

Лукин Алексей Анатольевич

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

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

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

Официальные оппоненты: Язиков Егор Григорьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор Национального исследовательского Томского политехнического университета

Покровский Дмитрий Сергеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор Томского государственного архитектурно-строительного университета

Ведущая организация: Тюменский государственный нефтегазовый университет

Защита состоится 28 марта 2012 г. в 15 00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.269.12 по защите докторских и кандидатских диссертаций при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования Национальный исследовательский Томский политехнический университет по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5 (20 корпус), ауд. 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВПО НИ ТПУ по адресу ул. Белинского, д. 55.

Автореферат разослан « 27 » февраль 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

А.А. Поцелуев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 колебаний, возбуждаемых технологическим режимом работы скважин полигона и водозабора, гидрогеодинамического напорного поля и районирование функциональных зон геоэкологического мониторинга;
- 3) выделение природной и технологической составляющих колебаний напоров в наблюдательных скважинах находящихся в области воздействия режима работы полигона.

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 ОАО «Томскгеомониторинг» и на Томском водозаборе подземных вод.

Информационная база включает следующие материалы:

1. Картографический материал по району объектов исследования: геологиче-

ские, геофизические, геоморфологические и гидрогеологические карты общего назначения и разрезы к ним; специальные карты: карты гидроизопьез, водопродимости и изопакит водоносных и водоупорных горизонтов.

2. Данные по режимам работы эксплуатационных скважин и объемам закачки/откачки 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 (78 контрольных скважин, в пределах полигона глубинного захоронения ЖРО и его горного отвода, 9 наблюдательных скважин единой системы контроля недр в зоне санитарной охраны СХК и 17 наблюдательных скважинам режимной сети Томского водозабора).

4. Материалы и схематизация краевых условий для моделирования колебаний гидрогеодинамического поля были взяты из моделей, разработанных и использующихся в лаборатории геотехнологического мониторинга СХК и в ОАО «Томскгеомониторинг». 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 модуле 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. Для анализа периодов работы и простоя режима эксплуатационных скважин ГТС применялись стандартные статистические методы.

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 проведен статистический анализ неравномерно-прерывистого режима работы эксплуатационных скважин по их технологическим циклам – периодам работы и простоя.

3. Разработан способ выделения технологической и природной составляющих в натурных 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 качеством и полнотой исходной информации по геоэкологическому мониторингу, фильтрационно-емкостным параметрам и граничным условиям горизонтов моделируемой области, 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 № Е02-9.0-60 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.

Элементы разрабатываемой гидрогеосейсмической технологии могут быть использованы в оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании инженерно-экологических изысканий и эксплуатации обширного класса горнотехнических систем.

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. Область технологических колебаний напорного гидрогеодинамического поля дифференцируется особенностями режима работы горнотехнических систем, что используется при разработке программы оптимизации геоэкологического мониторинга.

3. Анализ спектральной плотности дисперсии колебаний напоров подземных вод 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. 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. Четыре 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 объемом 106 страниц состоит из введения, 4 глав, заключения, списка используемой литературы из 140 наименований, 4 таблиц и 31 рисунка.

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, К.И. Кузеванову 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.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ

Первое защищаемое положение

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.

Обоснование положения преследует цель показать различие частотных характеристик в колебательном режиме возбуждения напорного поля эксплуатационными скважинами ГТС, с одной стороны, и частотных характеристик колебаний напоров, возбуждаемых природными факторами, – с другой, как объективное условие их последующего разделения. В соответствии с целью решаются две задачи: 1) изучение закона и параметров распределения периодов работы (T_p) и периодов простоя (T_n) в технологическом режиме эксплуатационных скважин изу-

чаемых ГТС; 2) выделение характерных периодов и амплитуд природных колебаний напоров водоносных горизонтов района.

Первая задача решается на основе данных технологического мониторинга режима работы нагнетательных и водозаборных скважин, проводимых службами эксплуатации полигонов захоронения ЖРО СХК и Томского водозабора подземных вод. Для решения второй задачи используются данные гидродинамического мониторинга в системе наблюдательных скважин в зоне санитарной охраны рассматриваемых горнотехнических систем. Мониторинг проводят лаборатория геотехнологического мониторинга СХК (полигоны захоронения) и ОАО «Томскгеомониторинг» (Томский водозабор).

Особенности сигнала возбуждения гидродинамического напорного поля и размеры радиусов распространения возбуждаемых колебаний определяются длительностью периодов работы и периодов простоя в технологических циклах режима эксплуатации скважин. Статистические оценки даются по этим параметрам режима работы скважин.

Технологический режим работы скважин *полигона СХК* оценивался в интервале времени с 2005 по 2008 гг. В данном интервале работало 15 эксплуатационных скважин. За это время режим нагнетания в сумме по всем скважинам сформировал в напорном поле технологических горизонтов 256 колебательных периодов. Интервал группирования гистограммы определялся по формуле Стерджеса. Для периодов работы скважин полигона СХК интервал получился равным 35 сут, для периодов простоя – 25 сут.

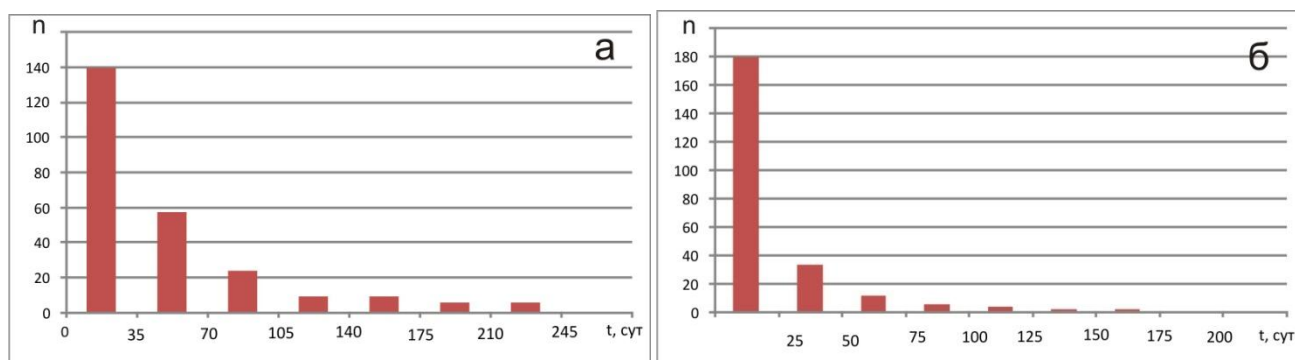


Рис. 1. Гистограммы распределения частоты (n) длительностей периодов работы (а) и периодов простоя (б) скважин в технологическом режиме нагнетания площадки 18 в 2005–2008 гг.

Как видно из гистограмм (рис. 1), распределение близко к логнормальному закону. Статистическая проверка гипотезы о законе распределения производилась с помощью критериев согласия Пирсона. 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.

Методика расчетов основных статистических параметров режима работы **Томского водозабора** проводилась аналогично расчетам по полигонам СХК. Для этого был выполнен анализ характеристик режима за период 1983–2006 гг. по 16 эксплуатационным скважинам (объем выборки 314).

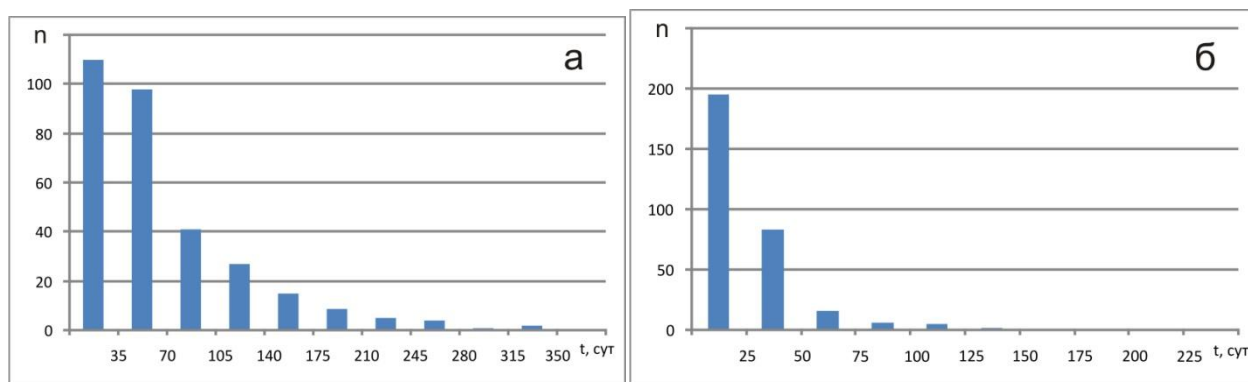


Рис. 2. Гистограмма распределения частоты (n) длительностей периодов работы (а) и периодов простоя (б) в технологическом режиме Томского водозабора в 1983–2006 гг.

Закон распределения для водозаборных скважин также соответствует логнормальной модели распределения (рис. 2). 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.

Несмотря на то, что по результатам статистического анализа режим работы этих горнотехнических систем весьма схож, есть и принципиальные отличия, связанные с групповой работой. Нагнетательные скважины полигона захоронения ЖРО СХК работают синхронно, а скважины водозабора выходят из строя в случайном порядке.

Под естественным (природным) режимом подземных вод понимают изменения во времени и пространстве гидродинамических и гидрогеохимических ха-

рактик и свойств подземных вод под воздействием природных режимобразующих факторов и условий. Режимобразующие факторы – это изменяющиеся во времени 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.

При анализе и оценках природных колебаний напорного поля горизонтов исходили из общей природной закономерности – региональной синхронности режима подземных вод. Основываясь на работах А.А. Коноплянцева и В.С. Ковалевского мы можем заключить, что 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 режимобразующими факторами, прежде всего – метеорологическими.

Проведенный анализ данных натурных наблюдений (раздел 2.4 диссертационной работы) показал, что природные колебания напоров имеют сезонный циклический характер и могут аппроксимироваться гармонической функцией. В каждом годовом цикле природных колебаний выделяется четыре основных экстремума: максимального весеннего подъема, глубокого летнего спада, слабого осеннего подъема и незначительного зимнего снижения. Отмеченная цикличность и сезонная синхронность колебаний характерна как по площади, так и в разрезе.

Второе защищаемое положение

Область технологических колебаний напорного гидрогеодинамического поля дифференцируется особенностями режима работы горнотехнических систем, что используется при разработке программы оптимизации геоэкологического мониторинга.

Для оценки влияние ГТС на гидродинамическое поле выполнено моделирование в двух вариантах: моделирование при одиночной работе скважины (для Томского водозабора подземных вод) и моделирование при групповой работе эксплуатации скважин (полигоны захоронения СХК). Вариант с групповым режимом эксплуатации является более полным. Ниже рассмотрим этот вариант.

Структура расчетной модели формируется четырьмя блоками исходной информации: техническим – конструкция скважин, степень их совершенства при взаимодействии с горизонтом, количество и геометрия размещения скважин; технологическим – эксплуатационные режимы: дебиты и продолжительности периодов работы и простоя скважин; геолого-гидрогеологическим – фильтрационно-емкостные параметры возбуждаемого пласта, условия его залегания и строения, начальные и граничные условия, данные гидродинамического мониторинга в зоне влияния горнотехнической системы; математическим – параметры и размерность модели, программные комплексы, используемые для моделирования, обработки и анализа результатов.

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 (рис. 3, а). Из неё следует, что основными линейными стоками для фильтрационного потока горизонта являются реки Томь, Б. Киргизка и Самуська. Для всех слоев модели поток в вертикальных сечениях 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, а). Область моделирования включает только II водоносный горизонт (рис. 3, б) 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, сэкономив вычислительные и временные ресурсы. В каждом слое модели 39 569 активных ячеек.

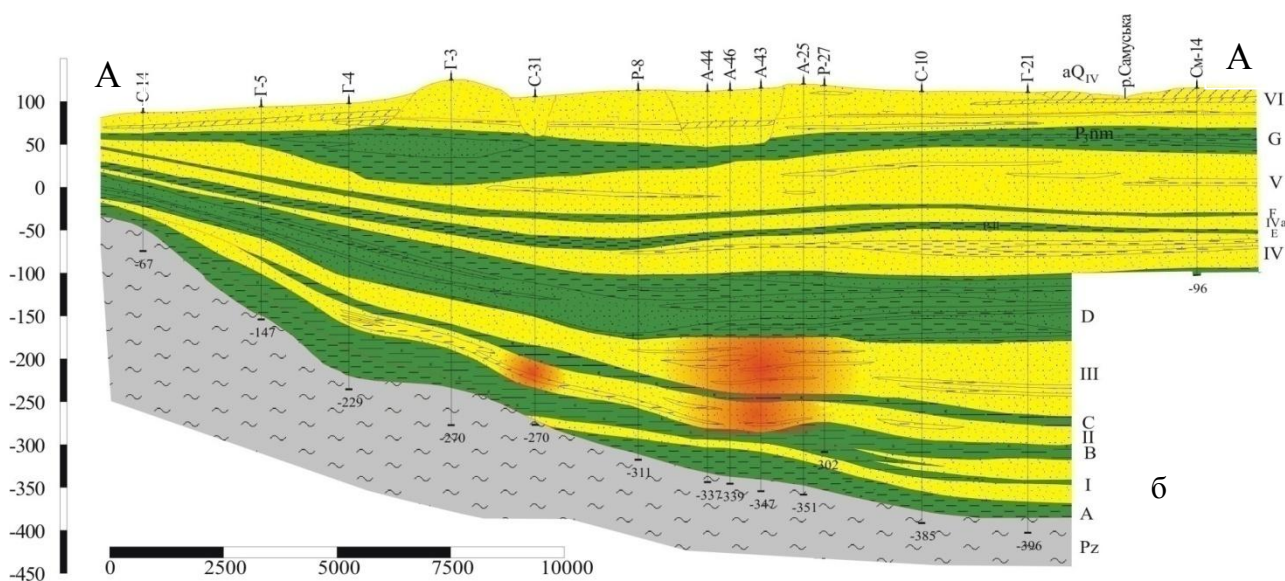
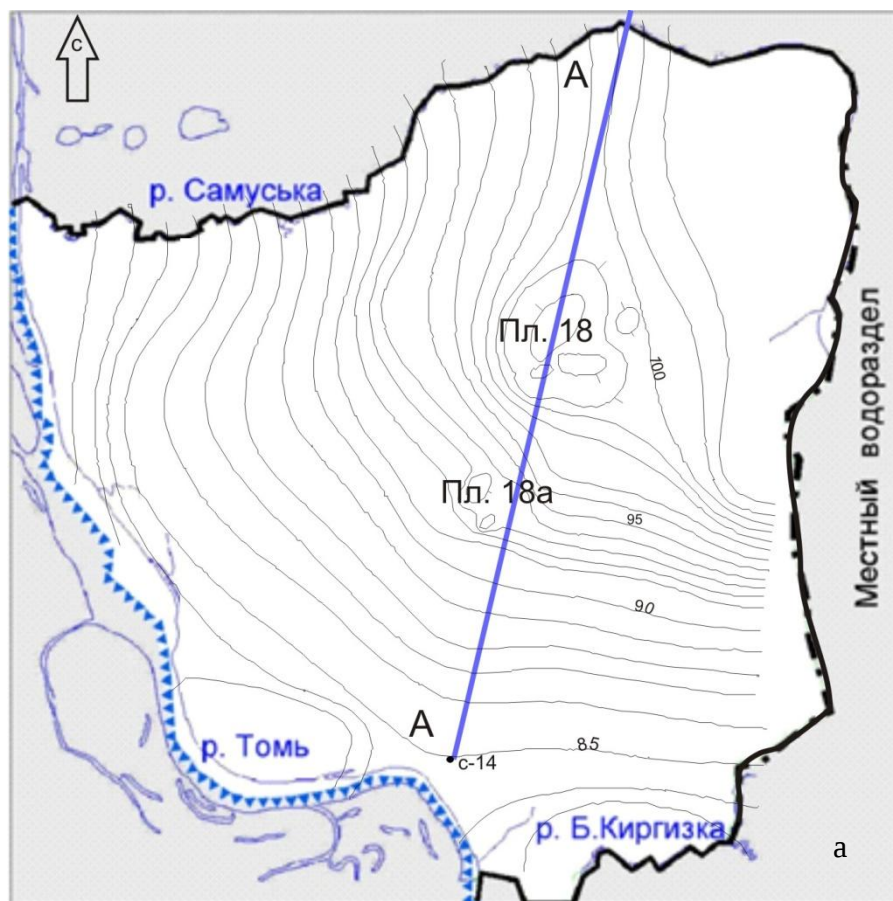


Рис. 3. Карта гидроизопьез II водоносного горизонта (А.А. Лукин, В.В. Данилов, А.А. Зубков, 2001) (а); геотехнологический разрез по линии А-А (В.В. Данилов, А.А. Зубков, 2001) (б): водоносные горизонты обозначены римскими цифрами I–VI, разделяющие их водоупорные пласты – прописными латинскими буквами А–Г

Фильтрационно-емкостные свойства горизонта в каждой ячейке модели задавались на основе карт их распределения, построенных при интерполяции значений между скважинами. Моделировался технологический режим работы полигона СХК в интервале времени с 2005 по 2008 гг. В данном интервале времени работа-

ло 6 эксплуатационных скважин площадки 18. Статистический анализ технологического режима работы описан при обосновании первого защищаемого положения.

На совмещенном графике $H(t)$ (рис. 4) вынесены кривая натурных колебаний гидростатических напоров в контрольной скважине Г-9 и кривая, полученная при моделировании колебаний напоров в той же скважине. Кривая напоров в скважине Г-9, построенная по данным режимных наблюдений, хорошо согласуется с модельной кривой, что свидетельствует о соответствии параметров модели фильтрационно-емкостным свойствам геологической среды.

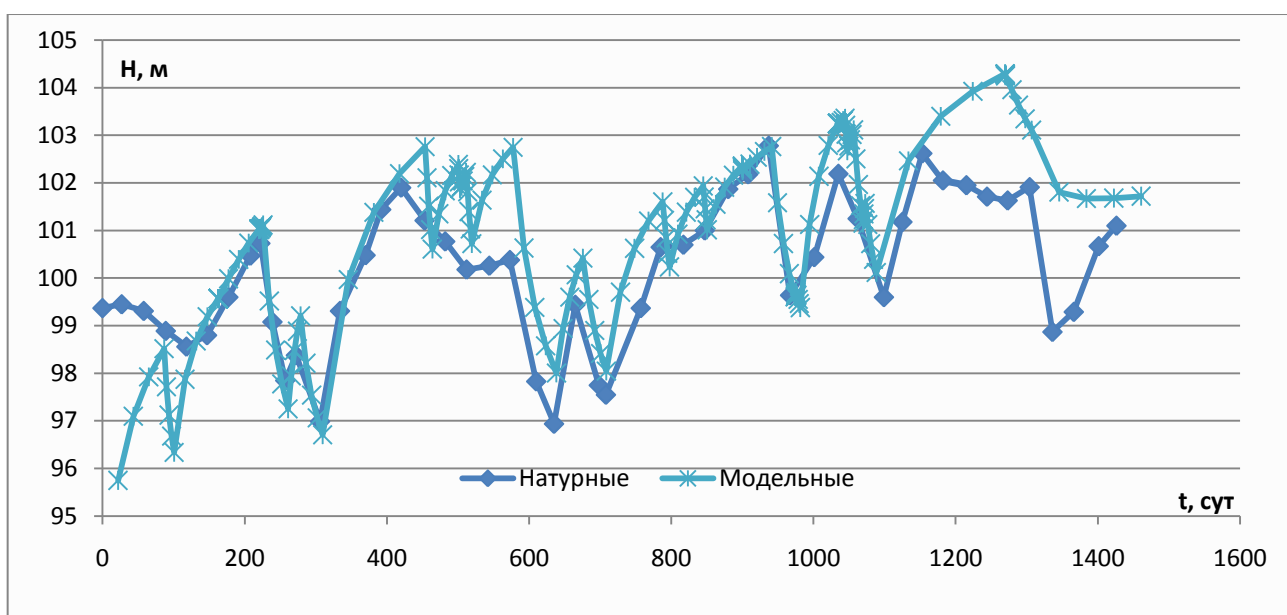


Рис. 4. Кривые натурных и модельных колебаний напоров в скважине Г-9

Характер колебаний напорного поля, возбуждаемого неравномерно прерывистым режимом закачки жидких отходов во все нагнетательные скважины на полигоне захоронения площадки 18, отражен на рисунке 5. Приведены кривые модельных колебаний напоров в скважине Н-18 и точках напорного поля, удаленных от скважины по радиусу-вектору от центра полигона.

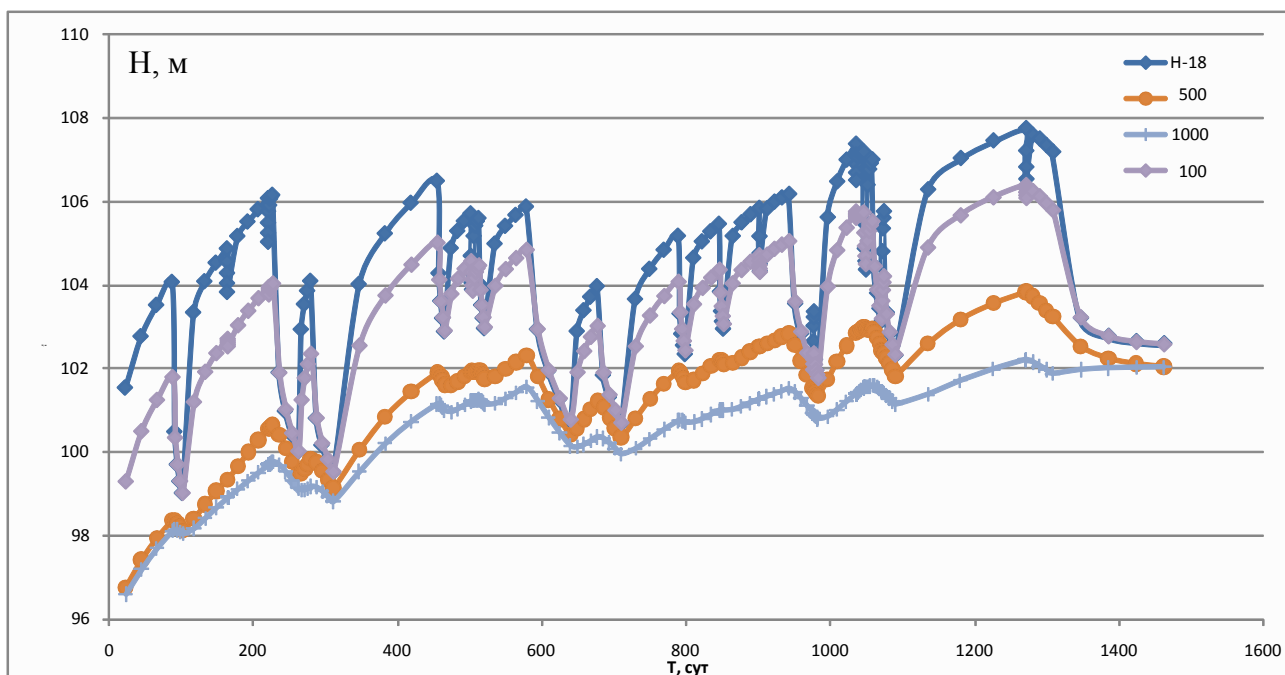


Рис. 5. Совмещенные графики $H(t)$ колебаний фиксированных точек напорного поля при моделировании режима эксплуатации скважин площадки 18 полигона СХК

Для определения границ гидродинамического влияния ГТС выделим две функциональные зоны мониторинга: ближнего и дальнего воздействия. В основе выделения зон лежат статистические параметры режима работы эксплуатационных скважин полигона. Границы зон определяют те модельные значения напоров гидродинамического поля, которые возникают в конце соответствующих периодов времени и оцениваются исходя из следующих критериев:

1. В расчетах границы зоны ближнего волнового влияния режима работы полигона принимаются значения периодов работы и простоя, соответствующих оценочной величине математического ожидания ($\overline{T_p} = 27,35$ сут, $\overline{T_{\pi}} = 5,55$ сут).

2. Максимальные амплитуды возбуждения напорного поля полигоном захоронения возникают при длительной работе и после долгих остановок скважин. Поэтому выберем значения периодов работы и простоя равными $+3\sigma$ от математического ожидания этих периодов. Тем самым интервал ограничивается с достоверностью 99,7 %. Эти периоды формируют статистически 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 меловых горизонтов за предельную амплитуду принята величина 0,5 м, которая соответствует среднегодовым колебаниям уровней подземных вод горизонта в естественных условиях режима.

При построении карты волнового районирования в режиме работы скважин выделялись периоды T_n и T_p , которые отвечают первому и второму критерию. Первый критерий будет соответствовать границе между зоной ближнего и дальнего воздействия, второй – между дальней зоной волнового воздействия и областью природных колебаний. Далее рассчитывалась разность значений полей напоров, соответствующая стресс-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 карты волнового районирования (рис. 6).

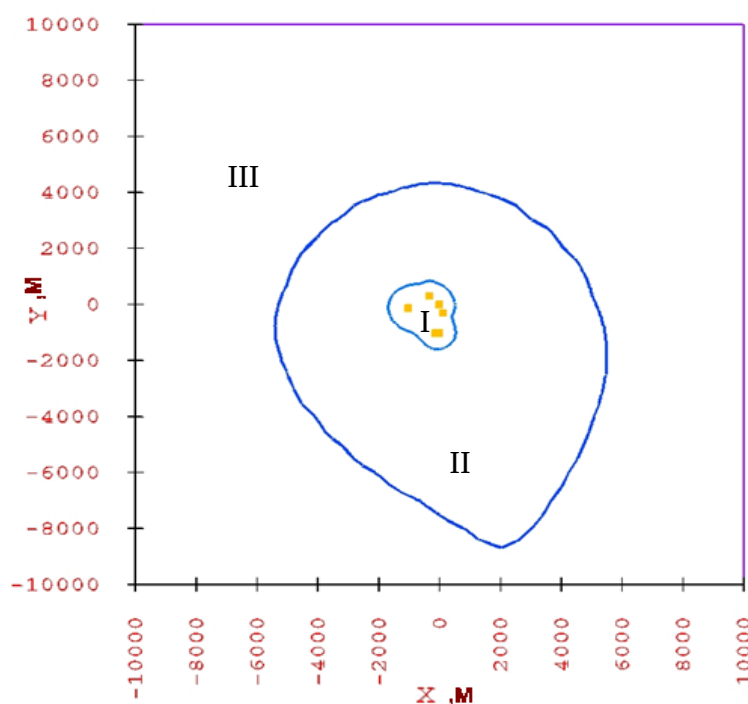


Рис. 6. Карта зон мониторинга волнового районирования полигона захоронения:
I – ближняя зона, II – дальняя зона, III – зона без воздействия

Отсюда следует, что граница амплитудного затухания вынужденных колебаний в заданной гидродинамической системе определяется двумя основными условиями: величиной амплитуды в источнике возбуждения и частотой возбуждения.

Полученные размеры радиуса I зоны равны 900–1100 м, а II зоны – 4900–8600 м и определяются геологическим строением, распределением ФЕС пластов и границами модели.

В описанной методике 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 возбуждений напорного поля 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 в максимальных режимах их эксплуатации. Решение целевой задачи возможно в том случае, если частота замеров уровней в наблюдательных скважинах согласуется в эксплуатационном режиме с длительными остановками скважин. Целесообразно наблюдения за уровнями проводить перед плановой остановкой скважины, в зону влияния которой попадают наблюдательные скважины. 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.

Во внешней зоне естественного режима функциональное назначение геоэкологического мониторинга принимается общепринятым – оценка природных факторов и условий формирования и прогноза режима подземных вод района. Мето-

дику наблюдений в скважинах, находящихся в зоне естественного режима, оставить прежней.

Целевое назначение такой оптимизации системы мониторинга – наблюдение, контроль, прогноз и управление развитием репресссионной воронки, обоснование области нарушенного режима подземных вод, измененного эксплуатацией полигона. Важная сторона оптимизации мониторинга – обоснование размещения необходимого и достаточного количества наблюдательных скважин. Это позволит с наименьшими затратами установить долю влияния 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. Второй фактор – природный, климатический: ход изменения в годовом цикле температурного и водного режимов в атмосфере и сферах влияния этих режимов на поверхностный и подземный водный сток и водный баланс.

Третье защищаемое положение

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

Рассмотрим это на примере полигона подземного захоронения ЖРО СХК. Исходными данными для расчетов являются полевые данные замеров гидростатических уровней в наблюдательных и контрольных скважинах, вскрывающих отложения симоновской свиты. Интервал времени ограничен 4 годами, с 01 января 2005 г. по 31 декабря 2008 г., дискретность записи – один раз в месяц. В связи с тем, что колебания напоров в скважинах считаются стационарным случайным процессом, спектр вычислялся по автокорреляционной функции, и по своему физическому смыслу представляет собой распределение дисперсий по различным частотам.

Прежде, чем приступить 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 имеет хорошую сходимость и два локальных максимума на периодах 6 и 12 месяцев (рис. 7). Выделенные периодичности согласуется с анализом природного режима, приведенного при обосновании первого защищаемого положения.

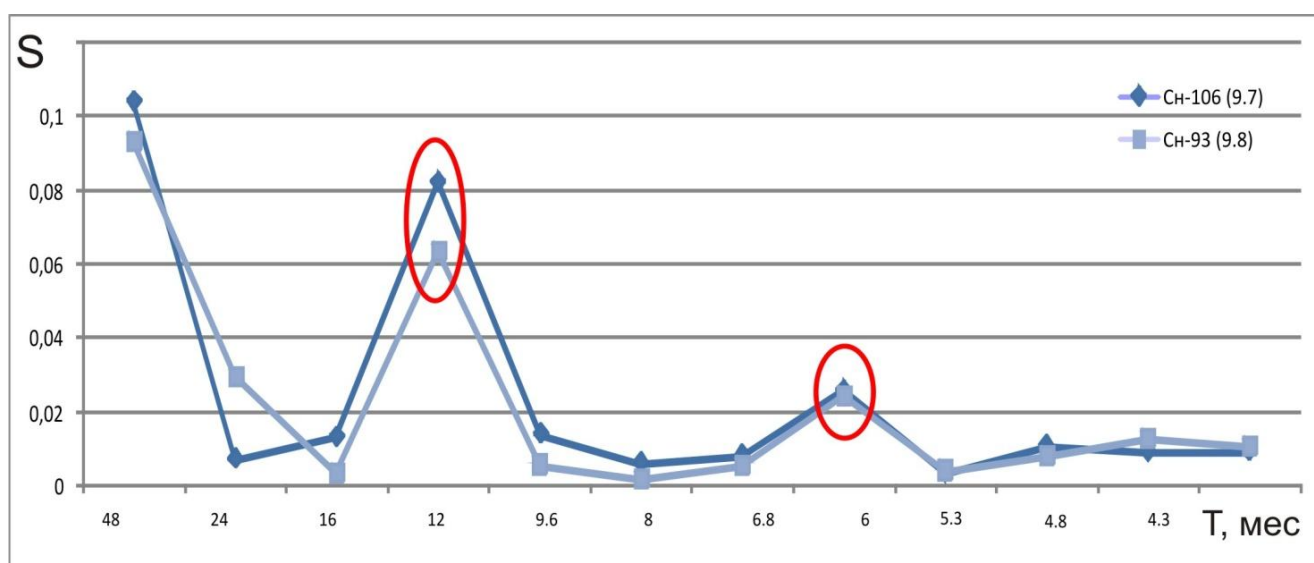


Рис. 7. Спектральная плотность дисперсии колебаний в скважине Сн-93, Сн-106 (цифры в скобках расстояние скважины от центра полигона в км)

Далее рассмотрим спектральную плотность дисперсии технологического воздействия (скважина Н-18 — рис. 8).

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 на полигоне связана с наполнением открытых хранилищ осадками и талыми водами, что диктует жесткие временные рамки для периода остановки нагнетания и проведения

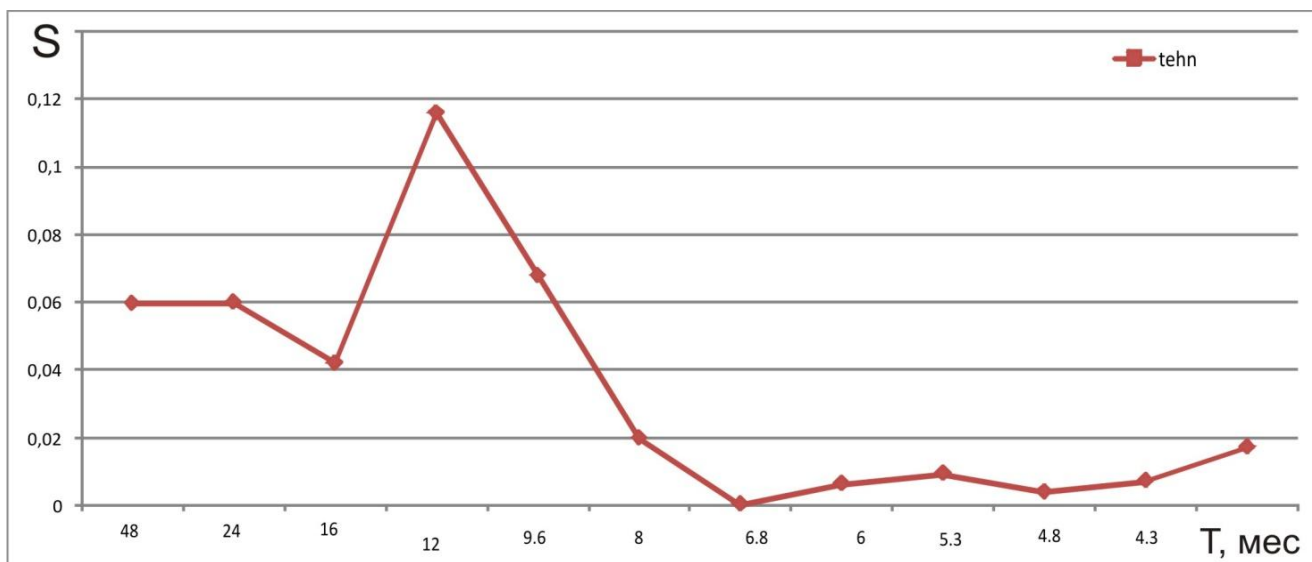


Рис. 8. Спектральная плотность дисперсии колебаний в скважина Н-18

годовых планово-профилактических мероприятий. Обычно они приходятся на конец лета. Однако стоит заметить, что несмотря на одинаковую периодичность, максимумы природных и технологических колебаний сдвинуты по фазе.

В спектральной плотности дисперсии технологических колебаний также ожидалось наличие максимума на периоде в 1 месяц, т.к. вышеприведенная статистическая оценка математического ожидания 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.

Приведенные частотные составляющие природных и технологических колебаний, позволяют рассмотреть, как ведет себя спектральная плотность дисперсии колебаний напоров в тех скважинах, которые находятся под воздействием двух этих факторов (рис. 9).

Как видно из рисунка 9, уверенно выделить какую-то определенную общую частоту невозможно. Такая картина может объясняться наложением двух близко периодичных случайных процессов с непростыми взаимодействиями между скважинами, осложненными геологическими и фильтрационно-емкостными

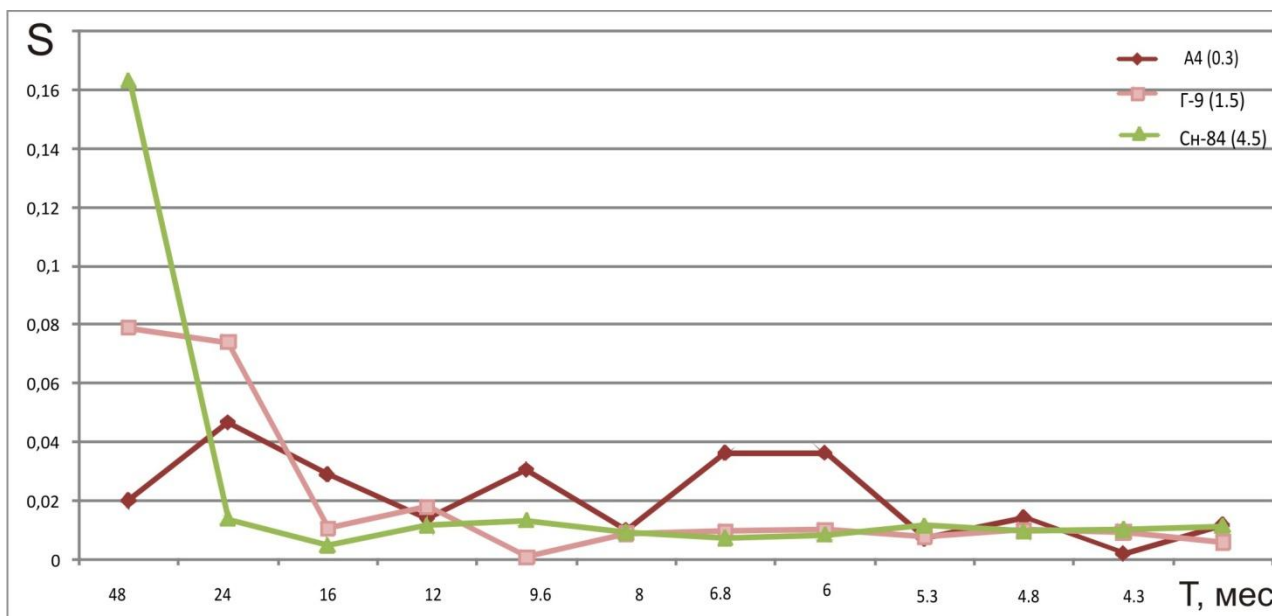


Рис. 9. Спектральная плотность дисперсии колебаний в скважине А4, Г-9, Сн-84 (цифры в скобках расстояние скважины от центра полигона в км)

неоднородностями. Тем самым основным критерием отсутствия технологического воздействия в спектральной плотности дисперсии является наличие двух максимумов на периодах 6 и 12 месяцев, соответствующих виду спектральной плотности дисперсии природных колебаний (рис. 7).

Выполненные расчеты показали влияния технологической 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований решена актуальная научно-практическая задача оценки гидрогеодинамических границ влияния горнотехнических систем и оптимизации систем геоэкологического 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 близок логнормальному распределению. Также 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, а также 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 также построена 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.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Издания, рекомендованные ВАК:

1. Лукин Ал. Ан. Оценка гидрогеодинамического влияния режима эксплуатации скважин на основе статистических функций // Известия Томского политехнического университета, 2012. – Т. 320. – № 1. – С. 146-151

2. 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 вузов. Геология и разведка, 2008. – № 1. – С. 35–41.
3. **Лукин Ал. Ан.** Волновой принцип обоснования границ гидродинамического влияния горнотехнических систем // Записки горного института. Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2008. – Т. 174. – С. 13–16.
4. **Лукин Ал. Ан.** Гидросейсмическое обоснование границ влияния горнотехнических систем // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии, 2004. – Т. 1 – № 3 (9) (спец выпуск). – С. 277–281.

Материалы конференций и симпозиумов:

5. **Лукин Ал. Ан.** Моделирование гидрогеосейсмической задачи низкочастотного возбуждения напорного поля // сб. науч. ст. «Проблемы геологии и освоения недр»: VII Междунар. симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – С. 355–358.
6. **Лукин Ал. Ан.** Особенности распространение гидродинамического возмущения от неравномерно работающей скважины в напорном водоносном горизонте // сб. науч. ст. «Проблемы геологии и освоения недр»: VIII Междунар. симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – С. 252–257.
7. **Лукин Ал. Ан.**, Зубков А.А., Букаты М.Б., Гусев Е.В., Лукин А.А. Моделирование низкочастотных гидрогеосейсмических волн // Материалы V Международной научной конференции. – Киев, 2004. – С. 171–173.
8. **Лукин Ал. Ан.**, Крылатов Н.А., Сысоев В.В. Обоснование гидродинамических границ горнотехнических систем полигона подземного захоронения жидких отходов СХК // сб. науч. ст. «Проблемы геологии и освоения недр»: VIII Международ. симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск; Изд-во ТПУ, 2004. – С. 325–328.
9. **Лукин Ал. Ан.** Моделирование гидросейсмических волн в напорном поле при эксплуатации полигона подземного захоронения промышленных отходов // сб.

науч. ст. «Проблемы геологии и освоения недр»: VIII Междунар. симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск; Изд-во ТПУ, 2004. – С. 397–400.

10. **Лукин Ал. Ан.** Моделирование гидрогеосейсмических волн при низкочастотном возбуждении напорного поля // Материалы Всероссийской научной конференции молодых учёных. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – С.104–105.
11. **Лукин Ал. Ан.**, Букаты М.Б., Лукин А.А., Зубков А.А. Опыт моделирования низкочастотных гидрогеосейсмических волн // Материалы научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса и производительных сил Томской области». – Новосибирск: СНИИГГИМС, 2004. – С. 190–191.
12. **Лукин Ал. Ан.** Моделирование низкочастотного возбуждения гидрогеодинамического поля // Материалы XII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов». М. – Т. 1. – 2004. – С. 45–46.
13. **Лукин Ал. Ан.**, Лукин А.А., Зубков А.А., Букаты М.Б., Гусев Е.В. «Бегущие волны» в напорном гидрогеодинамическом поле – опыт моделирования // Материалы VII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». – Т.4. – М.:КДУ, 2005. – С. 131.
14. **Лукин Ал. Ан.** Гидрогеосейсмические критерии обоснования границ влияния гидрогорнотехнических систем // Каталог восьмого регионального конкурса бизнес-идей и научно-исследовательских разработок «Молодые. Дерзкие. Перспективные». – СПб, 2005. – С. 41.
15. **Лукин Ал. Ан.**, Лукин А.А., Букаты М.Б. Моделирование «бегущих» волн в напорном поле при неравномерной работе скважин // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России «Подземная гидросфера» – Иркутск: Изд-во ГТУ, 2006. – С. 346–349.
16. **Лукин Ал. Ан.** Использование методов ГИС для оценки анизотропии фильтрационных свойств коллектора // сб. науч. ст. «Проблемы геологии и освоения недр»: X Междунар. симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: изд-во ТПУ, 2006. – С. 316–328.

17. **Лукин Ал. Ан.** Гидрогеосейсмическая методика обоснования границ гидродинамического влияния горнотехнических систем // Материалы Всероссийской петрографической конференции «Петрография магматических и метаморфических комплексов». – Томск, 2007. – С. 198–200.
18. **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) \\\ Материалы III Российско-германского семинара «КарлсТом 2008: Высокоработавленные системы: массоперенос, реакции и процессы». – Томск, 2008. – С. 224–236.
19. **Лукин Ал. Ан.** Mathematic modeling of head hydrodynamic field excited by geotechnical systems // сб. науч. ст. «Проблемы геологии и освоения недр»: XII Международного симпозиума им. академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – С. 915–917.
20. **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
// Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Тюмень: Тюменский дом печати, 2009. – С. 450–453.
21. 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.
22. **Лукин Ал. Ан.**, Шмурыгина Е.В. Ресурсы и водный баланс технологических водоносных горизонтов в районе полигонов подземного захоронения жидких радиоактивных отходов (СХК) // сб. науч. ст. «Проблемы геологии и освоения недр»: XIII Международ. симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – С. 207–209.

23. **Лукин Ал. Ан.**, Нейфельд В.В., Батозская Ю.А. Оценка границ влияния Томского водозабора подземных вод на их режим // сб. науч. ст. «Проблемы геологии и освоения недр»: XIII Междунар. симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – С. 251–253.
24. **Лукин Ал. Ан.** Использование волновых эффектов при обосновании границ влияния горнотехнических систем // Геофизические методы при разведке недр: монография / под ред. проф. Л.Я. Ерофеева, В.И. Исаева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – С. 253–255.

Подписано к печати .01.2012. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. , . Уч.-изд.л. , .

Заказ . Тираж 110 экз.



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru