигоны захоронения жидких радиоактивных отходов (ЖРО) на геологическую среду – насущная проблема в экологических оценках и прогнозах. Это относится и к региональной экологической проблеме – проблеме границ гидрогеодинамического влияния водозабора подземных вод и полигонов подземного захоронения ЖРО.

Предмет исследования – колебания напорного гидрогеодинамического поля, возбуждаемые неравномерно-прерывистым режимом работы эксплуатационных скважин ГТС.

Цель работы – исследование гидрогеодинамических колебаний напорного поля при неравномерно-прерывистой работе горнотехнических систем с целью разработки методических приемов оценки границ их влияния.

Основные задачи исследования:

- 1) изучение прерывистого режима работы эксплуатационных скважин на примере полигона захоронения ЖРО Сибирского химического комбината (СХК) и Томского водозабора;
- 2) численное моделирование воздействия на гидрогеодинамическое напорное поле полигона захоронения ЖРО СХК и Томского водозабора;
- 3) выявление природного и технологического воздействия работы полигона на колебание напоров в наблюдательных скважинах;

Исходные материалы. Основной фактический материал по объектам исследования получен автором в 2007–2010 гг. при прохождении научно-производственных стажировок в лаборатории геотехнологического мониторинга Сибирского химического комбината, в Томскгеомониторинге и на Томском водозаборе подземных вод.

Информационная база включает следующие материалы:

1. Картографический материал по району объектов исследования: геологические, геофизические, геоморфологические и гидрогеологические карты общего назначения и разрезы к ним; специальные карты: карты гидроизопъез, водопроницаемости и изопахит водоносных и водоупорных горизонтов.

2. Данные по режимам работы и объемам закачки/откачки эксплуатационных скважин в хронологической документации даты и времени с точностью фиксирования длительности до 1 часа. В работе использовались данные по 16 водозаборным скважинам первой очереди Томского водозабора в период с 1983–2007 гг. и 15 нагнетательным скважинам площадки 18 полигона захоронения в период с 2005–2008 гг.

3. Данные гидрогеодинамического мониторинга по 78-ми контрольным скважинам, расположенным в пределах полигона глубинного захоронения ЖРО и его горного отвода, 9-ти наблюдательным скважинам единой системы контроля недр в зоне санитарной охраны СХК и 17-ти наблюдательным скважинам вблизи Томского водозабора.

4. При моделировании колебаний гидрогеодинамического поля в эксплуатационных режимах возбуждения нами принимается модельная схематизация краевых условий, которая разработана и используется в лаборатории геотехнологического мониторинга СХК и Томскгеомониторинге. В них учтена вся информация по фильтрационно-емкостным свойствам (ФЕС) моделируемых горизонтов, накопленная за всё время изучения объектов.

Методы исследования. Колебания гидрогеодинамического напорного поля, возбуждаемые режимом работы ГТС, исследуются методом численного моделирования гидродинамических процессов в программном комплексе GMS, который использует расчетный модуль Modflow. В нем реализован алгоритм решения дифференциального уравнения нестационарной планово-радиальной фильтрации методом конечных разностей. Для выявления частотных технологических и природных составляющих колебаний напоров

в наблюдательных скважинах использовался Фурье-анализ. Также применялись стандартные статистические методы для анализа периодов работы и простоя режима эксплуатационных скважин ГТС.

Научная новизна работы состоит в следующем.

1. Разработана технология определения границ влияния ГТС, основанная на изучении колебаний напорного гидрогеодинамического поля.

2. Впервые для полигонов захоронения ЖРО СХК и Томского водозабора исследован неравномерно-прерывистый режим работы эксплуатационных скважин по их технологическим циклам – периодам работы и простоя.

3. Разработан способ выделения технологической и природной составляющих в натуральных спектрах колебаний гидродинамического напорного поля.

4. Впервые для моделируемых областей полигонов подземного захоронения ЖРО СХК и Томского водозабора количественно оценены и картографически выделены зоны колебаний напорного поля как функциональные зоны геоэкологического мониторинга.

Достоверность полученных результатов определяется достоверностью и полнотой исходной информации по геоэкологическому мониторингу, фильтрационно-емкостным параметрам и граничным условиям горизонтов моделируемой области и точностью численных решений дифференциальных уравнений математической физики.

Практическая значимость работы. Материалы исследований по теме диссертации вошли в отчеты по госбюджетным научным темам, финансировавшимся Минобразования и Минпромнауки РФ (гранты № E02-9.0-60 и НШ-1566.2003.05), Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 06-05-64166 научный руководитель профессор М.Б. Букаты), а также фондом содействия развития по программе «У.М.Н.И.К.» (индивидуальный грант 2009–2011 гг.). Некоторые результаты переданы в лабораторию геотехнологического мониторинга СХК.

Основное практическое назначение разрабатываемой гидрогеосейсмической технологии – использование её в оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании инженерно-экологических изысканий и эксплуатации обширного класса горнотехнических систем. Применение данной технологии экономически выгодно предприятию.

Защищаемые положения.

1. Режим работы эксплуатационных скважин полигона захоронения ЖРО СХК и Томского водозабора, как фактор возбуждения колебаний напорного поля, является случайным процессом смены периодов работы (T_p) и простоя (T_n), подчиняющимся логнормальному закону распределения длительностей T_p и T_n , который существенно отличается от длительностей природной цикличности в колебаниях напоров.

2. Колебательный режим напорного гидрогеодинамического поля, возбуждаемый работой горнотехнических систем, является существенным как при оценках границ их влияния, так и при разработке программы оптимизации геоэкологического мониторинга.

3. Анализ спектральной плотности дисперсии колебаний напоров в наблюдательных скважинах может применяться как независимый способ оценки гидродинамического влияния режима работы горнотехнических систем.

Личный вклад автора. При выполнении научных исследований по теме диссертации автор являлся непосредственным исполнителем всех поставленных в работе задач и анализе полученных результатов. В процессе прохождения научно-производственных стажировок в лаборатории геотехнологического мониторинга СХК и Томского водозабора участвовал в геомониторинговых исследованиях наблюдательных и эксплуатационных скважин этих объектов.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались в различных городах России (Москва, Санкт-Петербург, Астрахань,

Новосибирск, Иркутск, Тюмень, Томск), а также за рубежом (Киев, Украина) как индивидуально, так и в составе коллектива авторов на семнадцати научных конференциях, совещаниях, симпозиумах и конкурсах различного ранга (международного, российского, регионального).

Публикации. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в двадцати трех работах. Три из них – в рецензируемых журналах, остальные – в статьях или тезисах докладов, изданных материалов научных конференций и симпозиумов; одна из таких публикаций – в зарубежном издании.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка цитируемой литературы из 140 наименований. Материал работы изложен на 106 страницах, включая 4 таблицы и 31 рисунок.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю – д.г.-м.н., профессору Л. Я. Ерофееву. Также автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам кафедры геофизики Е.В. Гусеву, В.П. Меркулову; сотрудникам кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии А.А. Лукину, М.Б. Букаты за всестороннюю помощь, критические замечания и ценные советы.

Автор благодарит руководство и коллективы лаборатории геотехнологического мониторинга СХК, ОАО Томскгеомониторинг и Томскводоканал, особенно А.А. Зубкова, В.В. Данилова, Ю.В. Макушина, Д.Н. Четвергова, В.В. Товкача и В.В. Нейфельда за ценные советы и предоставленные материалы, которые легли в основу диссертации.

1. ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПЕРЕМЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ НА ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ НАПОРНОЕ ПОЛЕ

Первая глава является теоретической и методической основой диссертационной работы. Целевое её назначение – охарактеризовать по известным публикациям подходы и результаты изучения колебаний напорного гидрогеодинамического поля, обозначить особенности исследования. Вопросы, рассматриваемые в главе, определяются назначением разрабатываемой технологии, предметом изучения, основами метода изучения.

При освещении первого вопроса – гидрогеодинамический мониторинг горнотехнических систем – приводятся базовые понятия и содержание мониторинга и гидрогеоэкологического мониторинга как одного из направлений геофизико-экологического мониторинга (по Ю.А. Израэлю). Для гидрогеоэкологического мониторинга, согласно методологической концепции В.М. Шестакова, подчеркивается базовое положение объектного мониторинга в общей уровневой классификации систем мониторинга. Далее рассматривается содержание, виды работ и методы геофизико-экологического мониторинга ГТС в соответствии с требованиями нормативных документов РФ и регламентов предприятий, действующих на Сибирском химическом комбинате и Томском водозаборе подземных вод. И в заключении первого вопроса приведена методика расчета схем размещения эксплуатационных и наблюдательных скважин, которая применялась при проектировании исследуемых ГТС.

Второй вопрос главы – физико-математические основы и принципиальные положения расчетов конкретных моделирующих систем для численного решения задач работы. При этом, исходя из предмета исследования, описываются нестационарный и квазистационарный режим

фильтрации от точечного источника в напорном гидрогеодинамическом поле. Поэтому в данном разделе главы приводятся следующие базовые положения из гидрогеомеханики [81]; из теории притока жидкости к скважинам [8, 9, 31, 32, 43, 60, 80, 81, 104, 107, 110, 115]. Из теории численных методов решения дифференциальных уравнений плоско-радиальной фильтрации – метод конечных разностей, реализованный Г.Н. Каменским [43] и алгоритмизованный во всех вычислительных компьютерных программных комплексах. На основе литературных обзоров компьютерных программ [14, 15], кратко характеризуются наиболее распространенные моделирующие системы, три из которых используются в работе.

Работа опирается на результаты предыдущих исследований колебаний напорного гидрогеодинамического поля. Эти исследования нами условно разделяются на две группы. К первой группе относим работы, в которых волновые колебания напорного поля возбуждаются в скважинах техническими средствами с определенной частотой и интенсивностью. Это работы связанные с импульсно-волновой технологией [5, 7, 10-13, 17-21, 29, 34, 42, 119-122] и методом фильтрационных волн давления [4, 56, 83, 88-90]. Вторая группа работ, в которых исследуются колебания напорного поля, возбуждаемые природными факторами. Это исследования гидрогеосейсмических эффектов в напорном поле пластов в сейсмоактивных зонах [23, 25, 50-54, 118, 125-126]. Сюда так же отнесены работы, исследовавшие колебания уровней грунтовых вод в береговой зоне их подпора при прохождении волн половодий и паводков в реках [85, 104] и работы по режиму в зоне влияния крупных водохранилищ [59]. При этом особое внимание уделялось режимом источников возбуждения, наблюдаемым волновым эффектам и характеристикам затухания колебаний в напорном поле.

1.1. Гидродинамический мониторинг горнотехнических систем

1.1.1. Гидрогеоэкологический мониторинг как составляющая геофизико-экологического мониторинга

Термин «мониторинг» вошел в научный оборот из англоязычной литературы и происходит от слова monitoring – контрольное наблюдение [117]. В свою очередь, слово monitoring происходит от латинского «монитор» – «наблюдающий», «предостерегающий». Современное значение этого слова можно определить как наблюдение, контроль, предупреждение.

Общая теория мониторинга окружающей среды, обоснование и определение основных принципов и связанных с ними понятий развиты в стране в основополагающих работах Ю.А. Израэля, И.П. Герасимова, Ф.Я. Ровинского, В.Е. Соколова и других исследователей. Теоретические вопросы по проблемам мониторинга геологической среды изложены в работах А.А. Бондаренко, А.Г. Гамбурцева, Г.К. Бондарика, Г.А. Голодковской, В.К. Епишина, А.Г. Емельянова, Ю.Ф. Захарова, В.А. Королева и других.

В концепции Ю.А. Израэля [41] под мониторингом понимается система наблюдений, позволяющая выделить изменения состояния (прежде всего загрязнение) биосферы под влиянием деятельности человека. Подобную систему он определил как мониторинг антропогенных изменений окружающей природной среды. Основная цель ее создания – предупреждение негативных последствий воздействия человека на природу.

Мониторинг подземных вод представляет собой систему регулярных наблюдений за подземными водами. Целью мониторинга является получение данных, необходимых для управления эксплуатацией подземных вод, их охраны от истощения и загрязнения, предотвращения негативных последствий влияния водоотбора на окружающую среду, а также – контроля за соблюдением требований условий лицензий.

Мониторинг целенаправлен на обоснование рационального использования ресурсов подземных вод и представляет собой систему

проведения наблюдений и сбора информации для оценки состояния и прогнозирования изменений в системе водоотбора применительно к решению задач управления работой водозаборов подземных вод. При организации ведения такого мониторинга выделяются объектный и территориальный мониторинг ресурсов подземных вод. Объектный мониторинг проводится на участках водозаборов централизованного водоснабжения в пределах области влияния водоотбора на поток подземных вод и решает задачи оптимизации работы водозабора, исходя из водохозяйственных требований; мультиобъектный мониторинг проводится на территории, охватывающей несколько объектов (например, водозаборов и других сооружений на городских территориях) при существенном взаимовлиянии между ними. Территориальный мониторинг проводится на территории субъектов федерации, исходя из планируемого развития централизованного водоснабжения на этой территории.

Как известно, гидрогеоэкологический мониторинг является одним из направлений геофизико-экологического мониторинга [41] и представляет систему режимных наблюдений за элементами подземных вод с целевой направленностью на гидрогеоэкологическое прогнозирование, осуществляемое в связи с решением антропогенных воздействий. Исходя из материально-финансовых и принципиальных соображений, следует устанавливать основание пирамиды мониторинга на базе конкретных объектов, обобщая далее получаемую информацию на региональном и федеральном уровнях. Эту позицию [112] следует отметить особо, поскольку нередко объектный мониторинг рассматривается как сугубо прикладной вид работ, а большее значение придается региональному мониторингу, формально имеющему более масштабный характер. Следует исходить из значимости модельной ориентированности мониторинга, обеспечивающего эффективную переработку и хранение информации.

В частности, важным (может быть, важнейшим) направлением гидрогеоэкологического мониторинга является мониторинг ресурсов

подземных вод, в котором отражаются основные проблемы прикладной, региональной и теоретической гидрогеологии [22, 44, 112]. Такой мониторинг должен проводиться на перспективных участках водозаборов подземных вод, на которых существенную роль играет организация мониторинга для развития и оптимизации водоотбора, особенно имея в виду целенаправленное проведение мониторинга как элемента эксплуатационной разведки. Важнейшую роль при этом играют балансовые оценки взаимодействия поверхностных и подземных вод, выявляемые с помощью гидрогеодинамического моделирования, непосредственно связанного с дизайном и режимом гидродинамических наблюдений, требующих специального обоснования на каждом объекте. Принципиальным для построения мониторинга является его направленность на обоснование расчетной гидрогеодинамической схематизации. Для эффективного ведения мониторинга необходимо его выполнение специализированными организациями с обязательным привлечением специалистов высшей квалификации для участия в решении неизбежно возникающих методических задач.

1.1.2. Нормативная база по проведению мониторинга подземных вод

В соответствии с законом Российской Федерации «О недрах», организация и ведение объектного мониторинга подземных вод является обязанностью юридических лиц, получивших или оформляющих лицензию на недропользование для добычи подземных вод.

Для реализации целей и основных задач, ведение мониторинга подземных вод включает выполнение следующих функций:

- организация мониторинга подземных вод;
- проведение систематических наблюдений за состоянием подземных вод;
- документация данных наблюдений;

– передача данных наблюдений в территориальные органы управления фондом недр МПР России и в территориальные центры Государственного мониторинга геологической среды.

Мониторинг ресурсов подземных вод – гидрогеологический (гидрогеоэкологический) мониторинг – имеет определяющее значение как для слежения за эффективностью эксплуатации инженерных сооружений (особенно водозаборов подземных вод), так и в использовании материалов мониторинга для развития фундаментальных представлений о методике и технологии изучения гидрогеологических (гидрогеоэкологических) процессов. Вместе с тем, опыт ведения такого мониторинга дает основание утверждать, что его эффективность для решения поставленных задач оказывается не высокой. В значительной мере такое положение связано с недостаточно четким и обстоятельным обоснованием методических позиций постановки и интерпретации данных гидрогеологического мониторинга. По существу, практические рекомендации в этом направлении применительно к наблюдениям на водозаборах подземных вод содержатся только в методических рекомендациях [84], материалы которых заслуживают развития и совершенствования.

Объем и виды мониторинговых работ на промышленных площадках, в санитарно-защитной зоне комбината и зонах санитарной охраны водозаборов г. Северска определены регламентом с учетом требований лицензии на право пользования недрами ТОМ 14649 ЗГ, технологических регламентов пл. 18, пл.18а, требований заключения Государственной экспертизы геологических материалов и Государственной экологической экспертизы, «Положения о порядке осуществления государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации» утвержденного приказом МПР РФ от 21.05.2001 № 433, «Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» утвержденного постановлением Правительства РФ от 10.04.2007 № 219 и другими [127–134].

1.1.3. Геофизические методы, применяемые для мониторинга геологической среды в процессе эксплуатации полигонов глубинного захоронения и водозаборов подземных вод

При эксплуатации полигона контролируются следующие параметры: состав нагнетаемых растворов, расход, давление на оголовках нагнетательных скважин; пластовое давление в эксплуатационных и буферном горизонтах, распространение компонентов отходов ЖРО в пластах-коллекторах и их температурный режим. В настоящее время для осуществления контроля используются три метода, это: геофизический контроль, гидродинамический контроль, геохимический контроль [58].

Геофизический контроль осуществляется с использованием каротажных станций, он включает в себя комплекс методов геофизического исследования скважины (ГИС) в ее обсаженном стволе. Для оценки технического состояния скважины используется: акустическая цементометрия (АКЦ), электромагнитная дефектоскопия-толщинометрия, расходометрия и телеметрия. Для выявления наличия ЖРО в пласте-коллекторе применяются резистивиметрия, термокартаж, интегральный и спектрометрический гамма-картаж.

Гидродинамический контроль осуществляется путем выполнения замеров уровней пластовой жидкости в контрольных и наблюдательных скважинах, он осуществляется с использованием электроуровнемеров контактного типа и датчиков контроля уровня.

Гидродинамический контроль применяется для оценки скорости и направления фильтрации подземных вод в каждом горизонте, а так же для оценки возможности перетока между смежными горизонтами или, при наличии перетока, определения его направления и интенсивности.

Например, по графикам изменения уровней в трех скважинах, расположенных в центральной части площадки 18 (рис. 1.1), можно сделать следующие выводы:

Интенсивные перепады уровня подземных вод в наблюдательных скважинах нижнего (II) и верхнего (III) эксплуатационных горизонтов, связаны с изменением режима нагнетания в данные горизонты и свидетельствуют о значительном изменении пластового давления.

Стабильное положение уровня в буферном (IV) горизонте свидетельствует об отсутствии перетоков в него из эксплуатационных горизонтов через литологические окна или по нарушениям затрубной цементации скважин.

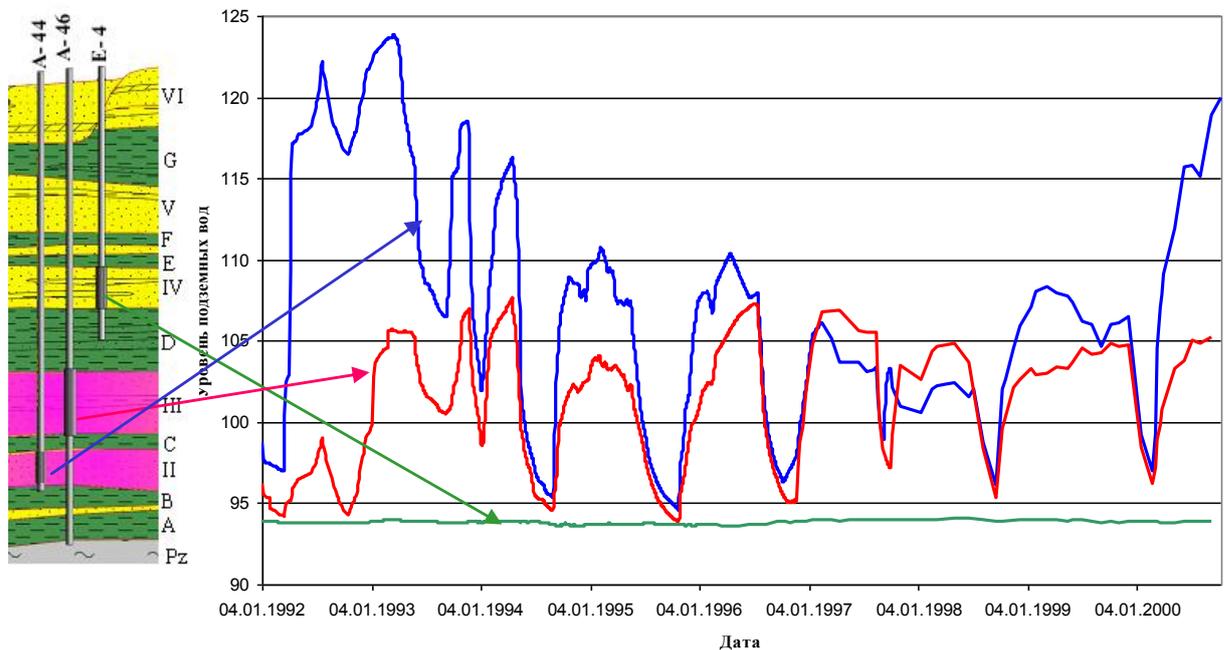


Рис. 1.1. Графики изменения напоров в эксплуатационных и буферном горизонте площадки 18[39]

Геохимический контроль применяется для оценки степени изменения пластовых вод в результате техногенного воздействия. Осуществляется геохимический контроль путем выполнения отбора проб пластовой жидкости с последующим определением их химического и радионуклидного состава.

Одной из главных задач мониторинга является возможность прогнозирования дальнейшего развития изменения геологической среды под действием выше описанных техногенных факторов. Для этого необходимо не только понять природу процессов, имеющих место в результате взаимодействия ЖРО с вмещающими породами и поровыми водами, но и

количественно оценить величину, скорость и продолжительность каждого из этих процессов, что невозможно без применения методов математического моделирования [38, 39].

1.1.4. Организация и ведения гидрогеодинамического мониторинга на водозаборах

Гидрогеодинамические наблюдения направлены на слежение за стабильностью работы ГТС и включают синхронные замеры уровней и расходов воды в скважинах, а также уровней воды в реке. При постановке гидрогеодинамических наблюдений следует иметь в виду, что наибольшее влияние на производительность береговых водозаборов обычно оказывают сопротивления ложа водотока (водоема), включая связанную с ним величину отрыва уровней потока под водотоком, а для скважин в песчаных водоносных пластах так же и скин-эффект, определяющий потери напора в прискважинной зоне.

Прогностические обследования на участках береговых водозаборов согласно принципу модельной ориентированности должны быть, главным образом, направлены на оценку параметров геофильтрационной схемы, используемой для расчетов водозаборов.

Пространственная структура (дизайн) расположения наблюдательных скважин (НС) устанавливается, исходя из требований проведения последующей интерпретации данных наблюдений с учетом возможности диагностической оценки согласования условий наблюдений используемой расчетной схеме. Решение этой задачи требует творческого подхода, при реализации которого следует исходить из принципа соответствия дизайна сети НС структуре потока подземных вод, зависящей от особенностей профильной и плановой деформации потока, а также от пластового строения потока. Представления о структуре потока устанавливаются на основании тестового геофильтрационного моделирования [8].

Заложение фильтровой части НС при однородном строении водоносного пласта по глубине можно ограничивать, устанавливая их с некоторым заглублением в водоносный пласт. При наличии в водоносном пласте глинистых слоев следует задавать глубину заложения НС с учетом возможности разделения напоров потока внутри пласта, особенно для ближайшей к реке НС.

Устройство водозаборных скважин (ВС) должно позволять регулярно проводить замеры динамических уровней вместе с замерами дебита, которые должны использоваться для оценки параметров скин-эффекта, нередко определяющих реальную производительность ВС. Замеры дебитов ВС производятся водомерами или расходомерами, а при их отсутствии для приближенной оценки расходов водоотбора используются данные по времени работы насоса и расходу электроэнергии.

Наблюдения за уровнем подземных вод в скважинах при их круглосуточной работе должны проводиться 1 раз в месяц одновременно с измерением дебита скважины в одни и те же установленные даты.

При прерывистом режиме эксплуатации скважин измерения уровня следует проводить перед каждой остановкой скважины и перед каждым ее включением. Аналогичные измерения необходимо производить также при наблюдениях за техническим состоянием водозаборных скважин, то есть перед их остановкой и непосредственно перед их включением.

Для измерения уровня воды в эксплуатационных скважинах используются рулетки или электроуровнемеры. Измерение уровня производится 2 раза подряд: если второй раз получается новый отсчет, то двукратное измерение повторяется снова.

1.2. Численное моделирование процессов геофильтрации

1.2.1. Физико-математические основы законов гидрогеодинамики

В исходных представлениях динамики подземных вод необходимо сочетать теоретические построения механики водоносных пород (гидрогеомеханики), объединяющей механику воды (гидромеханику) и горных пород (геомеханику), с геологическим пониманием закономерностей формирования потоков подземных вод [110].

Гидромеханическое состояние водоносных толщ формируется главным образом под действием гравитационных сил, которые в воде создают два типа силовых воздействий на горные породы: всестороннее гидростатическое обжатие и взвешивающее воздействие. Всестороннее гидростатическое обжатие действует на каждую частицу равномерно со всех сторон и вызывает сравнительно малые деформации породы, обуславливаемые незначительной сжимаемостью минеральных частиц. Поэтому напряжения всестороннего обжатия, соответствующие давлению в воде p , получили название нейтральных. Влияние взвешивающего воздействия, определяемое архимедовой силой взвешивания, приводит к уменьшению реального объемного веса породы.

Напряженное состояние пласта формируется под влиянием гидродинамических факторов, когда исходными являются изменения давления в воде (p), или геодинамических факторов, когда исходными являются изменения общего давления в породе (p_n). Характерные гидродинамические факторы – изменения уровней водотоков и водоемов, взаимодействующих с подземными водами, инфильтрация атмосферных осадков, искусственный водоотбор или закачка в скважинах и т. п. Характерные геодинамические факторы – изменения атмосферного давления на поверхности земли, землетрясения, изменения внешнего давления за счет инженерной деятельности человека.

Режим потока характеризуется изменениями элементов потока во времени; в общем случае режим потока является нестационарным (неустановившимся), поскольку элементы потока так или иначе меняются во времени, однако нередко эти изменения бывают несущественными, и тогда режим потока может считаться стационарным (установившимся). Выделяется также квазистационарный режим потока, при котором изменения уровней потока во всех точках происходят с одинаковой интенсивностью, так что расходы потока остаются неизменными [110].

В напорном изолированном пласте нестационарный режим обуславливается проявлениями упругой емкости водоносного пласта. Рассмотрим фундаментальную схему формирования упругого режима откачки из совершенной скважины в плано-однородном гомогенном пласте с постоянными величинами гидропроводности (T) и упругой емкости (μ^*) пласта, исходя из решения дифференциального уравнения упругого режима фильтрации в плано-радиальном потоке [110].

Основная задача нестационарной плано-радиальной фильтрации решается для условий откачки из скважины с постоянным дебитом Q , проходящей начиная с момента времени $t=0$ в неограниченном изолированном напорном пласте при отсутствии естественного потока.

Решение поставленной задачи сводится к интегрированию дифференциального уравнения 1.1 при начальном условии $S=0$ и граничном

условии $Q = 2\pi r_c T \frac{\partial S}{\partial r} \Big|_{r=r_c}$ на скважине.

$$\frac{1}{a} \cdot \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial P}{\partial r} \right) \quad (1.1)$$

$$a = T/\mu$$

где a – пьезопроводность, T – гидропроводность пласта, равная произведению коэффициента фильтрации k на полную мощность горизонта m , μ – упругость пласта.

На практике используют в качестве параметра не давление (p) а напор (H), определяющимся как давление жидкости, выражаемое высотой столба

жидкости над выбранным уровнем отсчёта ($P = \rho gH$). Так же часто используется понятие – понижения (S) – разность напоров.

1.2.2. Численная реализация метода конечных разностей

Метод конечных разностей (МКР), предложенный Г.Н. Каменским в 1940 г., заключается в составлении системы уравнений баланса объема флюида для выделенных фрагментов фильтрационного потока и ее решении относительно напоров или давлений в каждом блоке, а, следовательно, и относительно скоростей и удельных расходов фильтрационного потока. Общая конечно-разносная форма дифференциального уравнения нестационарной плановой фильтрации в изотропном напорном пласте имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \dots + W = \mu \frac{\partial H}{\partial \tau} \quad (1.2)$$

где T – водопроницаемость, H – напор, W – расход источников/стоков, μ – удельная емкость пород (водоотдача), а ... здесь и далее заменяет аналогичные предшествующему члены по пространственным координатам y и z .

Переход от дифференциальной записи к разностной может быть выполнен после разбивки области фильтрации на сеть элементарных блоков и записи для каждого блока уравнения баланса воды (рис. 1.2).

Тогда частный дифференциал напора по направлению X может быть приближенно аппроксимирован "левой" или "правой" разностями (по другим осям координат аналогично):

$$\frac{\partial H}{\partial x} \approx \frac{H_{i,j} - H_{i,j-1}}{\Delta x_{j-1}} \approx \frac{H_{i,j+1} - H_{i,j}}{\Delta x_j} \quad (1.3)$$

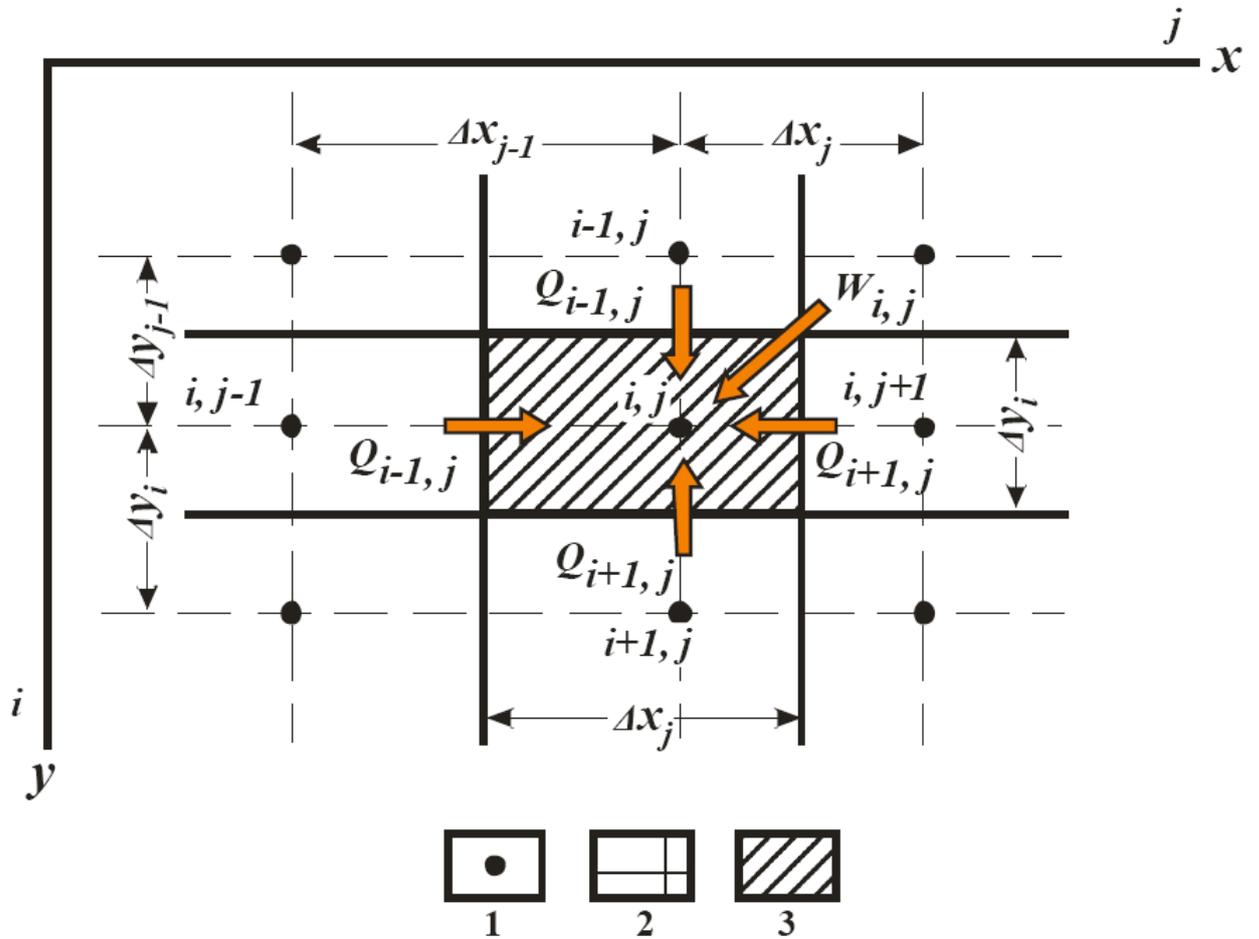


Рис. 1.2. Схема баланса расходов элементарного блока в плане 1 – узел, 2 расчетная сетка, 3 - расчетный блок а дифференциал напора по времени

$$\frac{\partial H}{\partial \tau} \approx \frac{H_{i,j}^k - H_{i,j}^{k-1}}{\Delta \tau^{k-1}} \approx \frac{H_{i,j}^{k+1} - H_{i,j}^k}{\Delta \tau^k}, \quad (1.4)$$

где $\Delta \tau^{k-1}$ и $\Delta \tau^k$ – интервалы времени между моментами $k-1$ и k , k и $k+1$.

Изменение водопроевности учитывается как $\frac{\partial}{\partial x} T_x \approx T_j$, где T_j – средняя провоевность между узлами. В таком случае двойной дифференциал по x может быть аппроксимирован в виде двойной разности

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) &\approx \frac{\frac{T_j (H_{i,j+1} - H_{i,j})}{\Delta x_j} - \frac{T_{j-1} (H_{i,j} - H_{i,j-1})}{\Delta x_{j-1}}}{\frac{\Delta x_j + \Delta x_{j-1}}{2}} = \\ &= \frac{2T_j (H_{i,j+1} - H_{i,j})}{\Delta x_j (\Delta x_j + \Delta x_{j-1})} - \frac{2T_{j-1} (H_{i,j} - H_{i,j-1})}{\Delta x_{j-1} (\Delta x_j + \Delta x_{j-1})}. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Подставляя 1.4 и 1.5 в уравнение 1.2 и упрощая с введением удельной межблочной проводимости $p = \frac{T_{i,j}\Delta y_i^*}{\Delta x_i^*}$; удельной (по мощности) емкости $E_{i,j} = \mu_{i,j}\Delta x_j^*\Delta y_i^*$; где * относится к размерам блока, а также учитывая, что $(\Delta x_j + \Delta x_{j-1})/2 = \Delta x_j^*$ (рис. 1.2), получаем для каждого блока в k-ый момент времени систему уравнений 1.4 (аналогично для правой разности):

$$p_{i,j+1}(H_{i,j+1}^k - H_{i,j}^k) + p_{i,j-1}(H_{i,j-1}^k - H_{i,j}^k) + \dots + W_{i,j}^k = E_{i,j} \frac{H_{i,j}^k - H_{i,j}^{k-1}}{\Delta \tau} \quad (1.6)$$

с учетом аппроксимации дифференциала напора по времени в виде левой или правой разности (уравнения 1.4, 1.5), где число таких уравнений равно числу расчетных блоков сеточной модели.

С чисто вычислительной точки зрения решение такой системы уравнений в значительной мере зависит от пространственной (задание расчетной сетки, внешних и внутренних гидродинамических границ и неоднородности ФЕС пород) и временной (задание временных расчетных шагов фильтрации, а также изменчивости граничных условий и расчетных параметров во времени) схематизации модели, поскольку из-за погрешностей при замене дифференциальных выражений разностями решение может стать неустойчивым или расходящимся во времени [14].

Выработаны правила схематизации определяющие условия реализации МКР при численном моделировании нестационарных процессов геофильтрации на ЭВМ:

1) схематизация должна обеспечивать "разумное" время счета и затраты памяти ЭВМ (обычно это не более $n \cdot 10000$, например плановая модель 100 на 100 шагов сетки);

2) при неравномерной разбивке отношение линейных размеров блоков по всем осям не должно превышать 5–7;

3) размеры блоков должны быть такими, чтобы между всеми границами было не менее одного блока (например, между скважинами, скважиной и рекой и т.п.);

4) плановые размеры блоков должны быть такими, чтобы горизонтальные и вертикальные составляющие потока были сопоставимы;

5) заданная схематизация должна быть такой, чтобы применяемый алгоритм обеспечивал устойчивость разностной схемы при различной дискретизации расчетов по времени.

Наиболее просто система уравнений решается на основе использования выражений с правой разностью. В этом случае в каждом из уравнений известны все напоры на шаге времени k и остается определить лишь один неизвестный напор на шаге $k+1$. К сожалению, в большинстве случаев этот способ не находит практического применения, поскольку накладывает слишком жесткие ограничения на размер шага по времени, без которых решение становится расходящимся. Его использование носит название "явной" разностной схемы. Несколько лучше, но не во всех случаях, сходимость "неявной" схемы Либмана, использующей левую разность, когда в каждом из уравнений известна лишь одна величина напора, взятая с шага $k-1$, а все остальные являются неизвестными. В этом случае решение может быть найдено лишь при совместном использовании всех уравнений системы, число которых равно числу неизвестных величин напоров. Кроме того ее применение отличается очень медленным сходимостью итерационного счета, и требует больших затрат машинного времени.

Поэтому на практике чаще применяются различные варианты смешанных "явно-неявных" схем, получаемых путем приравнивания левой разности в правой части системы уравнений двух их левых частей с весовым коэффициентом, который может меняться от 0 до 1. Причем в первой из них подставляются известные напоры с предшествующего временного шага, а во второй неизвестные напоры текущего шага по времени.

Очевидно, что при весовом коэффициенте, равном 0, схема "с весами" превращается в явную схему, а при коэффициенте, равном 1, – в неявную. Применение такого подхода, как показывает опыт, существенно улучшает сходимость расчета и ускоряет его.

1.2.3. Обзор программных продуктов, применяемых для моделирования процессов геофильтрации

Геофильтрационные модели применяются для расчета состояния гидродинамического поля и оценки скорости фильтрации подземных вод на различных участках моделируемой области в течение всего рассматриваемого периода времени [16]. Наибольшее распространение среди компьютерных программ, на которых реализованы геофильтрационные модели, имеет программный модуль MODFLOW [123], различные модификации которого используются большим количеством современных моделирующих систем.

Достаточно обширные обзоры компьютерных программных средств, в той или иной мере применяемых в гидрогеологии, опубликованы в работах [55, 80]. Среди отечественных преимущественно гидродинамических пакетов программ наибольшее распространение получили программные разработки ЗАО "Геолинк Консалтинг", ВСЕГИНГЕО, МГУ (г. Москва) и СПб ГИ(У) – ВИМС (г. Санкт-Петербург), ТПУ (г. Томск).

Наиболее известными зарубежными аналогами перечисленных программных продуктов является моделирующая система Groundwater Modeling System (GMS) – система, объединяющая модули MODFLOW, MODPATH, MT3D, RT3D, FEMWATER, SEAM3D, SEEP2D, PEST, UTCHEM и UCODE. В её основе используются наиболее развитый в настоящее время расчетный модуль MODFLOW, разработанный геологической службой США (USGS).

При моделировании исследуемых объектов для решения поставленных задач, мы использовали три программных комплекса GMS, PMWIN и HydroGeo.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА МОДЕЛЕЙ

2.1. Географическое и административное положение района

Изучаемая территория располагается в пределах Обь-Томского междуречья, в административном отношении она входит в состав Томского района Томской области (рис. 2.1.). В границах района исследований расположены г. Томск, г. Северск и ряд малых населенных пунктов с общим количеством жителей более 650 тыс. человек. Сибирский химический комбинат (СХК), значительное число средних и больших нефтехимических, машиностроительных, электротехнических, приборостроительных, фармацевтических и сельскохозяйственных предприятий, полигоны токсичных промышленных и бытовых отходов создают достаточно высокую техногенную нагрузку на территорию.

Полигон глубинного захоронения ЖРО на СХК находится в прикраевой части Западно-Сибирской низменности, на правом берегу р. Томь, в 30–40 км южнее от места ее впадения в р. Обь [139]. На юге район ограничен правым берегом р. Большая Киргизка, на севере левым – берегом р. Самуська, (рис. 2.1), а на востоке – водораздельной линией бассейнов р. Томь и р. Чулым. Горный отвод недр полигона глубинного захоронения ЖРО СХК имеет форму неправильного многоугольника вытянутого в субширотном направлении [35].

Населенные пункты, располагающимися в непосредственной близости от территории горного отвода недр, являются: непосредственно селитебная зона закрытого административного территориального образования (в дальнейшем по тексту ЗАТО) Северск, расположенная в 10 км к югу от места захоронения ЖРО; а так же поселок Самусь, который находится в 15 км северо-западнее полигона глубинного захоронения и в 5–10 км от границы полигона располагаются деревни: Чернильщиково, Кузовлево, Поперечка, Виленка.

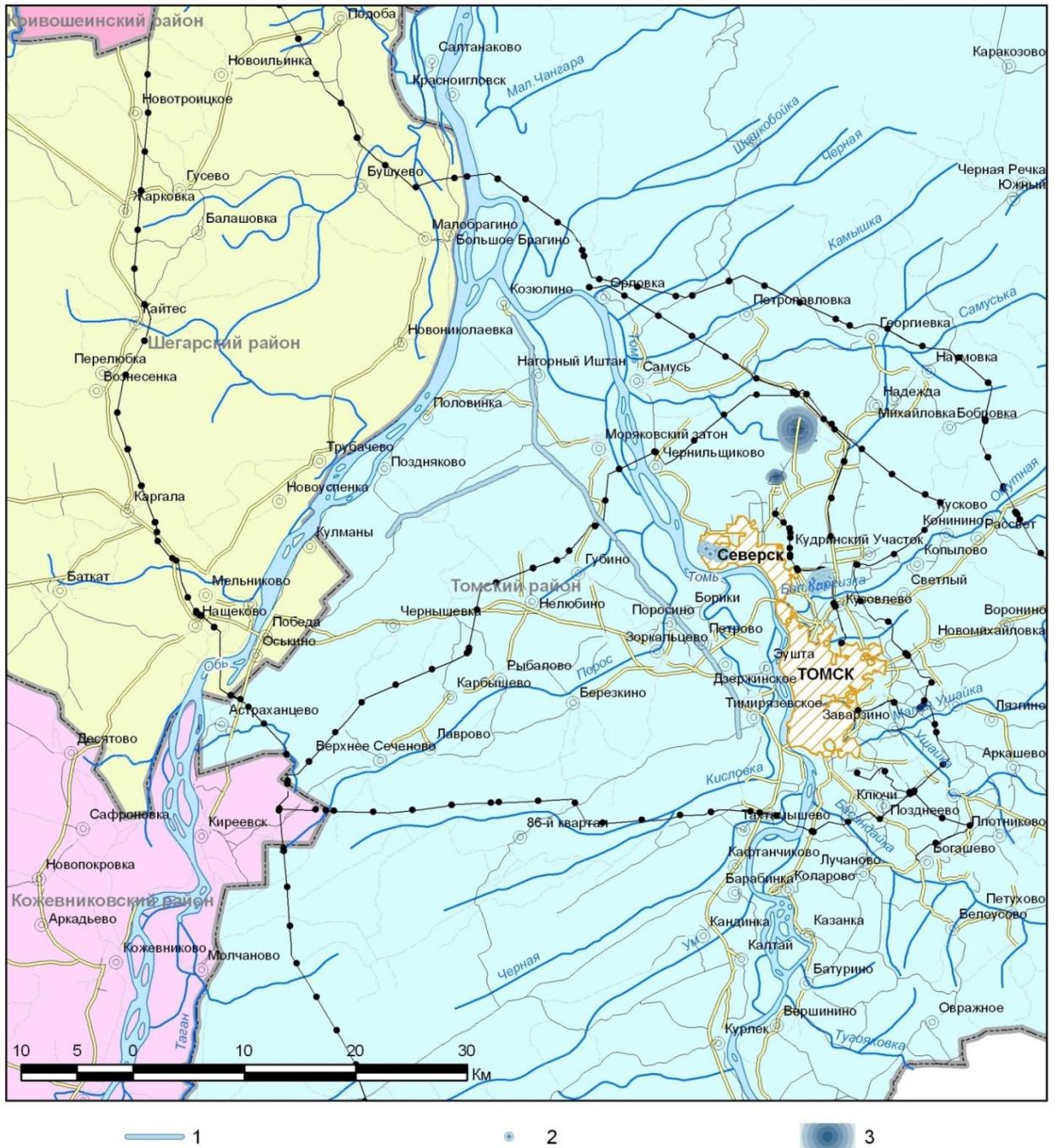


Рис. 2.1. Обзорная схема района работ [139]: 1 – линии Томского водозабора; 2 – водозаборы г. Северска; 3 – полигоны глубинного захоронения ЖРО СХК

2.2. Геологическая и геофизическая изученность строения района

При освещении геологической и геофизической изученности района, используется материал двух работ [96]. В монографии А.И. Рыбальченко приводятся базовые исследования до 1990-х годов; в трудах Е.В. Гусева оцениваются результаты работ проводимые с 1991 года.

Впервые в СССР геологоразведочные работы с целью обоснования

подземного захоронения ЖРО были начаты в районе Сибирского химического комбината, расположенного на юго-западной оконечности Западно-Сибирской плиты, которая считалась перспективным нефтегазовым регионом. Геологическая съемка масштаба 1:200000 здесь была проведена во второй половине 40-х годов, однако из-за большой степени закрытости территории и малых объемов бурения геологический разрез района был слабо изучен. Как отмечено в работе [97], «из геологических материалов было известно, что в районе комбината мощность песчано-глинистых отложений, залегающих на кристаллическом фундаменте, составляет несколько сот метров и представлена меловыми и палеогеновыми отложениями, однако сведения об их составе и фильтрационно-емкостных свойствах носили весьма приближенный характер». К середине 50-х годов на территории, прилегающей к СХК, была проведена гравиметрическая и частично аэромагнитная съемки масштаба 1:200000, но для расчленения разреза этот материал не мог быть полезным.

В 1958 г. геологической партией Новосибирского территориального геологического управления, в последующем переданной в состав Всесоюзного гидрогеологического треста были начаты геологоразведочные работы, которые выполнялись геологами – выпускниками различных специальностей геологоразведочного факультета Томского политехнического института А.Т. Ларченко, Р. А. Ларченко, И.И. Тищенко, А.И. Горбуновым, Е.Р. Макаровым, А.П. Базылевым, И.А. Ботевым, В.В. Черновым, В.И. Сорокиным, Ю.Т. Коротковым, А.Н. Щербой и др. В работах принимали участие и сотрудники созданной геологической службы Сибирского химического комбината – также выпускники ТПУ В.П. Солопов, Л.Ф. Новоселов и А. И. Плотников.

С 1957 г. в северо-западной части Томь –Колыванской складчатой зоны с участием сотрудников кафедры геофизических методов поисков и разведки ТПИ проводили работы электроразведочная и сейсморазведочная партии Новосибирского геофизического треста с целью изучения строения

отложений фундамента и MZ-KZ толщи. Срочно были сделаны дополнения к проекту и эти партии были сориентированы, как сказано в отчете, «на решение промышленной задачи» – обоснование выбора площадки для подземного захоронения отходов. После проведения этих работ был обоснован третий, наиболее удачный вариант расположения скважин полигона.

Полученные материалы подтвердили наличие мощной толщи осадочных образований, включающих как коллекторы, так и флюидоупоры и имеющих региональное развитие, относительно слабое распространение в фундаменте тектонических нарушений.

В центральной части района буровыми скважинами и сейсморазведкой в фундаменте было выявлено одно крупное тектоническое нарушение типа взброса с приподнятым восточным крылом. Однако детальных сведений о разломе получено не было; по данным сейсморазведки его амплитуда составляет 90 метров, авторы по геологическим данным определяли ее в 40 – 50 метров.

Затем было принято решение о проведении более детальных и, соответственно, дорогостоящих работ, включающих гидрогеологическую съемку масштаба 1:50000, бурение скважин с полным комплексом геофизических исследований, отбором и изучением образцов пород, опытно-фильтрационные работы. Результаты геологоразведочных работ позволили стратифицировать разрез и осуществить его литологическое расчленение, выделить коллекторские и водоупорные горизонты, обосновать гидрогеологическую схему района и определить напорный режим водоносных горизонтов, уклоны потока и естественные скорости движения подземных вод. В итоге анализа материалов были построены корреляционные схемы и геолого-геофизические разрезы, погоризонтные карты общих и эффективных мощностей горизонтов, водопроводимости, структурные карты кровли и подошвы горизонтов и др. До 1964 г. в районе было пробурено 225 скважин различного назначения.

Сотрудничество геологов-политехников с Сибирским химическим комбинатом началось в 1991 году, когда город Томск-7 и сам комбинат были рассекречены и был заключен хоздоговор между СХК и кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии под руководством профессора С.Л. Шварцева. С 1992 г. к этому сотрудничеству подключилась кафедра геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых под руководством профессора Л.Я. Ерофеева, а затем в 1998 – 2002 гг. – НПЦ “Геоцентр” (под руководством Е.В. Черняева), который был тогда подразделением кафедры общей и исторической геологии ТПУ. Несмотря на трудности с финансированием, работы не прекращались благодаря помощи сотрудников службы эксплуатации полигона СХК.

Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии и проблемная научно-исследовательская лаборатория гидрогеохимии ТПУ с 1991 по 2002 гг. вели на хоздоговорных условиях с СХК гидрогеологические мониторинговые исследования в зоне санитарной охраны комбината в связи с многолетней промышленной эксплуатацией полигонов подземного и поверхностного хранения ЖРО.

Основными задачами исследований являлись:

- независимое гидрогеохимическое опробование скважин наблюдательной сети в зонах санитарной охраны объектов и анализ проб на широкий круг показателей состава и свойств воды;
- оценка масштабов загрязнения водоносных горизонтов в районах полигонов и поверхностных хранилищ ЖРО;
- гидрогеохимический прогноз распространения загрязнений в будущем;
- гидрогеодинамическая и гидрогеоэкологическая оценка безопасности взаимодействия полигонов захоронения и поверхностных хранилищ ЖРО с Северскими и Томским водозаборами подземных вод.

Наряду с гидрогеохимическими исследованиями для всех водоносных горизонтов в масштабах от 1:10000 до 1:100000 был построен целый ряд гидродинамических, а также морфоструктурно-гидродинамических карт,

которые позволили обосновать два важных положения в оценке экологической безопасности эксплуатации Томского водозабора:

- депрессионная воронка от Томского водозабора не проявляется на правом берегу р. Томи;
- закачанные в недра радиоактивные отходы не могут достигнуть линии эксплуатационных скважин водозабора.

В 1992 году сотрудниками кафедры геофизических методов поисков и разведки МПИ (Е.В. Гусев, Н.Д. Гусева, В.П. Меркулов, С.Ф. Богачев, Г.Г. Зятев, А.А. Никольский, и др.,) в санитарно-защитной зоне в районе радиохимического завода и одного из поверхностных хранилищ ЖРО с целью изучения надежности верхнего водоупорного горизонта (водоупор G, к которому здесь относились глины новомихайловской свиты), были проведены геофизические работы, включающие метод ВЭЗ и малоглубинную сейсморазведку методом преломленных волн (МПВ) для прослеживания положения уровня грунтовых вод. Кроме того, были проведены опытно-методические работы сейсморазведкой по четырем профилям для оценки ее возможностей при определении качества водоупорного горизонта.

В результате работ были сделаны выводы, что в целом отложения водоупорного горизонта являются более глинистыми и однородными, чем перекрывающие их четвертичные рыхлые образования. Локальные изменения мощности водоупорных горизонтов в сглаженном виде наследуют основные морфологические особенности дневного рельефа. В то же время в качестве наименее надежных участков отмечены три зоны опесчанивания горизонта G (возможные окна фильтрации). С точки зрения известных к тому времени геологических представлений отрицалась возможность наличия разрывных тектонических нарушений в отложениях чехла, хотя отмечалось наличие сквозных окон опесчанивания разреза, также как и участков сквозной заглинизированности разреза. Эти окна фиксировались как по данным электроразаедки, так и по данным сейсморазведки.

2.3. Геологическое строение района

В геологическом плане район приурочен к погружению палеозойских структур Колывань-Томской складчатой зоны под мезозойско-кайнозойские отложения Западно-Сибирской плиты. Палеозойские породы слагают фундамент эпигерцинской платформы, рыхлые отложения мезозоя и кайнозоя образуют платформенный чехол. Блоковое поднятие фундамента в кайнозой на участке Томского выступа привело к сложнофациальному замещению морских и прибрежно-морских отложений континентальными в окраинной зоне плиты, считающейся областью питания Западно-Сибирского артезианского бассейна.

2.3.1. Тектоника

Район находится в зоне сочленения Западно-Сибирской плиты и Алтае-Саянской складчатой области. Западно-Сибирская плита представляет собой молодую эпипалеозойскую платформу, осложненную структурами низких порядков. Район расположен в складчатом обрамлении плиты, но так же имеет признаки складчатой области. Поэтому в одних случаях его рассматривают в составе структур Алтае-Саянской складчатой области [30], в других – в составе структур Западно-Сибирской платформы [102].

Верхний структурный этаж сформирован в мезо-кайнозойский геотектонический цикл. В структурном плане в течение мезозоя и кайнозоя район располагался на восточной окраине Кожевниковского прогиба, входящего в состав крупной структуры внешнего пояса Западно-Сибирской плиты – Чулымской синеклизы (рис. 2.2).

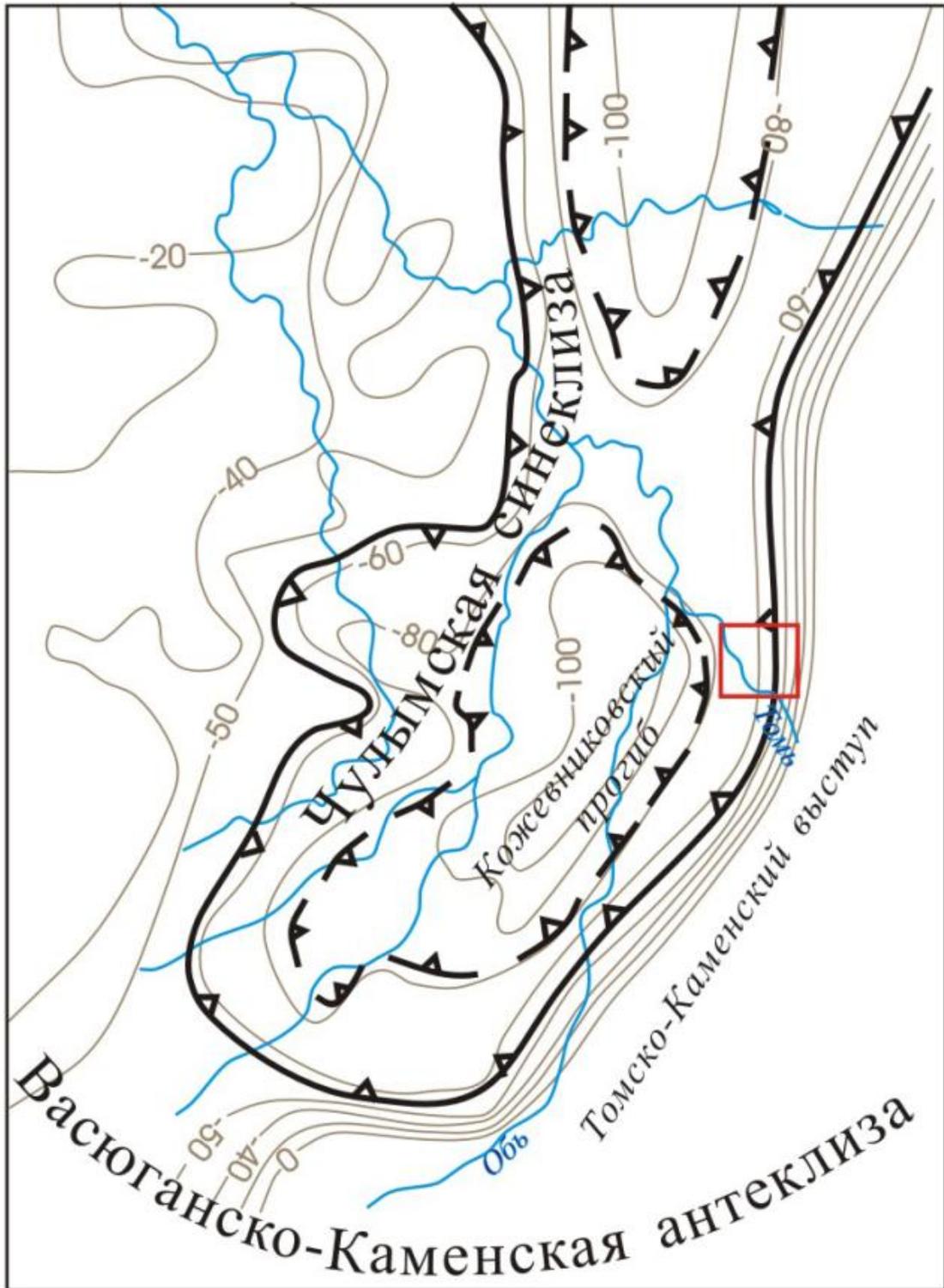


Рис. 2.2. Расположения района в региональных структурах [35]

Условные обозначения: 1 – изолинии суммарных амплитуд новейших движений (м),
2 – границы крупнейших структур: а – первого порядка, б – второго порядка, 3 –
район расположения СХК

Структурный план платформенного чехла сформировался под воздействием развития блоковой структуры фундамента. Томский выступ фундамента, отражающий в чехле северо-западное погружение Колывань-Томской зоны, образовался в меловое время. Основным этапом его формирования связан с неотектоническим периодом развития территории с раннего олигоцена до неогена.

Блоковый характер Томского выступа фундамента непосредственно сказывается на особенностях строения перекрывающих осадочных толщ чехла [108]. Характерной структурной особенностью толщи является унаследованность ею основных морфологических элементов рельефа палеозойского фундамента. В направлении на северо-запад (унаследованном направлении погружения поверхности складчатого основания) наблюдается погружение мезозойской толщи и увеличение мощности свит.

Погружение отдельных блоков в структуре фундамента района неравномерное: это линейная система чередующихся горсто- и грабенообразных структур, оси которых погружаются на северо-восток (рис. 2.3). Наиболее вероятно, что вдоль простирания уступов присутствуют как пластические деформации, так и разрывные.

Вертикальные тектонические движения отдельных блоков палеозойского фундамента Западно-Сибирской плиты, по мнению ряда исследователей, продолжались вплоть до позднечетвертичного времени. Наряду с пликативными структурами, ими отмечаются разрывные нарушения, проникающие в чехол из фундамента, хотя признается, что проявление разрывных дислокаций в платформенном чехле было слабым.

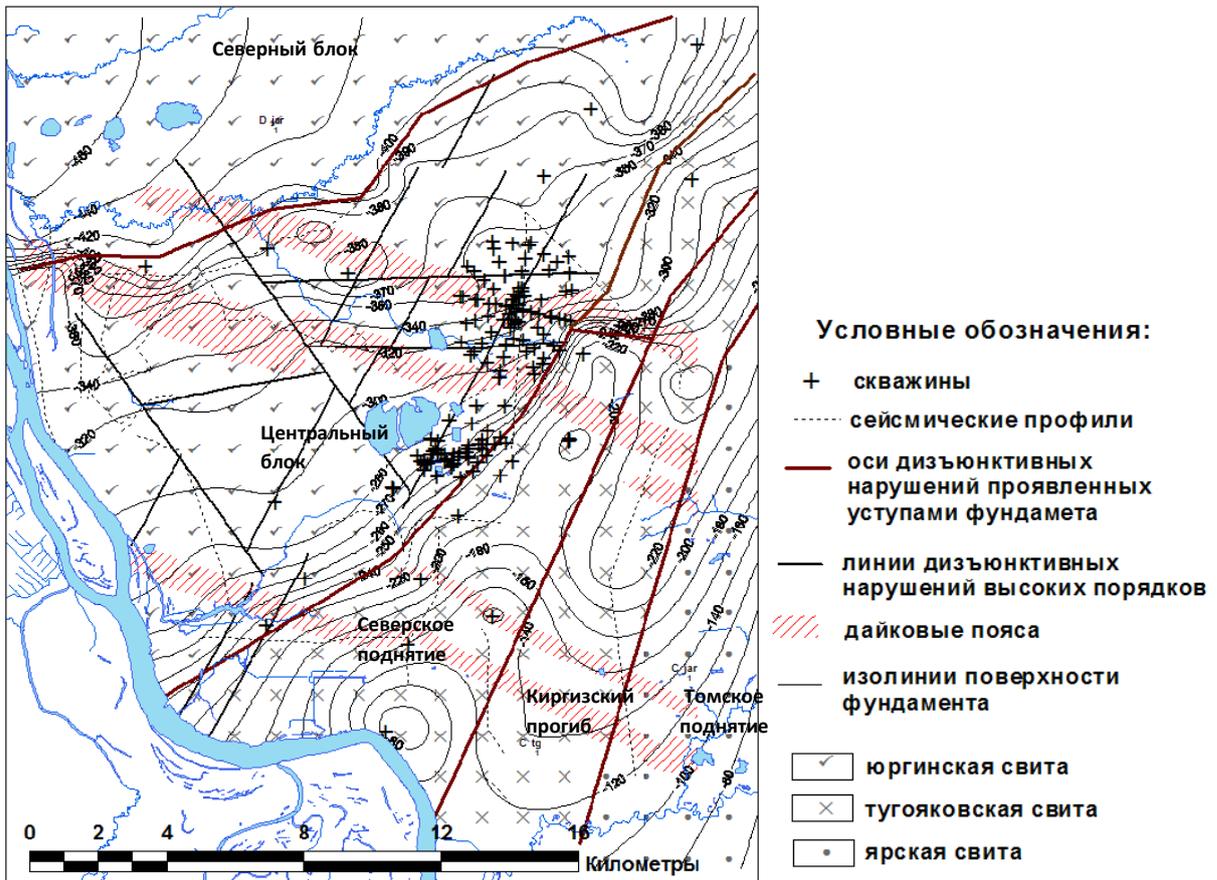


Рис. 2.3. Структура палеозойского фундамента в районе расположения полигона [108]

Амплитуды отдельных разрывных нарушений в основном небольшие – порядка 5–20 м. При этом следует учитывать, что выделение разрывных нарушений основывалось на анализе карт линеаментов, морфоструктурных карт, интерпретации геофизических полей и т.п.

2.3.2. Стратиграфия

Геологический разрез платформенного чехла представлен осадочными слоистыми породами рыхлого сложения мезозойско-кайнозойского возраста – от нижнего мела до четвертичного включительно. В местных стратиграфических подразделениях [108] меловая система представлена илекской (k_1 il), кийской (k_{1-2} ks), симоновской (k_2 smn) и сымской (k_2 sm) свитами. К палеогеновой системе причисляются люлинворская (P_{1-2} ll), кусковская (P_2 ks), юрковская (P_2 yr), новомихахайловская (P_3 nm) и лагернотомская (P_3 lt) свиты. Отложения неогена условно относят к абросимоновской свите (N_1 ab). К четвертичным относятся отложения

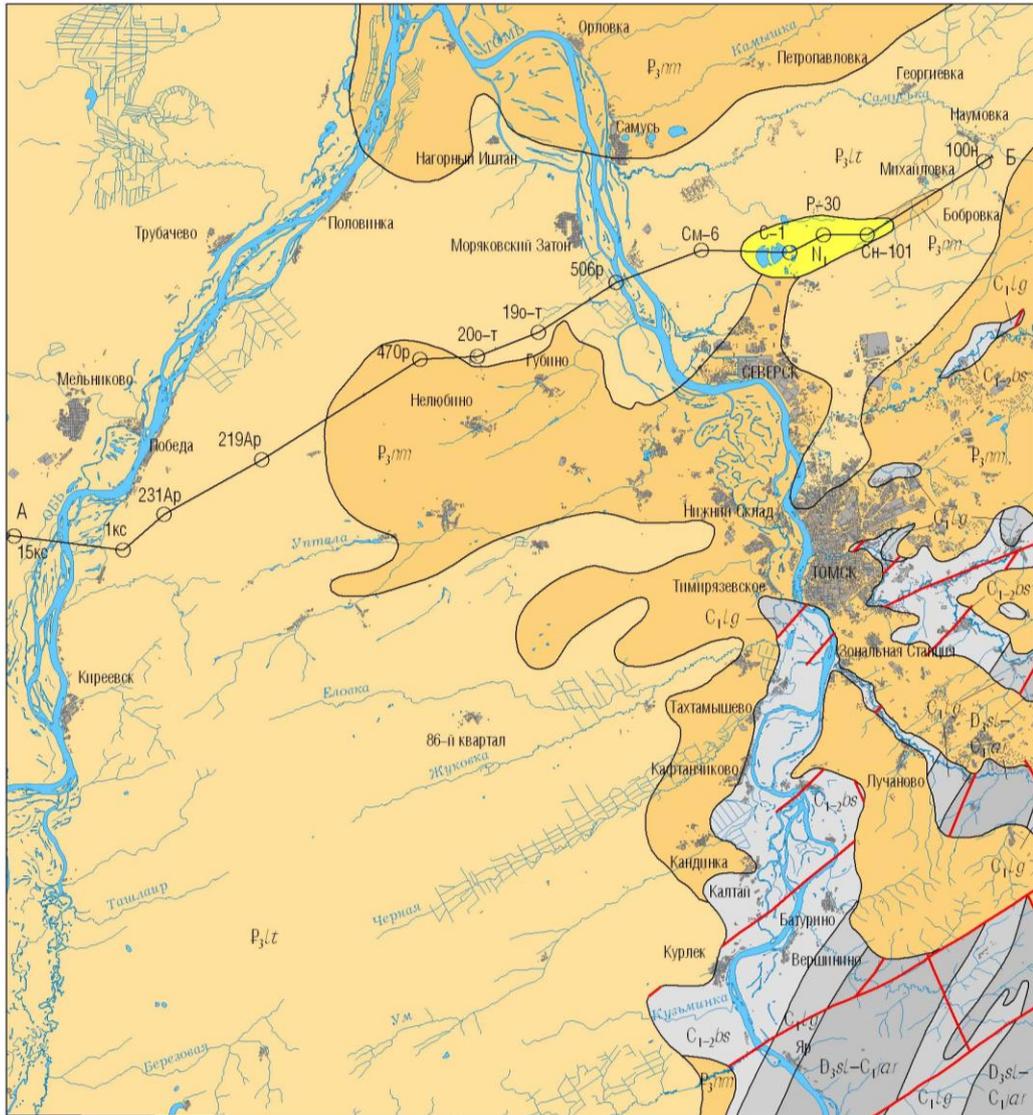
террасового комплекса, озерно-болотные и пойменные образования, а также покровные образования плоских водоразделов и пологих склонов.

В регионе и районе приняты два подхода к гидрогеологической стратификации геологического разреза платформенного чехла. Первый – литолого-стратиграфический, или геологический в широком смысле (с учетом всех других природных условий формирования ресурсов и состава подземных вод) [139]. Второй – “технологический”, имеющий свои “удобства” при обосновании и контроле безопасности технологии подземного захоронения жидких РАО СХК [96, 97]. Далее нами используется “технологическая” гидрогеологическая стратификация, принятая на Сибирском химическом комбинате.

На основе литологического строения осадочной толщи по данной стратификации в районе выделяется (рис. 2.4., 2.5.) шесть основных водоносных горизонтов и семь разделяющих водоупоров [97].

СИСТЕМА	ОТДЕЛ	ЯРУС	ИНДЕКС		МОЩНОСТЬ М	ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД
НЕОГЕ- НОВАЯ	МИО- ЦЕН		N1		10-20	Нижний миоцен. Пески серые разномерные, с прослоями серо-коричневых глин и лигнитов. Палинокомплекс: <i>Quercus sibirica</i> - <i>Betula suberrecta</i> - <i>Ulmus crassa</i>
ПАЛЕОГЕНОВАЯ	ОЛИГОЦЕН		P ₃ It		10-40	Лагернотомская свита. Пески серые, зеленовато-серые тонко-мерзлотные, с обломками лигнитизированной древесины, глины и алевроиты серые, зеленовато- и желто-серые. Палинокомплекс: <i>Fagus grandifoliformis</i> - <i>Pterocarya stenopteroideis</i>
			P ₃ nm		30-100	Новомихайловская свита. Верхний горизонт - глины темно-бурые, темно-серые плотные алевроитистые, с прослоями и линзами песков, бурых углей. Нижний горизонт - пески серые, буровато-серые кварц-полевошпатовые, мелко-средне-зернистые, с прослоями глин, алевроитов, бурых углей. Палинокомплекс: <i>Betula gracilis</i> - <i>Juglans sieboldianiformis</i>
	ЭОЦЕН		P ₂ jr		15-60	Юрковская свита. Пески серые, буровато-серые кварц-полевошпатовые разномерные, сортированные, с гравием. В верхней части разреза преобладают мелкозернистые пески, с прослоями серых алевролитовых глин, обломками лигнитизированной древесины, линзами бурых углей. Палинокомплекс: <i>Quercus gracilis</i> - <i>Quercus graciliformis</i>
			P ₂ ks		0-30	Кусковская свита. Пески светло-серые тонко-мелкозернистые кварцевые, каолинизированные, в верхней части разреза черные гумифицированные, с прослоями и линзами бурых углей. Палинокомплекс: <i>Quercus gracilis</i> - <i>Castanea grenataeformis</i> , <i>C. Grenataeformis</i> - <i>Castanopsis pseudocingulum</i>
			P ₁₋₂ ll		5-10	Люлинворская свита. Глины зеленые, темно-зеленые аргилитоподобные, тонкослоистые, с прослоями светло-серых алевроитов и песков, растительного детрита. Радиолярии: <i>Heliodiscs lentis</i> . Палинокомплекс: <i>Castanea grenataeformis</i> - <i>Castanopsis pseudocingulum</i> , радиолярии: <i>Heliodiscs lentis</i>
МЕЛОВАЯ	ВЕРХНИЙ	КОНЫЯК-МААСТ- РИХТСКИЙ	K ₂ sm		0-85	Сымская свита. Пески светло-серые мелкозернистые каолинизированные, с прослоями белых каолиновых и гидрослюдистых глин, содержащих обугленные растительные остатки. Палинокомплекс: <i>Gothanipollis</i> sp. - <i>Pinus aralica</i> - <i>Auricululidites sibirica</i> , <i>Proteacidites</i> sp. - <i>Mancicorps anchoriformae</i> , <i>Triproctacites</i> sp. - <i>O rbicullapilis globosus</i>
			ТУРОНСКИЙ	K ₂ smn		15-160
	НИЖНИЙ- ВЕРХНИЙ	АЛЬБ-СЕНО- МАНСКИЙ	K ₁₋₂ ks		0-125	Кийская свита. Глины пестроцветные и темно-серые, пески серые каолинизированные с прослоями песчаников на сидеритовом цементе. Палинокомплекс: <i>Gleichenia</i> sp. - <i>Antmia macrorhyza</i> - <i>Tricopopollenites</i>
	НИЖНИЙ	БАРЕМ- АЛТСКИЙ	K ₁ il		0-57	Илекская свита. Глины пестроцветные, пески серые с прослоями песчаников и алевролитов. Песчаники серые, светло-серые мелкозернистые кварц-полевошпатовые. Комплекс остракод, двустворок: <i>Mongolianella palmosa</i> Mand., <i>Darwinula barabinkensis</i> Mand., <i>D. cf. Contracta</i>
	КАМЕННОУГОЛЬНАЯ	НИЖНИЙ- СРЕДНИЙ	СЕРПУХОВСКО- БАШКИРСКИЙ	C ₁₋₂ bs		1100
НИЖНИЙ		ВИЗЕЙ- СКИЙ	C ₁ lg		500	Лагерносадская толща. Сланцы глинистые, иногда углито-глинистые темно-серые, с прослоями алевролитов и мелко-среднезернистых песчаников. В кровле разреза породы пиритизированы. Комплекс брахиопод и мшанок: <i>Fenestella plebeja</i> M, Coy., <i>Membranacea</i> Phill. <i>Polipoca</i> Jan. и др.
НИЖНИЙ		ТУРНЕЙ- СКИЙ	D ₃ sl - C ₁ jar		1500	Саламатовская и ярская толщи нерасчлененные. Сланцы глинистые и известково-глинистые серые и темно-серые, переслаивающиеся с алевролитами, песчаниками, реже с известняками. Комплекс брахиопод (для турнейских отложений): <i>Spirifer</i> ex gr. <i>Tornacensis</i> Kon., <i>Siringothiris</i> cf. <i>Halli</i> Winch., <i>S. Cf. Hannilalensis</i> Winch. и др.
ДЕВОНСКАЯ	ВЕРХНИЙ	ФАМЕН- СКИЙ				

Рис 2.4. Стратиграфическая колонка района исследований [139]



Составил В.Г. Бирюков по материалам работ В.Л. Карлсона (1975), В.Н. Сильвестрова (1997), Н.Ю. Ахмадзина (2002)

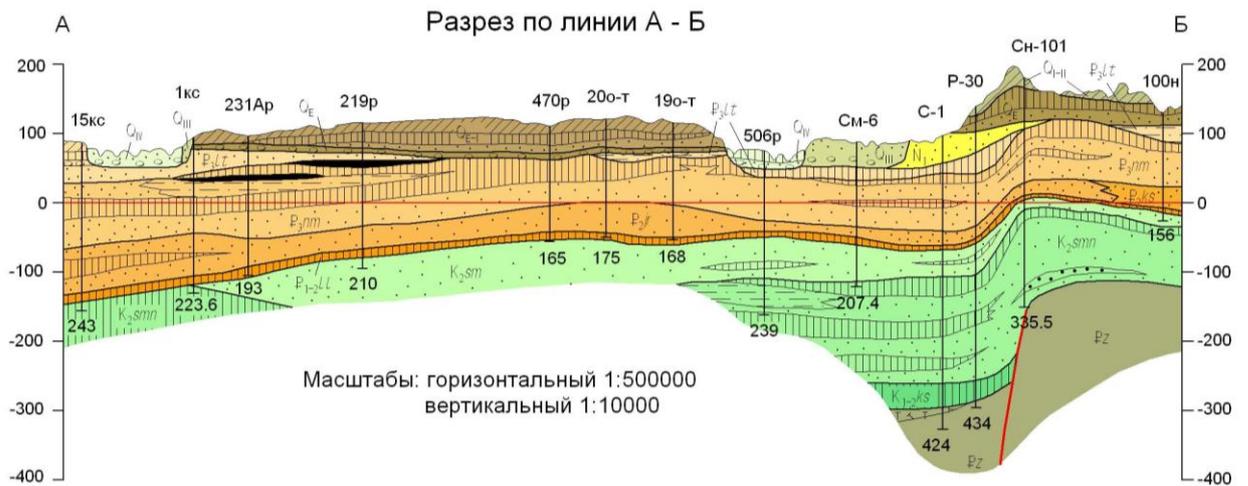


Рис.2.5. Геологическая карта дочетвертичных образований [139]

Условные обозначения к рис. 2.5.

Четвертичная система (только на разрезе)	O_{IV}	Голоцен. Аллювий поймы. Пески, суглинки, галечники
	O_{III}	Неоплейстоцен. Верхнее звено. Аллювий надпойменных террас. Пески, суглинки, глины, галечники
	O_{I-II}	Неоплейстоцен. Нижнее-верхнее звенья. Озерно-аллювиальные отложения. Суглинки, пески
	O_{E-I}	Эоплейстоцен-неоплейстоцен, нижнее звено. Озерно-аллювиальные отложения. Глины, суглинки, пески
	O_E	Эоплейстоцен. Озерные и аллювиальные отложения. Глины, суглинки, пески, галечники
Палеогеновая система	N_1	Неоген. Нижний миоцен. Пески с прослоями глин
	P_3L	Верхний олигоцен. Лагернотомская свита. Пески, глины, алевриты, лигниты
	P_3M	Нижний олигоцен. Новомихайловская свита. Глины, пески, бурые угли и лигниты
	P_2Y	Эоцен. Юрковская свита. Пески, прослои глин, алевритов, бурых углей
	P_2S	Эоцен. Кусковская свита. Пески
Меловая система	P_{1-2L}	Палеоцен-эоцен. Люлинворская свита. Глины, пески
	K_2SM	Верхний отдел. Сымская свита. Пески с прослоями глин
	K_2SMN	Верхний отдел. Симоновская свита. Глины, пески, прослои песчаников
Каменноугольная система	K_{1-2S}	Нижний-верхний отделы. Кийская свита. Глины с линзами песков
	P_2	Палеозой нерасчлененный. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, сланцы
	C_{1-2BS}	Нижний-средний отделы. Басандайская свита. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, сланцы
	C_1G	Нижний отдел. Лагерносадская толща. Сланцы, алевролиты
	D_3SL-C_1AR	Верхний девон-нижний карбон. Саламатовская и ярская толщи нерасчлененные. Сланцы, алевролиты, песчаники

Литология пород

	Глина
	Суглинок
	Алеврит
	Песок
	Галечник
	Песчаник
	Бурый уголь, лигнит
	Кора выветривания

Прочие обозначения

	Стратиграфические границы
	Литологические границы
	Линия тектонического контакта
470р ○	Буровая скважина на карте и ее номер
470р 	Буровая скважина на разрезе, вверху - ее номер, внизу - глубина, м
165 	
A ————— Б	Линия разреза

Водоносные горизонты – в основном песчанистого состава, водоупоры – глинистые. Водоносные горизонты в технологической индексации нумеруются снизу вверх римскими цифрами (I – VI), водоупоры обозначаются прописными латинскими буквами (A, B, C, D, E, F, G) также снизу вверх. Гидрогеологические элементы технологической индексации разреза соответствуют следующим местным стратиграфическим подразделениям (свитам): A – илекской; I, B – кийской; II, C, III, D – симоновской; IV – сымской; E – люлинворской; IV^a, F – кусковской; V – юрковской; G – новомихайловской; VI – лагернотомской, абросимовской и обводненным отложениям четвертичного возраста. Водоносный комплекс меловых отложений завершается горизонтом IV. Далее элементы разреза объединяются в водоносный комплекс палеогеновых и четвертичных отложений [97]. Захоронение жидких РАО осуществляется во II и III горизонты. Они разделяются и перекрываются водоупорами C и D соответственно. Водоносному горизонту IV отводится функция буферного в возможном взаимодействии с V горизонтом в технологическом процесс закачки жидких отходов в III горизонт.

2.4. Гидрогеологические условия и гидродинамический режим подземных вод района

Район работ приурочен к юго-восточной окраине Западно-Сибирского артезианского бассейна (ЗСАБ) и окаймляется с юга и юго-востока структурами Саяно-Алтайской гидрогеологической складчатой области (С-А ГСО).

Гидрографическая сеть района расположения полигона сформирована рекой Томь и ее притоками – реками Большая Киргизка, Самуська и Ромашка. По характеру водного режима Томь относится к рекам переходного типа – от горного к равнинному [98, 99]. Ложе реки сложено песчано-галечниковыми, гравелитистыми грунтами. Длина реки составляет 840 км, а

площадь водосбора – 61240 км². Питание реки смешанное – за счет дождевых осадков, талых и подземных вод. Река Томь является областью разгрузки всех водоносных горизонтов осадочной толщи данного района [94, 135, 137, 144], поэтому доля подземной составляющей в ее стоке весьма значительна (около 20 % от общего речного стока). Среднегодовой расход воды реки Томь в рассматриваемом районе за счет подземного питания составляет 177 м³/сек, модуль подземного стока составляет в среднем 2.88 л/(сек·км²). Долина реки Томь в данном районе асимметричная, хорошо разработанная. В течение года расход воды в реке неравномерный, в среднем, по многолетним наблюдениям, он изменяется от 200–400 м³/сек в зимний период времени и до 4000 м³/сек в период весеннего паводка. Вскрывается река Томь в конце апреля, а замерзает в начале ноября. Вода в реке по своему составу гидрокарбонатно-кальциевая, с минерализацией 0.06–0.2 г/л.

Под естественным (природным) режимом подземных вод понимают [46–48] изменения во времени и пространстве гидродинамических и гидрогеохимических характеристик и свойств подземных вод под воздействием природных режимобразующих факторов и условий. Режимобразующие факторы – это изменяющиеся природные процессы (космические, геодинамические, сейсмические, метеорологические и т.д.). Режимобразующие условия – природные обстановки формирования подземных вод: геологическая структура, водовмещающие породы, морфоструктура и т.д. Условия относительно постоянны во времени, но изменяются в пространстве и определяют особенности выражения режимобразующих факторов в режимных характеристиках подземных вод.

Исходя из приведенных базовых понятий, далее в природном гидродинамическом режиме подземных вод района будут рассматриваться только колебательные движения напорного поля водоносных горизонтов, обусловленные естественными режимобразующими факторами и условиями.

В решении задачи выделения природных периодов в колебании напорного поля горизонтов будем исходить из определяющей природной закономерности – региональной синхронности режима подземных вод [46, 49]. Синхронность выражается в совпадении во времени характерных фаз в колебаниях напоров подземных вод в сезонном и многолетнем режиме для обширных географических зон. Установлено, что синхронность колебания напоров причинно обусловлена режимообразующими факторами, прежде всего – метеорологическими.

Далее анализ низкочастотных природных колебаний напоров выполняется по двум направлениям: по горизонтали (плановая фильтрация) и по вертикали. Чтобы исключить влияние многолетней цикличности, используются данные наблюдений по скважинам за один календарный год – 1999.

На рис. 2.6 показаны графики колебаний уровней подземных вод в наблюдательных скважинах, вскрывающих напорный водоносный горизонт в палеогеновых отложениях. Скважины входят в региональную сеть геоэкологического мониторинга. Наблюдения в них проводит ОАО «Томскгеомониторинг» в соответствии с федеральной программой. Эти графики приведены в отчете «Томскгеомониторинга» по переоценке запасов месторождения подземных вод, эксплуатируемого Томским водозабором подземных вод [139]. В отчете графики иллюстрируют виды естественного режима, обусловленные геоморфологическими и гидрологическими условиями его формирования. В настоящей главе графики скомпонованы для анализа синхронности природных колебаний напорного поля.

Анализ синхронности колебаний напоров подземных вод базируется на основании следующий положениях:

1. Региональная синхронность колебаний уровней грунтовых вод объясняется сезонными и многолетними изменениями метеорологических факторов, характерными для обширных ландшафтно-климатических зон [45, 49].

2. Интегральное выражение сезонной и многолетней колебательной структуры водного баланса бассейнов стока находит в гидрографе реки.

3. Графики колебаний напоров геометрически подобны гидрографу.

В качестве «эталона» для анализа синхронности используются график колебания уровней воды в р. Томи (данные Томской гидрометрической станции).

Как видно (рис. 2.6), графики колебаний напоров в наблюдательных скважинах, вскрывающих палеогеновый водоносный горизонт на различных геоморфологических элементах и значительно удаленных друг от друга, в целом геометрически подобны как между собой, так и с графиком колебаний уровней в р. Томи. В синхронности основных гармоник колебаний напорного поля в 1999 г. выделяется: 1) конечная часть полуволны зимнего медленного спада (до конца марта – первая декада апреля); 2) полуволна быстрого весеннего подъема (до середины мая); 3) полуволна плавного, но глубокого летнее-осеннего спада (примерно до середины октября); 4) полуволна слабого осеннего подъема (до середины ноября); начальная часть полуволны последующего зимнего спада. При этом весенние амплитуды в 4–6 раз больше осенне-зимних.

Естественный и слабонарушенный режим подземных вод палеогеновых отложений изучался по скважинам, расположенным в основном в населенных пунктах, приуроченных к долинам рек. Гидродинамический режим подземных вод палеогеновых отложений на большинстве изучаемых участков преимущественно схож с режимом подземных вод вышележащих отложений и проявляется в виде сезонных колебаний уровней несколько сглаженных и, иногда сдвинутых во времени. Питание подземных вод палеогеновых отложений осуществляется главным образом за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетока подземных вод из вышележащих водоносных горизонтов. Разгрузка подземных вод происходит в долины рек.

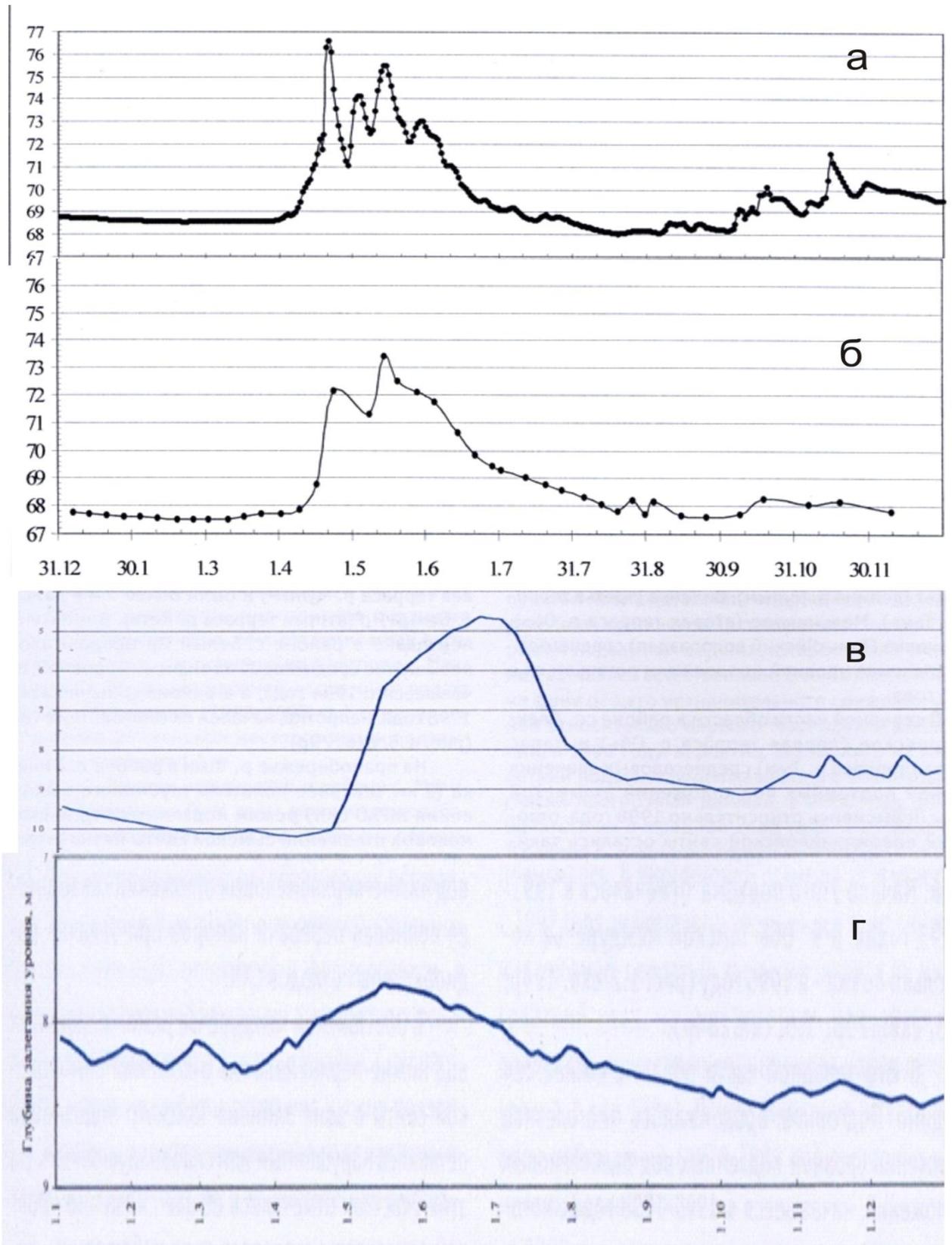


Рис. 2.6. Графики колебаний уровней в годовом цикле наблюдений р. Томи (а) и подземны вод палеогеновых отложений: б – скв. 519 р, I терраса; в – скв. 122 р, II терраса, с. Александровское; г – скв. 64 р., II терраса, с. Мельниково

В естественных условиях колебательный режим напорного поля палеогенового водоносного горизонта с середины октября до первой декады

апреля отвечает стационарному состоянию, а в остальное время квазистационарному режиму колебаний напорного поля. Однако пластовые расходы в разных частях горизонта, как правило, будут разными. Это определяется ортогональной волновой структурой напорного поля, формируемого морфоструктурной рельефа [62, 77] .

Имеющийся материал режимных наблюдений за напорами в палеогеновом водоносном горизонте района не позволяет проиллюстрировать выраженные амплитуды колебания напоров в скважинах на водоразделах, но в долинах рек закономерность подтверждается (рис. 2.6).

Наибольшими амплитудами колебаний уровней (более 3 м) отличался режим подземных вод палеогеновых отложений в пределах пойм и низких надпойменных террас р. Оби и ее притоков, где отмечались четко выраженные весенние и более сглаженные осенние подъемы уровней подземных вод (рис 2.6). Наименьшие амплитуды колебания уровней (менее 0,6 м) отмечались на водораздельных участках, уменьшаясь с увеличением глубины залегания водовмещающих отложений. Сезонных колебаний уровней здесь практически не отмечалось (рис. 2.6).

Иллюстрацией синхронности природных колебаний напорного поля глубинных водоносных горизонтов в меловых отложениях Северной площадки являются графики, построенные по результатам гидродинамических наблюдений 2005 г. в двух наблюдательных кустов № № 10 (скв. 106, 110), 12 (скв. 93, 94), входящих в наблюдательную сеть единой системы контроля недр геоэкологического мониторинга (рис. 2.7).

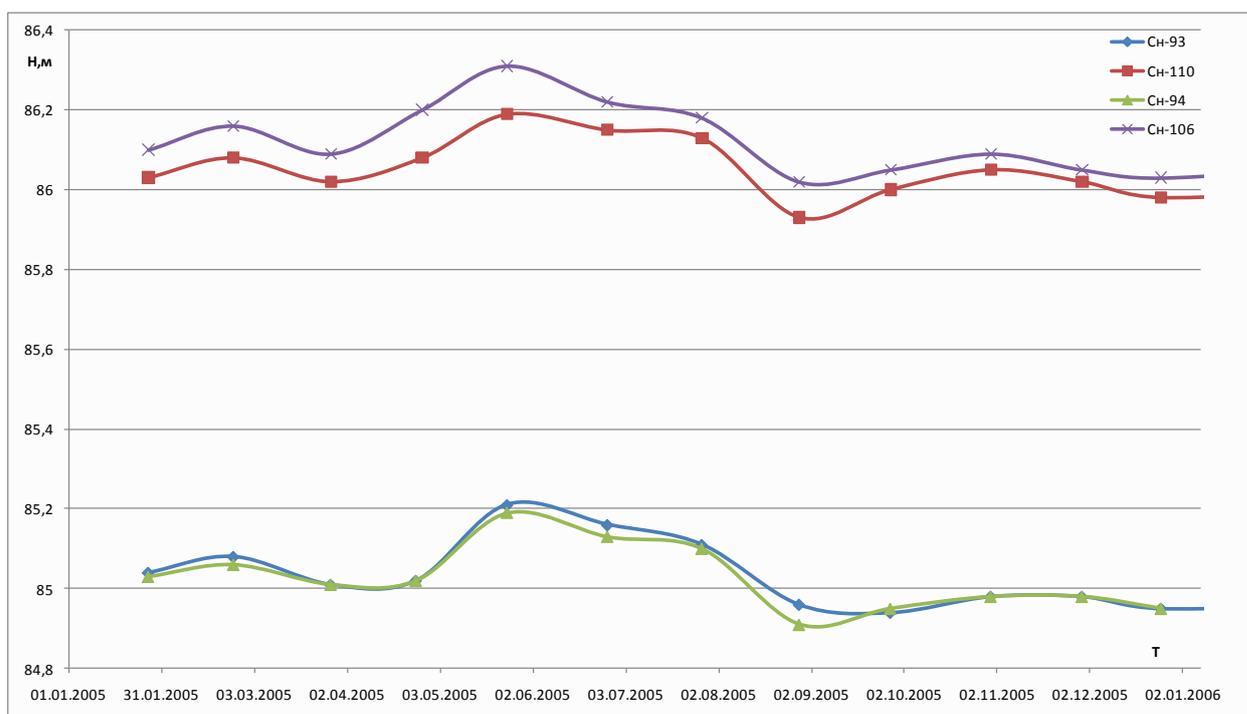


Рис. 2.7. Графики колебания уровней водоносных горизонтов меловых отложений II водоносный горизонт – скв. 106, 93; III водоносный горизонт – скв. 110, 94.

Скважины расположены на расстоянии 5000–5500 м от реки, в пределах второй надпойменной террасы р. Томи. Тем самым наблюдения в этих скважинах характеризуют «террасовый» вид режима по геоморфологическому критерию условий формирования [46].

На всех четырех графиках колебаний уровней (рис. 2.7) синхронно выделяются четыре основных сезонных гармоник, как и для примеров рассмотренных выше (рис. 2.6).

Отметим следующие явления и общие закономерности в рассматриваемых графиках: 1) амплитуда сезонных колебаний во всех четырех скважинах различаются незначительно и не превышают значений в 0,3 м; 2) графики колебания уровней во II и III горизонтах в наблюдательном кусте скважин № 12 (Сн 93, Сн 94) практически совпадают (рис. 2.6), то есть вертикальный напорный градиент перетекания между горизонтами близок к нулю.

Структура невозмущенного гидрогеодинамического поля водоносного горизонта юрковской и курской свит приведена на рисунке 2.8.

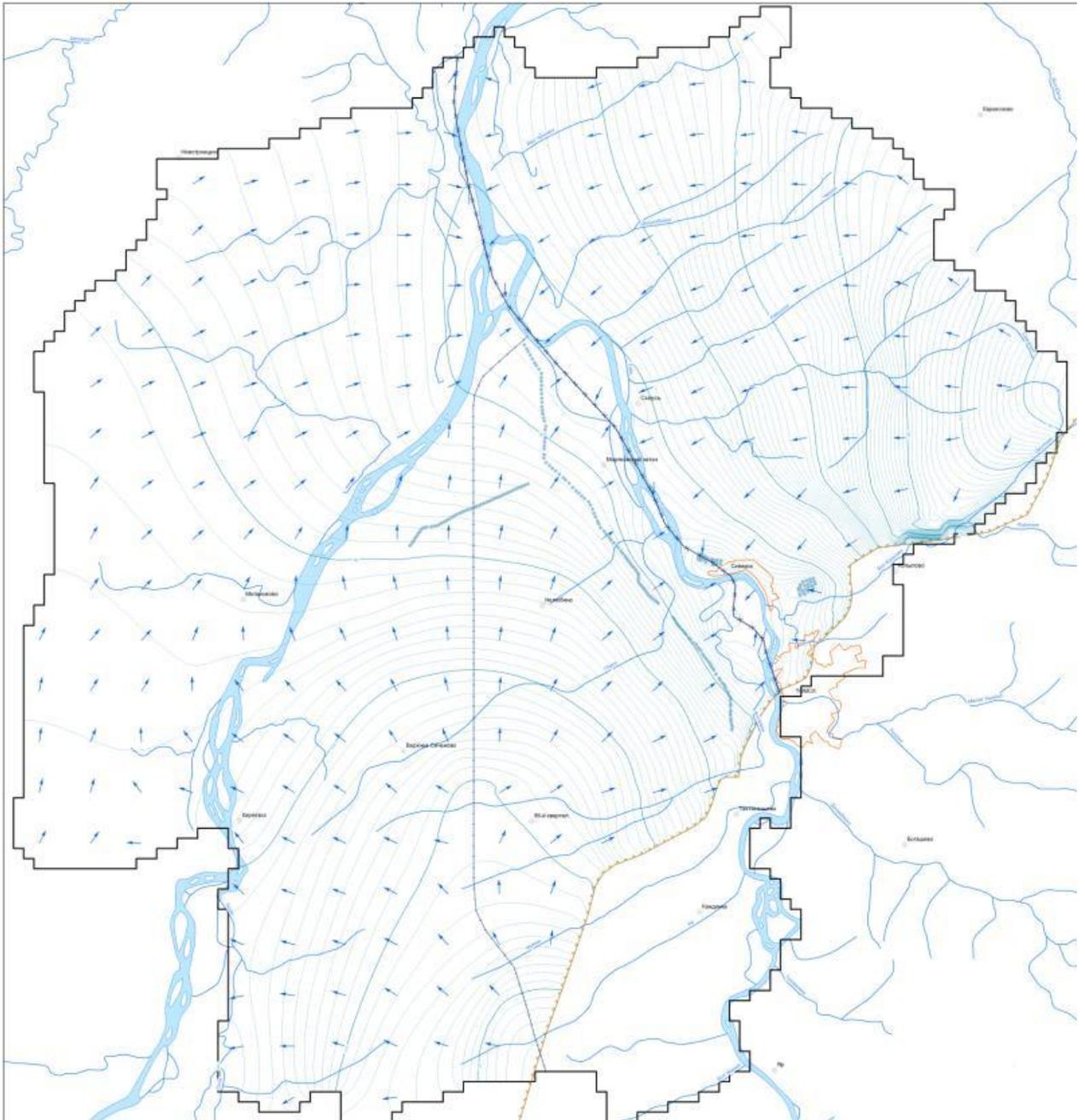


Рис. 2.8. Карта гидроизопьез эоценового водоносного горизонта юрковской и курской свит на 1973 г. (составил Д.Н. Четвергов)

Основные выводы:

1. Синхронность – преобладающая пространственно-временная закономерность природного режима колебаний напорного поля всех водоносных горизонтов гидрогеологического разреза района

2. В каждом годовом цикле природных колебаний напоров выделяется четыре основных экстремума: максимального весеннего подъема, глубокого

летнего спада, слабого осеннего подъема и незначительного зимнего снижения.

3. Амплитуды синхронных колебаний напорного поля уменьшаются от верхних к нижним водоносным горизонтам.

2.5. Фильтрационно-емкостные свойства водоносных горизонтов и методы их получения

Модель геологической системы помимо данных о пространственно-структурных соотношениях ее отдельных элементов, должна включать в себя информацию о параметрах геологической среды, для описания которых создается данная модель. Такие данные в теории моделирования называются атрибутивными [2].

При гидродинамическом моделировании в качестве атрибутивных данных модели геологической среды района задаются фильтрационные и емкостные свойства водоносных горизонтов и водоупорных слоев, слагающих моделируемую гидрогеологическую систему, начальные уровни подземных вод и др.. Поэтому ниже рассматривается физический смысл именно этих параметров, приводятся основные математические зависимости, с помощью которых они описываются, и рассматриваются различные способы определения значений этих параметров.

Основной емкостной характеристикой осадочной породы является пористость. Для количественной характеристики этой величины используется понятие коэффициента общей пористости, который обозначается n и определяется отношением объема пустот заключенного в единичном объеме породы в сухом состоянии к этому объему:

$$n = \frac{V_{nop}}{V} \quad (2.1)$$

Кроме общей пористости, при проведении миграционных расчетов (рис. 2.9), часто используется понятие эффективной пористости n_e , ее

значение определяется как отношение объема пор, по которым может осуществляться фильтрация жидкости, к общему объему породы [92].

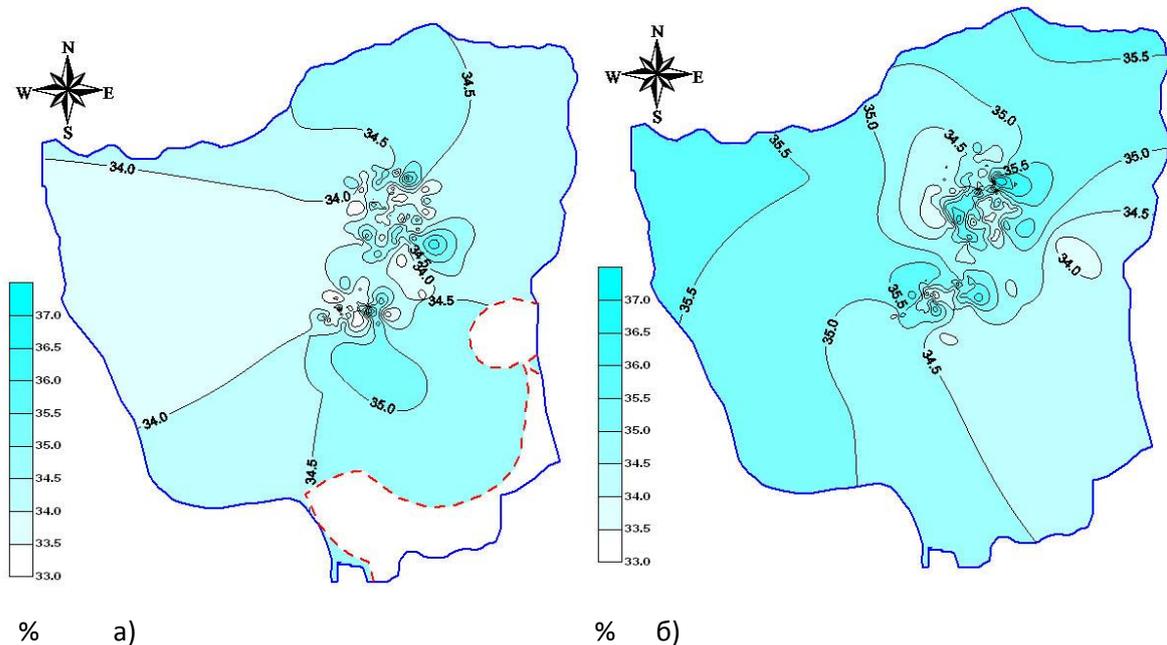


Рис. 2.9. Площадное распределение величин общей пористости II а) и III б) эксплуатационного горизонта

Пунктиром показана линия выклинивания II эксплуатационного горизонта (Данилов В.В., 2010)

Фильтрационной характеристикой пород является величина, называемая коэффициентом фильтрации k . Это коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств породы и фильтрующейся жидкости [109]. Физический смысл k заключается в скорости фильтрации потока подземных вод v при условии, когда градиент напора $I = 1$, вследствие чего формульная зависимость имеет вид:

$$k = -v/I \quad (2.2)$$

В выдержанных слоях стратифицированных осадочных толщ значения коэффициента фильтрации в горизонтальных направлениях близки (изотропны) по значению, а величина коэффициента фильтрации в вертикальном направлении значительно ниже. Этот факт является следствием последовательного осадконакопления прослоев различного литологического и гранулометрического состава, в результате чего горизонтальная фильтрация в водоносном горизонте осуществляется в

пределах прослоев, а вертикальная фильтрация осуществляется через все прослои осадочной толщи.

В качестве примера на рисунках 2.10 а, б приведены карты распределения значений горизонтальных коэффициентов фильтрации для обоих эксплуатационных горизонтов; а на рисунках 2.11 а, б приведены карты распределения значений вертикальных коэффициентов фильтрации для разделяющих водоупорных слоев С и D.

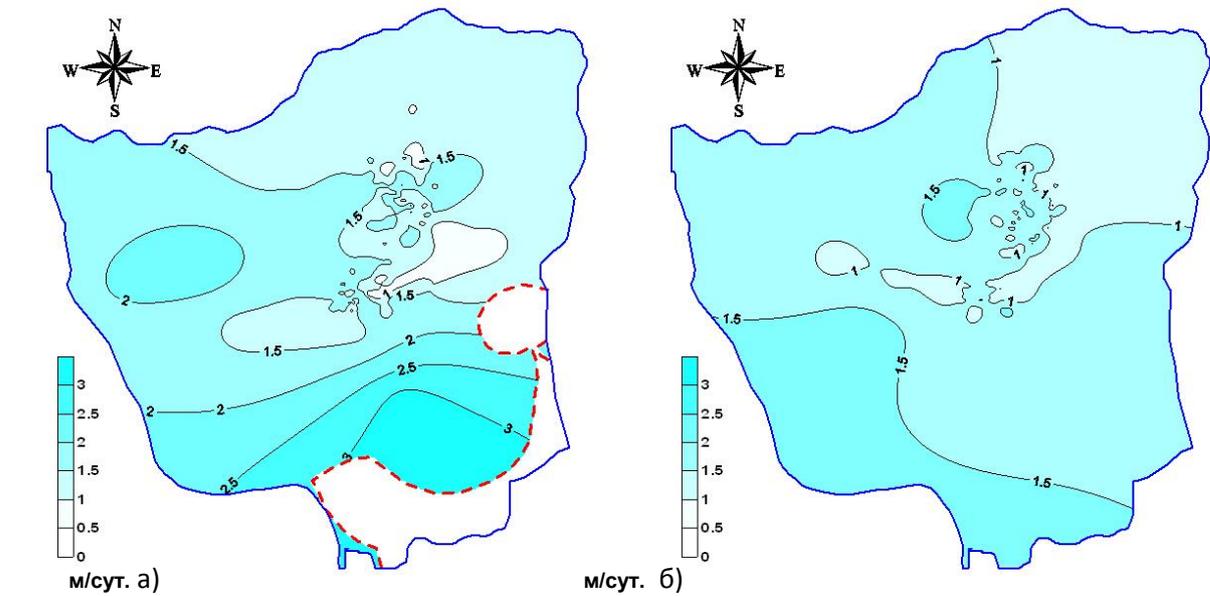


Рис. 2.10. Распределение величин горизонтального коэффициента фильтрации II (а) и III (б) эксплуатационного горизонта (Данилов В.В., 2010)

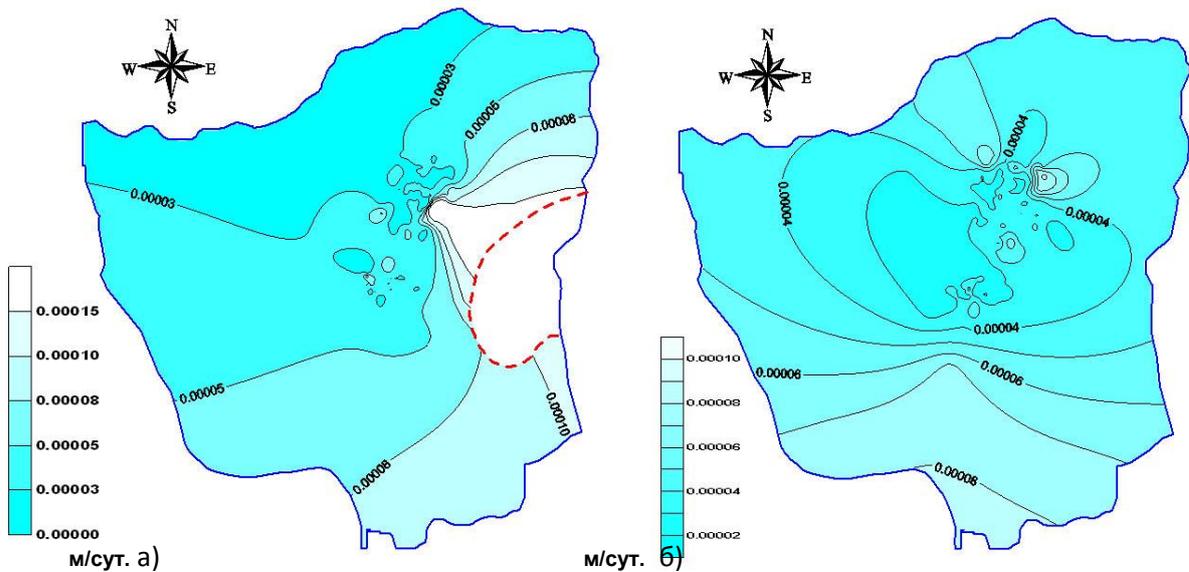


Рис. 2.11. Распределение величин вертикального коэффициента фильтрации для водоупорным горизонтам С (а) и D (б) (Данилов В.В., 2010)

Упругоемость породы η^* еще одна физическая величина, без которой выполнения геофильтрационных расчетов невозможно, при условии напорного нестационарного режима фильтрации. Она служит для характеристики процесса перераспределения давления в водоносных и водоупорных слоях исследуемой толщи под влиянием изменения гидравлического напора в отдельных ее участках. Упругоемость – это удельная величина, которая характеризует изменение водонасыщенности горных пород, обусловленное их деформациями, возникающими при изменении напряженного состояния пласта вследствие действия гидродинамических факторов. Упругоемость имеет следующее численное выражение [110]:

$$\eta^* = \Delta V / (V_n \Delta H) \quad (2.3)$$

где: V_n , – начальный объем воды в элементе породы,

ΔV – изменение объема воды в элементе породы,

ΔH – перепад напора, вызвавший это изменение.

Так как передача давления осуществляется как через водоносные слои, так и через водоупорные горизонты, точное задание упругоемости важно как для проницаемых, так и для изолирующих слоев модели.

Величина упругоемости породы вычисляется как отношение коэффициента фильтрации водоносного слоя k к его коэффициенту пьезопроводности a [98]:

$$\eta^* = k / a \quad (2.4)$$

На рисунках 2.12 а), б) показано площадное распределение значений упругоемости для верхнего и нижнего эксплуатационных горизонтов.

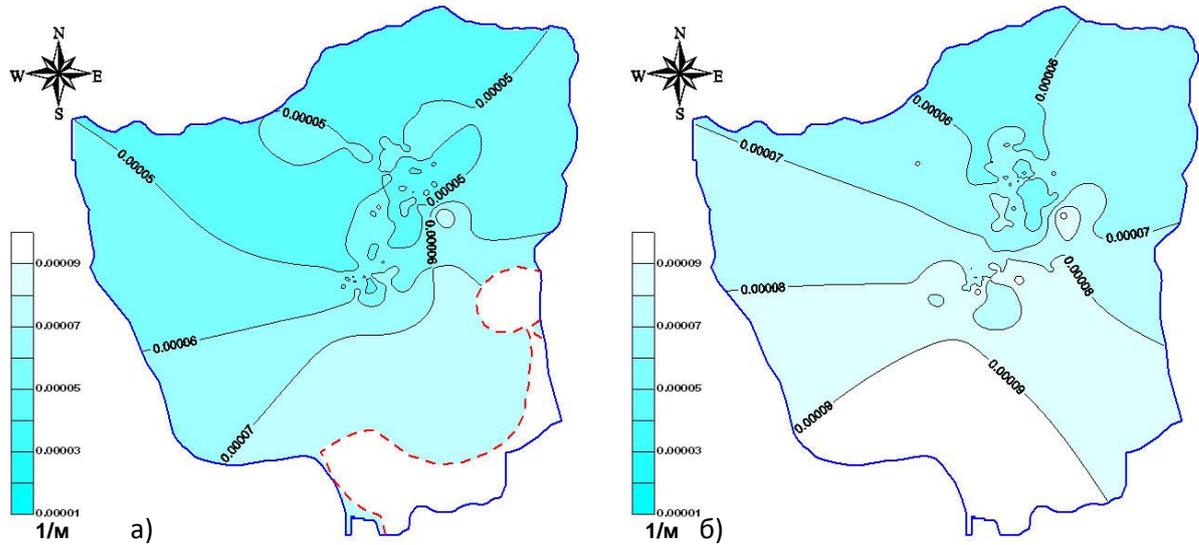


Рис. 2.12. Площадное распределение величин упругоёмкости II и III эксплуатационного горизонта (Данилов В.В., 2010)

Значение коэффициента пьезопроводности a может быть установлено при проведении кустовых опытно-фильтрационных работах, если после прекращения откачки из центральной скважины в контрольной скважине зафиксировать момент перехода от понижения уровня к повышению [79, 82].

Определение упругоёмкости для водоносного или водоупорного слоя возможно без учета деформации воды, при условии его относительно неглубокого залегания (первые сотни метров) по формуле:

$$\eta^* = (0,45c) / ((1 + \varepsilon)z_n) \quad (2.6)$$

где ε – коэффициент приведенной пористости породы, z_n – глубина залегания горной породы, c – коэффициент, учитывающий эффективное напряжение в скелете породы.

Для нецементированных песчаных пород значение c составляет 0.04–0.07, а нецементированных глинистых пород на основании лабораторных определений значение $c \approx 0.1$ [85, 113].

Для определения способности водоносного горизонта пропускать воду используется величина T , называемая проводимостью (гидропроводностью). Значение T рассчитывается как произведение

среднего для пород данного горизонта горизонтального коэффициента фильтрации $k_{z.c.p.}$ на полную мощность горизонта m :

$$T = k_{z.c.p.} \cdot m \quad (2.7)$$

В результате выполненных опытно-фильтрационных работ были уточнены значения проводимостей водоносных горизонтов, в районе полигона захоронения СХК (табл. 2.1).

Таблица 2.1.

Значения проводимости, полученные при проведении опытно-фильтрационных работ в 1999–2000 гг. (Данилов В.В., 2010)

Куст №	Прослушиваемый горизонт	Скважина	Значение проводимости, (Т) [м ² /сут.]	Мощность [м]	Горизонтальный (Kf _{гн}) [м/сут.]
№ 5	V	СН-105	747	51	14.6470588
	IV	СН-104	785	59	13.3050847
	III	СН-86	63	72	0.875
№ 10	III	СН-110	78	80	0.975
	V	СН-114	107	60	1.78333333
	II	СН-106	87	37	2.35135135
№ 2	I	№44	38	38	1
	IV	№46	452	64	7.0625
	II	СН-84	13	31	0.41935484
	III	СН-85	32	75	0.42666667
№ 6	IV	СН-102	84	10	8.4
	II	СН-101	14	37	0.37837838
	V	СН-103	701	70	10.0142857
	III	СН-88	45	83	0.54216867
№12	IV	СН-95	230	26	8.84615385
	III	СН-94	108	57	1.89473684
	II	СН-93	43	32	1.34375
№ 13	III	СН-97	54	40	1.35
	IV	СН-96	80	16	5
	II	СН-98	47	14	3.35714286
№ 9	III	СН-90	57	69	0.82608696
	V	СН-100	687	38	18.0789474
	II	С-15	24	68	0.35294118
	IV	СН-89	123	19	6.47368421
№ 7	III	Г-2	108	35	3.08571429
	V	СН-92	792	58	13.6551724

Для оценки способности водоупорного слоя задерживать водообмен между смежными с ним водоносными горизонтами используется величина, называемая параметром перетока ψ . Численное значение определяется отношением среднего вертикального коэффициента фильтрации $k_{в.ср.}$ к его полной мощности m :

$$\psi = \frac{k_{в.ср.}}{m} \quad (2.8)$$

Наиболее известным способом определения значений коэффициента фильтрации является проведение опытно-фильтрационных работ (ОФР) [145]. Горизонтальный коэффициент фильтрации водоносного горизонта может быть рассчитан через его проводимость, значение которой может быть получено в результате ОФР. Данные могут включать в себя: наливывы в одиночные скважины и шурфы, откачки из одиночных скважин, по формуле:

$$T = 0.183Q \left(\frac{\lg(\Delta t)}{\Delta S} \right) \quad (2.9)$$

где T – проводимость горизонта, Q – дебит откачки (постоянный во времени), ΔS – понижение уровня в скважине, Δt – время, за которое произошло это понижение.

Вертикальный коэффициент фильтрации водоупорного слоя, разделяющего водоносные горизонты, оценивается через его параметр перетока, значение которого устанавливается путем проведения гидродинамического прослушивания при выполнении кустовых откачек или нагнетаний [111] при условии, что возбуждаемая и контрольные скважины вскрывают смежные водоносные горизонты. Количественная оценка параметра перетока ψ разделяющих пластов может производиться по данным реакции напора в соседнем водоносном пласте с опробуемым, в котором производится откачка. При кратковременных откачках, проводимых в течение нескольких суток, это реакция имеет величину около нескольких сантиметров.

Таким образом, основными исходными атрибутивными данными при создании геофильтрационных моделей являются: коэффициент фильтрации в горизонтальном направлении (k_e), коэффициент фильтрации в вертикальном направлении (k_v), упругоёмкость (η^*), значения полной и эффективной пористости (n) и (n_e) а так же распределение исходного напора в каждом из моделируемых горизонтов. Величина исходного напора используется в качестве отправной точки при выполнении любых геофильтрационных расчетов, вследствие чего точность ее задания значительно повышает скорость выполнения этих расчетов.

В таблице 2.2, в качестве примера, приведены значения параметров для горизонтов модели в ячейке, соответствующей местоположению фильтровой зоны скважины С-52 расположенной на территории площадки 18 полигона глубинного захоронения ЖРО.

Таблица 2.2

Значения объемных и емкостных параметров модели в окрестности скважины С-52 (Данилов В.В., 2010)

Горизонт	Слой модели I ранга (s)	Литологическая характеристика слоя	Глубина кровли (h) [м]	Мощность (m) [м]	Горизонтальный ($Kf_{x,y}$) [м/сут.]	Вертикальный (Kf_z) [м/сут.]	Общая пористость (n_a) [%]	Эффективная пористость (n_e) [%]	Упругоёмкость (η^*) [1/м]
VI	1	Песчанистая толща	0	50	0.7200	$3.6 \cdot 10^{-5}$	35.0	12.2	$1.93 \cdot 10^{-2}$
G	2	Глинистая толща	50	30	0.1334	$1.15 \cdot 10^{-5}$	39.1	6.3	$5.96 \cdot 10^{-4}$
V	3	Песчанистая толща	80	53	0.8491	$6.6 \cdot 10^{-5}$	34.1	13.5	$2.28 \cdot 10^{-4}$
F	4	Глинистая толща	133	8	0.0001	$1.0 \cdot 10^{-5}$	40.0	5.0	$1.51 \cdot 10^{-4}$
IVa	5	Песчанистая толща	141	16	0.7500	$4.0 \cdot 10^{-5}$	34.8	12.5	$1.83 \cdot 10^{-4}$
E	6	Глинистая толща	157	11	0.0910	$1.1 \cdot 10^{-5}$	39.4	5.9	$2.51 \cdot 10^{-4}$
IV	7	Песчанистая толща	168	19	0.6842	$3.2 \cdot 10^{-5}$	35.2	11.8	$1.61 \cdot 10^{-4}$
D	8	Глинистая толща	187	23	0.1305	$1.15 \cdot 10^{-5}$	39.1	6.3	$1.98 \cdot 10^{-4}$
III	9	Песчанистая толща	210	69	0.4931	$4.8 \cdot 10^{-5}$	35.6	10.8	$1.11 \cdot 10^{-4}$
C	10	Глинистая толща	279	39.5	0.55788	$2.8 \cdot 10^{-5}$	35.6	11.013	$6.9 \cdot 10^{-5}$
II	11	Песчанистая толща	318.5	25.5	0.67	0.00294	33.6	13.333	$0.6 \cdot 10^{-5}$
B	12	Глинистая толща	344	34	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$	40	5	$1.27 \cdot 10^{-4}$

Горизонт	Слой модели I ранга (s)	Литологическая характеристика слоя	Глубина кровли (h) [м]	Мощность (m) [м]	Горизонтальный ($Kf_{x,y}$) [м/сут.]	Вертикальный (Kf_z) [м/сут.]	Общая пористость (n_a) [%]	Эффективная пористость (n_e) [%]	Упругость (η^*) [1/м]
I	13	Песчанистая толща	344	0	–	–	–	–	–
A1	14	Глинистая толща	344	0	–	–	–	–	–
A2	15	Структурные коры выветривания	344	0	–	–	–	–	–

Выводы

В последние двадцать лет существенный вклад в исследования геологического, геофизического и гидрогеологического стояния района, в оценку и обоснования экологической безопасности технологии подземного захоронения ЖРО СХК внесли сотрудники ИПР ТПУ кафедр геофизики, гидрогеологии и др. Основные результаты этих исследований, которые лежат в основе работы, следующие:

1. Выполнено [108] геолого-структурное районирование правобережной части района исследования. На карте выделено три структурно-геологических блока: Северный, Усть-Киргизский и Томский, различающиеся строением геологического разреза платформенного чехла.

2. Проведен палеоморфологический анализ структурных геологических поверхностей, разделяющих свит [62, 77]. Обоснована рабочая гипотеза о различии фациальных обстановок осадконакопления.

3. Мозаичное простираение распределения континентальных литологических фаций в разрезе мезозойско-кайнозойского чехла не позволяет обосновать критерии районирования фильтрационной неоднородности водоносных горизонтов.

4. Формирования естественного напорного поля горизонтов обусловлено развитием в геологическом времени устойчивой блоковой тектонической структуры и морфоструктуры района – структура напорного поля так же устойчива в геологическом времени.

5. Структура водного баланса определяется морфоструктурой рельефа и подобной её структурой напорного поля [62]. Рассчитанное нами время вертикального водообмена на порядок меньше латерального водообмена.

6. Направленность вертикального водообмена, определенная по потенциалам естественного электрического поля [108].

3. ГИДРОГЕОСЕЙСМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

3.1. Моделирование колебаний напорного поля водоносного горизонта, возбуждаемых режимом работы скважин Томского водозабора подземных вод

Цель: Разработка гидрогеосейсмической методики оценки гидродинамических границ влияния Томского водозабора подземных вод на основе математического моделирования напорного поля, возбуждаемого неравномерным режимом эксплуатации водозаборных скважин.

Название технологии заимствованно от терминов «гидрогеосейсмические эффекты», широко используемых в работах камчатских сейсмологов [50–54]. Под этим термином они понимают отклик подземных вод в режиме их гидродинамических и гидрогеохимических параметров на землетрясение. В данной работе это понятие было расширено, и включает в себя колебания (от греч. *seismos*) подземных вод не только от землетрясений, но и от технологического воздействия горнотехнических систем.

3.1.1. Методика моделирования и принятые условия

Моделируемая область включает участок линейного водозабора с расположенными на нём эксплуатационными скважинами с 70Аэ по 85э включительно (рис. 3.1). Выбор обусловлен двумя обстоятельствами. Первое – на участке сооружены и функционируют шесть режимных скважин системы мониторинга зоны санитарной охраны Томского водозабора. Скважины размещены на линии, перпендикулярной линии водозабора. Второе обстоятельство выбора участка – к нему ближе всего расположены первый Северский водозабор и полигоны подземного захоронения ЖРО СХК.

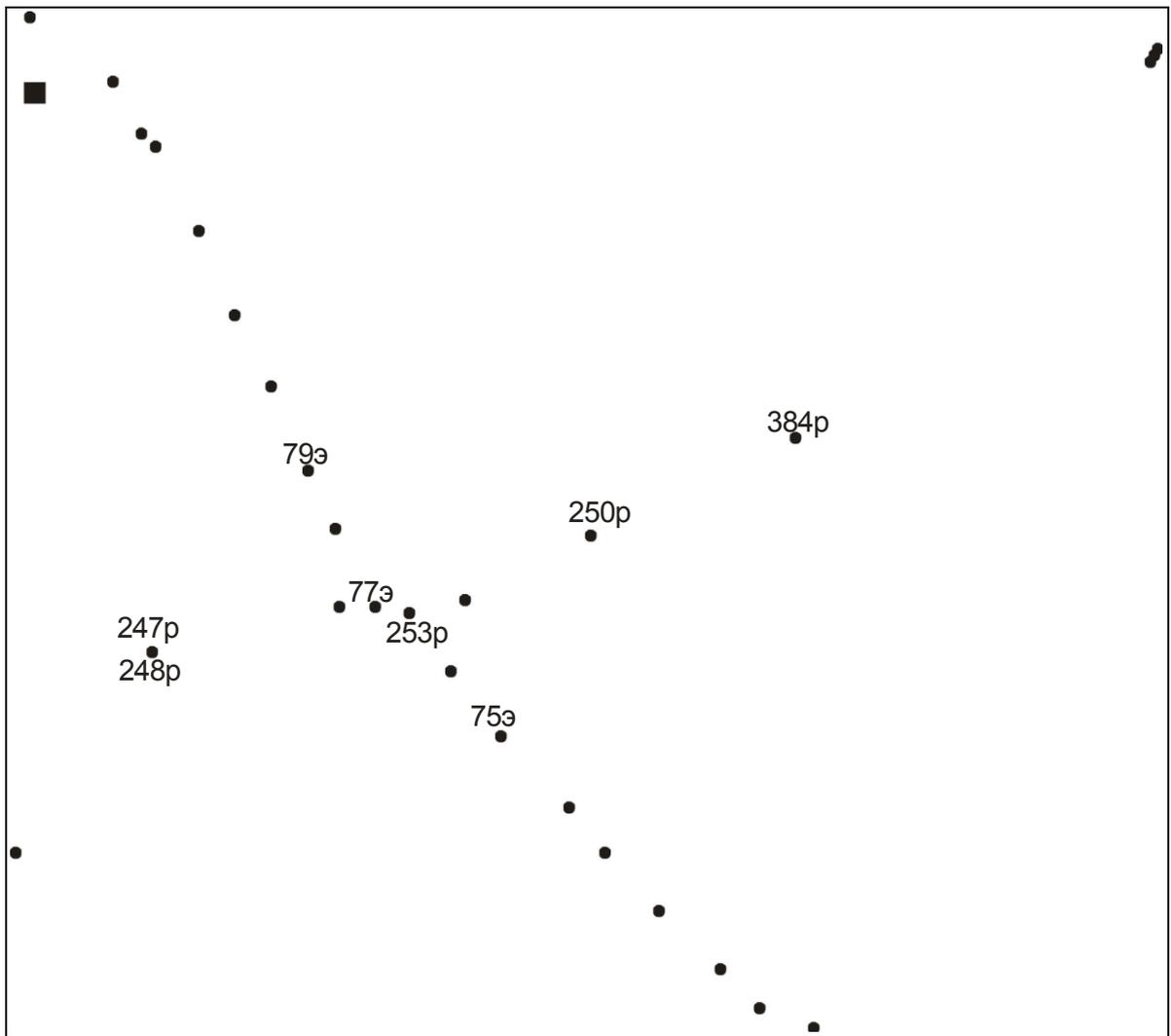


Рис. 3.1. Участок линейного водозабора с расположенными на нём эксплуатационными скважинами с 70Аэ по 85э.

Исходные материалы:

1. Данные по режиму эксплуатации водозаборных скважин в 2004–2006 календарных годах. При моделировании из этой таблицы используются данные по времени работы в сутках артезианских насосов с их среднесуточным дебитом и время простоя скважин по тем или иным техническим причинам.

2. Топографические и гидрогеологические данные по всем эксплуатационным скважинам: координаты, глубина скважин, положение статического уровня, общая и эффективная мощность горизонта, положение фильтра, коэффициенты фильтрации и пьезопроводности, водопроводимость горизонта, гидростатический напор в кровле.

Таким образом, собран исходный материал по водозаборным скважинам моделируемой области Томского водозабора подземных вод – основа технического и технологического блоков расчетной модели.

Гидрогеологическую основу модели составляют гидрогеологическая карта и гидрогеологические разрезы, приведенные во 2-ой главе составленные сотрудниками Томскгеомониторинга [139] при выполнении темы по переоценке запасов месторождения подземных вод по результатам более чем 30-и летней эксплуатации (1973–2005 гг.) Томского водозабора.

Структура расчетной модели формируется четырьмя блоками (элементами) исходной информации:

Технический (конструкция водозаборных сооружений, степень совершенства сооружений при взаимодействии с горизонтом, количество и геометрия размещения водозаборных сооружений);

Технологический (эксплуатационные режимы – дебиты и продолжительности периодов работы и простоя водозаборных сооружений);

Геолого-гидрогеологический (фильтрационно-емкостные параметры возбуждаемого пласта, условия его залегания и строения, начальные и граничные условия, данные гидродинамического мониторинга в зоне влияния водозаборного сооружения);

Математический (параметры и размерность модели, программные комплексы, используемые для моделирования, обработки и анализа результата).

При создания модели для данного участка (рис. 3.1.) использовались данные постоянно действующей расчетной модели района, включающий весь Томский водозабор. Модель обоснована и построена сотрудниками ОАО Томскгеомониторинг Ю.В. Мокушиным и Д.Н. Четверговым.

Моделируемая область имеет условные прямоугольные границы со сторонами 5400 x 5600м. Задана расчётной сеткой с квадратами 100 x 100 м. Граничные условия на внешних линейных границах прямоугольной области – или с постоянным напором, или $H=f(t)$ (I рода). Исходя из условий

залегания и строение палеогенового водоносного горизонта ($P_{3nm}+P_{2jr}$), в расчетной модели принято: горизонт напорный, сверху и снизу ограничен непроницаемыми слоями, однородный по фильтрационно-ёмкостным свойствам со следующими характеристиками: общая пористость – 35 %, проточная пористость – 20 %, коэффициент фильтрации – 15 м/сут., коэффициент пьезопроводности – 2×10^6 м²/сут. Эффективная мощность горизонта принималась равной величине, которая приводится в паспорте скважин. Таким образом, водопроницаемость горизонта различалась в зависимости от возбуждающей скважины. По условиям взаимодействия скважин с водоносным горизонтом они принимались совершенными. Гидростатический напор над кровлей так же принят единым для всех скважин и равный 82 м. Дебиты и период работы и простоя скважин задавались в соответствии их технологической работой. Моделирование скважин проводилось в отдельности с использованием программного комплекса HydroGeo (описание и алгоритм работы комплекса описана в первой главе).

3.1.2. Статистический анализ технологического режима работы эксплуатационных скважин Томского водозабора подземных вод

Анализ данных водоотбора по скважинам Томского водозабора показал: все эксплуатационные скважины водозабора работают в неравномерно прерывистом режиме [62, 64]. Это вызвано, в основном, техническими факторами – поломки артезианских насосов, отключение, ремонт, замена на другой. Любой технический сбой сопровождается остановкой скважины на какое-то время. За три моделируемых года таких остановок по отдельным скважинам было от 5 до 20. Для примера в таблице 3.1 дана временная периодизация технологических циклов в режиме работы скважины 77э за 2004–2006 гг. В таблице: нумерация циклов (№Ц) проведена в хронологической последовательности смены фаз, начиная с 1.01.04 г.;

продолжительность цикла ($\Sigma Ц$) включает период работы (ПР) и период простоя (ПП) скважины; интенсивность возбуждения напорного поля обозначена производительностью артезианского насоса (Q).

Таблица 3.1.

Временная периодизация технологических циклов в режиме работы водозаборной скважины 77э за 2004–2006 гг

№Ц	Продолжительность периодов в циклах возбуждения, сут							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ПР	120,88	60,96	105	3,08	49,46	60	91,92	51
ПП	0,13	0,04	89,92	407,5	0,04	1	7,38	2,71
$\Sigma Ц$	121,01	61	239,92	410,58	49,5	61	99,3	53,71
$Q, \text{ м}^3/\text{сут}$	1920							

Как видно из таблицы, циклы возбуждения ($\Sigma Ц$) делятся от 49,5 до 410,58 сут. В этих циклах периоды простоя чаще короткие – от 1 часа до 2,7 сут (5 из 8 периодов – 63 %), длительности остальных ПП изменяются от 7,4 до 407,5 суток. Режим работы скв. 77э является типичным для эксплуатационных скважин водозабора в целом.

Анализ режима Томского водозабора выполнен за период 1983–2006 гг по 16 эксплуатационным скважинам (объем выборки 314).

Закон распределения для водозаборных скважин также соответствует логнормальной модели распределения (рис. 2). Статистическая проверка производилась с помощью критериев согласия Пирсона. Для этой модели рассчитаны основные статистические параметры: для периодов работы математическое ожидание равно 50,47 сут, дисперсия 2,96 сут; для периодов простоя – 5,22 сут и 4,8 сут соответственно.

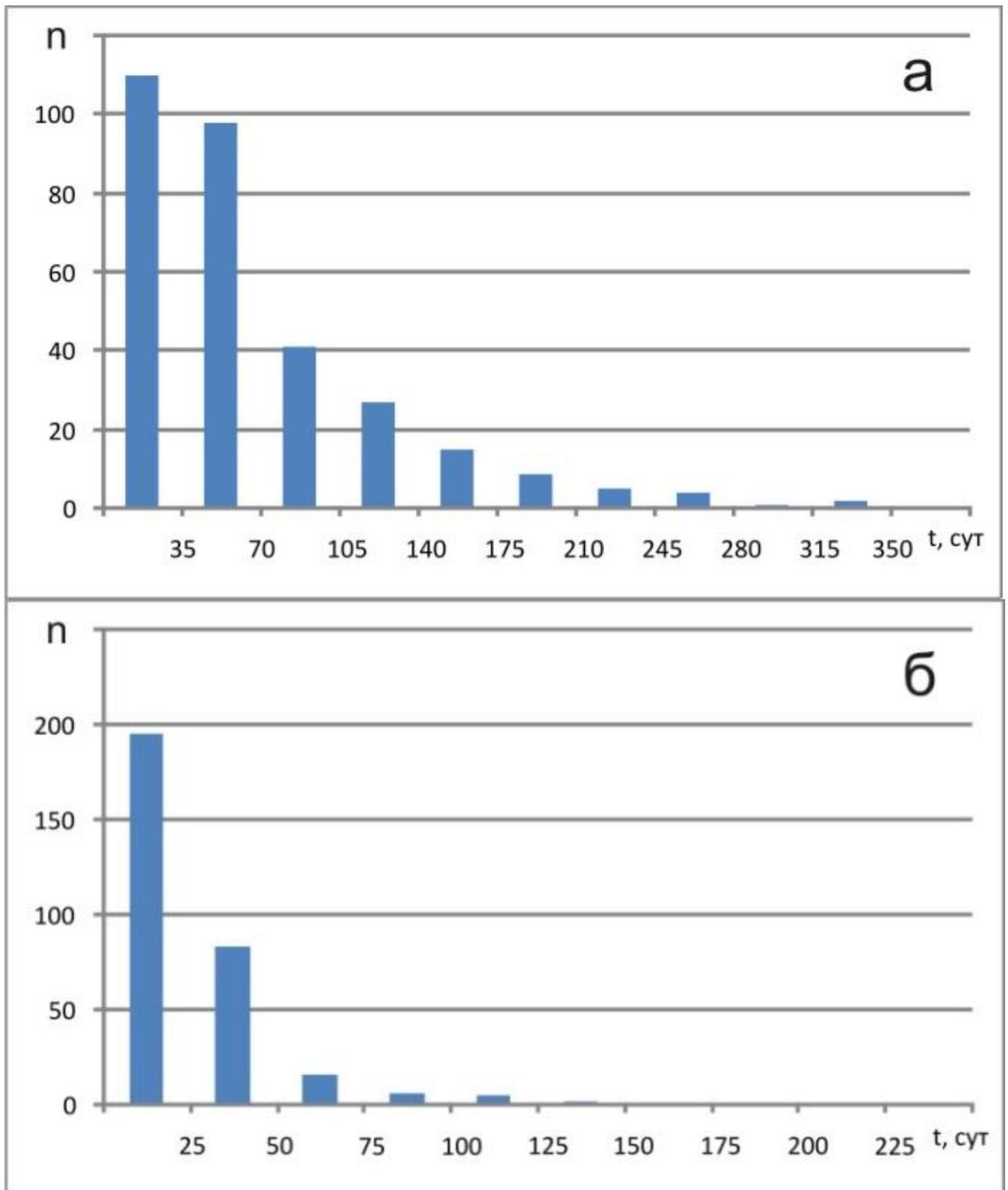


Рис. 3.2. Гистограмма распределения частоты (n) длительностей периодов работы (а) и периодов простоя (б) в технологическом режиме Томского водозабора в 1983–2006 гг

Данная статистика поможет в анализе данных моделирование т.к. прерывистый режим эксплуатации ГС формирует в гидрогеодинамическом напорном поле технологических горизонтах затухающие в пространстве колебательные движения. А амплитуда, в свою очередь, связана с

соотношениям длительностей периода работы и периода простоя в каждом технологическом колебательном периоде.

3.1.3. Результаты моделирования и их анализ и методика определения границ влияния скважин

Первая зависимость $H(t)$ характеризуется вынужденными колебаниями напоров во времени для фиксированных точек пласта в пространстве. Вторая, $H(r)$, – отражает состояние напорного поля в пространстве в заданный момент времени, а третья, $A(r)$, на основе первой и второй, - описывает изменение в пространстве амплитудных характеристик вынужденного колебательного процесса в передаче напоров [61, 66, 74].

На рис. 3.3 приведены совмещенные графики $H(t)$ колебаний фиксированных точек напорного поля при моделировании режима эксплуатации скважины 77э. На графиках в одном вертикальном масштабе построены модельные кривые колебания напоров в самой скважине ($r=0$ м) и в точках, удаленных по радиусу от скважины на 100, 200, 300, 500, 1000, 3000 м. Временные отрезки периодов работы и остановок скважины уравнены по оси t для наглядности.

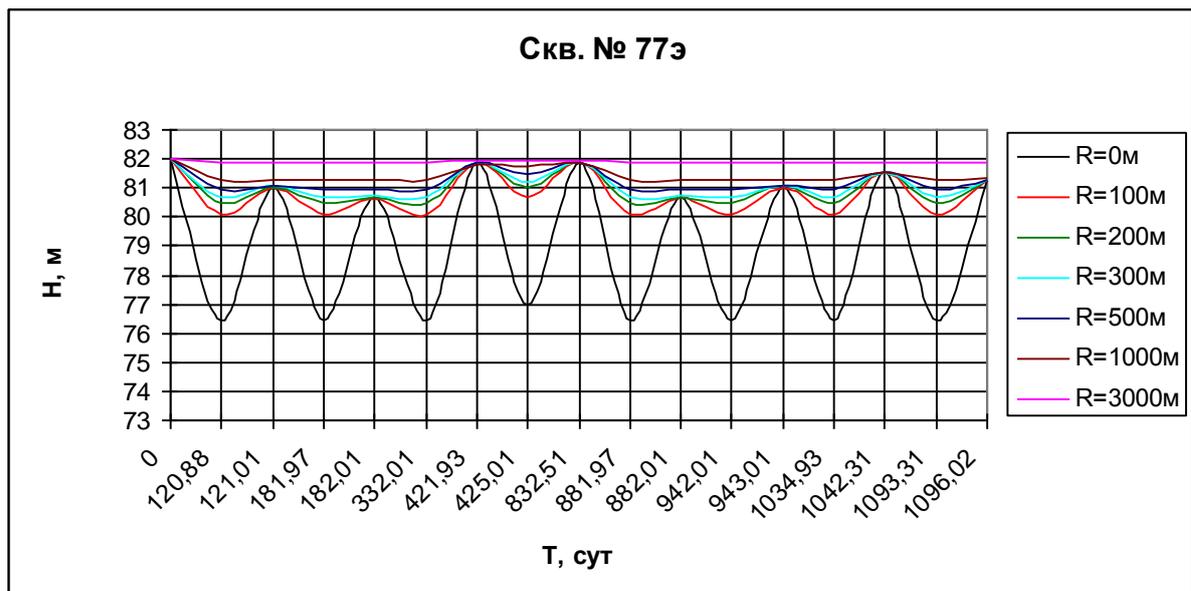
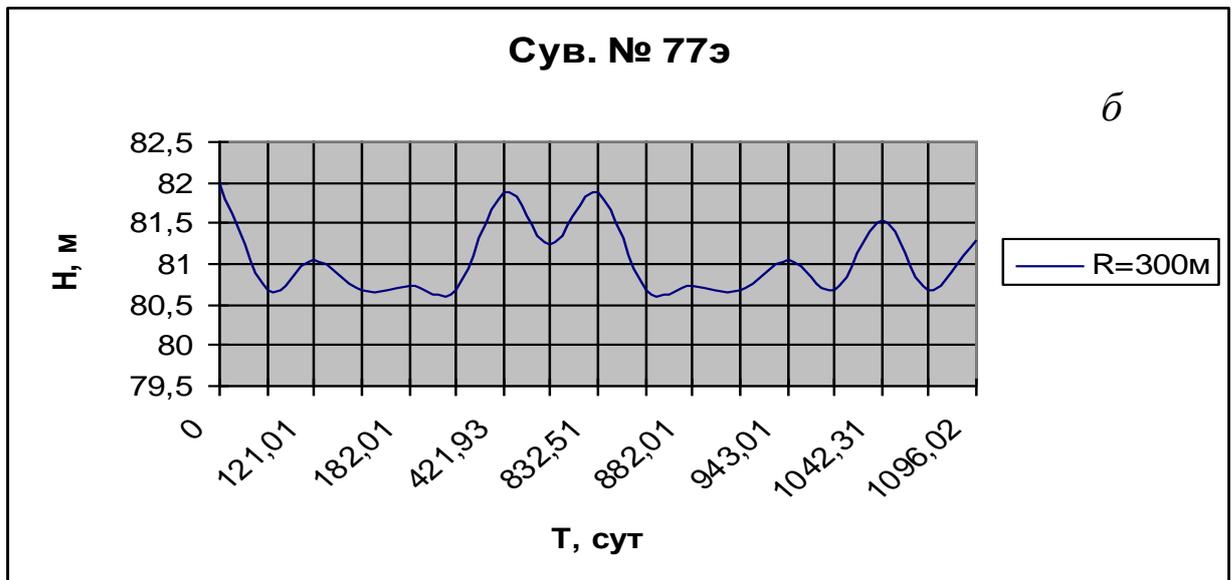
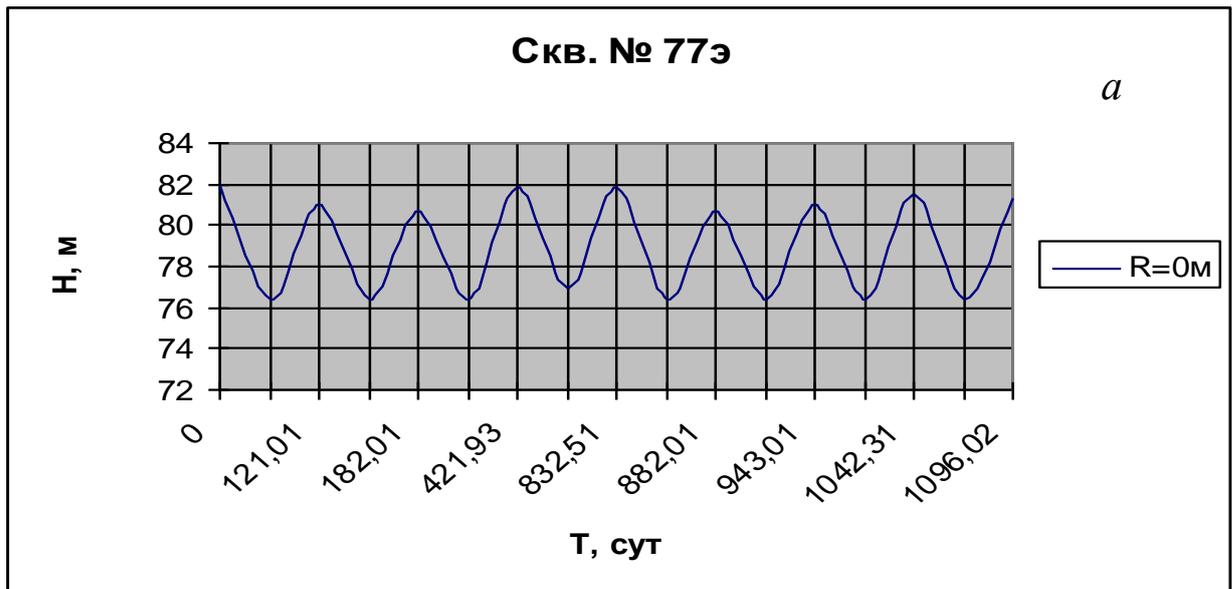


Рис. 3.3. Совмещенные графики $H(t)$ колебаний фиксированных точек напорного поля при моделировании режима эксплуатации скважин

На рис. 3.4. графики колебательного режима напорного поля, вызванного фактическим режимом эксплуатации скв. 77э, построены отдельно для каждой точки поля, отмеченной выше. По мере удаления точки от скважины вертикальный масштаб графика увеличивается. Это позволяет выявить пространственные особенности амплитудного затухания, вызываемые соотношением и чередованием длительностей периодов работы и остановок в реальном режиме возбуждения напорного поля скважиной.



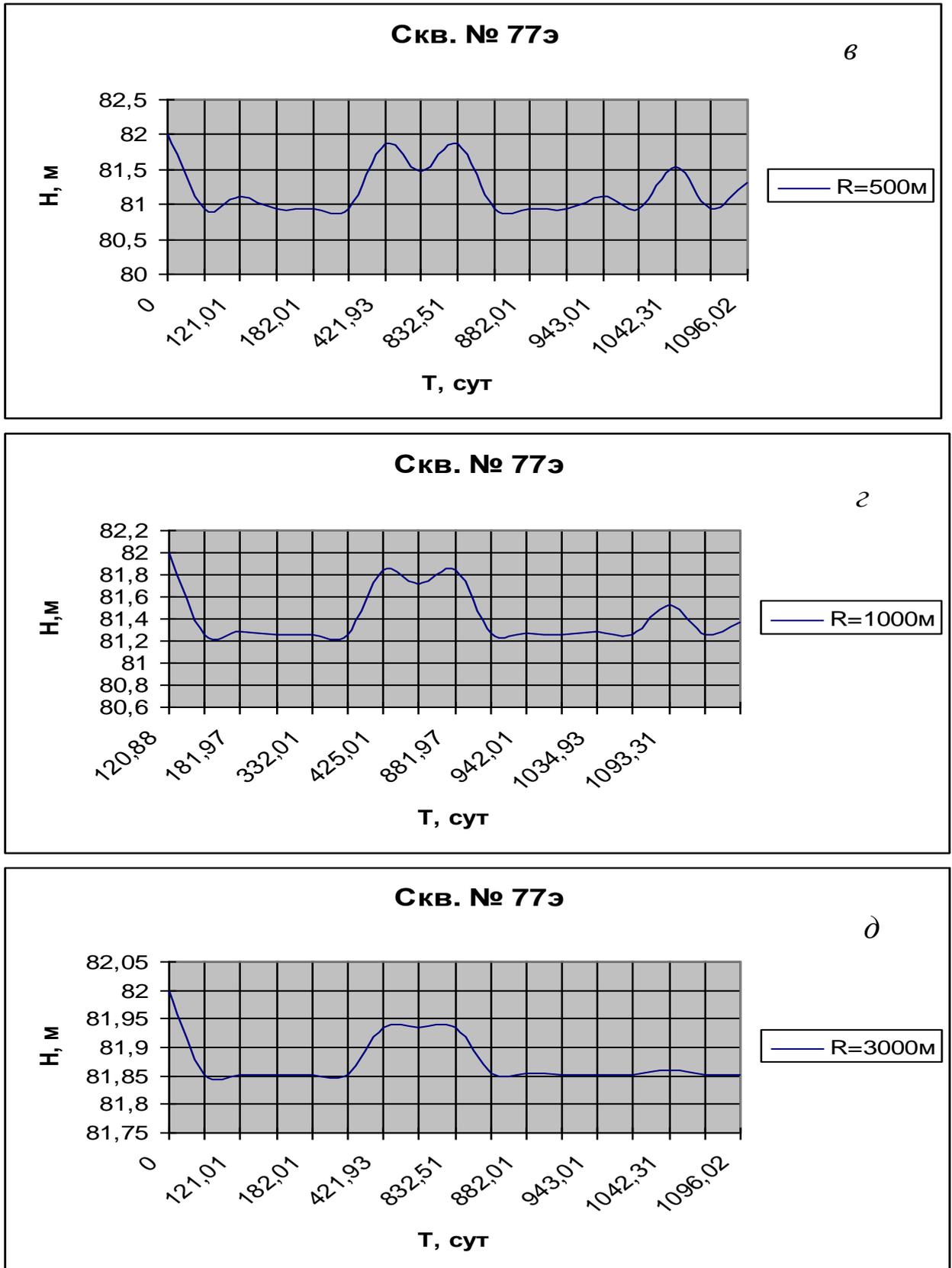


Рис. 3.4. Графики $H(t)$ колебания напорного поля при моделировании режима эксплуатации скважин № 77э в точках: а) скважина, б) 300 м, в) 500 м, г) 1000 м, д) 3000 м

Модельные понижение динамических уровней в скважине 77э в прерывистом режиме её эксплуатации составили около 6 м. Эти амплитудные понижения близки к среднему значению сработки уровня воды в горизонте на моделируемом участке водозабора (7,38 м), эксплуатируемом скважинами 69э – 85э с 1974 г

Неравномерно прерывистый режим эксплуатации водозаборных скважин вызывает колебательные движения в напорном поле. Колебательный процесс быстро затухает при удалении от возбуждающей скважины: при $r = 100$ м амплитуда снижается до 2 м (за ноль отсчета принимается отметка статического уровня 82 м), 300 м – около 1 м, 1000 м – 0,6–0,7 м. Далее амплитуды колебаний становятся незначительными, близкими к природным.

Для заданного расхода скважины и граничных условий горизонта нижний предел уровня колебаний не зависит от продолжительности временных фаз возбуждения, если они больше 10 сут. Хотя продолжительность фаз возбуждения доходит до 163 сут (скв. 77э до 121 сут).

Верхний же предел уровня колебаний (восстановление уровня после остановки скважины) прямо зависит от времени простоя.

Чем меньше длительность период простоя, тем меньше расстояние на которое распространяется волновое движение возбужденное этим периодом [67, 72]. Так, суточная остановка скважины 77э, которая в самой скважине вызвала подъем уровня (принимается за амплитуду) на 4,5 м, в 300 м от неё проявилась в подъеме меньше чем на 0,3 м.

На рис. 3.5 показаны модельные графики $A(r)$ амплитудного затухания колебаний в напорном поле, формируемых эксплуатационным режимом работы водозаборной скважины 77э. Они построены на основе графиков $H(t)$ (рис. 3.4). По ним находились две соседние фазовые точки, характеризующие среднестатистический и максимальный размах амплитуд от конца периода остановки до конца периода рабочего режима. Максимальные амплитуды

возникают при длительной работе и остановках скважины период которых равен $+3\sigma$ от математического ожидания этих периодов. Для построение кривых амплитудного затухания на рис. 3.5 с графиков $H(t)$ (рис. 3.4) снимались значение $\Delta H = A$ относительного понижения конечного динамического уровня в точках 0, 100, 200, ..., 3000 м над фазовыми точками, соответствующим началу возбуждения и концу периода остановки в первом этапе.

По графикам $A(r)$ (рис. 3.5) определяются радиусы дальнего волнового воздействия на напорное поле неравномерного режима работы водозаборных скважин. Радиусами являются расстояния по оси R до точек пересечения кривых $A(r)$ прямой с ординатой $A = 0,5$ м. Это значение характеризует среднее значение природных амплитуд колебания уровней подземных вод палеогенового водоносного горизонта. Для скважины 77э граница зоны ближнего воздействия равна 600 м, а граница зоны дальнего воздействия равна $R_{max} = 1800$ м.

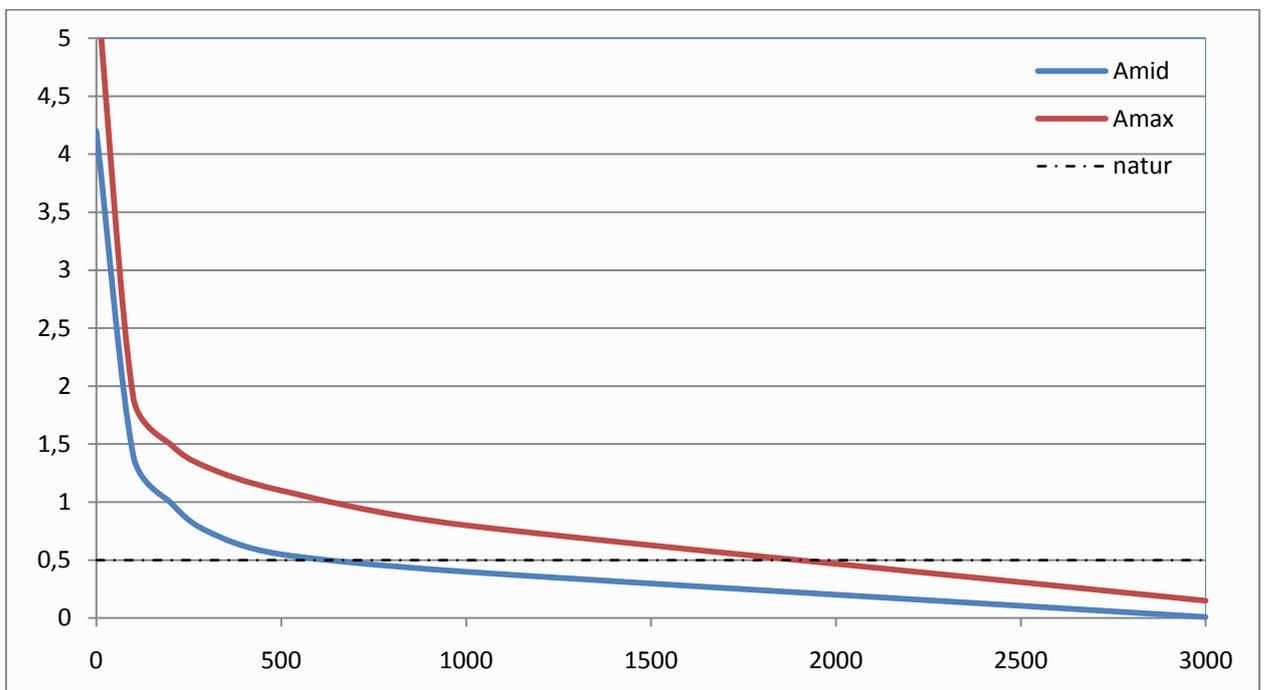


Рис. 3.5. Модельные графики $A(r)$ амплитудного затухания колебаний в напорном поле, формируемых эксплуатационным режимом работы водозаборной скважины 77э.

В целом, приведенный расчеты имеют важное значение в оценках границ влияния, но в нем не учитывается суперпозиции волновых движений,

возбуждаемых скважинами линейного водозабора. Однако если учитывать тот факт, что скважины выходят из строя по одиночки случайным образом, то данные границы и будут определять технологический режим работы водозаборных скважин.

Волновое районирование напорного поля является одним из заключительных звеньев в общей гидрогеосейсмической методике обоснования гидродинамических границ влияния горнотехнических систем.

На рис. 3.6. показана модельная карта волнового районирования напорного поля палеогенового водоносного горизонта на исследуемом участке Томского водозабора подземных вод. Назначение карты двоякое: 1) выявление и анализ связей режима эксплуатации скважин (причина) и режима уровня подземных вод в наблюдательных скважинах зоны санитарной охраны водозабора (следствие); 2) разработка программ и проектов оптимизации действующих и проектируемых систем гидродинамического мониторинга.

Отражение в колебаниях напорного поля режима эксплуатации, как причины в «чистом виде», определяется моделированием. В полевых условиях колебательный режим уровней подземных вод изучается на основе замеров в наблюдательных скважинах, где он формируется и естественными и эксплуатационными факторами. Различение и разделение этих причин в гидродинамическом режиме – одна из проблем режима подземных вод и, соответственно, эколого-экономических оценок и прогнозов функционирования ГТС.

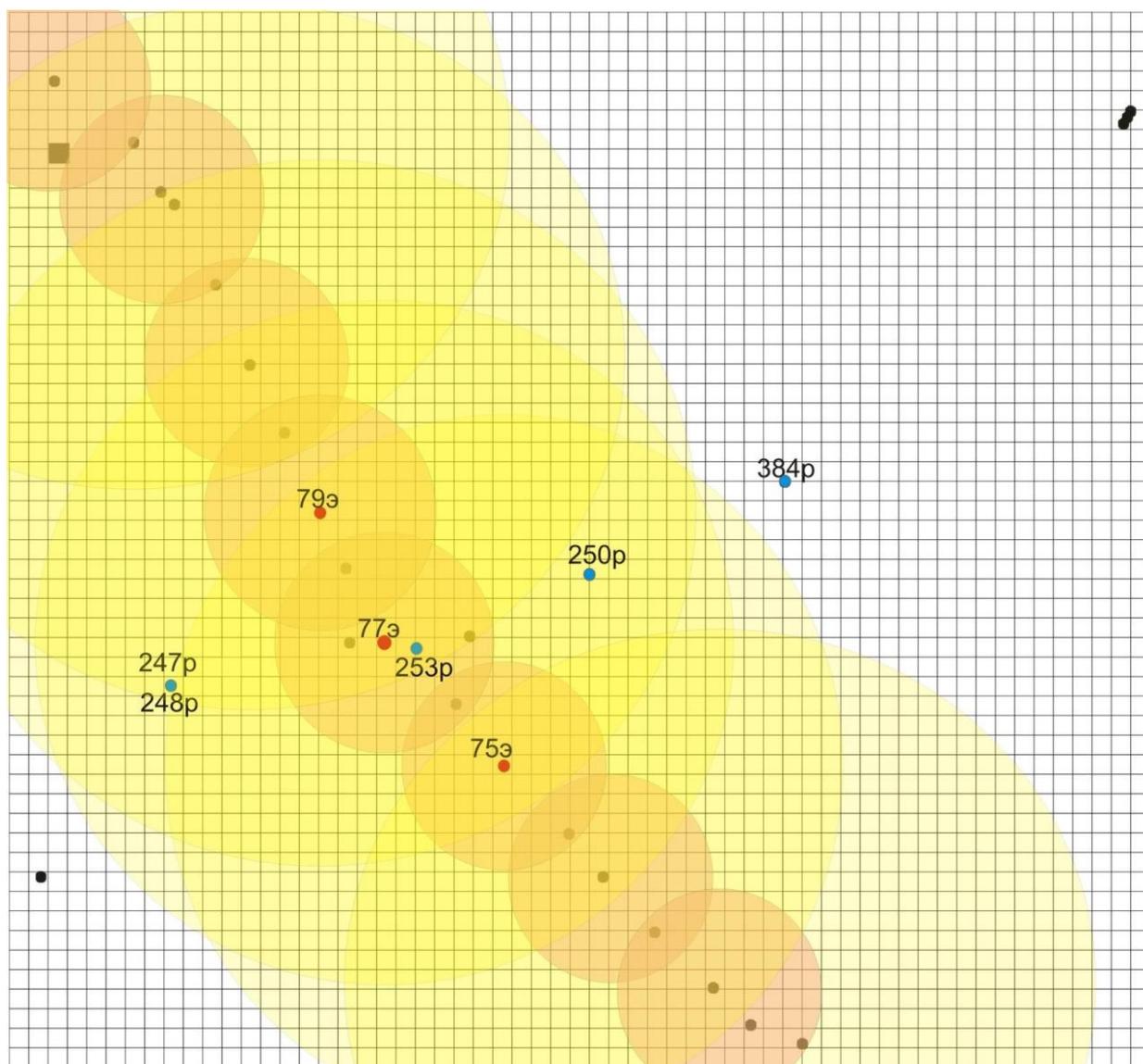


Рис. 3.6. Районирование области волнового гидродинамического влияния водозаборных скважин на функциональные зоны мониторинга

На карте районирования (рис. 3.6) выделены три зоны: зона режима ближнего волнового воздействия водозабора, зона режима дальнего волнового воздействия водозабора и внешняя зона естественного режима. Количественными критериями выделение зон является радиусы амплитудного затухания колебаний различной частоты. Частотная дифференциация эксплуатационного колебательного режима проводится на основе модельных графиков $H(t)$.

В гидрогеосейсмической методике выделенные на карте зоны режимов волнового воздействия водозаборных скважин на напорное поле (рис. 3.6) рассматриваются как функциональные зоны (структурные элементы)

системы гидродинамического мониторинга водозаборов и других ГТС. Размещение наблюдательных скважин, методика режимных наблюдений в них, анализ полученных данных имеют следующее функциональное целевое назначение, отвечающее волновой природе выделенных зон.

Для решения перечисленных функциональных задач мониторинга первой и второй зон волнового воздействия целесообразно создать на базе его технологической (или экологической) службы постоянно действующую гидродинамическую модель. С ее помощью оперативно моделировать текущий режим эксплуатации тех скважин, в зоне влияния которых находятся скважины наблюдательной сети. Достоверность калибровки модели будет контролироваться данными самописца уровней в наблюдательной скважине находящейся в ближней зоне воздействия. Система моделирования позволит дифференцировать и управлять частотой наблюдений в скважинах с ближним и дальним воздействием. Объем этих наблюдений передать водозабору.

Во внешней зоне естественного режима функциональное назначение технологического мониторинга принимается общепринятым – оценка природных факторов и условий формирования и прогноза режима подземных вод района. Методику наблюдений в скважинах, находящихся в зоне естественного режима, оставить прежней.

3.2. Моделирование колебаний напорного поля нагнетательных скважин полигонов подземного захоронения ЖРО Сибирского химического комбината

Цель моделирование – разработка программы по оптимизации и совершенствованию гидродинамического блока наблюдений в действующей системе геотехнологического мониторинга на полигоне глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов Сибирского химического комбината.

Проблема оценки гидрогеодинамических границ влияния таких горнотехнических систем как водозаборы подземных вод и полигоны захоронения жидких токсичных отходов – острая проблема в экологических оценках и прогнозах. Это относится и к региональной экологической проблеме границы гидродинамического влияния и воздействия Томского водозабора подземных вод и полигонов подземного захоронения ЖРО Сибирского химического комбината. Эти технические системы являются объектами нашего исследования. Существующие программные вычислительные комплексы могут рассчитать любые прогнозные задачи, вся проблема – в обоснованности граничных и начальных условий, достоверности и полноте параметрического наполнения расчетных моделей.

3.2.1. Методика моделирования и принятые условия

Полигон глубинного захоронения ЖРО СХК состоит из двух, территориально разобщенных, промышленных площадок 18 и 18а. На площадке 18 (рис. 3.7) осуществляется захоронение нетехнологических ЖРО низкого уровня активности, именно эта площадка принимает основной объем отходов, поэтому для неё будет создаваться модель для оптимизации и совершенствованию гидродинамического блока наблюдений в действующей системе геотехнологического мониторинга.

Технологическая схема площадки 18 представляет собой систему, состоящую из сети подводящих трубопроводов, насосной станции и нагнетательных скважин, вскрывающих своими фильтрами эксплуатационные горизонты. Нагнетательные скважины – это связанные трубопроводами с насосной станцией скважины, фильтровые зоны которых находятся в пластах-коллекторах.

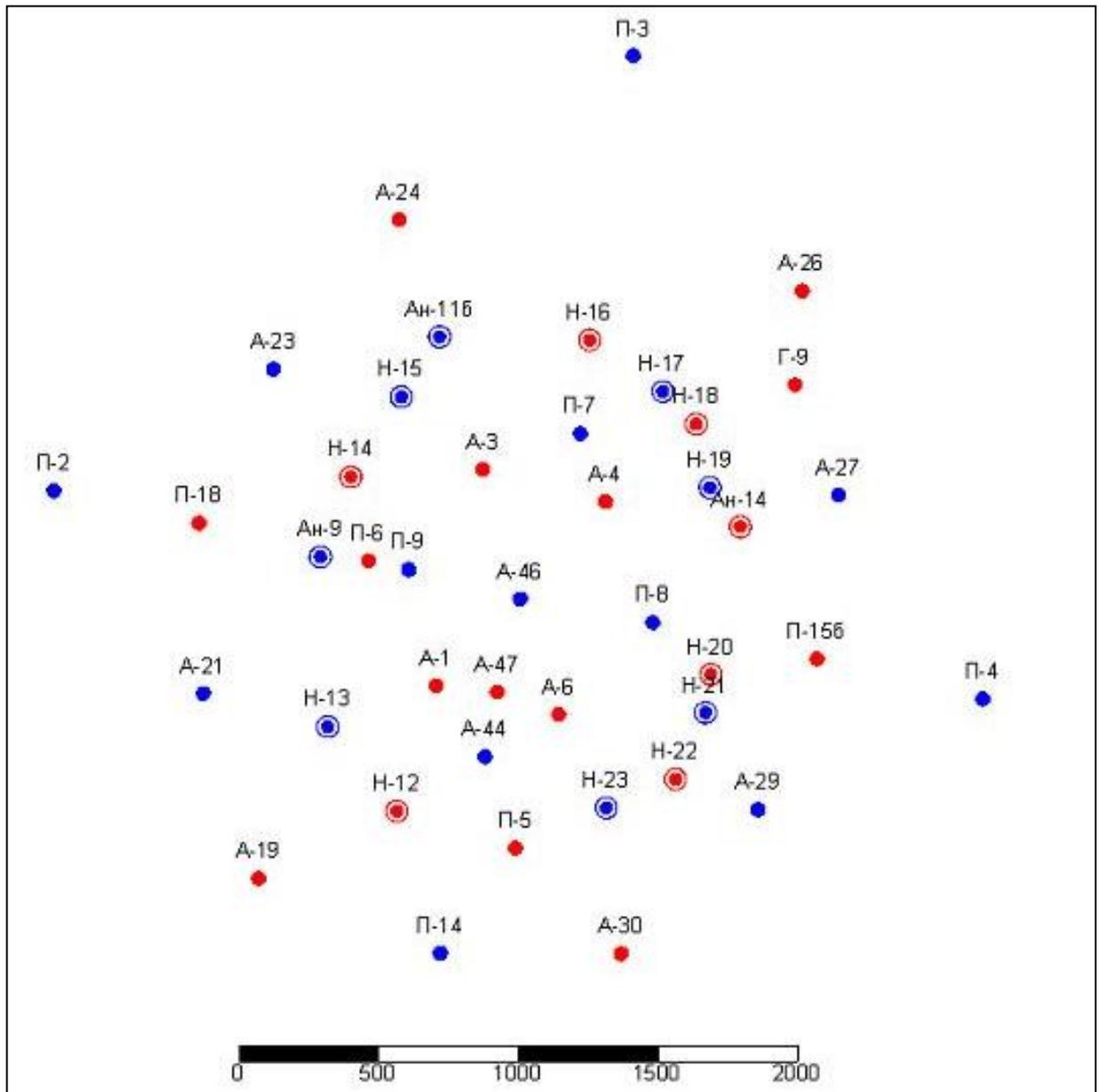


Рис. 3.7. План скважин на площадке 18

В основе используемой модели лежит рабочая модель, составленная В.В. Даниловым. Структура фильтрационных потоков, является главным фактором, обуславливающим выбор боковых границ модели. Пространственная структура потока графически отражается картой гидроизопъез. Из неё следует, что основным линейным стокам для фильтрационного потока горизонта являются река Томь. Для всех слоев модели поток по этим линиям принимается нулевым ($Q = 0$) – частный случай граничного условия II рода. В качестве восточной границы модели

принято вертикальное сечение горизонтов по линии местного Таловско-Песочинского водораздела (рис. 3.8).

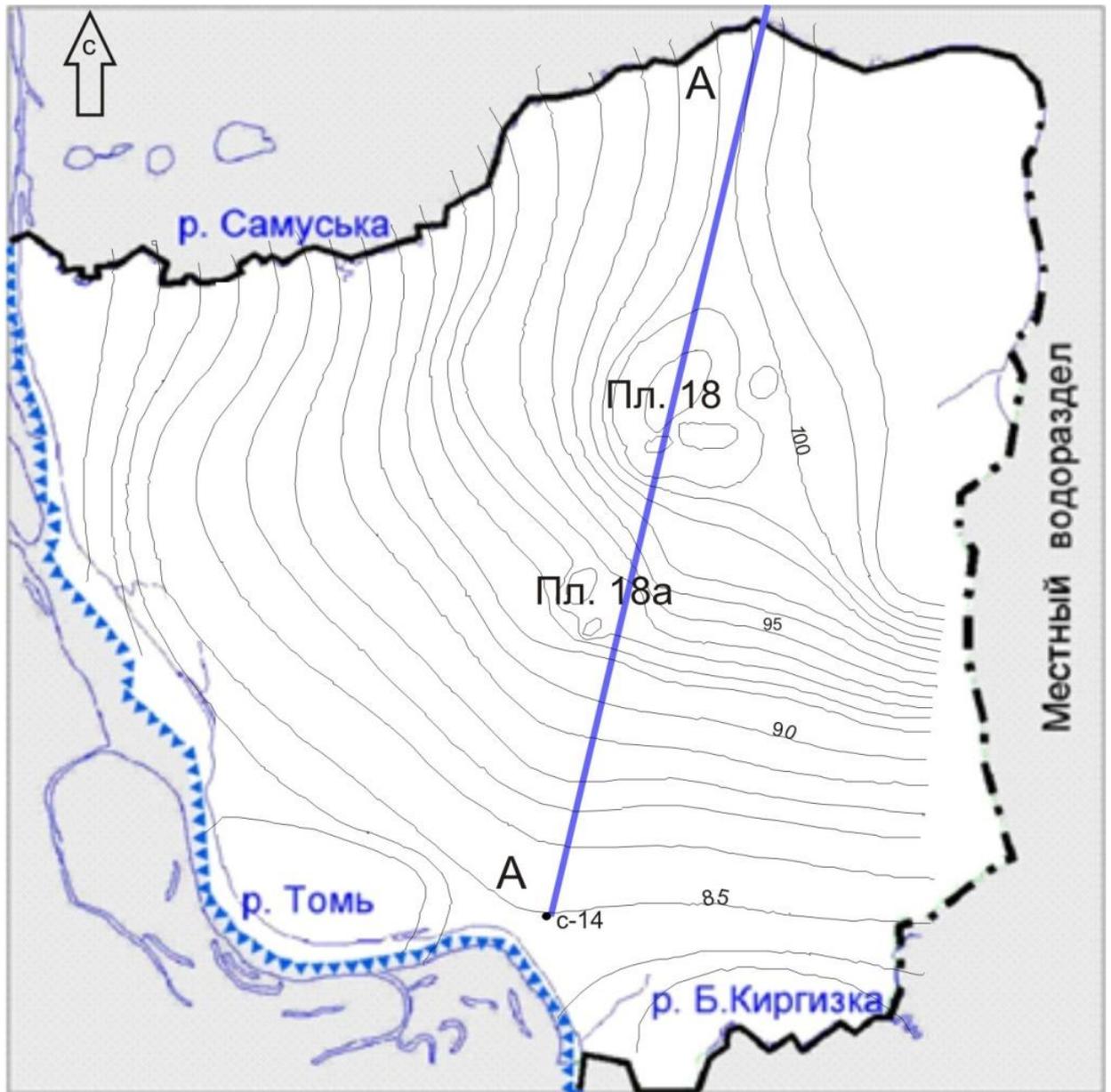


Рис. 3.8. Карта гидроизопьез II водоносного горизонта (А.А. Лукин, В.В. Данилов, А.А. Зубков, 2001)

Область моделирования включает только II водоносный горизонт и разбита трехмерной неравномерной прямоугольной сеткой, степень дискретизации увеличивается к центру модели, которая соответствует положению площадки 18. Данный подход позволил увеличить точность расчетов в области полигона, при этом сэкономив вычислительные и временные ресурсы. В каждом слое модели 39 569 активных ячеек.

Фильтрационно-емкостные параметры горизонтов в каждой ячейки модели задавались на основе карт их распределения, построенные при интерполяции значений между скважинами. Пределы изменения параметров модели приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Диапазон фильтрационных и емкостных параметров геологической среды, заданных в модели (Данилов В.В., 2010)

Наименование параметра	Диапазон изменения
Горизонтальный коэффициент фильтрации (k_x, k_y), м/сут.	0.02 ÷ 20
Вертикальный коэффициент фильтрации (k_z), м/сут.	$1.0 \cdot 10^{-5} \div 1.0 \cdot 10^{-2}$
Упругоёмкость (η^*), 1/м	$1.0 \cdot 10^{-6} \div 1.0 \cdot 10^{-3}$

Площадное распределение горизонтального коэффициента фильтрации для водоносных горизонтов и вертикального коэффициента фильтрации для разделяющих водоупоров по всем ячейкам соответствующих слоев модели рассчитывались с помощью интерполяции значений в точках расположения скважин.

Технологический режим работы полигона выбирался в интервале времени с 2005 по 2008 гг. В данном интервале времени работало 15 эксплуатационных скважин, из них 2 скважины начали работать только с 2008 г. Моделирование проводилось в групповом режиме работы скважин, в программном комплексе GMS [127]. Ниже приведен подробный анализ работы полигона.

3.2.2. Статистический анализ технологического режима работы полигона глубинного захоронения ЖРО СХК

Технологический режим работы скважин полигона оценивался в интервале времени с 2005 до 2008 гг. В данном интервале работало 15 эксплуатационных скважин, из них 2 скважины начали работать только с 2008 г. На рисунке 3.9. приведен график работы скважины Н-16. Он является

общим для всех скважин полигона, это связано с технологическими условиями и единой насосной станцией для всего полигона.

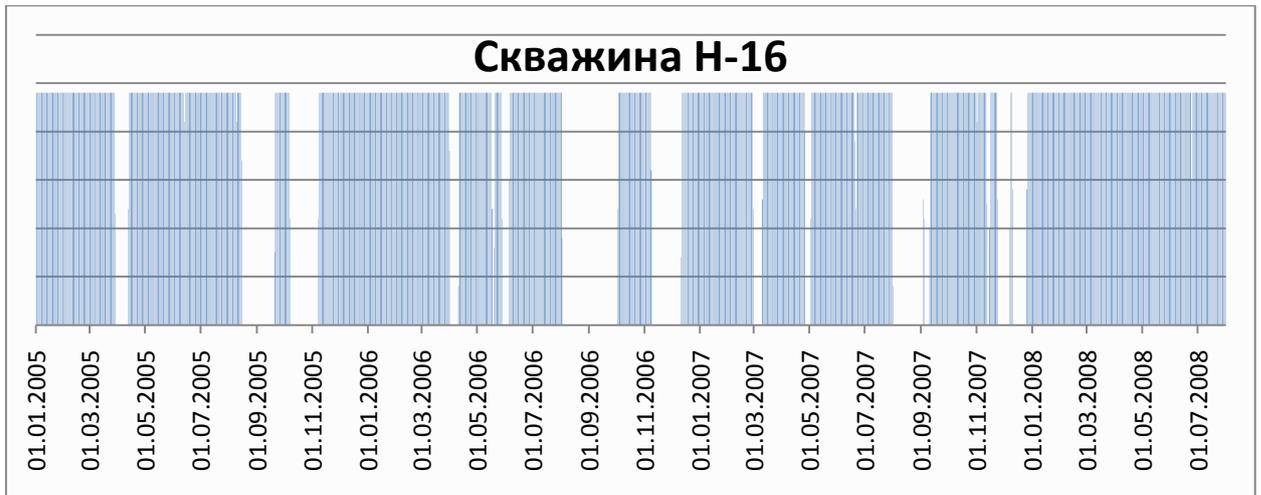


Рис. 3.9. График работы скважины Н-16 (темные участки – периоды работы скважины; светлые – периоды простоя)

Как видно из графика, режим работы неравномерно-прерывистый. Неравномерно-прерывистый режим работы нагнетательных скважин полигона обусловлен в основном технологическим регламентом его эксплуатации. На рисунке 3.10 в форме гистограммы приведена статистика длительностей периодов работы (а) и периодов простоя (б) нагнетательных скважин пл. 18 за четыре календарных года эксплуатации полигона. За это время режим нагнетания сформировал в напорном поле технологических горизонтов 256 колебательных периода. В среднем одна нагнетательная скважина из 13 работавших все четыре года, возбуждала около 20 циклов колебаний. Как видно из гистограммы, в периоде нагнетания преобладают длительности > 10 сут. (193 периода, 76 % от 256), периодов с длительностью простоя более 10 сут 119 или 47 %.

Далее оценим общую картину колебательного возбуждения напорного поля нагнетательными скважинами полигона СХК. Особенности сигнала возбуждения гидродинамического поля и размеры радиусов распространения возбуждаемых колебаний определяются длительностью и периодов работы и периодов простоя в технологических циклах режима эксплуатации скважин. Статистические оценки даются по этим параметрам режима работы скважин.

Интервал гистограммы определяться по формуле Стерджеса [26]:

$$I = (B_{max} - B_{min}) / (1 + 3.31 \lg N) \quad (3.1)$$

где B_{max} и B_{min} – максимальное и минимальное значения длительностей ПР и ПП, N – общее количество значений признака. Для периодов работы интервал (I) получился равным 35 сут, для периодов простоя – 25 сут.

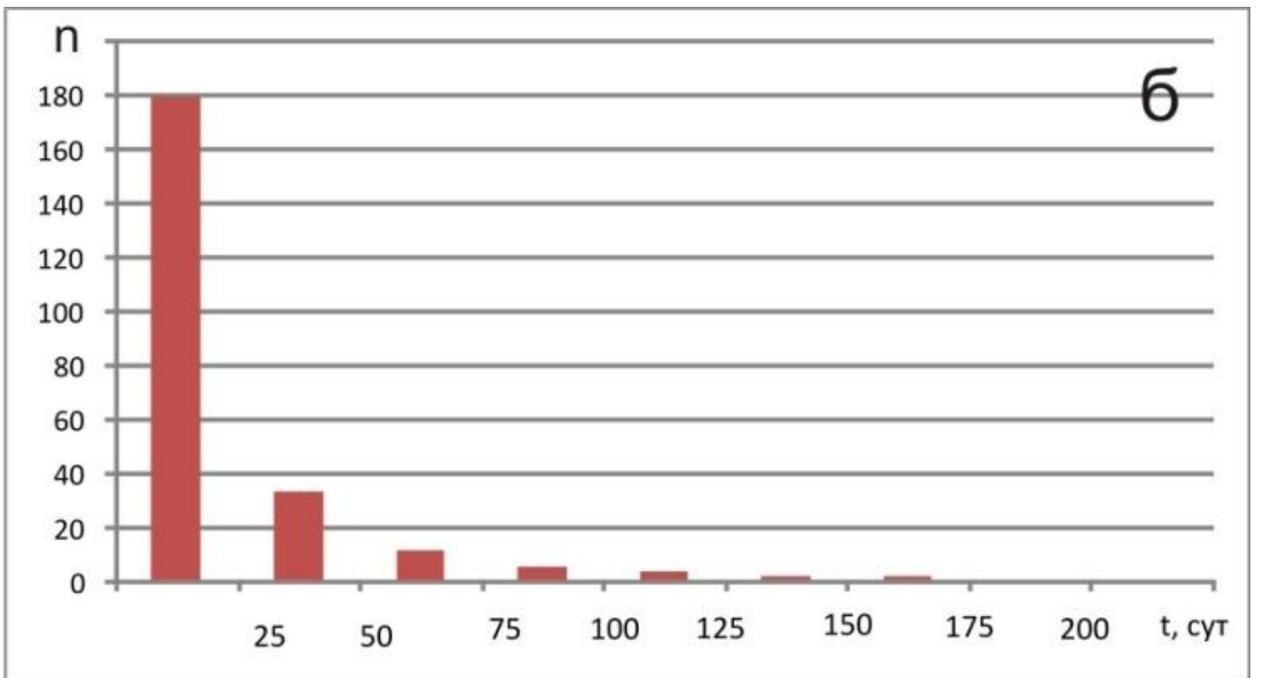
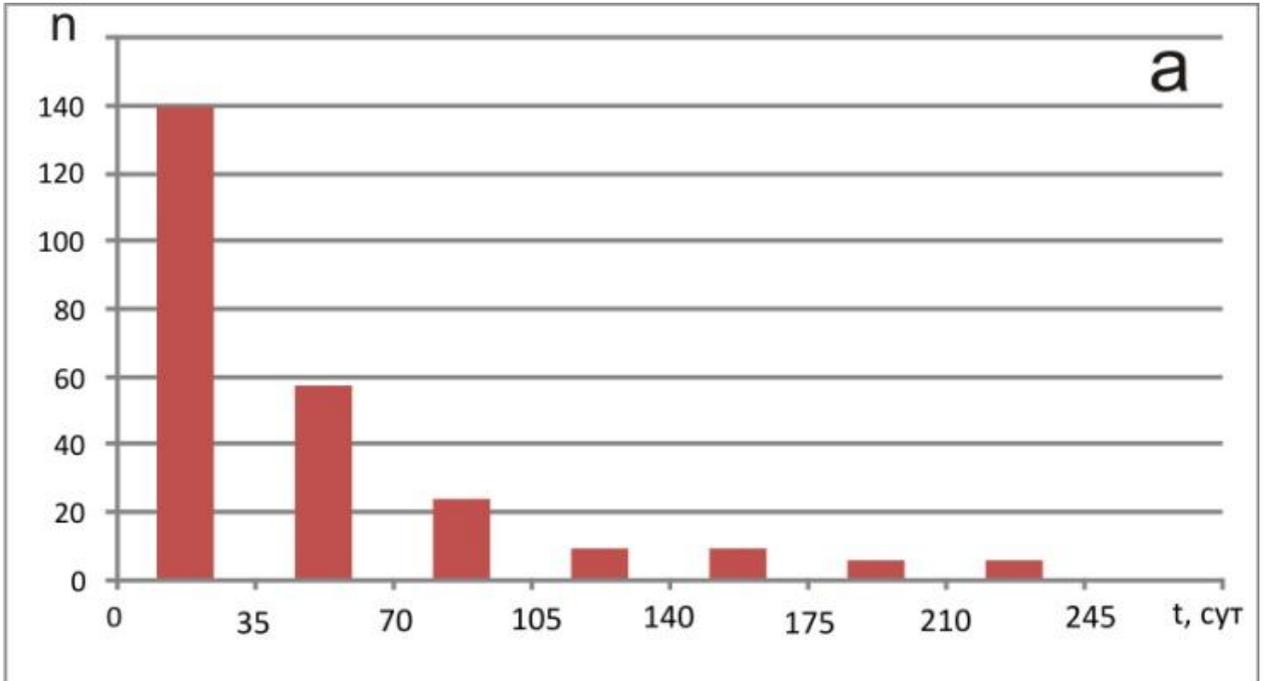


Рис. 3.10. Гистограммы распределения частоты (n) длительностей периодов работы (а) и периодов простоя (б) скважин в технологическом режиме нагнетания ЖРО пл. 18 в 2005–2008 гг

Как видно из гистограмм (рис. 1), распределение близко к логнормальному закону. В соответствии с этим оценивались математическое ожидание и дисперсия распределений. Для периодов работы математическое ожидание равно 27,35 сут и дисперсия 4,9 сут, для периодов простоя – 5,5 и 4,28 сут соответственно.

Статистическую проверку о том, что распределение относится к логнормальному закону производилась с помощью критериев согласия Пирсона при уровне значимости заданной 0,1.

3.2.3. Результаты моделирования и их анализ

Моделирование волновых процессов в напорном гидродинамическом поле в режиме эксплуатации ГС позволяет решить две важные инженерно-экологические и экономические задачи: согласование и контроль качества работы двух самостоятельных служб мониторинга ГС (эксплуатации и геологического мониторинга); проектирование и оптимизация действующих систем технологического (эксплуатационного) и геоэкологического мониторинга ГС.

Моделирование неравномерно прерывистого режима промышленной закачки жидких отходов в нагнетательные скважины на полигонах СХК также выявило волновые колебания напорного поля «технологических» горизонтов, отражающие режим нагнетания. В работе приведен анализ полученных данных по II технологическому горизонту.

На совмещенном графике $H(t)$ (рис. 3.11) вынесены кривая натуральных колебаний гидростатических уровней в контрольной скважине Г-9 и кривая полученная при моделировании колебаний уровней в той же скважине. Кривая уровней подземных вод в скважине Г-9, построенная по данным режимных наблюдений, хорошо согласуется с модельной кривой, что свидетельствует о соответствии модели геологическим условиям.

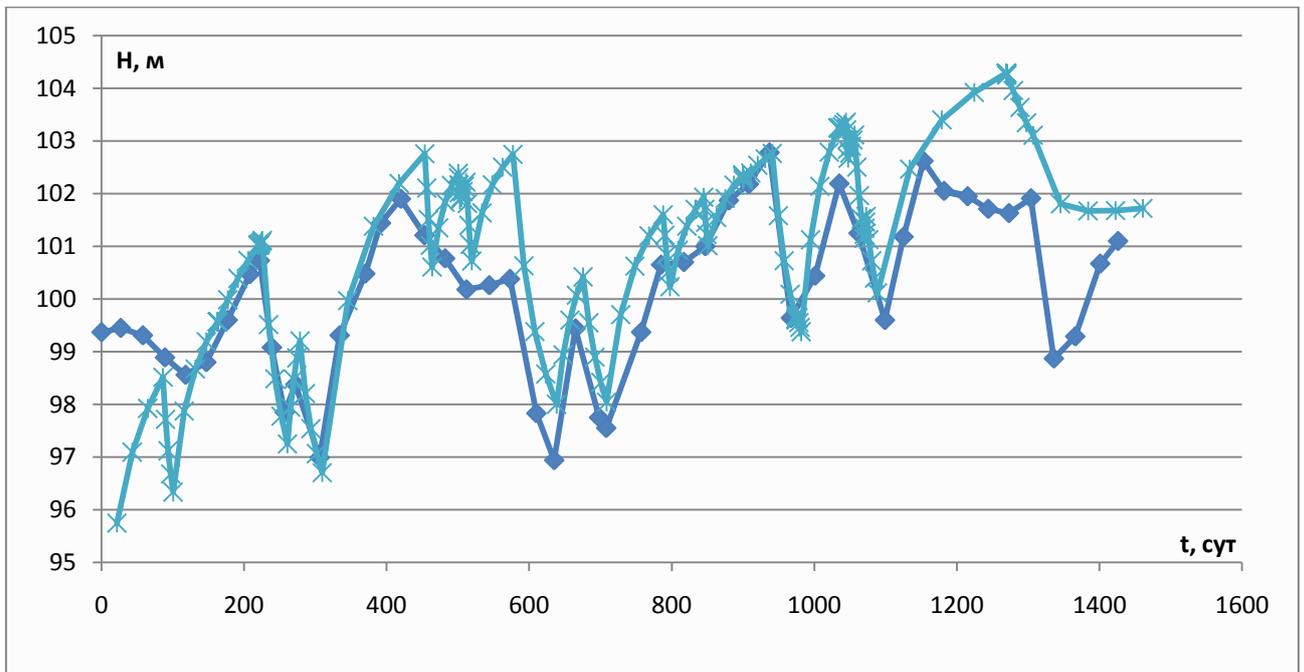


Рис. 3.11. Кривые натуральных и модельных колебания уровней в скважине Г-9

Моделирование неравномерно прерывистого режима промышленной закачки жидких отходов в нагнетательные скважины на полигонах СХК также выявило волновые колебания напорного поля технологических горизонтов, отражающие режим нагнетания. На совмещенном графике $H(t)$ (рис. 3.12) вынесены кривые модельных колебаний напоров в скважине Н-18 и точках напорного поля, удаленных от скважины по радиусу-вектору r

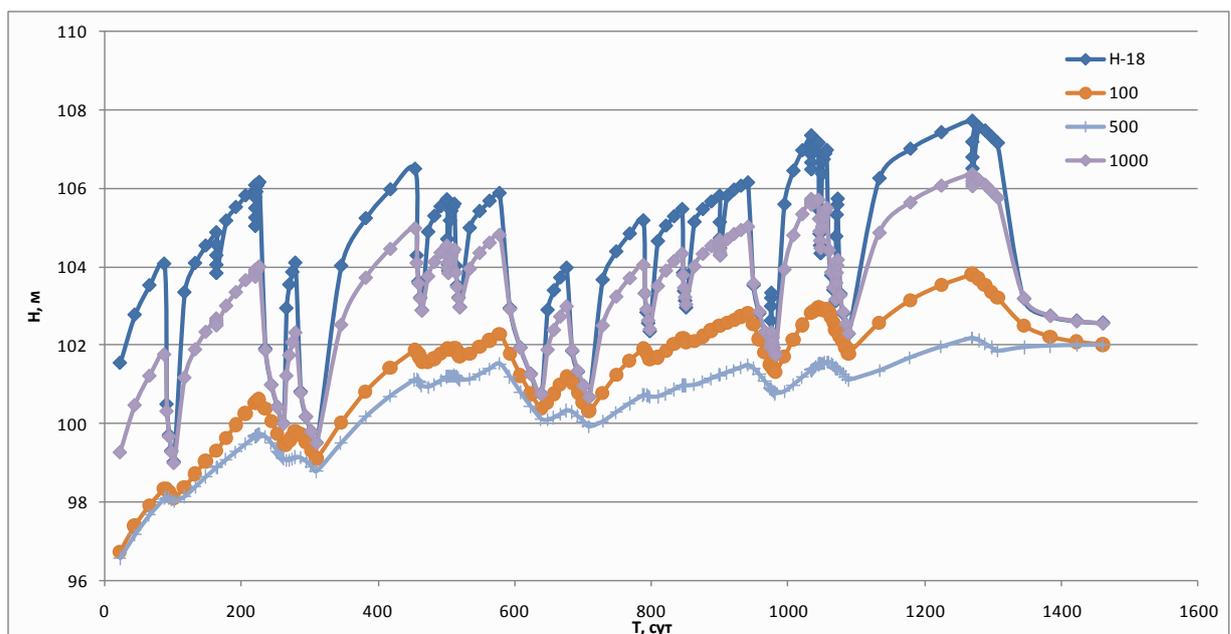


Рис. 3.12. Совмещенные графики $H(t)$ колебаний фиксированных точек напорного поля при моделировании режима эксплуатации скважин

сторону Н-16 кривые получены при моделировании возбуждения напорного поля в режиме групповой работы нагнетательных скважин. Моделирование ГС показало, что волновой процесс во времени и пространстве распространяется незначительно. Это явление демонстрируют кривые на рис. 3.12 и кривые затухания амплитудного колебания напоров в удаленных от скважины точек напорного поля.

3.2.4. Методика определения границ влияния режима работы скважин полигона

Для определения границ гидродинамического влияния ГС выделим две функциональных зон мониторинга: ближнего и дальнего воздействия. В основе выделения зон лежат статистические параметры режима работы эксплуатационных скважин полигона.

Границы функциональных зон мониторинга определяют те модельные значения напоров гидродинамического поля, которые возникают в конце соответствующих периодов времени и оценивались исходя из следующих критериев:

1. При периодах работы и простоя, соответствующих оценочной величине математического ожидания ($\bar{T}_p = 27,35$ сут, $\bar{T}_n = 5,55$ сут), принимаются в расчетах границ зон ближнего волнового влияния режима работы полигона.

2. Максимальные амплитуды возбуждения напорного поля полигоном захоронения возникают при длительной работе и после долгих остановок скважин [65-68, 75]. Рассчитанные значения периоды работы и простоя должны быть не более $+3\sigma$ от математического ожидания этих периодов, это определяется правилом трех сигм [26, 103], тем самым ограничивая интервал с достоверностью 99,7 %. Для полигона захоронения ЖРО СХК предельные значения периодов равны $T_p = 160$ сут, $T_n = 101$ сут. Эти периоды формируют максимальные амплитуды в колебаниях напорного поля и максимальные

радиусы границ затухания колебаний (границу зоны дальнего волнового воздействия).

Для определения обеих границ, необходимо задаться предельной амплитудой, ниже которой влияние источника принимается несущественным. Здесь для II технологического горизонта за предельную амплитуду принята величина 0,5 м, которая соответствует среднегодовым колебаниям уровней подземных вод горизонта в естественных условиях режима (глава 2).

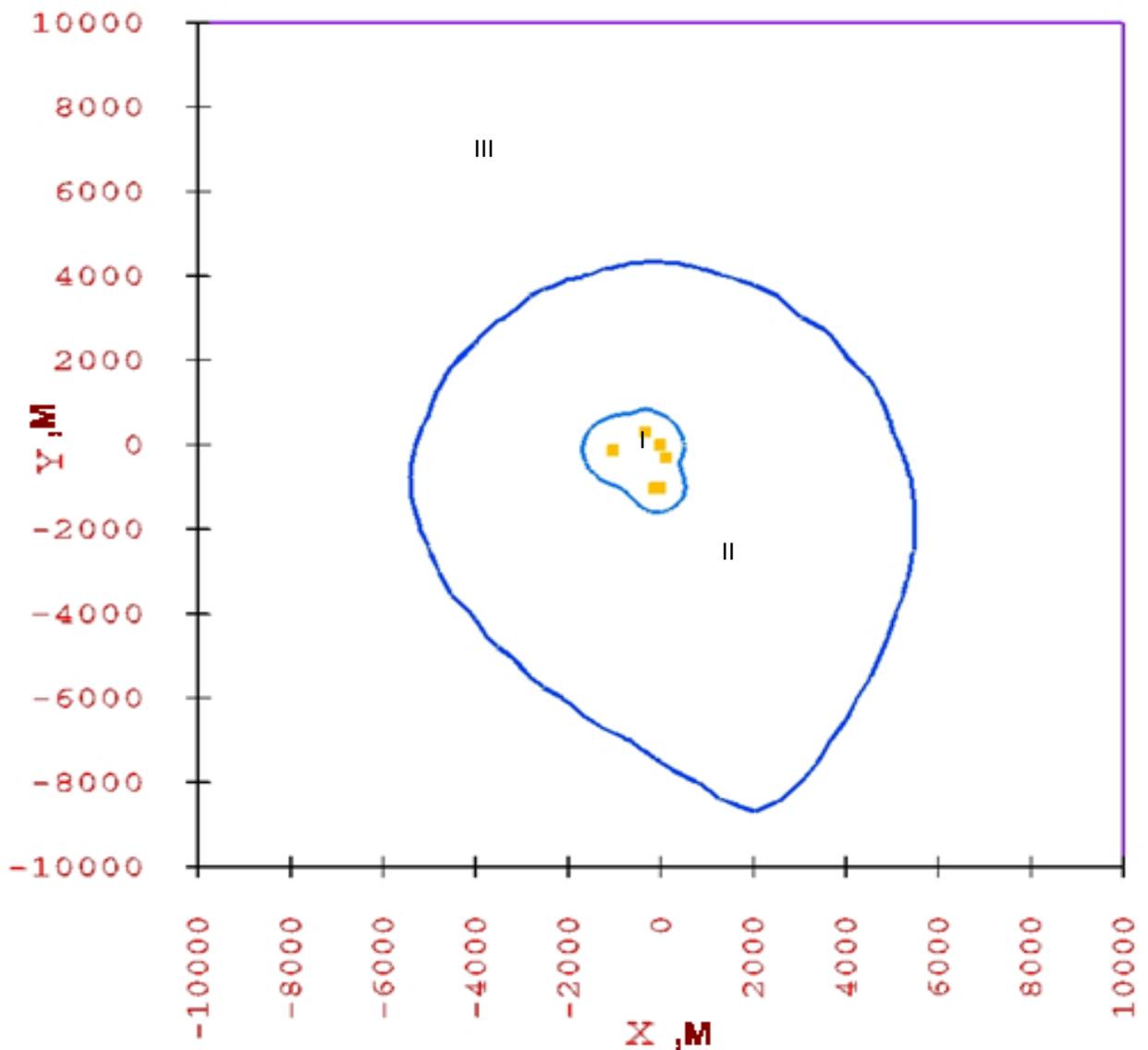


Рис. 3.13. Карта волнового районирования полигона захоронения 1 – при максимальных воздействиях, 2 – при среднестатистических воздействиях, 3 – уровень природных колебаний ДН; границы зон мониторинга: I – ближней, II – дальней, III – без воздействия (природные колебания)

При построении карты волнового районирования в режиме работы скважин выделялись периоды T_n и T_p , которые соответствуют первому и второму критерию. Первый критерий будет соответствовать границы между зоной ближнего и дальнего воздействия, второй – между дальней зоной волнового воздействия и областью природных колебаний. Далее находилась разность значений полей напоров, соответствующая стесс-периоду начала возбуждения и значений поля в конце периода возбуждения. Вычитая из разностных значений поля величину 0,5 м получаем нулевую изолинию, которая и будет являться искомой границей. В результате получаем карту волнового районирования (рис. 3.13.)

Отсюда следует: граница амплитудного затухания вынужденных колебаний в заданной гидродинамической системе определяется двумя основными условиями: величиной амплитуды в источнике возбуждения и частотой возбуждения. Полученные размеры радиусов зон: I – 900-1100 м, II – 4900-8600 м в зависимости от направлений, которые определяются геологическим строением, распределением ФЭС пластов и границами модели.

В описанной технологии районирования выделенные зоны режимов волнового воздействия полигона СХК на напорное поле рассматриваются как функциональные зоны (структурные элементы) системы гидродинамического мониторинга. Размещение наблюдательных скважин, методика режимных наблюдений в них, анализ полученных данных имеют следующее функциональное целевое назначение.

В зоне ближнего волнового воздействия нагнетательных скважин изучение колебаний от коротких периодов воздействий скважины, практического смысла не имеет. Однако, одну из контрольных скважин, находящуюся в этой зоне, следует оборудовать самописцем уровней для калибровки действующей модели.

В зоне дальнего волнового воздействия функциональное целевое назначение гидродинамического мониторинга – отразить колебания напоров,

возбуждаемые скважинами а режиме их эксплуатации. Решение целевой задачи возможно в том случае, если частота замеров уровней в наблюдательных скважинах, согласуется в эксплуатационном режиме с длительными остановками скважин. Наблюдения за уровнями проводить перед плановой остановкой скважины, в зоне влияния которой попадают наблюдательные. Время следующего замера уровней – перед началом нового нагнетания.

Для решения перечисленных функциональных задач мониторинга первой и второй зон волнового воздействия целесообразно на базе постоянно действующей гидродинамической модели оперативно моделировать текущий режим эксплуатации тех скважин, в зоне влияния которых находятся скважины наблюдательной сети. Достоверность калибровки модели будет контролироваться данными самописца уровней в контрольной скважине. Система моделирования позволит дифференцировать и управлять частотой наблюдений в скважинах.

Во внешней зоне естественного режима функциональное назначение геоэкологического мониторинга принимается общепринятым – оценка природных факторов и условий формирования и прогноза режима подземных вод района. Методику наблюдений в скважинах, находящихся в зоне естественного режима, оставить прежней.

Целевое назначение системы горнотехнологического мониторинга – наблюдение, контроль, прогноз и управление развитием репрессивной воронки. Решение задачи управления развитием репрессивной воронки находятся в сфере управления режимом эксплуатации полигонам, которые должны учитывать пространственно-временные колебания напорного гидрогеодинамического поля.

Задача анализа результатов натуральных режимных замеров уровней подземных вод в скважинах наблюдательных лучей – установить подобие временного хода изменения уровней временному ходу двух режимообразующих факторов. Первый – технологический, неравномерно

прерывистый режим работы нагнетательных скважин и создаваемый им колебательный режим изменения уровней (напоров) в самих скважинах и в зоне их волнового воздействия на напорное поле горизонта. Вторым фактором – природный, климатический: ход изменения в годовом цикле температурного и водного режима в атмосфере и сферах влияния этих режимов на поверхностный и подземный водный сток и водный баланс.

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. Результаты численного моделирования имеют хорошую сходимость с натурными данными колебаний уровней контрольных скважин, что свидетельствует о соответствии модели природными условиями.

2. Определены радиусы ближнего и дальнего волнового воздействия нагнетательных скважин полигона захоронения на напорное поле.

3. Разработанная программа оптимизации гидродинамического мониторинга полигонов захоронения промышленных отходов Сибирского химического комбината позволяет сократить расходы на проведение геоэкологического мониторинга при увеличении информативности об экологической обстановке района.

3.3. Общее описание гидрогеосейсмической технологии

Для разработки гидрогеосейсмической технологии оценки гидродинамических границ влияния горнотехнических систем ставились следующие задачи:

1. Сбор материала и оформление базы данных по техническим и эксплуатационным характеристикам и режиму работы скважин (первый операционный элемент разрабатываемой гидрогеосейсмической методики – создание технической и технологической основы расчетной модели).

2. Сбор материалов и оформление базы данных, характеризующей гидрогеологическое строение района, природные факторы и условия колебаний напорного поля, данные гидродинамического мониторинга (второй операционный элемент гидрогеосейсмической методики – создание

геологической, гидрогеологической и геофизической основ расчетной модели).

3. Схематизация технических, технологических и гидрогеологических условий, заданий начальных и граничных условий моделирования (третий операционный элемент гидрогеосейсмической методики – обоснование структуры расчетной модели и тестовых задач моделирования различающихся условиями; выбор программных комплексов для моделирования).

4. Численное моделирование колебаний напорного поля горизонта, возбуждаемых технологическим режимом эксплуатации скважин (четвертый операционный элемент гидрогеосейсмической методике – получение экспериментального материала для решения задач следующих этапов).

5. На основе выполненного численного моделирования поучение зависимостей амплитудного затухания колебаний в напорном поле в заданных начальных и граничных условиях возбуждения горизонта скважинами (пятый операционный элемент гидрогеосейсмической методике – обоснование волновых критериев для определения границ гидродинамического влияния скважин в режиме их эксплуатации).

6. Районирование области волновых колебаний напорного поля, возбуждаемого неравномерно прерывистым режимом работы скважин, на функциональные зоны гидродинамического мониторинга (шестой операционный элемент гидрогеосейсмической методике – обоснование критериев и методики волнового районирования напорного поля; карта волнового районирования как основа оптимизации системы гидродинамического мониторинга).

7. Идентификация волновой гидродинамической модели колебания напорного поля, вызванного неравномерно прерывистым режимом эксплуатации скважин, с натурными данными режимных наблюдений за уровнями подземных вод (седьмой операционный элемент

гидрогеосейсмической методике – обоснование критериев подобия в анализе связей натуральных и модельных данных).

4. ВЫЯВЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ГТС НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ НАПОРОВ В НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

Целью данного раздела является: выявление технологического воздействия работы полигона на колебание напоров в наблюдательных скважинах и выделение частотных составляющих технологического и природного колебаний в общем спектре. В настоящее время в гидрогеологии подобные методы изучения режима подземных вод используются только для анализа и прогноза природных колебаний уровней грунтовых вод, цикличностей и ритмов различной продолжительности [49].

Различие характеристик колебаний напорного поля водоносных горизонтов, возбуждаемых природными факторами и режимом эксплуатации скважин полигона и водозабора – основа и главное условие их разделения и количественных оценок при анализе натуральных наблюдений напоров в скважинах объектных систем мониторинга. На основе полученных результатов статистического анализа эксплуатационного режима работы скважин полигона и водозабора и данных режимных наблюдений природных колебаний напоров выделяются следующие различия:

- цикличность природных колебаний напоров имеет сезонный характер.
- технологический режим эксплуатации скважин имеет неравномерно-прерывистый характер и возбуждает колебания напорного поля с различными амплитудами. Время работы и простоя скважин не совпадают как в пределах отдельных технологических циклов, так и от цикла к циклу. Но длительности в своих средних значениях находятся в пределах длительностей природных колебаний.

В решении задачи вычленения и количественной оценки природной и техногенной составляющей в режиме колебаний напоров в наблюдательных скважинах систем объектного мониторинга необходимо диагностировать перечисленные различия.

Как известно [3], любой сигнал можно представить совокупностью гармонических составляющих (гармоник) – в виде тригонометрического ряда Фурье. Для точного представления сигнала требуется бесконечное число гармоник, но на практике оно всегда ограничено. Совокупность этих весов называется "спектром".

Разложение наблюдаемого сигнала или поля на различные частотные составляющие, что и представляет сущность спектрального анализа, уже само по себе дает много информации о структуре сигнала или поля [86]. При этом важно подчеркнуть применимость спектрального анализа для описания свойств геофизических сигналов и полей, заданных как детерминированными, так и случайными функциями.

В настоящее время спектральный анализ объединяет методы анализа Фурье и статистического анализа временных, в том числе любых дискретных последовательностей наблюдаемых значений. Отметим, что при обработке данных конечной длительности, к которым относятся все геофизические наблюдения, спектральный анализ оказывается более предпочтительным.

Решались две задачи:

1. Нахождение спектров колебания напоров в наблюдательных, контрольных и нагнетательных скважинах.
2. Анализ и выделение в спектрах натуральных наблюдений технологической и природной составляющей.

4.1. Методика расчетов

Исходными данными для расчетов являются значения полевых замеров гидростатических уровней в наблюдательных (Сн-84, Сн-93, Сн-98, Сн-101, Сн-106) и контрольных скважинах, вскрывающих II технологический горизонт. Интервал времени ограничен 4 годами, с 1 января 2005 до 31 декабря 2008 г., дискретность записи – один раз в месяц.

Для примера ниже приведены данные замеров в скважине Сн-93 (рис. 4.1), которая расположена на расстоянии 9,8 км от центра полигона и

фиксирует только природные колебания. В нашем случае наблюдения дискретны, и их частота составляет один замер в месяц.

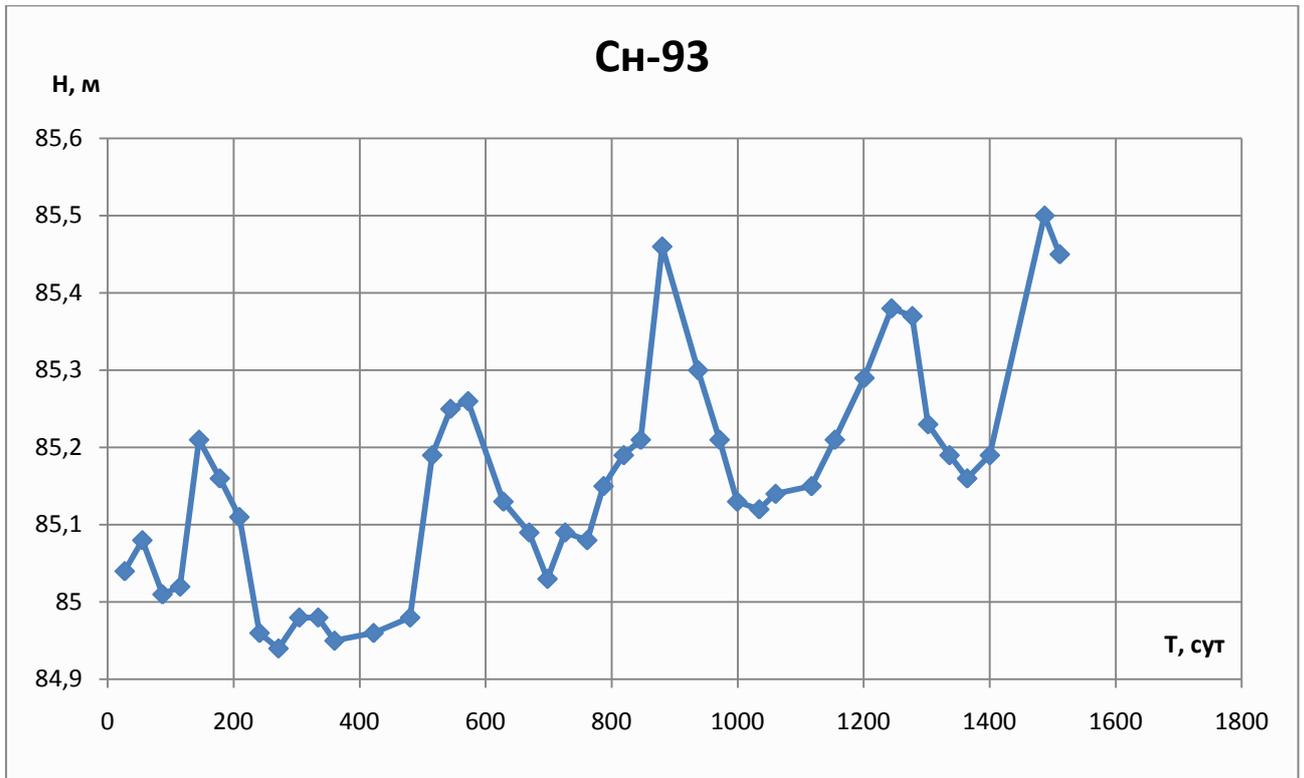


Рис. 4.1. Кривая колебаний напоров в наблюдательной скважине Сн-93

Для расчета спектра чистого технологического режима исходным материалом являлась расчетная кривая эксплуатационной скважины Н-18 (рис. 3.12). Расчетные значения напоров в этой скважине приводились в соответствие с временными интервалами в наблюдательных скважинах.

Для случайных процессов основной характеристикой является автокорреляционная функция (АКФ). Существует непосредственная связь между характером АКФ и внутренней структурой соответствующего случайного процесса в зависимости от того, какие частоты и в каких соотношениях преобладают в составе случайного процесса. Спектр показывает, какого рода колебания (гармоники) преобладают в данном процессе, какова его внутренняя структура.

Вычисление АКФ производится по формуле:

$$R(\tau) = \frac{1}{n-|\tau|} \sum_{i=1}^{n-|\tau|} (f_i - \bar{f})(f_{i+\tau} - \bar{f}) \quad (4.1)$$

где τ – разность аргументов, принимающая последовательно значения $0, \pm\Delta, \pm2\Delta, \dots; f_i$ – i -тое значение функции; \bar{f} , – среднее значение функции.

Ниже приведем значения АКФ для некоторых скважин (рис. 4.2).

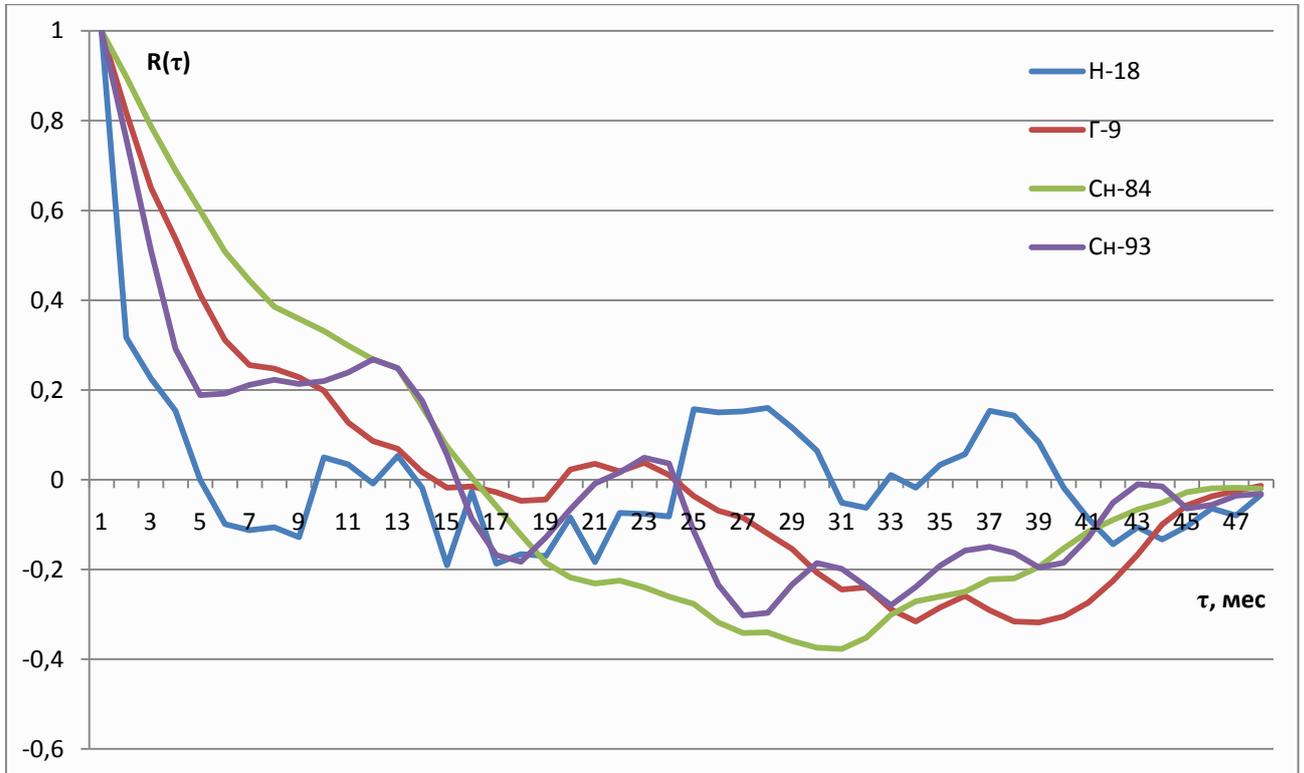


Рис. 4.2. Автокорреляционная функция колебаний напоров в скважинах Н-18, Г-9, Сн-84 и Сн-93

Спектр для стационарного случайного процесса вычисляется по автокорреляционной функции и описывает распределение дисперсий по различным частотам. Поскольку АКФ – четная функция, то при разложении в ряд Фурье учитываются только четные (косинусные) гармоники. Тогда для АКФ $R(i)$ как дискретного сигнала имеем

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \cos\left(\frac{2\pi mi}{n}\right)$$

где R_i – значение АКФ в i -ой точке; m – номер гармоники, изменяющийся от 1 до $n/2$, n – общее количество значений функции.

Расчеты проводились в программе Microsoft Excel.

4.2. Анализ результатов и выводы

Прежде, чем приступать к выделению в спектрах натуральных наблюдений технологической и природной составляющей, необходимо охарактеризовать их в отдельности.

Начнем с анализа природных колебаний. В качестве природных колебаний в данном водоносном горизонте приняты колебания в скважинах Сн-93 и Сн-106, находящиеся на значительном удалении от полигона и друг от друга. Спектральная плотность дисперсии этих колебаний имеют хорошую сходимость и два локальных максимума на периодах 6 и 12 месяцев (рис. 4.3). Выделенные периодичности согласуются с анализом природного режима, приведенным во второй главе. В каждом годовом цикле природных колебаний выделяется четыре основных экстремума: максимального весеннего подъема, глубокого летнего спада, слабого осеннего подъема и незначительного зимнего снижения.

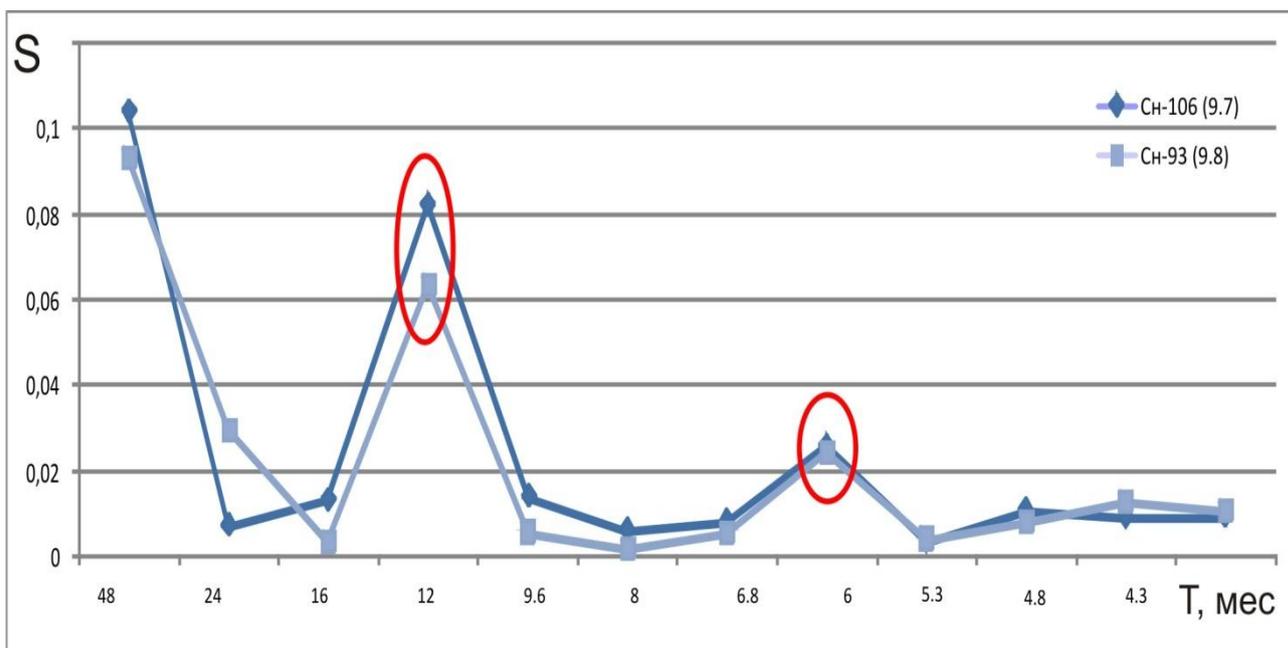


Рис. 4.3. Спектральная плотность дисперсии колебаний в скважине Сн-93, Сн-106 (цифры в скобках расстояние скважины от центра полигона в км)

Далее рассмотрим спектральную плотность дисперсии техногенного воздействия (скв. Н-18) (рис. 4.4).

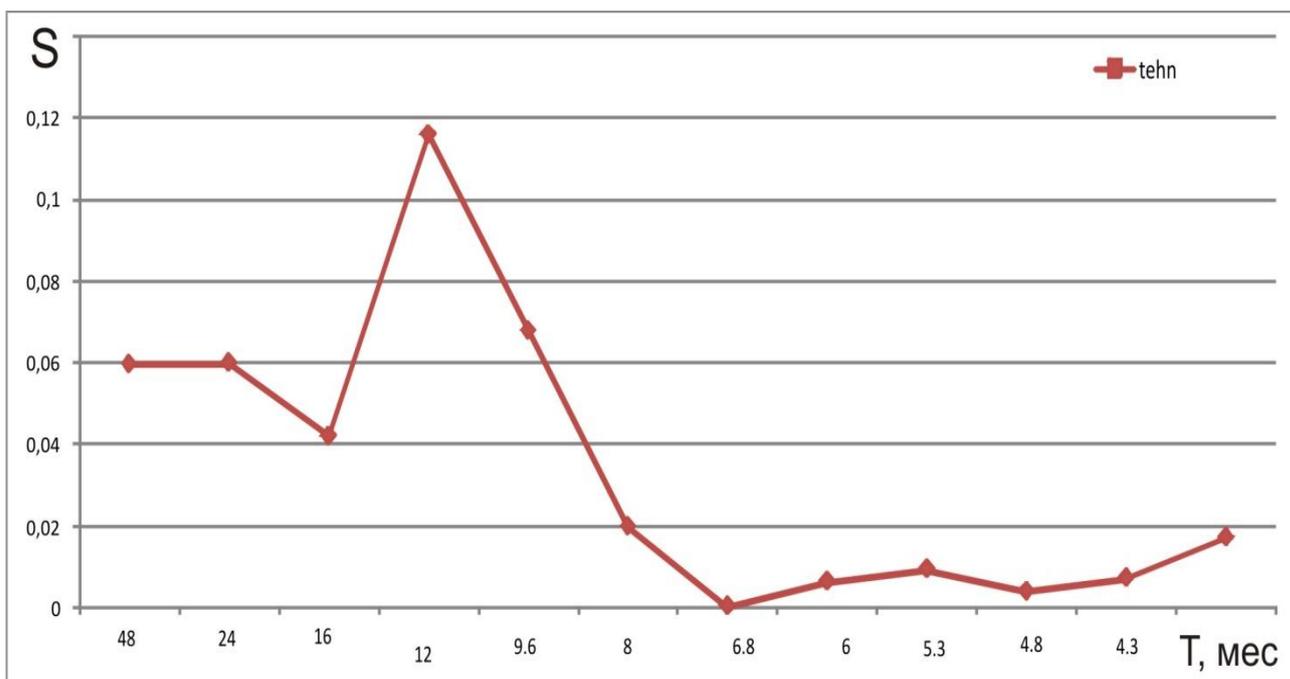


Рис. 4.4. Спектральная плотность дисперсии колебаний в скважине Н-18

Из рисунка видно, что выделяется одна основная гармоника с периодом в 12 месяцев. Как оказалось, технологический режим закачки тоже представляет собой периодичный процесс с периодом в один год. Такая периодичность связана с наполнением открытых хранилищ осадками и тальми водами, что диктует жесткие временные рамки для периода остановки нагнетания и проведения годовых планово-профилактических мероприятий на подобных полигонах, обычно они приходящихся на конец лета [38]. Однако стоит заметить что, несмотря на одинаковую периодичность, максимумы природных и технологических колебаний сдвинуты по фазе.

В спектральной плотности дисперсии техногенных колебаний так же ожидалось наличие максимума на периоде в 1 месяц, т.к. вышеприведенная статистическая оценка математического ожидание периодов работы эксплуатационных скважин полигона равна 27 дней. Но такие высокие частоты невозможно подсесть, потому что дискретность исходного сигнала превышает эту величину. Кроме этого их изучение не представляет большого интереса, поскольку область распространения высокочастотных колебаний невелика [61].

Описав частотные составляющие природных и техногенных колебаний, рассмотрим, как ведет себя спектральная плотность дисперсии колебаний напоров в тех скважинах, которые находятся под воздействием двух этих факторов (рис. 4.5).

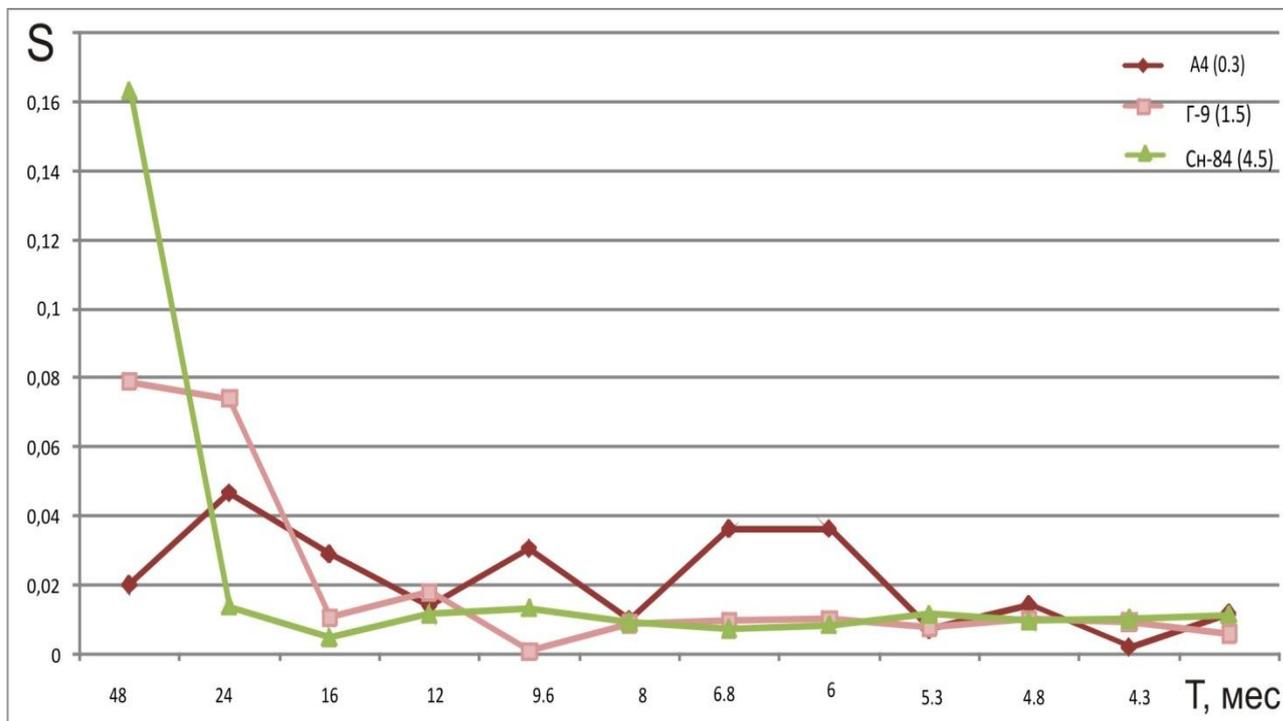


Рис. 4.5. Спектральная плотность дисперсии колебаний в скважине А4, Г-9, Сн-84 (цифры в скобках расстояние скважины от центра полигона в км)

Как видно из рисунка 4.5, уверенно выделить какую-то определенную общую частоту проблематично. Такая картина может объясняться наложением двух близко периодичных случайных процессов, с непростыми взаимодействиями между скважинами, осложненных геологическими и фильтрационно-емкостными неоднородностями. Тем самым основным критерием выявления отсутствия технологического воздействия в спектральной плотности дисперсии является наличие 2х максимумов на периодах 6 и 12 месяцев и соответствию виду спектральной плотности дисперсии природных колебаний (рис. 4.3).

Таким образом, выполненные расчеты показали влияния техногенной составляющей в натуральных колебаниях напоров во всех контрольных скважинах и в наблюдательных скважинах единой системы контроля недр, расположенных на расстояниях менее 7 км от центра полигона.

Фурье-анализ является альтернативным способом выявления отсутствия технологической составляющей в режимных наблюдениях напоров в скважинах. Выявлены признаки в спектральной плотности дисперсии колебаний уровней подземных вод в наблюдательных скважинах системы гидродинамического мониторинга двух режимообразующих факторов: технологического (эксплуатация полигона) и природного (гидролого-климатического).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных в диссертационной работе исследований дано решение актуальной научно-практической задачи оценки гидрогеодинамических границ влияния горнотехнических систем и оптимизации систем мониторинга. Основные выводы, научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Изучен прерывистый режим работы полигона захоронения ЖРО СХК и Томского водозабора: закон распределения периодов работы и простоя для обоих объектов соответствует логнормальному распределению. Так же были оценены основные статистические параметры для периодов работы и простоя скважин: математическое ожидание и дисперсия.

2. Различие характеристик колебаний напорного поля водоносных горизонтов, возбуждаемых природными факторами и режимом эксплуатации скважин полигона и водозабора – основа и главное условие их разделения и количественных оценок по данным натурных наблюдений напоров в скважинах объектных систем мониторинга.

3. Выявлено технологическое воздействие работы полигона на колебание напоров во всех контрольных скважинах и в наблюдательных скважинах единой системы контроля недр, расположенных на расстояниях менее 7 км от центра полигона.

4. На основе гидрогеосейсмической технологии обоснованы границы гидродинамического влияния полигона захоронения ЖРО СХК. Построена карта волнового районирования. Размеры радиусов зон: I – 900–1100 м, II – 4000–8600 м в зависимости от направлений, которые определяются неоднородностью геологического строения и, соответственно, распределением фильтрационно-емкостных свойств пластов.

5. В результате численного моделирования Томского водозабора построена так же карта волнового районирования. Граница зоны ближнего воздействия равна 600 м, а зоны дальнего воздействия равна $R_{max} = 1800$ м.

6. Разработана основа программы оптимизации гидродинамического мониторинга санитарно-защитной зоны полигона, позволяющая сократить расходы на проведение геоэкологического мониторинга при увеличении информативности об экологической обстановке района.

7. Дальнейшие исследования планируются в трех направлениях. Первое – расширение области применения гидрогеосейсмической технологии за счет увеличения круга горнотехнических систем (прежде всего нефтегазовые промыслы). Второе – увеличение функциональности – применение технологии при обосновании режима эксплуатации ГТС, при которых обеспечивается управление размерами репрессивных и депрессионных воронок, водонефтяных контактов, границ раздела вод различного состава. Третье направление – более детальное изучение факторов, влияющих на изменение напоров в наблюдательных скважинах, находящихся в зоне влияния ГТС, и разработка методик по их вычленению и оценок.

Список литературы

Опубликованная

1. Акулинчев Б.П. Повышение эффективности гидрогеоэкологического контроля на полигонах хранения жидких производственных отходов в глубоких водоносных горизонтах // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ» – № 1, 2007. – С.15–18.
2. Ананьев Ю.С. Геоинформационные системы. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 69 с.
3. Афонский А. А., Дьяконов В. П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики // под ред. проф. В. П. Дьяконова. – М: СОЛОН-Пресс, 2009. – С. 248.
4. Балаян Н. М., Косгрин Л. В. Разностный метод расчета фильтрации тиксотропной жидкости с переменным спектром релаксации // Исследования по подземной гидромеханике. – Казань: Изд-во КГУ, 1991. – С.11–17.
5. Баренблатт Г.И. О некоторых приближенных методах в теории одномерной неустановившейся фильтрации жидкости при упругом режиме // Изв. АН СССР. – 1954.– № 9. – С. 35–49.
6. Баренблатт Г.И., Битов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. – М.: Недра, 1984. – 211 с.
7. Башмаков В.И., Боровский Л.В., Вартамян Г.С. и др. Исследование водоносных горизонтов методом колебаний //Водные ресурсы. – 1986. – Т. 13.– № 12. – С. 234–239.
8. Бочеввер Ф.М. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнений. – М.: Недра, 1972. – 129 с.
9. Бочеввер Ф.М. Теория и практические методы расчета эксплуатационных запасов подземных вод. – М.: Недра, 1968. – 328 с.
10. Бродский П. А., Фионов А. И., Тальнов В. Б. Опробование пластов приборами на кабеле. – М.: Недра, 1974. – 208 с.
11. Бузинов С.Н., Умрихин И.Д. Гидродинамические методы исследования скважин и пластов. – М.: Недра, 1973. – 248 с.
12. Бузинов С.Н., Умрихин И.Д. Исследование пластов и скважин при гармоническом законе возбуждения пласта // Изв. АН СССР. Серия. Механика и машиностроение. – 1960. – № 4. – С. 48–52.
13. Бузинов С.Н., Умрихин И.Д. Исследование пластов и скважин при упругом режиме фильтрации.– М.: Недра, 1964. – 272 с.
14. Букаты М.Б. Геоинформационные системы и математическое моделирование (ГИС и ММ): учеб. пособие / М.Б. Букаты; Томский политехнический институт. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 75 с.
15. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия ТПУ. – 2002. – Т. 305. – В. 6. – С. 346–365.
16. Букаты М.Б. Численное моделирование гидрогеохимических

процессов в фильтрационном потоке // Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды. – Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – С. 10–13.

17. Бураков М.М. К определению фильтрационных параметров водоносных пластов по результатам прослеживания свободных и вынужденных колебаний уровней подземных вод // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1999. – № 6. – С. 97–108.

18. Бураков М.М. К оценке геофильтрационных параметров по результатам прослеживания свободных колебаний пьезометрического уровня в скважинах // Вода: экология и технология: труды II Междунар. конгресса. – Москва, 17–21 сент. 1996 г. – М.: SIBICO International, 1996. – С. 345–349.

19. Бураков М.М. К теории релаксационной фильтрации подземных вод // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1994. – № 3. – С. 265–269.

20. Бураков М.М. Об одном представлении колебаний уровней подземных вод с собственными частотами // Водные ресурсы. – 1994. – Т. 21. – № 1. – С. 69–71.

21. Бураков М.М. Об уравнении движения жидкости в теории релаксационной фильтрации // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1994. – № 6. – С. 79–84.

22. Буторина М.В., Воробьев П.В., Дмитриева А.П. и др. Инженерная экология и экологический менеджмент. – М.: Логос, 2002. – 528 с.

23. Вартамян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли // ДАН СССР – 1982. – Т. 262. – № 2. – С. 310–314.

24. Варламов П.С. Определение параметров перспективных горизонтов с помощью испытателя пластов на кабеле // Бурение нефтяных и газовых скважин. – 1967. – Вып. 1. – С. 51–55.

25. Вартамян Г.С., Бредехоефт Дж.Д., Роуэллоффс Э. Гидрогеологические методы исследования тектонических напряжений // Сов. геология. – 1991. – № 9. – С. 3–12.

26. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

27. Веселов В.В., Бураков М.М. Некоторые следствия теории релаксационной фильтрации подземных вод // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1998. – № 4. – С. 81–89.

28. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1981. – 512 с.

29. Вольницкая Е.П., Вольницкая Э.М., Лурье М.В., Прилепский В.П. Определение гидрогеологических параметров водопроводящих коллекторов методом импульсного воздействия на пласт // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1999. – № 5. – С. 83–88.

30. Врублевский В.А., Нагорский М.П. и др. Геологическое строение области сопряжения Кузнецкого Алатау и Колывань-Томской складчатой зоны. – Томск: Изд. ТГУ, 1987. – 95 с.

31. Гавич И.К. Гидрогеодинамика: учеб. пособие / И. К. Гавич. – М.: Недра, 1988. – 348 с.

32. Гавич И.К. Теоретические основы изучения движения подземных вод в земной коре // Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 7–105.
33. Геологический словарь. – Т.1. – М.: Недра, 1983. – 486 с.
34. Григоренко С.Ф. Теоретические основы и методика определения фильтрационных свойств по характеристикам колебательного процесса в системе скважина–водоносный горизонт. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – М., 1992. – 24 с.
35. Данилов В.В. Математическое моделирование глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов (на примере Сибирского химического комбината). Автореф. дисс. к.г.-м.н. – Томск, 2010. – 26 л.
36. Дияшев Р.Н., Костерин А.В., Скворцов Э.В. Фильтрация жидкости в деформируемых нефтяных пластах. – Казань: изд-во Казанского математического общества, 1999. – 238 с.
37. Ершова С.Б. Анализ новейших движений при инженерно-геологическом районировании (на примере Зап.- Сиб. плиты). – М.: МГУ, 1976. – 113 с.
38. Заведий Т.Ю. Моделирование температурного поля при нагнетании технологических жидких радиоактивных отходов в пласт-коллектор // Известия ТПУ. – 2010. – Т.317. – № 1. – С. 188–194.
39. Зубков А.А., Макарова О.В., Данилов В.В. и др. Техногенные геохимические процессы в песчаных пластах-коллекторах при захоронении жидких радиоактивных отходов // Геоэкология. – 2002. – № 2. – С. 133–144.
40. Иванов К.В., Казанский Ю.П. Материалы по изучению коры выветривания Томского района // Вестник Западно-Сибирского и Новосибирского геологического управления. – 1995. – № 3. – С. 87.
41. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
42. Исякаев В. А., Лиховол Г. Д. О сферическо-радиальной фильтрации жидкости и газа при отборе с переменным дебитом // Прикладная механика. Институт механики АН УССР. – 1973. – Т. 9. – № 9. – С. 118–122.
43. Каменский Г.Н. Основы динамики подземных вод. – М.: Госгеолтехиздат, 1943. – 213 с.
44. Киссин И.Г. Гидрогеологический мониторинг земной коры // Физика Земли. – 1993. – № 8, – С. 58–69.
45. Ковалевский В.С. Исследования режима подземных вод в связи с их эксплуатацией. – М.: Недра, 1986. – 198 с.
46. Ковалевский В.С. Многолетняя изменчивость ресурсов подземных вод. – М.: Наука, 1983. – 205 с.
47. Ковалевский В.С. Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод. – М.:Недра, 1973. – 152 с.
48. Ковалевский В.С. Формирование режимов подземных вод // Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 106–

209.

49. Коноплянцев А.А., Семенов С.М. Прогноз и картирование режима грунтовых вод. М.: Недра, 1974. – 216 с.

50. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине Елизаровская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями // Вулканология и сейсмология. – 2001. – № 2 – С. 39–52.

51. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 6. – С. 53–63.

52. Копылова Г.Н., Бормотов В.А. Эффекты сейсмичности в изменениях уровней воды глубоких скважин сейсмоактивных районов Дальнего Востока: методика диагностики и результаты // Закономерности строения и эволюции геосфер: труды VI Междунар. научн. симпозиума. – Хабаровск: ДВО РАН, 2004. – С. 134–149.

53. Копылова Г.Н., Любушин А.А. (мл.), Малугин В.А. и др. Гидродинамические наблюдения на Петропавловском полигоне, Камчатка // Вулканология и сейсмология. – 2000. – № 4. – С. 69–79.

54. Копылова Г.Н., Смолина И.И. Вариации уровня воды в скважинах Камчатки в период Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г. // Девятые геофиз. чтения им. В.В. Федынского. – Тверь: Гере, 2007. – С. 15.

55. Крайнов С.Р. Обзор термодинамических компьютерных программ, используемых в США при геохимическом изучении подземных вод. Система компьютеризации научных лабораторий США // Геохимия. – 1993. – № 5. – С. 685–695.

56. Крауфорд К. Волны. Берклиевский курс физики. – Перевод с англ. // под ред. А.И. Шальникова и А.О. Вайсенберга. – Т. III. – изд. 2-е. испр. – М.: Наука, 1976. – 528 с.

57. Кузьменко Э.Д. Обработка и интерпретация данных расходомерии скважин при восстановлении давления в режиме затухающих свободных колебаний // Гидрогеология и инженерная геология. Отечественный производственный опыт. – 1984. – В. 4. – ЭИ ВИЭМС. – С. 19–27.

58. Кунщиков Б.Л., Куншикава М.К. Общий курс геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1972. – 286 с.

59. Кусковский В.С. Проблемы геоэкологии крупных водохранилищ Сибири // Обской вестник. – Томск, 1999. – № 1/2. – С. 75–81.

60. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Гидродинамика. – Т. VI. – М.: Наука, 1986. – 659 с.

61. Лукин А.А., Букаты М.Б., Зубков А.А., Гусев Е.В., Лукин Ал. Ан. Выявление и использование волновых характеристик в напорном поле при обосновании границ гидродинамического влияния горнотехнических систем // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2008. – № 1. С. 35–41.

62. Лукин А.А., Букаты М.Б., Лукин Ал. Ан., Жмурыгина Е.В., Зубков А.А., Данилов В.В. Водобалансовая оценка безопасности подземного захоронения жидких радиоактивных отходов // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Тюмень: Тюменский дом печати, 2009. – С. 395–398.

63. Лукин Ал. Ан. Особенности распространение гидродинамического возмущения от неравномерно работающей скважины в напорном водоносном горизонте // Проблемы геологии и освоения недр: труды VIII Междунар. симпозиума им. академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – С. 252–257.

64. Лукин Ал. Ан., Mathematic modeling of head hydrodynamic field excited by geotechnical systems // Проблемы геологии и освоения недр: труды XII Междунар. симпозиума им. академика М.А. Усова. – Томск; Изд-во ТПУ, 2008. – С. 915–917.

65. Лукин Ал. Ан., Букаты М.Б., Лукин А.А., Зубков А.А. Опыт моделирования низкочастотных гидрогеосейсмических волн // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса и производительных сил Томской области: труды научно-практ. конф. – Новосибирск: СНИИГГИМС, 2004. – С. 190–191.

66. Лукин Ал. Ан., Волновой принцип обоснования границ гидродинамического влияния горнотехнических систем // Записки горного института. – Т. 174. – СПб горный институт, 2008. – С. 13–16.

67. Лукин Ал. Ан., Гидрогеосейсмические критерии обоснования границ влияния гидрогеотехнических систем // Молодые. Дерзкие. Перспективные: каталог 8 регионального конкурса бизнес-идей и научно-исслед. разработок. – СПб, 2005. – С. 41.

68. Лукин Ал. Ан., Гидросейсмическое обоснование границ влияния горнотехнических систем // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии № 3 (9) (спец выпуск). Т. 1.– Астраханский ГУ, 2004. – С. 277–281.

69. Лукин Ал. Ан., Зубков А.А., Букаты М.Б., Гусев Е.В., Лукин А.А. Моделирование низкочастотных гидрогеосейсмических волн // Матер. V Междун. научной конф. – Киев, 2004. – С. 171–173.

70. Лукин Ал. Ан. Использование волновых эффектов при обосновании границ влияния горнотехнических систем // Геофизические методы при разведке недр: монография / под ред. Л.Я. Ерофеев, В.И. Исаев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – С. 253–255.

71. Лукин Ал. Ан., Крылатов Н.А., Сысоев В.В. Обоснование гидродинамических границ горнотехнических систем полигона подземного захоронения жидких отходов СХК // Проблемы геологии и освоения недр: труды VIII Междунар. симпоз. им. академика М.А. Усова. – Томск: изд-во ТПУ, 2004. – С. 325–328.

72. Лукин Ал. Ан., Лукин А.А., Букаты М.Б. Моделирование «бегущих» волн в напорном поле при неравномерной работе скважин //

Подземная гидросфера: Матер. Всерос. совещ. по подземным водам востока России. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2006. – С. 346–349.

73. Лукин Ал. Ан., Лукин А.А., Зубков А.А., Букаты М.Б., Гусев Е.В. «Бегущие волны» в напорном гидрогеодинамическом поле – опыт моделирования // Новые идеи в науках о Земле: труды VII Межд конфер. – Т.4. – М.: КДУ, 2005. – С. 131–132.

74. Лукин Ал. Ан., Макушин Ю.В., Лукин А.А., Нейфильд В.В., Четвергов Д.Н. Возбуждение Томским водозабором подземных вод затухающих бегущих волн в напорном поле // Матер. Всерос. совещ. по подземным водам востока России. – Тюмень: Тюменский дом печати, 2009. – С. 450– 453.

75. Лукин Ал. Ан. Моделирование низкочастотного возбуждения гидрогеодинамического поля // Матер. XII Междун. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов». – Москва. – Т. 1. – С. 45–47.

76. Лукин Ал. Ан., Нейфильд В.В. Hydrogeoseismic technology of the assessment to an environmental impact of geotechnical systems // (Гидрогеосейсмическая технология оценки воздействия на окружающую среду горнотехнических систем) // Высокоразбавленные системы: массоперенос, реакции и процессы: труды III Российско-германского семинара «КарлсТом». – Томск. – 2008. – С. 224– 236.

77. Лукин Ал. Ан., Шмурыгина Е.В. Ресурсы и водный баланс технологических водоносных горизонтов в районе полигонов подземного захоронения жидких радиоактивных отходов (СХК) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIII Международного симпозиума им. академика М.А. Усова. – Томск, изд-во ТПУ, 2009. – С. 207–209.

78. Максимов В.М., Бабушкин В.Д., Паукер Н.Г. Справочное руководство гидрогеолога. – Т.1. – Л.: Недра, 1967. – 592 с.

79. Мирзаджанзаде А.Х., Огибалов П.М., Керимов З.Г. Термо-вязоупругость и пластичность в промысловой механике. – М.: Недра, 1973. – 279 с.

80. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 611 с.

81. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. – М.: Недра, 1978. – 325 с.

82. Молокович Ю.М., Марков А.И., Давлетшип А.А., Кушшпова Г.Г. Пьезометрия окрестности скважин. Теоретические основы. – Казань: изд-во ДАС, 2000. – 203 с.

83. Молокович Ю.М., Непримеров Н.Н., Релаксационная фильтрация. – Казань: изд-во Казанского ун-та, 1980. – 136 с.

84. Мониторинг месторождений и участков питьевых подземных вод (метод. рекомен.). – М.: ПР РФ, 1998. – 743 с.

85. Муфтахов А.Ж. Определение фильтрационных параметров водоносных горизонтов, расположенных в прибрежной зоне // Водные

ресурсы. – 1986. – № 3. – С. 174–178.

86. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебн. пособие / А. А. Никитин. – М.: Недра, 1986. – 342 с.

87. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. – М.: Недра, 1996. – 447 с.

88. Овчинников М.Н. Интерпретация результатов исследований пластов методом фильтрационных воли давления. – Казань: ЗЛЮ Новое знание, 2003. – 84 с.

89. Овчинников М.Н. Об одном методе идентификации моделей фильтрации // Известия вузов. Нефть и газ. – 2002. – № 4. – С. 22–25.

90. Овчинников М.Н., Гаврилов А.Г., Штанин А.В., Гарипов Б.М. Экспериментальные исследования фильтрационных параметров пластов на режимах гидродинамического самопрослушивания и взаимодействия скважин // Труды Междун. форума по проблемам науки, техники и образования. – М.: Академия наук о Земле, 2001. – Т.3. – С.151–152.

91. Огильви Н.А. Физические и геологические поля в гидрогеологии. – М.: Наука, 1974. – 160 с.

92. Петрофизика: учебник для вузов / Вахромеев Г.С., Ерофеев Л.Я., Канайкин В.С., Номоконова Г.Г. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 520 с.

93. Полканова Б.Б. Новейшие горизонтальные смещения земной коры в Западной Сибири // География и природные ресурсы. – 1980. – № 2. – С. 167–170.

94. Попов В.К., Коробкин В.А. Формирование и эксплуатация подземных вод Обь-Томского междуречья. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2002. – 143 с.

95. Рихванов Л.П., Адам А.М., Нарзулаев С.Б., Капилевич Л.В. и др. Экология Северного промышленного узла города Томска: проблемы и решения. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 346 с.

96. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. – М.: ИздАТ, 1994. – 256 с.

97. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Курочкин В.М., Зубков А.А. и др. Захоронение жидких радиоактивных отходов – практические результаты и последствия для окружающей среды // Геоэкология. – 1999. – № 2 – С. 128–132.

98. Состояние геологической среды на территории Томской области в 1999 г. – Вып. 5. – Томск: ТЦ «Томскгеомониторинг», 2000. – 98 с.

99. Состояние геологической среды на территории Томской области в 2000 г. – Вып. 6. – Томск: ТЦ «Томскгеомониторинг», 2001. – 178 с.

100. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / под ред. М. Абрамовица, И. Стигана. – М.: Наука, 1979. – 694 с.

101. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. – М.: Наука, 1964. – 437 с.

102. Сурков В.С., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного

чехла Западно-Сибирской плиты. – М.: Недра, 1981. – 143 с.

103. Физический энциклопедический словарь (ФЭС) / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Бол. Росс. энциклопедия, 1995. – 928 с.

104. Форхгеймер Ф. Гидравлика. – М.: ОНТИ, 1935. – 616 с.

105. Хисамов Р.С., Сулеймапов Э.И., Фархуллии Р.Г. Гидродинамические исследования скважин и методы обработки результатов измерений. – М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 1999. – 227 с.

106. Христианович С.А. Механика сплошной среды. М., Наука, 1981.

107. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика: учеб. пособие / И. А. Чарный. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 396 с.

108. Черняев Е.В., Кошкарёв В.Л., Колмакова О.В., Седельников А.Ю. и др. Геолого-геофизическая модель Северской площади // Известия ТПУ. Геология поиски и разведка полезных ископаемых Сибири. – 2002. – Т. 305. – Вып. 6. – С. 413–433.

109. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология – М.: Недра, 1996. – 425 с.

110. Шестаков В. М. Гидрогеодинамика – М.: МГУ, 1995. – 368 с.

111. Шестаков В.М. Интерпретация опытных откачек при перетекании между пластами // Вестник МГУ. – 1983. – № 6. – С. 29–38.

112. Шестаков В.М. Принципы геофизико-экологического мониторинга // Геоэкология. – № 4, 1999. – С. 267–270.

113. Шестаков В.М., Ван П.Н. Гидрогеологический мониторинг на участках водозаборов на берегах Воронежского водохранилища // Вестник МГУ, серия геология. – 2004. – № 1. – С. 124–136.

114. Шувалов Ю.В., Губенко А.Л., Домпальм Е.И. Природопользование. – СПб: Изд-во Санкт-Петербург горн. ин-та, 2000. – 181с.

115. Щелкачев В.Н. Основы и приложения теории неустановившейся фильтрации. – М.: Нефть и газ, 1995. – 586 с.

116. Словарь (ЭЭС). – М.: Издательский дом «Ноосфера», 1999. – 930 с.

117. Язиков Е.Г. Геоэкологический мониторинг: учебн. пособие / Е. Г. Язиков, А. Ю. Шатилов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.

118. Biot M.A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solids. *J.Acoust.Soc.Amer.*, 1956, v.28, pp.168–186.

119. Burakov M. M. To the estimating of geofiltrational parameters on the results of the free oscillation observing of head level in wells // *Water: ecology and technology. (International congress). Moscow: SIBICO International, 1996. pp.118–126.*

120. Gavrilov A.G., Ovchinnikov M.N., Shtanin A.V.. Geological structures recognition and evaluation of water saturation in oil fields by the hydrodynamical methods. *Proc.Int.Conf. Geometrization of Physics IV.Kazan, October 4-8, 1999, pp.208–210.*

121. Krauss I. Die Bestimmung der Transmissivitat von Grundwasserleitern aus dem Einschwingverhalten des Brunnen-Grundwasserleitersystems // *J. Geophysics. 1974. – P. 40.*

122. Moran J. H., Finklea E. E. Theoretical analysis of pressure phenomena associated with wireline formation tester // Journal of Petroleum Technology. 1962. V. 14. № 8. P. 899 – 908.

123. Owen, S.J.; Jones, N.L., and Holland, J.P. (1996). "A comprehensive modeling environment for the simulation of groundwater flow and transport". Engineering with Computers. – pp.235–242.

124. PMWIN (Processing Modflow for Windows) help, /<http://www.pmwin.net/index.htm>.

125. Rojstaczer S. Intermediate period response of water levels in weiiisto crustal strain: sensitivity and noise level //J. Geophys. Res., 1988. 93. – R 13619–13634.

126. Rojstaczer S., Agnew D.S. The influence of formation material properties on the response of water levels in wefts to Earth tides and atmospheric loading // J, Geophys. Res., 1989. – V. 94. – P. 12403–12411.

Нормативная

127. ISO 14001:2004 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению».

128. ГОСТ Р ИСО 14001–2007 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению».

129. Регламент технологический по глубинному захоронению жидких низкоактивных отходов на площадке 18 цеха № 4. – Северск: Фонды СХК Инв. № 70/4846 дсп, 2003. – 59 с.

130. РИ-57-01-001–2009 «Рабочая инструкция по производству гидродинамических и геохимических работ в контрольных и наблюдательных скважинах».

131. РИ-57-02-002–2009 «Рабочая инструкция по производству геофизических работ в эксплуатационных, контрольных и наблюдательных скважинах».

132. СанПиН 2.1.4.1074–01 Санитарные правила и нормы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы».

133. СП и ТУ ЭКХ – 93 «Санитарные правила и технические условия эксплуатации и консервации глубоких хранилищ жидких радиоактивных и химических отходов предприятий ядерно-топливного цикла».

134. СТО 274–2009 «Порядок проектирования, сооружения, эксплуатации и ликвидации скважин на комбинате. Общие положения».

Фондовая

135. Бердников А.П. и др. Окончательный отчет Юксинской геолого-съемочной партии за 1958–1960 гг. «Геологическое строение и полезные ископаемые листа 0-45-XXVI». – Томск: Геологические фонды Томскнефтегазгеология, 1961. – 86 с.

136. Ваганов Г.Л., Тимофеев А.Н., Сулакшина Г.А., Зятева О.Ф. Отчет Томь-Яйской партии по работам за 1970–1973 гг. «Гидрогеологические и инженерно-геологические условия листа 0-45-XXXII». – Томск: Геологические фонды Томскнефтегазгеология, 1974. – 86 с.

137. Карлсон В.Л., Емельянова Т.Я., Ермашова Н.А., Колпаков В.Я. Отчет Нелюбинской партии по работам за 1973–1975 гг. «Гидрогеологические и инженерно-геологические условия листа 0-45-XXXI». – Томск: Геологические фонды Томскнефтегазгеология, 1976. – 114 с.

138. Ларченко А.Т., Ларченко Р.И., Горбунов А.И. и др. Сводный отчет «По результатам геолого-гидрогеологических работ за период с 1958 по 1964 гг.». – Димитровград: Фонды СХК, 1964. – 205 с.

139. Макушин Ю.В. (отв. исп.) Переоценка эксплуатационных запасов подземных вод Томского месторождения. – Томск: Томскгеомониторинг, 2005. – 245 с.

140. Модин С.А., Самсонова Л.М. и др. Отчет «Гидрогеологические исследования состояния и прогнозирование изменений геологической среды в районе расположения предприятия п/я в-2994 под воздействием эксплуатации водозаборов подземных вод и полигонов захоронения жидких радиоактивных отходов в водоносные горизонты». – М.: Фонды СХК, 1981–152 с.

141. Подобина В.М. Отчет «Микропалеонтологические исследования полигона подземного захоронения РАО СХК». – Северск: Фонды СХК. – Инв. № 57/1205, 2008. – 20 с.

142. Раззамазов В.Е., Сердюков А.П., Тищенко И.И. Отчет гидрогеологической партии № 17 «О результатах детальной разведки, проведенной в 1983–1988 гг. на участке «Северный». – Димитровград: Фонды СХК, 1988. – 110 с.

143. Слинко А.М., Александрова Л.Н., Черткова Н.Н. и др. Промежуточный отчет по результатам гидрогеологических исследований для оценки безопасности эксплуатации водозаборов хозяйственно-бытового водоснабжения г. Северска. – М.: Фонды СХК, 2000.–151 с.

144. Чернышов Г.А., Гусельников О.А. и др. Окончательный отчет Обской партии по работам 1959–1962 гг. «Геолого-гидрогеологическое строение и полезные ископаемые листа 0-45- XXV». – Томск: Геологические фонды Томскнефтегазгеология, 1963.– 113 с.

145. Шестаков В.М., Данилов В.В. Отчет «Результаты опытно-фильтрационных работ 1999–2000 гг. по кустам скважин системы регионального контроля недр СХК» – Северск: Фонды СХК.– Инв. № 57/138, 1999. – 55 с.