

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

Фи Хонг Тхинь

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА
ТЕРРИТОРИИ Г. ХАНОЙ (ВЬЕТНАМ)**

25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение»

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, доцент
Людмила Александровна Строкова

Томск – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ И ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	10
1.1. Проблема оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в мире	10
1.2. Проблема оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя.....	15
1.3. История исследований оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в мире и во Вьетнаме	32
1.4. Выводы.....	46
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	48
2.1. Обзор методов, используемых для решения прогнозных задач.....	48
2.2. Выбор и описание методов для моделирования развития осадок.....	68
2.3. Выводы.....	76
ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ Г. ХАНОЯ.....	79
3.1. Природные условия.....	79
3.2. Социально-экономическая характеристика.....	84
3.3. Геологическое строение	85
3.4. Причины оседания земной поверхности на территории г. Ханоя.....	100
3.5. Выводы.....	108
ГЛАВА 4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ТИПИЗАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД Г. ХАНОЯ.....	110
4.1. Классификация горных пород на территории г. Ханоя по степени сжимаемости и несущей способности.....	110
4.2. Инженерно-геологические особенности четвертичных отложений г. Ханоя.....	115
4.3. Типизация грунтовых толщ в связи с исследованием оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод.....	149
4.4. Выводы.....	162
ГЛАВА 5. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	164
5.1. Гидрогеологические условия	164
5.2. Прогнозирование изменения уровней подземных вод.....	189
5.3. Выводы.....	205
ГЛАВА 6. ПРОГНОЗ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ Г. ХАНОЯ.....	208
6.1. Основные этапы прогнозирования оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод.....	208
6.2. Моделирование развития величин осадок во времени и проверка моделей.....	208
6.3. Прогноз оседания поверхности на ближайшие годы в связи с извлечением подземных вод на территории г. Ханоя	227
6.4. Выводы.....	233
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	235
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	240
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	253

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Город Ханой является одним из крупнейших мегаполисов азиатского региона с развитой промышленностью, инфраструктурой, высокой плотностью населения. После расширения административного образования в августе 2008 г. Новый Ханой имеет площадь 3.344,7 кв. км и население 6,5 млн. человек, добыча подземных вод для водоснабжения города составляет более 1 млн. м³/сутки.. Расположение г. Ханоя на особо сложной природной территории, активное проявление опасных геологических процессов природного и техногенного характера и широкое (30 % площади) распространение слабых грунтов создает большие трудности при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

Оседание земной поверхности в связи с интенсивным извлечением подземных вод является одним из опасных геологических процессов, которое происходит на территории г. Ханоя, сопровождающееся осадками и разрушением домов, зданий и объектов.

Оценка и прогноз этого явления на территории города Ханоя имеет большое значение в предупреждении и уменьшении его вреда в отношении гражданских и промышленных сооружений. Вопросам оседания поверхности на территории г. Ханоя, связанного с интенсивным извлечением подземных вод, посвящены исследования Ф.Х. Жао, Ч.М. Тху, Ч.М. Льеу, Н.Х. Фьонг, Л.Ч. Тхань, Ч.В. Ты и других. Однако эти исследования ещё не носят всесторонний и систематический характер и сосредоточены только в районах Старого Ханоя.

Таким образом, оценка и прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя имеет высокую актуальность и значимость.

Степень разработанности проблемы. Критический анализ фондовых материалов, выполненный автором, показал: отсутствие сводной таблицы нормативных значений инженерно-геологических свойств территории Нового Ханоя; отсутствие карт распространения и мощности слабых грунтов; неизученность параметров оседания земной поверхности; не выделены территории, подверженные оседанию.

Основная цель работы – разработка теоретических и методологических положений по оценке и прогнозу оседания поверхности, вызванной извлечением

подземных вод, выявление закономерностей этого процесса в дельтовой зоне и прогноз его развития.

Цель и практические проблемы строительства в г. Ханое определили необходимость решения следующих основных задач:

1. Выявить факторы и причины оседания поверхности на участках с различными типами состава, строения, состояния и свойств грунтовых толщ.
2. Разработать инженерно-геологическое информационное и картографическое обеспечение, дающее исчерпывающую информацию об инженерно-геологических условиях территории г. Ханоя.
3. Разработать типизацию грунтовых толщ территории г. Ханоя.
4. Описать гидрогеологические условия территории и прогнозировать их возможные изменения.
5. Выполнить прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя.

Научная новизна определяется следующими основными результатами:

1. Выявлены главные причины оседания земной поверхности на исследуемой территории, оконтурены зоны с потенциальным развитием массовых деформаций зданий и сооружений г. Ханоя.

2. Разработано новое инженерно-геологическое информационное обеспечение для территории Нового Ханоя, в том числе цифровое картографическое, которое включает в себя карту распространения и мощности слабых грунтов; прогнозные карты оседания земной поверхности до 2030 г.; прогнозные карты уровня подземных вод плейстоценового комплекса.

3. Впервые разработана типизация грунтовых толщ территории Нового Ханоя, позволяющая оптимизировать объемы и содержание инженерно-геологических изысканий с целью градостроительства и защиты от опасных геологических процессов.

4. Разработаны рекомендации по зонированию потенциальной добычи подземных вод на территории г. Нового Ханоя.

Теоретическая и практическая значимость работы:

В работе приводится разносторонняя оценка процесса оседания поверхности, вызванная извлечением подземных вод, прогнозируется пространственное развитие процесса.

Методика оценки и прогноза развития оседания поверхности может быть использована в научно-исследовательских целях, применяться при разработке планов освоения территории, например, для решения следующих практических задач:

- оценки технико-экономической эффективности инвестиционных проектов;
- организация мониторинга инженерно-геологических условий территории;
- принятия решений при проектировании оснований или отдельных фундаментов зданий и сооружений; принятие своевременных решений о необходимости и периодах обследования зданий и сооружений;
- разработки программ инженерно-геологических изысканий;
- оценки и страхования недвижимости.

Объектом исследования является геологическая среда г. Нового Ханоя, которая служит основанием зданий и сооружений, а также вмещает разнообразные подземные коммуникации.

Предметом являются деформационные процессы в геологической среде г. Ханоя, возникающие при извлечении подземных вод.

Методы исследования: системно-функциональный анализ; теория вероятностей и математическая статистика (в частности, метод многофакторного корреляционного анализа – ММКА); математическое моделирование методом конечных элементов (МКЭ). При обработке, анализе и интерпретации данных наблюдений использовались программы «MS Excel», «AutoCAD», «Visual ModFlow», «Mapinfo» и другие.

Исследования проводились на примере опорных разрезов и станций мониторинга на территории Нового Ханоя. В основу данной работы положены результаты многолетних исследований автора, а также фондовые и литературные материалы. Исследования основаны на фактических материалах геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических исследований на территории Ханоя; данных лабораторных исследований грунтов, химического состава подземных вод, данных мониторинга за уровнем подземных вод и оседанием поверхности.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Интенсивность оседания земной поверхности зависит, прежде всего, от объемов добычи подземных вод, состава, мощности и физико-механических свойств грунтов, а также нагрузок от зданий и сооружений, наличия и мощности насыпных

грунтов.

2. Научной основой оценки и прогноза процесса оседания является природа прочности грунтовых толщ, типизация которых по физико-механическим свойствам позволяет оптимально решать задачи градостроительства и инженерной защиты территории. Распространение типов грунтовых толщ (I.2.b, I.2.c, II.2.b и II.2.c) с наличием слабых грунтов мощностью больше 5 м предопределяет значительную величину оседания земной поверхности при большом водопонижении.

3. Методико-технологической основой прогноза развития процесса оседания поверхности во времени является сочетание методов (МКЭ и МКА), экспериментальное определение параметров сжимаемости грунтов, моделирование фильтрации в ModFlow и картирование с использованием ГИС MapInfo. Используемые методы взаимно дополняют друг друга, а получаемые прогнозные оценки имеют повышенную точность.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций подтверждена теоретическими выкладками, совпадением численных результатов с решениями, полученными аналитически и результатами натурных наблюдений; высоким качеством исходной геологической информации. Положения теории основываются на известных достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин (механика грунтов, теория вероятностей и математическая статистика), сопряженных с предметом исследования диссертации.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на конференциях: «Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях» (г. Уфа, май 2012); всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (г. Томск, октябрь, 2012); II всероссийском симпозиуме с международным участием «Континентальный рифтогенез и сопутствующие процессы» в Институте земной коры СО РАН (г. Иркутск, август 2013 г.); I практической конференции «Геотехнический мониторинг и мониторинг развития опасных геологических процессов» (Москва, сентябрь 2013); на научных семинарах кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Томского политехнического университета (ТПУ).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, в т.ч. 6 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 2 статьи в Китае и Вьетнаме.

Личный вклад автора. Диссертация выполнялась на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ во время обучения в аспирантуре. В основу диссертации положены материалы, полученные лично автором за 17-летний период работы в Консультационной корпорации по проектированию транспортных сооружений и Ханойском университете транспорта и коммуникации.

Конкретными результатами, содержащимися в работе и полученными лично автором, являются:

1. Карта распространения и мощности слабых грунтов на территории г. Нового Ханоя масштаба 1:50 000.
2. Карта типизации грунтовых толщ территории г. Нового Ханоя масштаба 1:50 000.
3. Прогнозные карты оседания земной поверхности г. Нового Ханоя на 2013, 2020, и 2030 г.
4. Прогнозные карты уровня подземных вод плейстоценового комплекса на территории г. Нового Ханоя.
5. Схематичная карта зонирования потенциальной добычи подземных вод на территории г. Нового Ханоя.

В 2012 г. Фи Х.Т. выполнил моделирование развития величин осадок во времени в результате извлечения подземных вод в микрорайонах Тханьконг и Хадинь Ханоя с помощью метода конечных элементов. Результаты анализа также показали, что сжатие мягкопластичных глин составляет более 85% от величины осадки [28].

В 2012 г. Фи Х.Т. проанализировал причины оседания земной поверхности в г. Ханое. Результаты показали, что главными причинами оседания земной поверхности на территории Ханоя являются извлечение подземных вод, присутствие слабых грунтов в геологическом строении, нагрузки от сооружений и техногенных грунтов [27].

В 2013 г. Фи Х.Т. выполнил моделирование развития величин осадок во времени в микрорайонах Тханьконг, Фапван и Лыонгиен Ханоя на базе многофакторного корреляционного анализа. Многофакторный корреляционный анализ позволил оценить влияние некоторых геотехнических факторов таких как: глубина подземных

вод, коэффициент средней относительной сжимаемости, мощность слоев слабых грунтов, время и плотность природного грунта в формулах среднегодовой скорости деформации земной поверхности (V_s) и деформации земной поверхности по времени (S_t) в результате извлечения подземных вод в этих микрорайонах. Сравнение с фактическими данными мониторинга указывает, что прогнозируемые значения осадки относительно близки к наблюдаемым результатам [26].

В 2013 г. Фи Х.Т. выполнил типизацию грунтовых толщ территории г. Ханоя, составил инженерно-геологические и гидрогеологические разрезы, карты мощности и распространения слабых грунтов и карту типизации грунтовых толщ территории г. Ханоя. По результатам исследования грунтовые толщи территории г. Ханоя типизированы на 4 класса, 6 типов и 9 видов. В том числе типы I.2.b, I.2.c, II.2.b и II.2.c с наличием слабых грунтов мощностью больше 5 м определяют значительную величину оседания земной поверхности при большем водопонижении.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, содержит 260 страниц машинописного текста, 81 рисунок, 48 таблиц, списка литературных источников из 156 наименований.

В первой главе выполнен анализ состояния вопроса и ранее проведенных работ по изучению оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в мире, во Вьетнаме.

Во второй главе рассматриваются методы исследований, опыт применения компьютерных программ при изучении оседания земной поверхности, связанного с извлечением подземных вод.

Третья глава посвящена описанию природных условий, геологического строения территории г. Ханоя, приводится социально-экономическая характеристика, рассматриваются причины оседания земной поверхности на территории г. Ханоя.

Четвертая глава содержит материалы по типизации грунтовых толщ на территории г. Ханоя. Описаны инженерно-геологические особенности четвертичных отложений на этой территории, вопросы классифицирования горных пород по степени сжимаемости и несущей способности.

В пятой главе рассмотрены гидрогеологические особенности территории. Выполнен прогноз изменения уровня подземных вод в ближайшие семнадцать лет, в результате нарастающего извлечения подземных вод.

В шестой главе изложены материалы по прогнозу оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории Нового Ханоя.

Благодарности.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность своему научному руководителю Л.А. Строковой за постоянное внимание, ценные советы и замечания при написании данной работы.

Автор выражает глубокую признательность профессорам ТПУ С.Л. Шварцеву, О.Г. Савичеву, В.К. Попову, Е.М. Дутовой и профессору ТГАСУ В.Е. Ольховатенко за советы, замечания и рекомендации.

За предоставленные материалы по инженерным изысканиям в г. Ханое автор выражает искреннюю благодарность своим друзьям и коллегам.

Я признателен всем сотрудникам Института природных ресурсов ТПУ за поддержку и внимание к моей работе.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ И ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Проблема оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в мире

Ввиду быстрого роста населения, расширения сельскохозяйственных угодий и промышленного развития, спрос на чистую воду во всем мире непрерывно увеличивается. С целью удовлетворения потребностей населения в чистой воде для ежедневных бытовых нужд, сельскохозяйственного и промышленного производства, во многих странах мира уже используют подземную воду. Подземные воды в мире добываются всё более интенсивно. В связи с нерациональным извлечением подземных вод наблюдаются негативные изменения геологической среды. Когда уровень грунтовых вод понижается, меняется напряженное состояние горных пород, гидростатический напор в породах падает, а эффективное давление увеличивается. Под нагрузкой от сооружений и от собственного веса грунта горные породы уплотняются, вследствие этого происходит оседание земной поверхности, в общем, и инженерного сооружения, в частности.

В мире оседания земной поверхности обычно наблюдаются в регионах с высокой плотностью населения, особенно в дельтах, сложенных мощными рыхлыми отложениями. После Второй мировой войны, в большинстве из этих регионов, оседания земной поверхности возросли в связи с увеличением добычи чистой воды, нефти, природного газа. Согласно данным [45, 48], в 1995 году в более чем 150 регионах в мире наблюдались значительные оседания земной поверхности (Рисунок 1.1). В Японии существуют районы, имеющие самые значительные оседания земной поверхности в мире. По данным [53], в Японии в 1977 г. число регионов, в которых проявились оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод, составило 40, с общей площадью погружения до 7.380 км^2 , в том числе 1.200 км^2 ниже, чем средний уровень моря. На втором месте в мире по оседанию земной поверхности из-за добычи подземных вод занимают США. В США, оседание земли более 1 м проявляется в четырех штатах: Техасе, Аризоне, Неваде и Калифорнии. В Калифорнии существует самая большая площадь оседания земной поверхности с 16.000 км^2 , в Техасе –

площадь депрессионной воронки составляет 12.000 км² и штат Аризона – площадь 2.700 км² [53]. В некоторых местах в мире, уровень оседания земной поверхности уже превышает 9 м, например, в столице Мехико (Мексика), в пригороде города Лос-Анджелес – Калифорния (США), в долине Сан-Хоакин – Калифорния (США), в зоне реки Рафт – Идахо (США), в зоне Фар Жест Ранд (Южная Африка), в зоне Чешир - Лондон (Великобритания) [45, 53].

В России оседание земной поверхности наблюдалось в Москве из-за водопонижения при эксплуатации напорных водоносных горизонтов для питьевого и технического водоснабжения, бальнеологии; в Санкт-Петербурге из-за водопонижения при строительстве, с организацией систематического дренажа, а также с последствиями строительных работ; в Западной Сибири из-за интенсивной эксплуатации месторождений нефти, газа, газоконденсата, термальных, иодобромных и питьевых подземных вод [19].

Согласно данным [48, 50, 53, 69, 79], можно назвать несколько зон в мире, в которых выявлены значительные оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод (Таблица 1.1).

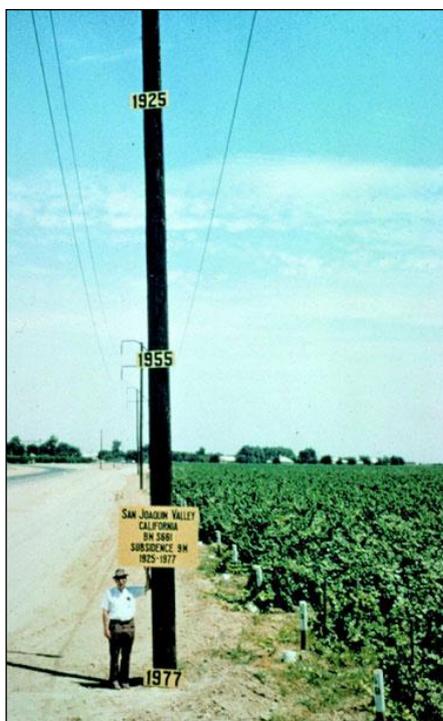


Рисунок 1.1. Доктор J.F. Poland (Геологическая служба США) у ориентира измерения оседания земной поверхности S661, располагающегося на юге г. Мендота, залив Сан-Хоакин, штат Калифорния, США в 1977 году. Степень оседания земной поверхности из-за добычи грунтовых вод составляет 9,0 м с 1925 по 1977 гг. [53]

Таблица 1.1

Зоны оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод [36, 38, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 59, 61, 74, 76, 78, 79]

Название	Сфера оседания земной поверхности и возраст	Мощность отложений (м)	Максимальный уровень оседания (м)	Площадь оседания (км ²)	Время наблюдения оседания	Меры ограничения / устранения последствий оседания
Австралия: Долина Ла Чобе	Озерно-аллювиальные отложения, третичный период.	10 – 300	1,6	100	1961 – 1978 гг.	Уменьшение добычи подземных вод, ограничение строительства в зоне оседания земной поверхности
Новая Зеландия: г. Жайиракей	Вулканические отложения, плейстоценовый период	250 – 800	6,5	30	1952 – 1978 гг.	Восстановление системы каналов и дренажных труб, строгое наблюдение оседания земной поверхности
Китай: г. Шангхай	Озерно-аллювиальные отложения, четвертичный период	3 – 300	2,6	850	1921 – 2005 гг.	Ограничение извлечения подземных вод; закачка обработанной речной воды в недра земли через скважины
Китай: г. Тяньцзинь	Аллювиальные, озерные, болотные и прибрежно-морские отложения, четвертичный период	5 – 550	3,1	10.000	1959 – 1998 гг.	[48] Предложение о строительстве водохранилищ и плотин; управление добычи подземных вод
Китай: Иуси, Зйесйу, Тайюань, Датун, Иуси, Иесйу	Аллювиальные, озерные, болотные и прибрежно-морские отложения, четвертичный период	5 – 550	2,0	200	1979 – 1998 гг.	[48] Предложение о строительстве водохранилищ и плотин; управление добычи подземных вод
Китай: г. Чанчжоу	Аллювиальные, озерные, болотные и прибрежно-морские отложения, четвертичный период	120 – 240	2,0	10.000	1970 – 2007 гг.	[45] Предложение о прекращении добычи подземных вод
Залив Тайван	-	10 – 240	1,9	235	1955 – 1974 гг.	Ограничение добычи подземных вод
Япония: г. Хираномичи	Аллювиальные и прибрежно-морские отложения, поздне-кайнозойский период.	100 – 200	2,0	25	1965 – 1978 гг.	Планирование извлечения подземных вод, строительства системы многоцелевых плотин и системы водоснабжения

Продолжение табл.1.1

Название	Сфера оседания земной поверхности и возраст	Мощность отложений (м)	Максимальный уровень оседания (м)	Площадь оседания (км ²)	Время наблюдения оседания	Меры ограничения / устранения последствий оседания
Япония: г. Токио	Аллювиальные и прибрежно-морские отложения, позднекайнозойский период.	0 – 400	4,6	3.420	1918 – 1978 гг.	Уменьшение добычи подземных вод, строительство водохранилищ и обводнительных каналов для ввоза воды
Япония: г. Ниигата	Аллювиальные и прибрежно-морские отложения, позднекайнозойский период.	0 – 1.000	2,7	430	1957 – 1978 гг.	Уменьшение добычи подземных вод и строительства водохранилищ.
Япония: г. Осака	Озерно-аллювиальные отложения, четвертичный период.	0 – 400	2,9	630	1935 – 1970 гг.	Уменьшение добычи подземных вод и привоз воды из других мест.
Япония: г. Хиодо Шада	Аллювиальные и прибрежно-морские отложения, четвертичный период.	0 – 200	2,8	100	1932 – 1970 гг.	Ввоз поверхностной воды и строительства плотин.
Тайланд: г. Бангкок	Аллювиальные и прибрежно-морские отложения, четвертичный период	0 – 200	2,1	800	1933 – 2002 гг.	Уменьшение добычи подземных вод и регулирование мощности извлечения в скважинах
Индонезия: г. Джакарта	Аллювиальные, болотные, прибрежно-морские, вулканические отложения, четвертичный период	0 – 300	2,0	625	1982 – 1999 гг.	Уменьшение добычи подземных вод и регулирование мощности извлечения в скважинах
Южная Африка: зона Фар Жест Ранд	Доломиты, палеозойский период	30 – 1200	9,0	-	1959 – 1975 м	Создание искусственных стен между доломитовыми камнями
Мексика: г. Мехико	Озерно-аллювиальные отложения, четвертичный и третичный периоды	0 – 50	9,0	225	1891 – 1978 гг.	Поддержание мощности извлечения подземных вод, ввоз поверхностной воды для пополнения подземных вод
США: штат Аризона, зона Штанфилд	Озерно-аллювиальные отложения, кайнозойский период	50 – 350	3,6	700	1950 – 1978 гг.	Ремонт неисправных скважин

Продолжение табл. 1.1

Название	Сфера оседания земной поверхности и возраст	Мощность отложений (м)	Максимальный уровень оседания (м)	Площадь оседания (км ²)	Время наблюдения оседания	Меры ограничения / устранения последствий оседания
США: штат Калифорния, залив Шан Жоакуин, г. Лос Банош-Кеттлеман	Озерно-аллювиальные отложения, поздне-кайнозойский период	60 – 900	9,0	6.200	1930 – 1975 гг.	Уменьшение добычи подземных вод, строительство дамбы и обводнительных каналов для ввоза поверхностной воды, ремонт неисправных скважин
США: штат Калифорния, залив Шанта Клара	Аллювиальные и прибрежно-морские отложения, поздне-кайнозойский период	50 – 330	4,1	650	1918 – 1970 гг.	Строительство плотин и дамбы для сохранения поверхностной воды, ремонт и замена неисправных скважин
США: штат Калифорния, зона Туларе – Жашко	Аллювиальные, озерные и прибрежно-морские отложения, поздне-кайнозойский период	60 – 700	4,3	3.680	1930 – 1970 гг.	-
США: штат Идахо, зона реки Рафт	Аллювиальные отложения, поздне-кайнозойский период	50 – 300	10,8	260	1960 – 1975 гг.	Строительство плотин и дамбы для сохранения поверхностной воды, ввоз воды, ремонт неисправных скважин
США: штат Техас, зона Хьюстона – Галвестон	Аллювиальные, прибрежно-морские отложения, поздне-кайнозойский период	60 – 900	2,8	12.000	1943 – 1978 гг.	Строительство водохранилищ и системы наблюдения оседания земной поверхности, ввоз воды
Великобритания: рн. Схешхире, г. Лондон	Песчаники, мрамор, соляные камни, триасовый период	100 – 300	15,0	1.500	1533 – 1977 гг.	Уменьшение добычи солей, использование гибких фундаментов, улучшение системы транспорта, каналов
Италия: дельта По	Аллювиальные, болотные и прибрежно-морские отложения, четвертичный период	100 – 600	3,2	2.600	1951 – 1966 гг.	Запрещение добычи подземных вод

1.2. Проблема оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя

1.2.1. Состояние извлечения подземных вод на территории г. Ханоя

Первый общественный водозабор г. Ханоя был построен в 1905 г. с мощностью 15.000 м³/сутки. В начале 1950-х годов мощность добычи подземных вод составляла 25.000 м³/сутки. В 1960-х – 1970-х годов со строительством других водозаборных предприятий, общая мощность добычи подземных вод увеличилась до 150.000 – 170.000 м³/сутки.

С 1985 г. по настоящее время заметен рост уровня урбанизации, что привело к увеличению общего спроса на чистую воду. При поддержке Финляндии, в ходе реализации так называемой «Финской программы чистой воды» были построены новые и модернизированы существующие водозаборные предприятия. Мощность добычи подземных вод для общественных нужд значительно увеличилась с 250.000 в 1985 г. до 628.000 м³/сутки в 2010 г. в Старом Ханое (Рисунок 1.2).

В истории общественных водозаборов в Ханое выделяются 2 этапа:

- Первый период с 1955 г. по 1965 г., связанный с восстановлением страны на севере Вьетнама.

- Второй период с 1985 г. по 1995 г., связанный с выполнением Финской программы чистой воды.

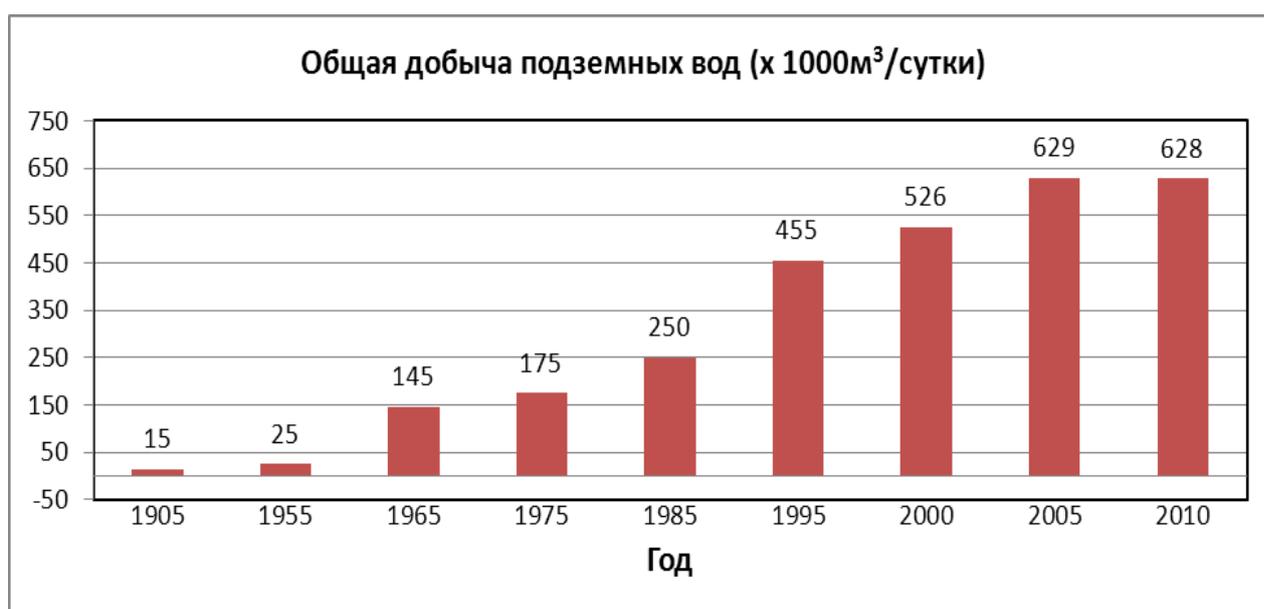


Рисунок 1.2. Добыча подземных вод общественными водозаборами в Старом Ханое

1.2.2. Извлечение подземных вод в г. Ханое в 2010 г.

Большая часть воды забирается из голоценового и плейстоценового водоносных комплексов (Qh и Qp). Голоценовый водоносный комплекс (Qh) малодобитен и слабо защищен от поверхностного загрязнения. Вода из голоценового водоносного комплекса (Qh) забирается в основном сельским населением с целью питьевого и промышленного водоснабжения. Плейстоценовый водоносный комплекс (Qp) – высокодебитный, имеет большую мощность и хорошие питьевые качества. Все общественные водозаборные предприятия г. Ханоя забирают воду из плейстоценового водоносного комплекса (Qp). В настоящее время в г. Ханое действуют три основных формы водозабора подземных вод: общественные, промышленных предприятий и частные.

1.2.2.1. Форма общественного водозабора

Это форма водозабора подземных вод – самая крупная по количеству добываемой воды, находится под контролем специализированной службы (Ханойская компания чистой воды) и обеспечивает большую часть спроса воды в городе. Водозаборные скважины организованы по разным формам, в основном прямолинейно и по кругу. Вода из скважин обрабатывается на заводах, затем распространяется потребителям по системам трубного водоснабжения (Таблица 1.2, Рисунок 1.3).



Рисунок 1.3. Форма общественного водозабора – Станция водоснабжения Залам [147]

Состояние извлечения подземных вод на общественных водозаборах г. Старого Ханоя [82, 98, 102, 104, 109, 114, 116, 120, 121, 139, 140]

№	Общественный водозабор	Начало работы	Время реконструкции водозабора	Общая добыча (x 1.000 м ³ /сутки) за год				
				1992	1995	2000	2005	2010
1	Нгокха	1942	1989, 1991	30	30	30	30	33,3
2	Иенфу	1905	1987, 1996, 2002	45	80	80	80	95,0
3	Маизич	1988	1991	60	60	60	60	63,6
4	Нгошилиен	1945	1977, 1988	45	40	60	60	44,6
5	Льонгиен	1958	1988, 1993	15	80	80	80	51,5
6	Намзы	2000	2007, 2010	-	-	60	120	54,3
7	Фапван	1989	2004	30	30	30	30	23,3
8	Тьонгмай	1963	1989	30	30	30	30	23,6
9	Хадинь	1968	1987, 1996, 2002	25	25	25	25	22,0
10	Сев. Тханглонг	2005	-	-	-	-	-	30,8
11	Залам	1996	2001	-	-	11	34	36,7
12	Тхьонгкат	2008	-	-	-	-	-	60,0
13	Каодинь	2001	2005	-	-	60	80	45,2
14	Мелкие водозаборы	-	-	60	80	-	-	44,0
Сумма		-	-	340	455	526	629	628

1.2.2.2. Форма промышленного водозабора

Это форма забора подземных вод промышленными предприятиями, заводами, больницами, школами, общежитиями, ресторанами из отдельных скважин с малым дебитом (Рисунок 1.4).

Водоотбор производится без документации о скважинах, мощности водозабора и анализах качества подземных вод, без данных мониторинга изменений уровней подземных вод, его влияния на окружающую среду.

Эти скважины действуют прерывно, в среднем от 6 до 8 часов в сутки. Эта форма водозабора не подчиняется административному контролю специализированных служб и носит самовольный характер. В настоящее время на территории г. Ханоя общее количество скважин в системе промышленного водозабора – 1.102, они расположены, в основном, в сельских районах.



Рисунок 1.4. Форма промышленного водозабора [139]



Рисунок 1.5. Форма частного водозабора [95]

Вода забирается из плейстоценового водоносного комплекса (Qp). Общая добыча подземных вод по этой форме – около 309.282 м³/сутки.

1.2.2.3. Форма частного забора подземных вод

В форме частного водозабора, вода забирается отдельными скважинами небольшого диаметра или колодцами для питьевых и бытовых нужд семей (Рисунок 1.5). Мощность водозабора скважины в среднем 0,5 – 1,0 м³/сутки. Эта форма водозабора также не подчиняется административному контролю специализированных служб и носит самовольный характер.

Общее количество скважин в системе частного забора подземных вод в настоящее время – 791.648, они расположены в сельских районах. Вода забирается из голоценового и верхнего плейстоценового (Qp²) водоносных комплексов. Общая добыча подземных вод по этой форме – около 777.662 м³/сутки.

Подробная статистика по извлечению подземных вод на территории г. Ханоя в 2010 г. приведена в Таблице 1.3.

1.2.3. Инженерно-геологические явления в связи с извлечением подземных вод на территории г. Ханоя

С середины 1980 годов на территории г. Ханоя наблюдаются некоторые инженерно-геологические явления, основной причиной которых с высокой

*Извлечение подземных вод на территории г. Нового Ханоя в 2010 г.
[41, 65, 82, 98, 116, 121, 139]*

№	Название района	Общественная форма				Промышленная форма		Частная форма		Суммарная добыча (м ³ /сутки)
		Название водозабора	Глубина извлечения (м)	Количество скважин	Добыча (м ³ /сутки)	Количество скважин	Добыча (м ³ /сутки)	Количество скважин	Добыча (м ³ /сутки)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Бадинь	Нгокха	60	14	33.311	5	2.560	-	-	44.521
		Мавзолей Хошиминь	70	6	4.800					
		Тхуйкхуе	60	-	3.850					
2	Хоанкием	Вандон + Тхуйлой	60	3	5.774	2	500	-	-	14.456
		Донтхуй	60	-	8.182					
3	Таихо	Иенфу	60	33	95.004	25	10.895	6.778	7.450	113.349
4	Лонгбиен	-	-	-	-	21	3.645	13.512	620	4.265
5	Каузаи	Маизич	70	31	63.620	16	6.315	-	-	69.935
6	Донгда	Нгошилиен	60	19	44.595	5	1.930	50.441	3.745	59.363
		Кимлиен	60	4	6.093					
7	Хайбатчынг	Льонгиен	60	15	51.480	14	2.780			60.260
		Бачмай	60	3	5739					
8	Хоангмай	Намзы	60	20	54.338	66	25.134	12.937	1.847	128.309
		Фапван	60	12	23.341					
		Тьонгмай	60	13	23.649					
9	Тханьсуан	Хадинь	60	12	22.027	30	12.969	1868	557	40.552
		Кимзанг	70	3	4.999					
10	Хадонг	Хадонг	70	12	36.000	32	48.320	-	-	84.320
11	Шонтаи	Шонтаи	39	13	18.232	28	26.113	156.982	196.342	240.687
12	Бави	-	-	-	-	27	1.277	55.278	79.007	80.284

Продолжение таблицы 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	Чыонгми	-	-	-	-	83	2.029	59.792	64.246	66.275
14	Данфыонг	-	-	-	-	41	390	30.823	37.662	38.052
15	Донгань	Север. Тханглонг	60	18	30.784	37	10.701	-	-	58.609
		Донгань	60	7	6.124					
		Нгуенкхе	60	4	11.000					
16	Залам	Залам	60	17	36.691	66	26.975	37.023	3.637	73.903
		Аэропорт Залам	60	3	6.600					
17	Хоайдук	-	-	-	-	51	591	7.528	8.405	8.996
18	Мелинь	Коангминь	55	4	960	31	1.704	40.418	40.437	43.101
19	Мидык	-	-	-	-	29	773	34.826	42.451	43.224
20	Фусуиен	-	-	-	-	34	2.795	-	-	2.795
21	Фуктхо	-	-	-	-	22	797	34.945	60.659	61.456
22	Куокоай	-	-	-	-	41	980	39.265	44.390	45.370
23	Шокшон	-	-	-	-	28	8.241	29.564	3.509	11.750
24	Тхачтхат	-	-	-	-	32	3.507	38.458	39.803	43.310
25	Тханьобай	-	-	-	-	27	1.049	37.710	44.903	45.952
26	Тханьчи	-	-	-	-	90	33.164	12.749	2.072	35.236
27	Тхыонгтин	-	-	-	-	51	5.919	35.303	43.689	49.608
28	Тылием	Тхыонгкат	70	9	60.000	148	65.105	19.245	2.427	172.703
		Каодинь	60	21	45.171					
29	Бнгхоа	-	-	-	-	20	2.124	36.203	49.804	51.928
Сумма				296	702.364	1102	309.282	791.648	777.662	1.789.308

вероятностью можно считать процесс извлечения подземных вод. Некоторые явления указаны ниже:

- Снижение уровней подземных вод, а в некоторых местах подземная вода из голоценового водоносного комплекса (Qh) даже исчезла;
- Загрязнение подземных вод;
- Оседание земной поверхности, сопровождаемое разрушением многих домов, зданий и объектов.

Последующие аргументы доказывают тесные связи между этими явлениями и процессом извлечения подземных вод.

1.2.3.1. Снижение уровней подземных вод и исчезновение подземных вод из голоценового водоносного комплекса (Qh)

Результаты мониторинга показывают, что на станциях водоснабжения уровни подземных вод быстро снижаются. До 1980 годов глубина залегания подземных вод составляла 2–4 м, в некоторых местах – 8–10 м, в настоящее время уровни подземных вод залегают на глубинах 15–35 м (Хадинь, Тьонгмай, Таблица 1.4).

Результаты мониторинга за уровнями подземных вод в Ханое показывают, что с 1994 г. до 2004 г. уровни подземных вод значительно снизились. С 2004 г. по настоящее время уровни подземных вод стали более стабильными, хотя довольно глубокими (34,6 м ниже земной поверхности в Хадинь).

Извлечение подземных вод образовало депрессионную воронку с сечением вида эллипса длинной осью параллельной реке Красной (от района Тылием до района Тханьчи) и короткой осью перпендикулярной реке Красной (от района Хадонг до реки Красной). Большинство мест, в которых уровни подземных вод интенсивно снижаются, расположено на территории крупных общественных водозаборных предприятий в городе, как Тханьсуан, Каузаи, Донгда.

Однако в последние годы благодаря ограничению водоотбора на крупных водозаборных предприятиях уровни подземных вод снижаются менее интенсивно.

В некоторых местах подземная вода из голоценового водоносного комплекса (Qh) исчезла, например:

- Микрорайон Майзич: на территории школы T500, находящейся в коммуне Мидинь района Тылием, около 400 м северо-западнее от водозаборного предприятия

Майзчи, ил и среднезернистый песок в голоценовом водоносном комплексе (Qh) на глубине 15 м полностью высохли [98, 139].

- Микрорайон Иенфу: мелкозернистый песок в голоценовом водоносном комплексе (Qh) стал сухим до глубины 8 м.

Таблица 1.4

Уровни и понижение уровней подземных вод по 10 станциям мониторинга на территории г. Ханоя [41, 65, 97, 98]

№	Станция мониторинга	Период наблюдений	Уровни п.в. (м) в 2004 г.	Понижение уровней п.в. (м)	Скорость понижения уровней п.в. (м/год)
1	Нгокха	1994-2004	24,92	3,18	0,29
2	Фапван	1996-2004	22,60	4,36	0,48
3	Тханьконг	1997-2004	19,67	5,39	0,67
4	Хадинь	1998-2004	34,54	4,02	0,57
5	Майзич	1998-2004	27,49	5,78	0,83
6	Льонгиен	2000-2004	21,39	2,76	0,55
7	Донгань	2002-2004	4,67	0,49	0,16
8	Нгошилиен	2002-2004	20,89	2,69	0,90
9	Залам	2003-2004	7,81	0,50	0,25
10	Тьонгмай	2003-2004	28,11	3,07	1,54

Примеры показывают, что извлечение подземных вод привело в некоторых местах к снижению или исчезновению воды из голоценового водоносного комплекса (Qh). Основной причиной является снижение давления воды при добыче подземных вод, приводящее к осмосу воды сверху вниз и в результате к исчезновению воды в верхних водоносных комплексах. Именно микрорайоны, в которых водонепроницаемые горизонты между голоценовым водоносным комплексом (Qh) и плейстоценовым водоносным комплексом (Qp) разрушаются при ведении горных работ, снижение уровня или исчезновение подземных вод происходит в короткие сроки. Сотни частных скважин действовали раньше нормально, а в настоящее время высохли и перестали использоваться.

1.2.3.2. Загрязнение водоносных комплексов

Со снижением уровней подземных вод, поднимается загрязнение водоносных

комплексов. Во время добычи вод, загрязняющие вещества с поверхности фильтруются (из-за снижения давления воды при добыче подземных вод) и загрязняют водоносные комплексы.

Результаты проекта «Составление базы данных водных ресурсов на территории расширенного города Ханоя – 2-й этап», выполненного Конфедерацией планирования и исследования водных ресурсов Северного региона в 2011 году [139], убедительно свидетельствуют о загрязнении. Детали приведены в 5 главе.

1.2.3.3. Оседание земной поверхности

Извлечение подземных вод на территории г. Ханоя началось в 1905 г. Но только в 1988 г., то есть 83 года спустя, стали заниматься проблемой оседания земной поверхности.

В 1988 г. Инженерно-геологической и гидрогеологической конфедерацией Северного региона (в настоящее время известна под названием «Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов Северного региона») были построены 32 станции мониторинга за оседанием земной поверхности на территории г. Ханоя. Большинство этих станций расположено на юго-западе реки Красной. Эта система мониторинга устроена для наблюдений за оседанием земной поверхности в различных местах с различными инженерно-геологическими условиями и снижениями уровней подземных вод. Контрольные геодезические репера были зафиксированы на земле в соответствии с топографическим стандартом класса II. Измерения оседания земной поверхности проводились методом топографического стандарта класса II с использованием нивелиров Ni-004, с опорой на пункты государственной триангуляции II-го класса в Золо и Донггак. Измерение оседания земной поверхности проводились один раз в год во время сухого сезона с 1988 по 1995 годы. Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности в этот период показывают, что почти вся внутренняя площадь города Ханоя (кроме зон вдоль Красной реки) и прилегающие районы подверглась оседанию (Рисунок 1.6).

Высокая скорость оседания земной поверхности (более 10 мм/год) наблюдалась в центральной части и южных районах города (Таблица 1.5). Максимальная скорость оседания земной поверхности наблюдалась в микрорайонах Зангво – Тханьконг и Фапван (средняя скорость 20 – 44 мм/год).

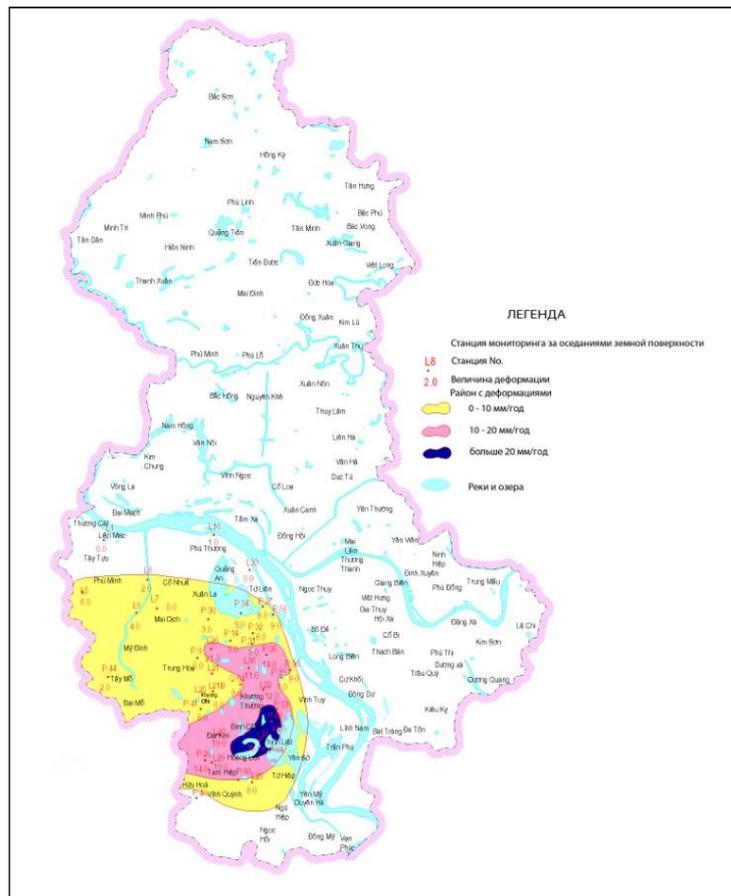


Рисунок 1.6. Схема зонирования оседания земной поверхности на территории г. Старого Ханоя в период 1988 г. - 1995 г. Источник: Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов Северного региона

Кроме этого Народный комитет города Ханоя заказал Ханойской института науки, технологии и строительной экономики построить новую систему мониторинга за оседанием земной поверхности. Эта новая система была спроектирована и построена с 1994 г. до 2003 г., вначале в микрорайоне Нгокха.

В настоящее время эта система состоит из 10 станций. Наблюдение оседания земной поверхности в Ханое проводится регулярно Ханойским институтом науки, технологии и строительной экономики.

Эти станции мониторинга за оседанием земной поверхности и понижением уровня подземных вод построены в микрорайонах с типичными инженерно-геологическими условиями города Ханоя, с наличием в разрезе слабых грунтов как Тханьконг, Фапван, Нгосилиен, Тьонгмай; в микрорайонах, в разрезе которых отсутствуют слои слабого грунта как Нгокха, Майзич, Донгань; в микрорайонах с наличием слабых грунтов в разрезе – около реки Красной, как Лыонгиен, Залам, и микрорайонах далеких от реки Красной, как Хадинь.

Таблица 1.5.

Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности на территории г. Ханоя в период 1988 г. – 1995 г. [98,104, 120]

№	Номер точки	Станция	Оседание земной поверхности (мм) в год							Среднее оседание земной поверхности (мм/год)
			88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	
1	L1	Лиенмак	-3	-2	+5	+1	-5	+3	0	0
2	L3	Лиентчунг	0	-2	+4	+1	-8	+5	0	0
3	L5	Нхон	-7	-7	+2	+3	-11	-9	-12	-6
4	L6	Каузиен	-13	-3	-8	+10	-9	-2	-4	-4
5	L7	Маизич	-19	+3	-6	+2	-6	-1	-5	-5
6	L8	Конхуе	-6	+2	+1	+2	-9	+6	-7	-2
7	L16	Нхатган	-5	+2	-8	-6	-6	+19		-1
8	L19	Нгошилиен	-22	+23	-23	+3	+4	+4	-7	-3
9	L20	Тханьконг	-39	+1	-40	-25	-6	-16	-18	-21
10	L21	Нгатышо	-14	+2	-17					-14
11	L21B	Каумой	-12	-3	-12	+2	-16	+10	-9	-6
12	L22	Нгатывонг	-24	-16	-30	+28	-31	0	-9	-12
13	L25	Хадинь	-12	-4	-10	-3	-23	+11	-12	-8
14	L26	Каузаи		-17	-25	-16	-16			-19
15	L27	Фапван	-23	-90	-63	+3	-83	+28	-16	-35
16	L28	Вандиен		-22	-17	+9	+5	+1	-25	-8
17	L29	Каувьюу		-14	-29	-19	-17	-21	-12	-19
18	L33	Тылиен				-7	-4	+19	-13	0
19	L36	Кимлиен				+3	-34	-9	-10	-11
20	L41	Хадинь				-10	-23	+12	-12	-8
21	P27	Иенфу				-10	-7	-3	-13	-8
22	P28	Кохи 1					-36	-13	-5	-14
23	P31	Нгошилиен				-15	-2	-3	-15	-9
24	P32	Памятник Ленину				-3	+6	+12	-6	
25	P35	Тьонгмай					-59	+43	+1	-5
26	P35B	Тхиенкуанг					-40	+3	-6	-14
27	P36	Льонгиен				-23	-2	-1	-7	-8
28	P39	Тханьнхан					-2	+5	-6	-1
29	P42	Танмай					-109	+6	-27	-44
30	P44	Таимо				-19	-11	+8	-7	-7
31	P53	Танмай	-1	-6	+3	-16	-24			-9
32	Q64	Медуниверситет					-18	-1	-6	-9

Анализ данных по 10 станциям мониторинга за оседанием земной поверхности в связи с водозабором подземных вод в последние годы показывает оседание земной поверхности в результате извлечения подземных вод. На станциях со слоями слабых грунтов скорость оседания земной поверхности сравнительно высокая, например, Тханьконг – 40,46 мм/год, Нгошилиен – 26,52 мм/год, Фапван – 21,02 мм/год; на станциях без слабых грунтов скорость оседания земной поверхности низкая, например, Нгокха – 1,73 мм/год, Майзич – 2,81 мм/год, Донгань – 4,66 мм/год; на станциях, расположенных около реки Красной, скорость оседания ниже в результате пополнения подземных вод речной водой, например, Лыонгиен – 15,94 мм/год, Залам – 19,13 мм/год (Таблица 1.6, Рисунок 1.7).

Таблица 1.6

Результаты мониторинга на 10 станций мониторинга за оседаниями земной поверхности на территории г. Ханоя [41, 65, 97]

№	Станция мониторинга	Время наблюдений	Мощность слабых грунтов (м)	Уровень п.в. в 2004 г. (м)	Понижение уровней п.в. (м)	Скорость понижения уровней п.в. (м/год)	Оседание земной поверхности (мм)	Скорость оседания земной поверхности (мм/год)
1	Нгокха	1994-2004	-	24,92	3,18	0,29	18,99	1,73
2	Фапван	1996-2004	26,0	22,60	4,36	0,48	189,14	21,02
3	Тханьконг	1997-2004	16,0	19,67	5,39	0,67	323,67	40,46
4	Хадинь	1998-2004	23,7	34,54	4,02	0,57	131,83	18,83
5	Маизич	1998-2004	-	27,49	5,78	0,83	19,67	2,81
6	Лыонгиен	2000-2004	14,0	21,39	2,76	0,55	79,70	15,94
7	Донгань	2002-2004	-	4,67	0,49	0,16	13,98	4,66
8	Нгошилиен	2002-2004	12,5	20,89	2,69	0,90	79,56	26,52
9	Залам	2003-2004	2,1	7,81	0,50	0,25	38,26	19,13
10	Тыонгмай	2003-2004	15,5	28,11	3,07	1,54	36,85	18,43

Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности на разных глубинах показывают, что водоносные отложения имеют стабильную и очень низкую скорость оседания. Оседание земной поверхности, в действительности, является суммой осадки слоев грунта, залегающих выше водовмещающих пород. В местах со слоями слабого грунта оседание земной поверхности является суммой осадки слоев слабых грунтов, залегающих выше слоя добычи подземных вод.

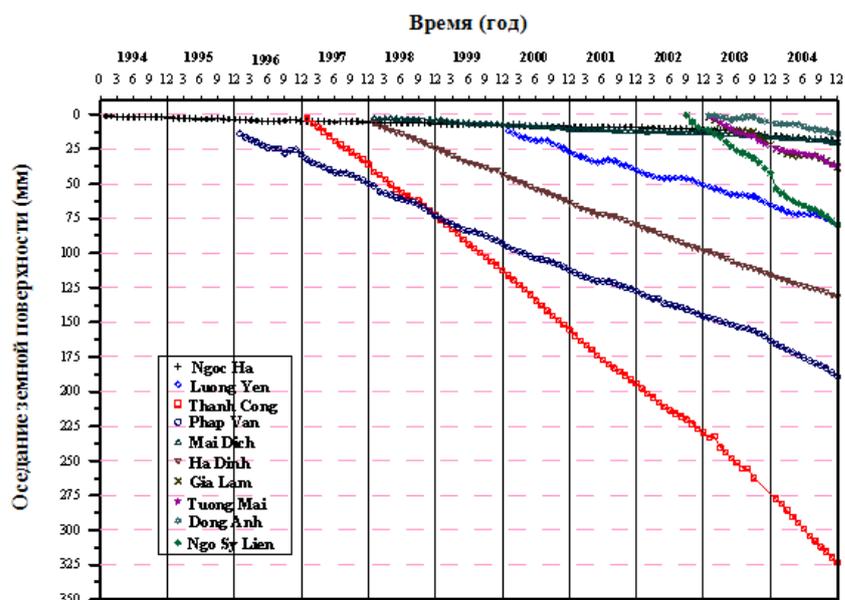


Рисунок 1.7. Величины оседания земной поверхности по 10 станциям мониторинга на территории г. Ханоя в период 1994 г. – 2004 г. [65]

1.2.3.4. Осадки и разрушение домов, зданий и объектов в г. Ханое

Для решения проблемы нехватки жилья в г. Ханое, с конца 1970-х до начала 1980-х годов, было построено много 4-5 этажных зданий в районах старого Ханоя: Зангво, Тхайтхинь, Бадинь, Танмай, Чьонгдинь, Чунгты, Кимлиен, Нгиадо, Тханьконг, Нгоккхань и другие. Почти все эти здания построены из железобетонных панелей на фундаментах неглубокого заложения, иногда на пирамидальных сваях (до 3,6 м) в микрорайонах города, в которых широко развиты слабые водонасыщенные грунты с органическими остатками свиты Хайхынг ($lb, ambIV^{1-2}hh_1$). В первые годы эксплуатации зданий происходили значительные осадки, но со временем скорость осадки уменьшилась.

С конца 1980-х годов, когда началась Финская программа чистой воды, максимальные осадки зданий превысили предельно-допустимые значения, некоторые из них были разрушены. По данным Ханойского департамента строительства 1988 г. около 90% из 200 четырех – пятиэтажных зданий осели с величиной осадки 10 – 40 см. В отдельных случаях величина осадки зданий превышала 120 – 200 см. 52 здания с высокой величиной осадки и серьезными трещинами по стенам были отремонтированы.

Процесс осадки зданий и жилых домов проявляется двояко: а) слабозатухающие или незатухающие осадки; б) резкое увеличение скорости осадки после длительных небольших осадок.

(а) *Незатухающие осадки во времени* наблюдались в зданиях, расположенных в микрорайонах Тханьконг (В7, К7, Е3, К7, Н2, В6, G6A, С1, и др.), Нгоккхань (А2, В1, В2, В8, А, и др.), Зангво (А2, А3, А6, С6, А1, Е6, и др.), Танмай (С5, С6, С7), Куиньмай (Е6, Е7, Е8).

Примеры:

Пятиэтажное здание В2 – Нгоккхань было построено в 1985 г. на фундаменте неглубокого заложения и песчаных сваях. Когда был построен четвертый этаж, здание сильно оседало с величиной осадки около 100 см и стало нестабильным. В результате были должны убрать четвертый этаж [98, 104].

Пятиэтажное здание Е6 – Куиньмай было построено в 1978 г. на ленточном фундаменте и пирамидальных сваях. Когда был построен третий этаж, величина осадки здания была 20 – 30 см. В течение 4 лет эксплуатации, с 07/1978 г. до 08/1982 г., величина осадки здания составила 86 – 96 см. В конце 2000 г. величина осадки здания составила уже 110 – 130 см [98, 104].

Пятиэтажное здание С1 – Тханьконг, сданное в эксплуатацию в 1976 г., построено на ленточном фундаменте и пирамидальных сваях. Через 6 лет величина осадки здания была 75 – 82 см. После 20 лет эксплуатации величина осадки здания составляет 200 см [98, 104].

Пятиэтажное здание А2 – Нгоккхань, сданное в эксплуатацию в 1985 г., построено на железобетонном плитном фундаменте и песчаных сваях (Рисунок 1.13). Величина осадки здания составила 80 см в конце 2000 г. До 1998 г. скорость осадки здания составляла 3,8 мм/месяц в некоторых точках [98, 104].

Пятиэтажное здание А1 – Зангво, сданное в эксплуатацию в 1985 г., построено на железобетонном плитном фундаменте на естественном основании. После 25 лет эксплуатации секция №.3 наклонилась более 2% и стала нестабильной, поэтому в настоящее время расселена [98, 104].

Пятиэтажное здание А6 – Зангво построено в 1979 г. на железобетонном плитном фундаменте на естественном основании. Многолетняя средняя скорость осадки была больше чем 1 мм/месяц. В 1998 г. неравномерная величина осадки между двумя краями одной секции была 2 мм/месяц. Здание сильно наклонилось (по вертикали 1,6% и по горизонту 0,8%) и было признано опасным для проживания. В

настоящее время здание А6 – Зангво разобрано для строительства нового девятиэтажного здания [98].

В настоящее время много жилых зданий оседает со скоростью 1,0 – 2,0 мм/месяц (рис. 1.8–1.9), часть зданий оседает со скоростью 0,5 – 1,0 мм/месяц, например, здания С7, С8, В6 – Зангво; Е4, Е6, Е7, D2, D6 – Тханьконг, некоторые здания, такие как I4 – Тханьконг и А2 – Нгокхань оседают неравномерно 2 – 3 мм/месяц [98, 104].

В соответствии с теорией консолидации и, в действительности, при неизменной нагрузке грунты оседают, но величина осадки уменьшается со временем. Непрекращение или малое уменьшение со временем скорости осадки некоторых вышеуказанных зданий позволяет предполагать, что вместе с нагрузкой от зданий проявились дополнительные нагрузки, связанные со снижением уровня подземных вод при добыче подземных вод в Ханое.

(б) Неожиданное увеличение скорости осадки после продолжительного периода маленьких осадок или их отсутствием: эта проблема была замечена быстрым и интенсивным появлением разрушения домов, зданий и объектов, используемых нормально и безопасно долгое время.

Примеры:

Здание Центрального управления полиции г. Ханоя на улице Чанхынгдао, дом 87 – двухэтажный кирпичный дом с несущими стенами на фундаменте неглубокого заложения, построенный в 1925 году.

До конца 1980 годов этот дом эксплуатировался нормально и безопасно, разрушений не наблюдалось. Однако потом начали интенсивно появляться трещины в конструкциях дома, в 1994 году был произведен капитальный ремонт дома. По мнению экспертов, причиной разрушения является проблема с фундаментом [98].

Здание главного исполнительного комитета коммунистической партии Вьетнама – двухэтажный кирпичный дом длиной 100 м с несущими стенами на фундаменте неглубокого заложения, построенный в 1910 году. В 1989 г. появились разрушения из-за неравномерных осадок. Результаты мониторинга осадки дома показали, что величина осадка была маленькая 0,3 – 0,7 мм/месяц. Этот дом был отремонтирован. В настоящее время величина осадка дома очень маленькая и новые разрушения не появляются [98].

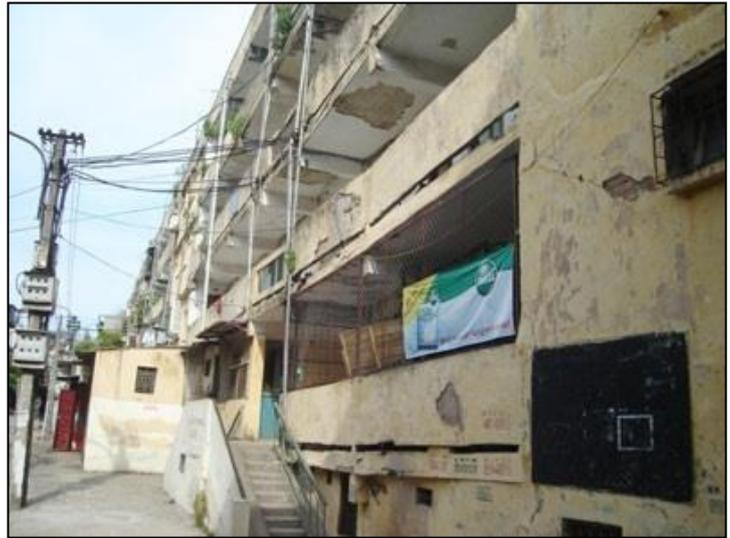
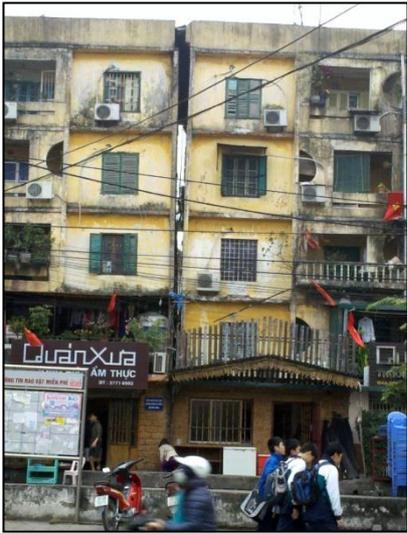


Рисунок 1.8. Здание А2 (слева) – Нгокхань, построенное в 1976 г., с вертикальной деформацией 80 см и неравномерной деформацией 45 см (фото: Фи Х.Т., 2012) и здание С1 (справа) – Тханьконг, построенное в 1978 г., с вертикальной деформацией 200 см [82]



Рисунок 1.9. Отмостка здания, построенного в 2007 г. в микрорайоне Тхиньлиет района Хоангмай города Ханоя, опустилась ниже [92]

После ремонта и реформа зданий и жилых домов скорость осадка значительно уменьшилась, хотя разными степенями. Почти все здания и жилые дома до ремонта имели среднюю скорость 2,5 – 3,0 мм/месяц. После ремонта скорость осадка уменьшилась до 1,5 – 2,0 мм/месяц.

Кроме того, некоторые здания как Е4 – Тханьконг; А, В – Нгокхань уже оседали стабильно после 10 лет использования, но в последние 10 лет скорость оседания значительно увеличилась [98].

Вышеуказанные примеры показывают, что существует дополнительная нагрузка с конца 1980-х до начала 1990-х годов, приведшая к увеличению скорости осадки. Эта дополнительная нагрузка привела к существенному росту эффективных напряжений. Вертикальные и неравномерные деформации сопровождались разрушениями зданий

и жилых домов в микрорайонах со слоями слабых грунтов. Этот момент совпал со временем исполнения Финской программы чистой воды на территории старого г. Ханоя. В это время значительно увеличилась добыча подземных вод.

Выводы по разделу

1. Извлечение подземных вод в г. Ханое непрерывно увеличивается для бытовых и промышленных нужд. В период с начала 20-го века до настоящего времени можно выделить два этапа, различающихся объемом извлекаемых подземных вод и характером негативных изменений геологической среды.

Первый этап с 1955 по 1965гг. (мощность добычи увеличилась в 5 – 6 раз, достигнув 150.000 м³/сутки), не вызвал негативных изменений геологической среды благодаря богатым запасам воды в водоносных комплексах.

Второй этап с 1985 по 1995 гг. мощность добычи достигла 400.000 м³/сутки, то есть в 2 – 3 раза больше по сравнению с прошлыми годами, и активно стали проявляться негативные изменения геологической среды. Одним из признаков является разрушение зданий и жилых домов в микрорайонах со слоями слабых грунтов в разрезе и большой мощностью добычи подземных вод. С тех пор, чем больше мощность добычи подземных вод, тем яснее негативные влияния на геологическую среду.

2. Результаты мониторинга уровней подземных вод показали, что добыча подземных вод привела к снижению уровней подземных вод в центральной части г. Ханоя, образовались депрессионные воронки в микрорайонах распространения общественных водозаборных предприятий. Эти воронки накладывались друг на друга и объединялись.

3. В настоящее время установлена связь между оседанием земной поверхности и извлечением подземных вод на территории г. Ханоя. Разрушения жилых домов и зданий в г. Ханое произошли в основном в период с 1985 по 1995 гг., в период интенсификации добычи подземных вод, что является убедительным доказательством наличием связи между оседанием земной поверхности и процессом добычи подземных вод на территории г. Ханоя.

4. Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности показали, что почти вся внутренняя площадь города Ханоя подверглась оседанию с разными скоростями осадки, зависящими от инженерно-геологических условий и

характеристик снижения подземных вод. В микрорайонах со слоями слабых грунтов в разрезе и сильными снижениями уровней подземных вод величина оседания земной поверхности высокая, например: Тханьконг, Фапван, Нгошилиен, Тьонгмай, Хадинь, Лыонгиен.

5. Два грунтовых репера в Золо и Донгнгах установлены слишком неглубоко, на глубине 2,0 м от земной поверхности и подверглись оседанию вместе с грунтами. Поэтому результаты мониторинга оседания земной поверхности в период с 1988 по 1995 гг. следует считать неточными, они позволяют судить не об абсолютных величинах осадки, а только об относительных значениях осадки земной поверхности в исследуемых районах.

1.3. История исследований оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в мире и во Вьетнаме

1.3.1. История исследований проблемы в мире

После Второй мировой войны, явление оседания земной поверхности наблюдалось во многих местах нашей планеты, сопровождавшееся огромными экономическими и экологическими потерями. Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) внесла проблему оседания земной поверхности в список первоочередных тем для исследования и разработки технологий. Первая исследовательская программа по изучению оседания земной поверхности была выполнена с 1965 по 1975 гг. с названием «Десятилетие международной гидрологии (ИНД – ДМГ)». Следом за исследовательской программой ИНД, ЮНЕСКО выполняет программу исследования оседания земной поверхности с названием «Международная гидрологическая программа» (ИНР – МГП). Программа ИНР была разделена на несколько периодов, каждый период длился пять лет, начиная с 1975 г. и продолжается до настоящего времени. В конце каждого периода исследования, ЮНЕСКО организует Международный семинар об оседании земной поверхности (ISOLS). На сегодняшний день ЮНЕСКО в различных местах по всему миру уже организовало 8 семинаров ISOLS.

Первый международный семинар об оседании земной поверхности был организован ЮНЕСКО в 1969 г., в городе Токио, Япония; второй в городе Анахайм, штат Калифорния, США, в 1976 г.; третий в г. Венеция, Италия, в 1984 г.; четвертый в Хьюстоне, штат Техас, США, в 1991 г.; пятый в г. Гааге, Нидерланд в 1995 г.; шестой

в Равенне, Италия, в 2000 г.; седьмой в Шанхае, Китай, в 2005 г.; восьмой в Сантьяго, штат Queretaro, Мексика в 2010 г. Все места проведения семинаров испытывают оседание земной поверхности в результате добычи подземных вод.

Для обмена информацией и результатами исследований об оседании земной поверхности в мире, была создана «Рабочая группа по исследованию оседания земной поверхности» в апреле 1974 г. Задачами этой группы являются организация симпозиумов, семинаров, образовательных курсов, сбор материалов и составление научной документации об оседании земной поверхности. Первым директором проекта был доктор Joseph F. Poland (США), а нынешний директор – доктор Laura Carbognin (Италия). Все члены рабочей группы – ученые, которые проводили многолетние исследования оседания земной поверхности, в том числе: German Figueroa Vega (Мексика), A. Ivan Johnson (США), Soki Yamamoto (Япония), Giuseppe Gambolati (Италия), Keith R. Prince (США), Alice Aureli (Франция), Frans B. Varends (Нидерланды), Dora Carreón Freyre (Мексика), Devin L. Galloway (США), Abdin M.A. Salih (Судан), Zhang A Gen (Китай) и т.д.

В период с 1969 г. до настоящего времени, эта группа собирала материалы об оседании земной поверхности по всему миру, в том числе: по состоянию проблемы, результаты исследования и мер по ограничению и устранению повреждений, вызванных оседанием земной поверхности. Из полученных материалов, группа опубликовала ряд документов и статей по этой проблеме. В 1984 г. ЮНЕСКО издало книгу «Руководство по исследованию оседания земной поверхности в результате добычи подземных вод», 340 страниц, ее главный редактор – доктор Joseph F. Poland.

Кроме ЮНЕСКО, многие научные и образовательные центры в мире занимаются изучением этого явления. Среди стран, которым принадлежат многие достижения в исследовании оседания земной поверхности в результате добычи подземных вод, следует упомянуть США, Япония, Мексика, Италия, Таиланд и Китай.

В дополнение к списку ученых из группы ЮНЕСКО МГП, можно назвать еще ряд других известных ученых в области исследования оседания земной поверхности в мире, таких как Li Yiu, Lu Yao-Ru, Hua Wen Chen, Xue Yu-Qun (Китай); Thomas J. Burbey, Thomas L. Holzer, Stanley A. Leake, Donald C. Helm (США); Andras Szollosi-Nagy (Франция); Frits J. J. Brouwer (Нидерланды); Enrique Cabral Cano, German

Figuerola V (Мексика); Alfonso Rivera, Toni Settari (Канада); Pietro Teatini, Fabio Rocca, Luigi Tosi (Италия); Kuniaki Sato, Soki Yamamoto, S. Aoki (Япония); N. Phien-wej (Таиланд); N.H. Phuong и P.H. Giao (Вьетнам) и т.д.

На территории России выявлены и достаточно подробно изучены несколько региональных очагов формирования оседания земной поверхности. Вопросы оседания при водопонижении подробно рассмотрены в работах В.И. Осипова, С.И. Гольца, Р.С. Зиангирова, А.А. Конопянцева, Е.Н. Ярцева, Г.А. Голодковской, М.И. Егорычевой, Ю.Ф. Захарова, В.Е. Ольховатенко, А.А. Краевского, А.И. Янковской, Ю.К. Смоленцева и многих других.

1.3.2. История исследований проблемы во Вьетнаме

Во Вьетнаме, вопрос оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод достаточно новый, и его изучение производится всего в нескольких крупных городах, таких как г. Ханой, Хошимин и Хайфон.

1.3.2.1. Изучения о причинах, воздействиях и прогнозировании оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в Ханое

Исследователей, изучавших проблему оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в Ханое, особенно на территории Старого города довольно много, это: Н.К. Кыонг, 1995 г.; Ч.Ч. Хуе и др., 1995 г., 1996 г.; Н.Б. Ке и Д.Т. Тьонг, 1999 г.; Ф.Х. Жао, 2000 г.; Ч.М. Тху, 2000 г.; Ч.В. Хоанг и Б.Т.Б. Ань, 2000, 2003, 2004, 2005 гг.; Л.Т. Тханг, 2004 г.; Н.Х. Фьонг, 2004 г.; Ф.К. Ньан, 2008 г.; Ч.В. Ты, 2009 г.; Ч.М. Лиеу, 2005, 2010 гг.

В 1995 г., исследователь Н.К. Кыонг показал, что уровень напора очень сильно снижается при добыче подземных вод, поэтому проявляется оседание в пласте извлечения подземных вод, хотя грунты являются слабосжимаемыми. Автор также показал нелогичность в размещении скважин для добычи подземных вод и предложил перепланировку площадки скважин в виде внутреннего кольца и наружного кольца [110].

Исследовательские работы, выполненные Ч.Ч. Хуе в 1995 и 1996 гг., посвящены оценке геодинамических характеристик на площадках скважин Иенфу и Залам, выполнено моделирование для вычисления площади депрессионной воронки на 2-х вышеуказанных площадках.

В 1999 г. исследователи Н.Б. Ке и Д.Т. Тьонг, анализируя данные мониторинга за оседанием земной поверхности по шести наблюдательным станциям на территории Старого Ханоя и возможности расчетных методов оседания земной поверхности, обосновали необходимость дополнительных наблюдательных станций в Ханое для повышения точности оценки и прогноза оседания земной поверхности [120].

В 2000 г. Ф.Х. Жао использовал метод конечных элементов в программе TZP, написанной самим автором в 1997 г., для прогнозирования оседания земной поверхности по наблюдательной станции Фапван. Автор показывал, что использование программы TZP на основе теории одномерной консолидации К. Терцаги (1924) при прогнозировании оседания земной поверхности в результате добычи подземных вод в Ханое дает адекватные результаты [70].

В 2000 г. Ч.М. Тху использовал метод конечных элементов (программы Geoslope и Modflow) для прогнозирования оседания земной поверхности и снижения уровня подземных вод по двум наблюдательным станциям Фапван и Майзич. Результаты прогнозирования относительно хорошо совпадают с результатами наблюдений [77].

В 2000 г. исследователи Ч.В. Хоанг и Б.Т.Б. Ань показали, что районы, где отсутствуют такие слабые грунты, как торфы, песчанистые и глинистые илы, текучие глины, то скорость оседания из-за извлечения подземных вод не превышает 10 мм/год [155].

С 2003 по 2005 гг. Ч.В. Хоанг и Б.Т.Б. Ань на основе изучения геологического строения, характеристик рельефа, геоморфологии, инженерной геологии, процесса урбанизации и уровней оседания земной поверхности разделили территорию Старого Ханоя на три подрегиона с разным уровнем устойчивости геологической среды. Устойчивая зона с незначительной скоростью оседания располагается в северной части Красной реки, вторая сравнительно стабильная зона состоит из большей части площади районов Тылием, Залам и части внутреннего города. Третья нестабильная зона располагается в районах Тханьчи, Фапван и Тханьконг [153].

В 2004 г. Н.Х. Фьонг со своей исследовательской группой выполнили научные исследования по теме В2001-36-01-ТД с целью оценки и прогноза оседания земной поверхности в результате добычи подземных вод в районе Тханьчи г. Ханоя. Авторы использовали многие методы прогнозирования оседания, такие как: аналитический метод, метод конечных элементов и интегрированный метод. В частности, авторы

предложили некоторые формулы, устанавливающие правила изменения коэффициента консолидации C_v с течением времени для некоторых типов слабых грунтов, вследствие этого результаты прогнозирования оседания близки к данным наблюдений [98].

В 1995 и 2004 гг. исследователь Л.Ч. Тханг указал на опасность сильного оседания земной поверхности из-за снижения уровня подземных вод в Старом городе, которое происходит только в районах с сильным понижением уровней подземных вод, где распространены мощные толщи слабых грунтов свиты Хайхынг и наиболее интенсивно в местах, где эти грунты залегают над водоносным горизонтом [103, 104].

В 2005 г. исследователь Ч.М. Льеу для прогноза оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод использовал факторный анализ данных наблюдений на юго-западе Старого города. Преимущество метода в том, что можно использовать для оценки оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод множество различных геотехнических параметров. Для получения более точных результатов необходимо большее количество наблюдательных станций.

В 2005 г. Ч.М. Льеу использовал методы расчета отрицательного трения и составил прогнозные карты возможности возникновения отрицательного трения из-за добычи подземных вод в районах юго-запада Старого города.

В 2008 г. Ф.К. Ньан сделал прогноз оседания земной поверхности в районах Фапван и Тханьконг аналитическим методом на основе теории одномерной консолидации К. Терцаги. Автор утверждал, что наблюдательных станций оседания недостаточно для составления карт оседания и прогноза оседания земной поверхности по Старому Ханюю [116].

В 2008 – 2009 гг. при изучении оседания земной поверхности в районе Хадонг и его окрестностях, исследователь Ч.В. Ты использовал метод конечных элементов с помощью программы Geoslope. Он утверждал, что основные деформации земной поверхности связаны с извлечением подземных вод в этих районах, небольшие деформации связаны со строительством [115].

В 2010 г. Ч.М. Льеу проанализировал причины оседания земной поверхности из-за статической нагрузки, вызванной строительством, наличием насыпных грунтов и из-за динамической нагрузки от транспорта [151].

В 2010 г. исследователи Н.Д. Мань и Н.Н. Лан показали, что загрязнение грунтов и подземных вод снижает прочность, несущую способность, модуль деформации грунта, способствует увеличению восприимчивости грунта к динамической нагрузке. Газонасыщенность в песчаных грунтах уменьшает их угол внутреннего трения, следовательно, песок легче переходит в текучее состояние. Таким образом, загрязнение грунта и подземных вод косвенно вызывает оседание земной поверхности.

В 2011 г. исследователи Т.Н. Тхань и Ч.Д. Хьу указали на причины оседания земной поверхности в районе юго-запада Нового Ханоя. Причина в том, что под рыхлыми четвертичными отложениями существуют карстовые пещеры. При бурении скважин для извлечения подземных вод, в связи с механическим воздействием, способствующим активизации эрозии и оползанию рыхлых отложений в карстовые пещеры, вызываются локальные оседания земной поверхности [134].

Комментарии. Вышеуказанные исследования показывают нам обзорное представление явления оседания земной поверхности в Старом Ханое. В исследовательских работах показаны основные причины, вызывающие явление оседания земной поверхности, проанализированы отношения между скоростью оседания земной поверхности и мощностью добычи подземных вод, использованы разные методы для прогноза оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод на основе теории одномерной консолидации К. Терцаги, указана нецелесообразность размещения текущей сети скважин и мощности добычи подземных вод. Все исследования сосредоточены только во внутренних районах Старого Ханоя. При прогнозе оседания земной поверхности не рассматриваются изменения характеристик горных пород по времени. Предложенные меры по урегулированию мощности добычи подземных вод и перепланированию сети скважин не реализованы.

1.3.2.2. Работа по организации мониторинга за оседанием поверхности в г. Ханое

В 1988 г. Федерация инженерной геологии и гидрогеологии (ныне Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов Северного Вьетнама) построила 32 станции мониторинга за оседанием земной поверхности на территории Старого Ханоя. Эти станции были размещены на глубине 0,5 м в южной части города вдоль Красной реки.

Система станций мониторинга оседания позволяет контролировать оседание земной поверхности в районах с разными инженерно-геологическими условиями и понижениями уровней подземных вод. Процесс мониторинга за оседанием поверхности осуществляется периодически – раз в год. Ограничение наблюдательной системы в том, что она позволяет контролировать только оседание земной поверхности, а не деформацию каждого слоя грунта, участвующего в оседании.

В конце 1995 г. деятельность этой наблюдательной системы была прекращена за отсутствием финансирования.

В 1994 г. была спроектирована и построена пробно в микрорайоне Нгокха новая наблюдательная система за оседанием земной поверхности, более современная и усовершенствованная. В настоящее время в этой наблюдательной системе действуют 10 станций, которые построены в районах со значительными понижениями уровней подземных вод.

В структуру станции мониторинга оседания входят: стандартный репер, установленный в неогеновом слое, оборудование для мониторинга деформации и нейтрального давления каждого слоя грунта, установленное на разных глубинах. Таким образом, такая система контролирует деформации отдельных слоев грунтов, располагающихся выше неогеновых слоев. Неогеновые слои считаются стандартным ориентиром для наблюдения оседания земной поверхности в Ханое.

Наблюдение оседания земной поверхности в Ханое производится регулярно Ханойским институтом науки, технологии и строительной экономики. Такие наблюдения оседания земной поверхности осуществляются вручную, периодически раз в месяц. К сожалению, с 2005 г. до настоящего времени, результаты мониторинга за оседанием земной поверхности по этим станциям не разрешается публиковать и использовать.

Месторасположение станций мониторинга за оседанием указаны на рис. 1.10; результаты мониторинга оседания с 1994 по 2004 гг. проанализированы в таблице 1.6.

На рис. 1.11 приведена схема установки оборудования мониторинга за оседанием в наблюдательной системе на станции Фапван.

С декабря 2011 г. совместными усилиями Вьетнамского института геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий впервые была испытана технология автоматического мониторинга за оседанием земной поверхности, динамики и свойств

подземных вод. Эта станция автоматического мониторинга установлена в Институте геологических наук по адресу: переулок 84, ул. Чуаланг, микрорайон Лангтхьонг, район Донгда, г. Ханой.



Рисунок 1.10. Карта расположения станций мониторинга за оседанием земной поверхности, станций водоснабжения и разрушающихся сооружений на территории г. Ханоя (Фи Х.Т, 2013)

В систему автоматического мониторинга входят автоматические устройства, записывающие и измеряющие уровни подземных вод, рН, температуру, электропроводность подземных вод плейстоценового водоносного комплекса (Q_p); нейтральное давление, температуру и деформации некоторых слоев слабых грунтов.

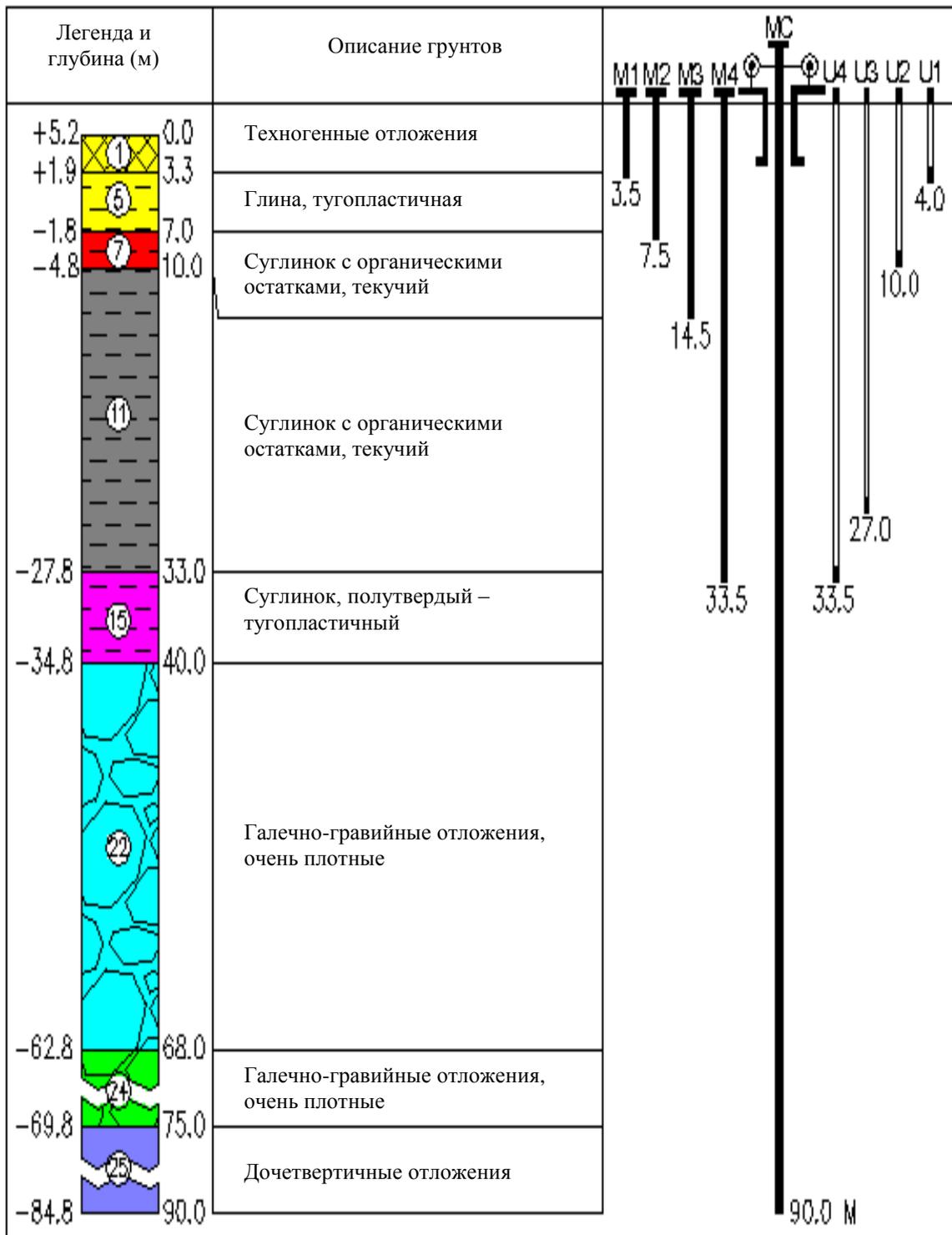


Рисунок 1.11. Схема установки оборудования мониторинга за оседанием в наблюдательной системе на станции Фанван (Фи Х.Т., 2013)

Система автоматического мониторинга уже начала стабильно работать и обеспечивает надежную базу данных. Результаты исследований показывают, что испытательная система автоматического мониторинга эффективно работает, и можно копировать эту модель в других районах с целью создания сети автоматического

мониторинга, прогнозирующей оседание земной поверхности, динамику и свойства подземных вод в г. Ханое.

Ныне, Институтом геологических наук выполняется тема по государственному заданию «Исследование научных основ и предложение о мероприятиях прогнозирования оседания земной поверхности в городе Ханое на базе технологии интерференционного радара (InSAR)». Выполнение темы запланировано с января 2012 г. по декабрь 2014 г.

Комментарии. Работы по мониторингу оседания земной поверхности в Ханое начались с 1988 г. и продолжаются в настоящее время. Станции и репера размещены в центре г. Ханоя, в районах с разными инженерно-геологическими условиями и понижениями уровня подземных вод. Результаты мониторинга за оседанием показывают, что центральная часть г. Ханоя имеет оседание земной поверхности с разными уровнями. Большие оседания земной поверхности сосредоточены в районах, с наличием в разрезе слабых грунтов и значительным снижением уровня подземных вод: Тханьконг, Фапван, Нгошилиен, Тьонгмай, Хадинь, Лыонгиен. Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности и деформацией каждого слоя грунта с 1994 г. по 2004 г. имеют высокую надежность. Результаты мониторинга за нейтральным давлением имеют низкую надежность, точность измерений уменьшается после 2 – 3 лет эксплуатации. В настоящее время почти все пьезометры мониторинга за нейтральным давлением не работают. Из-за отсутствия финансирования, некоторое оборудование не действует с 1995 года. Качество некоторых устройств измерения оседания на станциях мониторинга снижалось с течением времени из-за жаркого и влажного климата и обильных атмосферных осадков в Ханое, но они не были заменены, следовательно, результаты мониторинга за оседанием поверхности в последнее время имеют низкую надежность. Запись данных наблюдений производилась вручную, прерывно. Между станциями мониторинга нет никакой связи. Количество станций мониторинга еще малое, разреженное, поэтому невозможно составить карту оседания земной поверхности на территории г. Ханоя.

Для устранения данной проблемы в настоящее время соответствующими органами в г. Ханое проводятся исследования и тестирование ряда новых современных методов и систем мониторинга.

1.3.2.3. Другие исследования, связанные с предметом

С 1988 г. до настоящего времени были опубликованы значительные работы по геологии, геоморфологии, современной тектоники, инженерной геологии, гидрогеологии города Ханоя.

Исследовательские работы по геологии:

Геологические карты:

- Геологические карты и карты полезных ископаемых Старого Ханоя масштаба 1:50.000 состоят из следующих групп карт: BD186 (1988 г., редактор Ч.Д. Туиет); BD187 (1989 г., Н.К. Тоан) и BD205 (1994 г., Н.К. Тоан).

- Геологическая карта Старого Ханоя масштаба 1:200.000 составлена в 2005 г. редактором Х.Н. Ки; Геологическая карта и карта полезных ископаемых Нового Ханоя масштаба 1:50.000 составлена в 2011 г. под редакцией Н.К. Тоан.

На этих картах отражено геологическое строение района. Однако необходимо пересмотреть сопредельные территории между группами карт.

Научные работы по геологии:

В 2003 г. в своей кандидатской наук диссертации, З.Д. Лам изложил историю развития дельты Красной реки в голоцене, разделил и определил виды отложений, составил карты окаменелостей в дельте Красной реки [94].

В 1987, 1989, 1992, 1995, 2000 годах в исследовательских работах по четвертичной геологии района г. Ханоя и дельты Красной реки, исследователь Н.К. Тоан и др. описали характеристики осадконакопления и историю развития четвертичных отложений в северо-восточной части дельты Красной реки [82].

В 2003 г. В.Н. Тханг и др. рассмотрели виды осадочных отложений и типы полезных ископаемых на территории города Ханоя.

В 2011 г. В.В. Фай, Д.Д. Бак и Н.К. Тоан опубликовали монографию по геологии, геоморфологии и полезным ископаемым на территории г. Ханоя. В книге описаны природные условия, геологические и геоморфологические особенности, природные ресурсы Нового Ханоя [82].

Работы по геоморфологии и современной тектонике

Карты геоморфологии и современной тектоники:

- Карта геоморфологии и современной тектоники Старого Ханоя масштаба 1:50.000 была составлена в 1995 г. под общей редакцией До Туэт и Нгуен Кан;

- Схема разлома в дельте Красной реки масштаба 1:1.000.000 составлена в 1992 году редакторами Н.Ч. Ием и З.Д. Лам;

- Тектоническая схема Нового Ханоя масштаба 1:500.000 составлена в 2011 году редактором Н.К. Тоан;

- Геоморфологическая карта Нового Ханоя масштаба 1:50.000 составлена в 2011 году редактором Д.Д. Бак [82].

Научные работы по геоморфологии и современной тектонике:

В 1992 г. в исследовании по урбанизированной геологической характеристике города Ханоя, Н.Ч. Ием и др. внесли предложение модели оценки урбанизированных геологических условий на основе норм о геологии, геоморфологии, современной тектонике, землетрясении, трещиноватости пород, почве, поверхностных водах, подземных водах, инженерно-геологических условиях, гидрогеологических условиях. Авторы разделили геологическую характеристику города Ханоя на 9 комплексов урбанизированной геологии, показанных на схеме масштаба 1:200.000 [111].

В 1995 г. в работе «Обследование урбанизированной геологии г. Ханоя и Хайфона» исследователь До Туиет рассмотрел особенности геоморфологии и современной тектоники города Ханоя.

В 2007 г. исследователь Х.В. Хай привел некоторые новые доказательства о современной активизации разломов, также их связь с георисками (геологическими опасностями) в Старом Ханое [148].

В 2011 г. Н.К. Тоан, Д.Д. Бак и В.В. Фай описали особенности геоморфологии – современной тектоники Нового Ханоя в монографии по геологии, геоморфологии и полезным ископаемым [82].

Работы по инженерной геологии

Инженерно-геологические карты:

- Инженерно-геологическая карта Старого Ханоя масштаба 1:50.000 составлена в 1995 году редактором Н.Д. Дай;

- Инженерно-геологическая карта экономического коридора Ханоя – Хайфона – Куангниня масштаба 1:100.000 составлена в 1995 г. редактором Н.Д. Дай;

- Карта распространения слабых грунтов на территории Старого Ханоя масштаба 1:25.000 составлена в 2004 году редактором Н.Х. Фьонг;

- Инженерно-геологическая карта Нового Ханоя масштаба 1:50.000 составлена в

2011 году редактором Н.К. Тоан.

Научные работы по инженерной геологии:

В 1995 г. в диссертации Л.Ч. Тханг осуществил изучение типов слабых грунтов на территории г. Ханоя и оценил возможность их использования в строительстве. На основании генезиса и свойств слабых грунтов, автор разделил слабые грунты на 4 типа и 12 видов. В том числе, 2-ый тип содержит слабые грунты свиты Хайхынг, являющийся наиболее неблагоприятным для строительства слабым грунтом [104].

В 1998 г. Ф.В. Ти и др. представили итоговый доклад по теме «Изучение инженерно-геологических условий для проекта строительства подземного транспорта в г. Ханое». Авторы выяснили инженерно-геологические особенности на территории Старого Ханоя, обосновали неблагоприятные геологические явления, которые могут возникнуть при строительстве подземных транспортных сооружений в г. Ханое [100].

В 1999 г. исследователь Ф.В. Ти и др. представили итоговый доклад по теме «Изучение, оценка грунтовых строительных ресурсов в городе Ханое». Авторы провели классификацию горных пород на территории г. Ханоя и составили схему распределения горных пород [119].

В 2000 г. в диссертации Н.В. Тинь рассмотрел инженерно-геологические особенности осадочных отложений с органическими остатками нижней подсвиты Хайхынг на территории г. Ханоя и сделал прогноз изменения свойств этих отложений под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности с целью целесообразности добычи грунтовых строительных материалов [109].

В 2004 г. Н.Х. Фыонг и др. выполнили тему ТС-ДТ/06-02-3 по составлению таких карт, как карта распространения слабых грунтов Старого Ханоя; карта мощностей и глубины залегания слабых грунтов; карте районирования слабых грунтов на территории Старого Ханоя масштаба 1:25.000. Авторы выполнили обзор о распределении слабых грунтов в 14 районах Старого Ханоя [140].

В 2010 г. в диссертации Н.Д. Мань проводил исследования, анализы, оценки процессов и явлений эндогенных и экзогенных геологии, влияющих на безопасное использование подземного пространстве Старого Ханоя [17].

В 2011 г. Н.К. Тоан привел обобщенную инженерно-геологическую характеристику территории Нового Ханоя в монографии по геологии, геоморфологии и полезным ископаемым г. Ханоя [82].

Работы по гидрогеологии

Гидрогеологические карты:

- Гидрогеологическая карта Старого Ханоя масштаба 1:200.000 составлена в 1985 году редактором К.Ш. Суен;

- Гидрогеологическая карта Старого Ханоя масштаба 1:50.000 составлена в 1995 году редактором Чан Минь;

- Гидрогеологическая карта экономического коридора Ханоя – Хайфона – Куангниня масштаба 1:100.000 составлена в 1995 редактором К.В. Куинь;

- Гидрогеологическая карта г. Нового Ханоя масштаба 1:50.000 составлена в 2011 году редактором Н.К. Тоан.

Научные работы по гидрогеологии:

В 1985 г. К.Ш. Суен и др. дали обобщенную характеристику гидрогеологических условий Старого Ханоя при составлении Гидрогеологической карты Ханоя масштаба 1:200.000.

В 1995 г. Чан Минь рассмотрел гидрогеологические особенности Старого Ханоя в теме «Обследование урбанизированной геологии г. Ханоя – Хайфонга» [138].

В 2003 г. В.Н. Тханг и др. опубликовали монографию «Геология и полезные ископаемые города Ханоя». Авторы обобщили сведения о гидрогеологических особенностях Старого Ханоя.

В 2007 г. Т.Н. Тхань оценил динамику подземных вод в городе Ханое численными методами [141].

В 2008 г. Ф.К. Ньан и Д.Д. Фук проводили исследования по изучению гидравлической связи между подземными водами и водой Красной реки в г. Ханое. Авторы указали районы, где существуют тесные, умеренные и слабые гидравлические связи между подземными и поверхностными водами [86].

В 2011 г. Т.Н. Тхань и др. выполнили тему «Составление базы данных по водным ресурсам на территории Нового Ханоя – второй этап». Авторы указали особенности водных ресурсов на территории города; сделали рекомендации по планированию, целесообразному использованию и охране водных ресурсов на территории г. Ханоя [139].

В 2011 г. Н.К. Тоан описал основные гидрогеологические особенности территории Нового Ханоя [82].

Работы по мониторингу динамики подземных вод:

В настоящее время в городе работают две сети наблюдений за динамикой подземных вод.

- Национальная сеть наблюдений на территории г. Ханоя:

Данная сеть мониторинга построена (в период 1985 – 1995 гг.) и финансируется государством, включает в себя 30 станций с 52 объектами. С 2007 по 2010 гг. государством дополнительно построены еще 16 объектов. Ныне, в городе Ханое работают 37 станций с 68 наблюдательными объектами. На каждой станции располагаются от 1 до 3 наблюдательных объектов [139]:

- + В голоценовом водоносном комплексе (Qh): 27 объектов.
- + В плейстоценовом водоносном комплексе (Qp): 33 объекта.
- + В неогеновом водоносном комплексе (N): 6 объектов.
- + Поверхностная вода: 2 объекта.

- Местная сеть наблюдения:

Данная сеть построена в период с 1991 по 1994 гг., состоит из 66 станций и 114 объектов. После обновления, восстановления и дополнения, в настоящее время в городе работают 84 наблюдательные станции с 142 объектами [139]:

- + В голоценовом водоносном комплексе (Qh): 57 объектов.
- + В плейстоценовом водоносном комплексе (Qp): 76 объектов.
- + В неогеновом водоносном комплексе (N): 2 объекта.
- + Поверхностная вода: 7 объектов.

Наблюдения за динамикой подземных вод на территории г. Ханоя проводятся регулярно и непрерывно Конфедерацией планирования и исследования водных ресурсов Северного региона.

Комментарии. Выполненные исследования по геологии, геоморфологии, современной тектоники, инженерной геологии, гидрогеологии и т.д., способствовали выполнению заданий по прогнозированию оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод в городе Ханое. Однако эти материалы и данные должны быть пересмотрены и дополнены.

1.4. Выводы

1. В мире явление оседания земной поверхности широко распространено в регионах с высокой плотностью населения, особенно в дельтах, сложенных мощными рыхлыми отложениями, и возросло в связи с увеличением добычи чистой воды, нефти, природного газа. Например, в заливе Шан Жоакуин (Калифорния, США)

оседание земной поверхности, связанное с интенсивным забором подземных вод, составило 9,0 м, в зоне реки Рафт (Идахо, США) – 10,8 м, в Мехико – 9,0 м, в Токио – 4,6 м, в г. Жаййракей (Новая Зеландия) – 6,5 м, в дельте По (Италия) – 3,2 м. В меньшей степени оседание зарегистрировано в городах Венеция (Италия), Лондон (Великобритания), Осака и Ниигата (Япония), Шанхай и Тяньцзинь (Китай), Бангкок (Таиланд), Джакарта (Индонезия) и др.

2. Извлечение подземных вод в г. Ханое непрерывно увеличивается от 15.000 м³/сутки (1905 г.) до 628.000 м³/сутки (2010 г.). Интенсивное извлечение подземных вод привело к снижению уровней подземных вод в центральной части г. Ханоя, образовались депрессионные воронки в микрорайонах распространения общественных водозаборных предприятий, и активно стали проявляться негативные изменения геологической среды. Одним из признаков является оседание поверхности, сопровождающее деформациями и разрушениями зданий и жилых домов и загрязнением водоносных комплексов.

3. Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности показали, что почти вся внутренняя площадь города Ханоя подверглась оседанию с разными скоростями осадки, зависящими от инженерно-геологических условий и характеристик снижения подземных вод. В микрорайонах со слоями слабых грунтов в разрезе и сильными снижениями уровней подземных вод величина оседания земной поверхности высокая, например: Тханьконг (40,46 мм/год), Нгошилиен (26,52 мм/год), Фапван (21,02 мм/год), Хадинь (18,83 мм/год), Тьонгмай (18,43 мм/год), Лыонгиен (15,94 мм/год).

4. Все исследований сосредоточены только во внутренних районах Старого Ханоя. При прогнозе оседания земной поверхности не рассматривались изменения характеристик горных пород по времени. Предложенные меры по урегулированию мощности добычи подземных вод и перепланированию сети скважин не реализованы.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Обзор методов, используемых для решения прогнозных задач

Для прогноза оседания земной поверхности в связи с извлечением подземных вод необходимо рассмотреть две составляющие этого процесса: а) прогноз оседания грунтовой толщи вследствие изменения ее напряженно-деформированного состояния; б) прогноз изменения уровней подземных вод. Решение задач прогноза осуществляется при помощи разных методов, которые можно объединить в 3 группы [53]: (1) – экспериментальные; (2) – полутеоретические; (3) – теоретические.

2.1.1. Экспериментальные методы

Эти методы экстраполяции данных наблюдений для прогноза какого-либо процесса, в частности, оседания земной поверхности в будущем. На основе данных осадки земной поверхности и величины снижения подземных вод составляется график отношений между ними или между ними с течением времени, из которых можно предсказать оседание земной поверхности в будущем. При этом считается, что оседание зависит от времени, игнорируется причины оседания земной поверхности.

1.1.1.1. Экстраполяция наблюдательных данных невооруженным глазом

На основе данных наблюдений за оседанием земной поверхности составляется график отношений между оседанием земной поверхности и временем, невооруженным глазом определяются правила изменения оседания во времени, чтобы получилась гладкая кривая.

2.1.1.2. Применение подходящих кривых (нелинейная экстраполяция)

1. Использование квадратичной функции:

Используется следующая функция и метод наименьших квадратов

$$s = ax^2 + bx + c \text{ или } s = ax + b \quad 2.1$$

Где: s – оседание земной поверхности; x – время; a , b , c – константы.

2. Использование экспоненциальной или логарифмической функции:

Используются функции и метод наименьших квадратов:

$$s = ax^b, \text{ или } \log s = \log a + b \log x, \text{ или } s = ae^{bx} \quad 2.2$$

Где: s – оседание земной поверхности; x – время; a , b , c – константы.

График отношения между оседанием земной поверхности и снижением уровня подземных вод составляется для прогноза оседания земной поверхности в будущем.

2.1.2. Полутеоретические методы

Эти методы используют связь между оседанием земной поверхности и параметрами данных наблюдений. Методы не имеют строгого теоретического обоснования, но могут быть использованы для оценки тенденции оседания земной поверхности.

2.1.2.1. Определение оседания земной поверхности по снижению уровня подземных вод

Исследователь Ямагучи в 1969 г. указал на то, что скорость оседания земной поверхности тесно связана с изменениями уровня подземных вод (Рисунок 2.1)

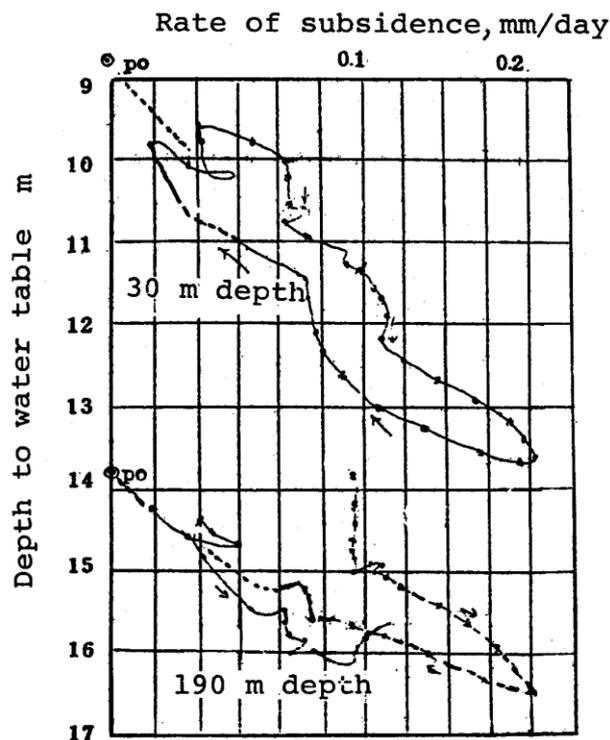


Рисунок 2.1. Отношение между оседанием земной поверхности и глубиной залегания подземных вод в Токийском университете, Япония (Ямагучи, 1969 г.) [53]

и предложил следующую формулу 2.3:

$$\frac{dS}{dt} = kS_c \left[(p_0 - p)t - \frac{dp}{dt} \right] \exp[(-k(p_0 - p)t)] \quad 2.3$$

Где:

dS/dt – скорость оседания земной поверхности;

S_c – окончательная величина оседания земной поверхности;

p_0 – начальный уровень подземных вод;

p – уровень подземных вод на момент расчета;

k – константа;

t – время.

Чтобы решить уравнение 2.3, компоненты этого уравнения представляют в декартовой системе координат и определяют S_c (Рисунок 2.2).

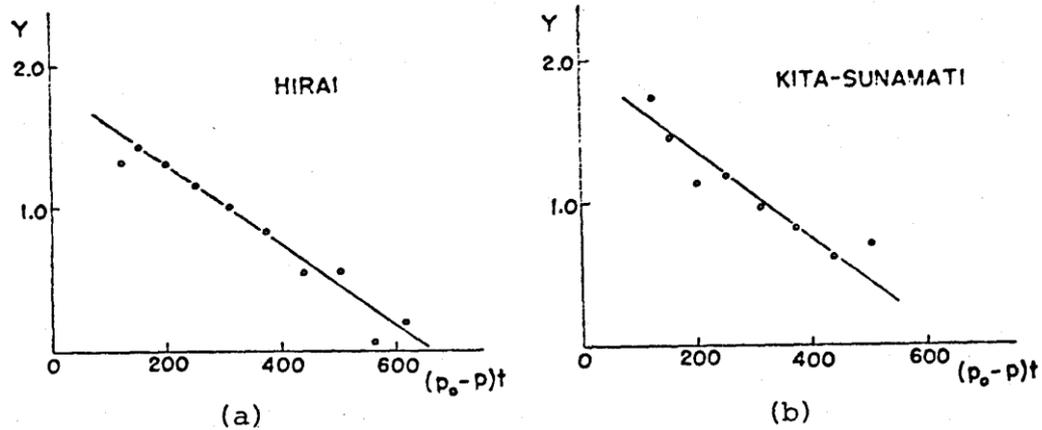


Рисунок 2.2. Отношение между Y и X [53]

Где:

$$Y = \log \left[\frac{ds}{dt} / \left[(p_0 - p)t - \frac{dp}{dt} \right] \right] \text{ и } X = (p_0 - p)t \quad 2.4$$

2.1.2.2. Определение оседания земной поверхности по объему добытых подземных вод

По словам Ямамото, соотношение между объемом добытых подземных вод и оседанием земной поверхности в районе Ниигата было выражено следующими уравнениями:

$$S = aQ + b, \text{ или } S = a\sqrt{Q} + b, \text{ или } S = C/m_v \quad 2.5$$

Где:

S – оседание земной поверхности;

Q – объем добытых подземных вод;

a и b – константы;

m_v – коэффициент объемной сжимаемости;

$C = \Delta H / \Delta Q$; ΔH и ΔQ – изменение отметки земной поверхности в наблюдательном эталоне и изменение объемов добытых подземных вод на единицу площади, соответственно.

На рис. 2.3 показано отношение между объемом оседания земной поверхности и объемом добытых подземных вод в Лос Банос-Кеттлеман, штат Калифорния, США с 1926 по 1968 годы. Пропорция между объемом оседания и объемом добычи подземных вод составляет 1/3 за последние 42 года.

Объем оседания земной поверхности составил одну треть от объема добытых подземных вод за 42-летний период.

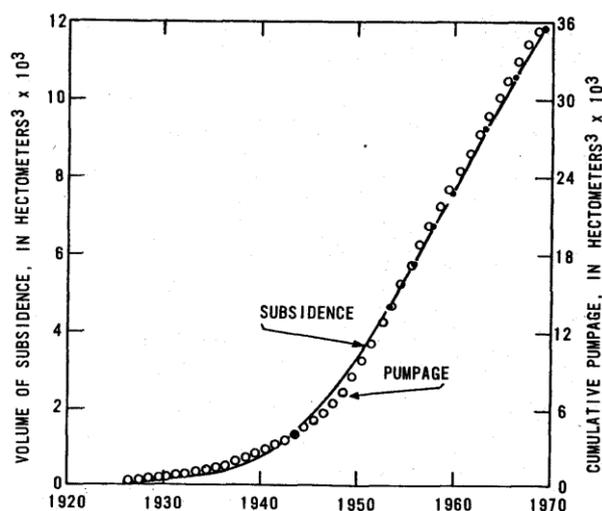


Рисунок 2.3. Отношение между объемом оседания земной поверхности и объемом добытых подземных вод в Лос Банос-Кеттлеман, штат Калифорния, США. Точки на кривой оседания указывают на моменты измерения (согласно Poland, 1975 г.) [53]

2.1.2.3. Отношение между оседанием земной поверхности и содержанием глинистых частиц

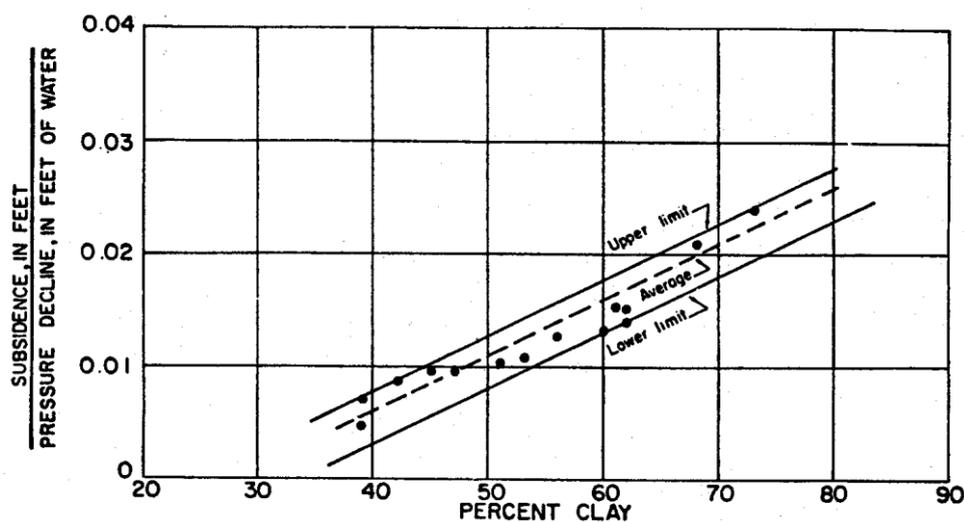


Рисунок 2.4. Отношение между процентным содержанием глинистых частиц и оседанием земной поверхности земли из-за снижения водного давления при добыче подземных вод (Gabrysch, 1969 г.) [53]

На рис. 2.4 показана связь между процентным содержанием глинистых частиц и отношением между оседанием земной поверхности и снижением водного давления в Хьюстон – Галвестон, штат Техас, США. По результатам исследователя Gabrysch в 1969 г., процентное содержание глинистых частиц можно определить на основе интерпретации результатов электрического зондирования, водное давление может быть определено на основе наблюдений за уровнями подземных вод в скважинах; оседание земной поверхности определяется по наблюдательным реперам.

2.1.2.4. Метод многофакторного корреляционного анализа

Метод многофакторного корреляционного анализа позволяет количественно оценить внос каждого геотехнического фактора в величину оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод, представляя тем самым более надежные результаты прогноза.

При проведении многофакторного корреляционного анализа для решения поставленной выше задачи выделяется несколько этапов:

- Определяются геотехнические факторы, которые оказывают воздействие на изучаемый показатель, и отбираются наиболее существенные для корреляционного анализа;
- Собирается и оценивается исходная информация, необходимая для корреляционного анализа;
- Изучается характер и моделируется связь между факторами и результативным показателем, то есть подбирается и обосновывается математическое уравнение, которое наиболее точно выражает сущность исследуемой зависимости;
- Проводится расчет основных показателей связи корреляционного анализа;
- Дается статистическая оценка результатов корреляционного анализа и определяется практическое их применение.

Расчетные шаги:

- Подбор целевой функции;
- Подбор геотехнических факторов, участвующих в целевой функции;
- Установление корреляционного уравнения между целевой функции с каждым геотехническим фактором на базе наблюдательных данных;
- Вычисление парного коэффициента корреляции (r_{iy} , r_{ij}) между геотехническим фактором и целевой функцией и между геотехническими факторами;

- Вычисление стандартизованных коэффициентов $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$;
- Вычисление многомерного коэффициента корреляции R ;
- Вычисление веса геотехнических факторов g_i ;
- Составление формулы для целевой функции, чтобы прогнозировать оседание земной поверхности в будущее время.

2.1.3. Теоретические методы

Оседание является вертикальным смещением массива горных пород в результате сжатия, уплотнения или иных видоизменений горных пород.

Теоретической основой прогноза оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод является принцип эффективных напряжений – один из наиболее важных принципов механики грунтов, предложенный К. Терцаги в 1925 году.

Слои грунта, залегающие ниже уровня грунтовых вод, насыщены водой и состоят из двух фаз (твердой и жидкой). Твердая фаза состоит из частиц или группы частиц грунта (скелета грунта); а жидкая фаза – вода. Полное напряжение (σ) в насыщенных грунтах состоит из суммы двух компонент: нейтрального (u) и эффективного напряжений (σ').

$$\sigma = \sigma' + u \quad 2.6$$

- Нейтральное напряжение (u) или поровое давление является давлением, принятым жидкостью в порах грунтов. Оно не вызывает уплотнение и увеличение прочности на сдвиг грунтов.

- Эффективное напряжение (σ') является давлением, принятым скелетом грунтов. Оно вызывает уплотнение и увеличение прочности на сдвиг грунтов. Эффективное напряжение может быть определено по следующему уравнению:

$$\sigma' = \sigma - u \quad 2.7$$

В некотором естественном условии, на любой глубине полное напряжение (σ) имеет постоянное значение; Эффективное напряжение и нейтральное напряжение всегда изменяют, чтобы удовлетворять уравнениям 2.6 и 2.7.

При извлечении подземных вод, полное напряжение (σ) в насыщенных грунтах не изменяет, а нейтральное напряжение (u) диссипирует из-за понижения уровня

подземных вод, и эффективное напряжение увеличивает соответствующее значение.

$$\Delta\sigma' = -\Delta u \quad 2.8$$

Все-таки увеличение эффективного напряжения ($\Delta\sigma'$) не достигает максимального значения во время извлечения подземных вод, а имеет сложный характер изменений во времени. Таким образом, процесс оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод также происходит с течением времени. Процесс снижения нейтрального напряжения тесно относится к количеству воды, фильтрующемуся из насыщенной глинистой породы в другие слои грунта. Это зависит от характеристик фильтрации, мощности сжимаемых слоев грунта, и дренажных условий.

Оседание является процессом уплотнения грунтов, вызванным увеличением эффективного напряжения. Оно зависит от сжимаемости и мощности слоев горных пород, слагающих его основание. Таким образом, извлечение подземных вод вызывает понижение уровня подземных вод, которое приводит к диссипации нейтрального напряжения в насыщенных глинистых породах, и одновременно происходят фильтрация и уплотнение горных пород. Глинистые породы имеют плохую фильтрационную способность, поэтому фильтрационный процесс происходит постепенно с течением времени, и процесс диссипации нейтрального напряжения и уплотнения горных пород также происходит с течением времени. Это является процессом фильтрационной консолидации или первичной консолидации. Кроме того, глинистые частицы имеют коллоидную структуру, так что модификация и смещение мембраной связанной воды вокруг них происходят и приводят к ползучести. В настоящее время существуют две различных точки зрения: некоторые исследователи предполагают, что процессы фильтрационной консолидации и ползучести происходят одновременно; другие предполагают, что процесс ползучести происходит после завершения фильтрационной консолидации. Это очень сложный вопрос. По-моему мнению, при извлечении подземных вод процесс оседания подразделяется на 2 этапа, а при инженерном строительстве эти процессы происходят одновременно.

При исследовании оседания поверхности из-за добычи подземных вод установлено, что грунтовые толщи территории г. Ханоя имеют сложное строение. Они состоят из нескольких глинистых слоев, в том числе слоев слабых грунтов, перемежающихся с песчаными слоями, в которых сосредоточены подземные воды.

Извлечение подземных вод вызывает понижение уровня, приводит к диссипации нейтрального напряжения различных слоев грунта. Поэтому процессы фильтрационной консолидации и ползучести происходят очень сложно в грунтовых толщах.

Кроме того, может изменяться дебит добычи подземных вод; метеорологический и гидрологический режим по сезонам и годам, так что понижение уровня подземных вод также варьирует по сложным правилам.

Далее, процессы накопления техногенных отложений, разложения органических остатков в горных породах, строительство, также приводят к изменению эффективного напряжения. Следовательно, картина процесса оседания земной поверхности очень разнообразная.

При извлечении подземных вод, уровень подземных вод в эксплуатационной зоне понижается. Это приводит к увеличению эффективного напряжения. И процесс консолидации происходит под действием нагрузки от увеличения удельного веса грунта. Как правило, в зоне эксплуатационных скважин, понижение уровня подземных вод имеет максимальное значение; сжимающая нагрузка достигает также максимальное значение, и поэтому оседание поверхности будет наибольшим. Вдали от эксплуатационных скважин понижение уровня подземных вод меньше; сжимающая нагрузка также меньше, поэтому оседание поверхности будет меньшим. На практике зона развития депрессионных воронок имеет размер намного больше, чем мощность грунтовых толщ территории, так что процесс консолидации можно рассматривать как процесс одномерной консолидации. Итак, задача по прогнозу оседания поверхности в связи с извлечением подземных вод похожа на задачу одномерной консолидации в теории механики грунта.

На диаграмме преобразования нейтрального напряжения в эффективное напряжение при извлечении подземных вод можно выделить два случая (Рисунок 2.5).

В первом случае: уровень подземных вод снижается значение ΔH_1 , но еще выше поверхности исследованного глинистого слоя. Это приводит к увеличению эффективного напряжения в слоях грунта, залегающих над уровнем подземных вод. Сжатие глинистого слоя вызывается действием нагрузки, которая не изменяется с глубиной ($\Delta\sigma_1' = -\Delta u_1 = \gamma_B \Delta H_1$, где γ_B – удельный вес воды).

Во втором случае, уровень подземных вод снижается, значение ΔH_2 ниже поверхности исследованного глинистого слоя, также приводит к увеличению эффективного напряжения $\Delta\sigma_2'$ ($\Delta\sigma_2' = -\Delta u_2 = \gamma_B \Delta H_2$). Вид схемы эффективного напряжения зависит от положения уровня подземных вод.

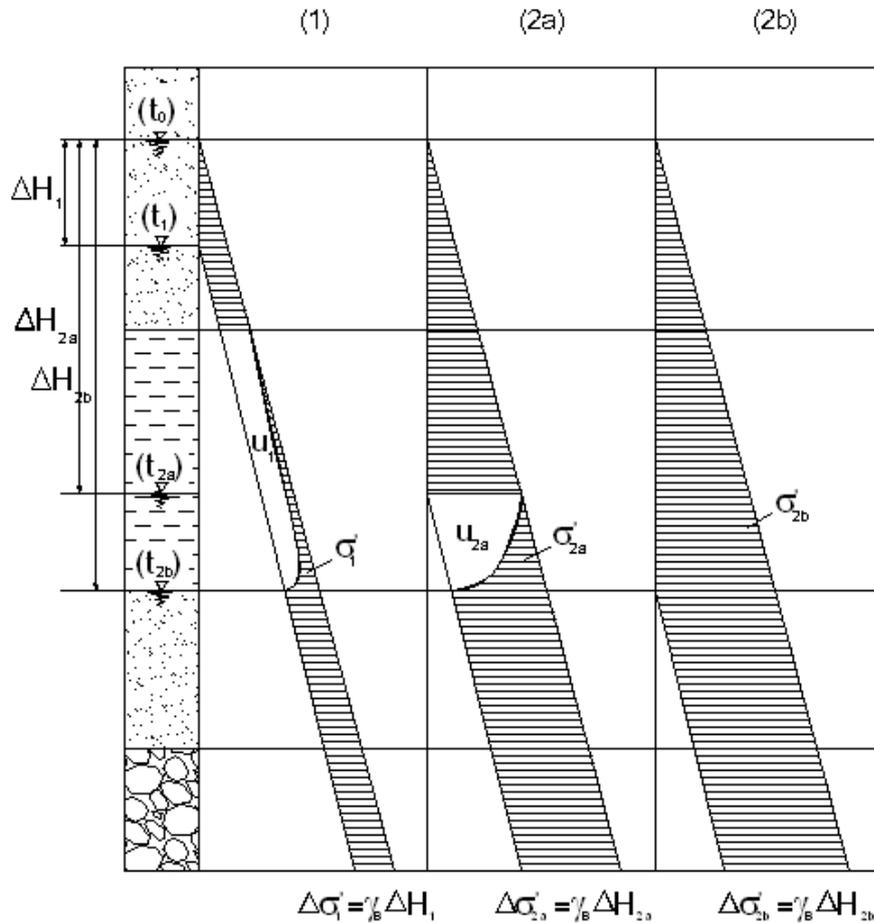


Рисунок 2.5. Схема преобразования нейтрального напряжения в эффективное напряжение из-за понижения уровня подземных вод

В схеме 2.5(2а), уровень подземных вод находится в исследованном глинистом слое. Диаграмма эффективного напряжения делится на две части: в верхней части диаграммы эффективного напряжения – треугольник с размером основания $\Delta\sigma_{2a}'$ ($\Delta\sigma_{2a}' = \gamma_B \Delta H_{2a}$) и высотой ΔH_{2a} ; а в нижней части диаграммы эффективного напряжения – прямоугольник с шириной $\Delta\sigma_{2a}'$ ($\Delta\sigma_{2a}' = \gamma_B \Delta H_{2a}$). Эта нагрузка передается на нижние слои.

В схеме 2.5(2b), уровень подземных вод устанавливается на подошве исследованного глинистого слоя. Диаграмма эффективного напряжения – треугольник с размером основания $\Delta\sigma_{2b}'$ ($\Delta\sigma_{2b}' = \gamma_B \Delta H_{2b}$) и высотой H_{2b} . Эта нагрузка

также передается на нижние слои. Последняя диаграмма эффективного напряжения представляет случай, когда нейтральное напряжение абсолютно диссипировано. Все-таки, процесс консолидации происходит постепенно, диаграмма нейтрального напряжения будет меньше и меньше, а диаграмма эффективного напряжения будет больше и больше. В г. Ханое действуют обе схемы.

На территории г. Ханоя существуют два водоносных комплекса (голоценовый и плейстоценовый комплекс). Эти водоносные комплексы имеют тесную гидравлическую взаимосвязь. В настоящее время большая часть воды забирается из плейстоценового водоносного комплекса. Понижение уровня этого водоносного комплекса приводит к явлению фильтрации воды от голоценового водоносного комплекса в плейстоценовый водоносный комплекс, поэтому в долговременных природных условиях они будут иметь совместный уровень воды. Понижение уровня подземных вод вызывает диссипацию нейтрального напряжения в глинистых грунтах, особенно в торфах, органических илах, органических грунтах.

Таким образом, оседание земной поверхности в связи с извлечением подземных вод является явлением осадки грунтовых толщ под действием увеличения удельного веса грунтов, вызванного диссипацией порового давления воды и увеличением эффективного давления из-за понижения уровня подземных вод. Оседание земной поверхности происходит с течением времени. Процесс оседания зависит от многих факторов. Его развитие является сложным процессом, но имеет закономерность уменьшения с течением времени.

Чтобы предсказать оседание земной поверхности из-за добычи подземных вод по современной теории механики грунта, необходимо ввести следующие предположения:

Грунт:

- 1) не содержит органические вещества;
- 2) имеет только 2 фазы, твердую и жидкую;
- 3) не имеет вязкость;
- 4) не имеет пластичность;
- 5) ньютоновское поведение жидкой фазы;
- 6) нет анизотропии;
- 7) имеет линейно-упругие свойства;

8) физико-механические свойства грунтов не меняются с течением времени.

Для водоносных и водонепроницаемых горизонтов:

9) водоносные и водонепроницаемые пласты залегают горизонтально;

10) движение воды в водоносных горизонтах по горизонтали, в водонепроницаемых горизонтах – по вертикали;

11) оседание земной поверхности, в основном, происходит из-за консолидации водонепроницаемых пластов;

12) в водоносных горизонтах нет свободной поверхности потока.

С вышеуказанными предположениями могут быть применены многие математические модели. Чем больше предположений применяется, тем менее точны результаты прогноза оседания земной поверхности. Для прогноза оседания в одной зоне внесение соответствующих предположений должно быть тщательно рассмотрено в зависимости от геологических условий этой зоны и объема имеющейся информации. Исправление параметров модели в соответствии с данными наблюдений также приводят к более точным результатам прогноза.

До сих пор почти во всех теоретических методах по прогнозированию оседания земной поверхности используется теория консолидации К. Терцаги (1924) в сочетании с результатами испытания грунтов на компрессионное сжатие в лаборатории. Практики и исследовательские результаты показывают, что теория одномерной консолидации наиболее осуществима для прогноза оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод.

Вот некоторые нижеследующие модели прогнозирования оседания земной поверхности, широко применяемые в мире и во Вьетнаме.

2.1.3.1. Прогнозирование конечного оседания земной поверхности

Способ 1:

Конечное оседание земной поверхности, связанное с добычей подземных вод является суммой деформаций слоев грунта выше уровня подземных вод [53, 63]:

$$S = \sum m_{vi} \Delta \sigma'_{0i} H_{0i} = - \sum m_{vi} \Delta u_i H_{0i} \quad 2.9$$

Где:

S – конечное оседание земной поверхности;

m_{vi} – коэффициент относительной сжимаемости i -го слоя грунта;

$\Delta \sigma'_{0i}$ – изменение эффективного напряжения в середине i -го слоя грунта;

Δu_i – диссипация нейтрального напряжения в середине i –го слоя грунта;

H_{0i} – мощность i –го слоя грунта.

Конечное оседание земной поверхности, вычисленное по формуле достаточно точное в случае, если слои водонасыщенные и мощность i –го слоя малая.

Способ 2:

Конечное (полное) оседание земной поверхности из-за добычи подземных вод является суммой деформаций глинистых и песчаных слоев, лежащих выше уровня подземных вод [63, 65, 98, 120].

$$S = \sum(S_{ci} + S_{ai}) \quad 2.10$$

Где:

S – конечное (полное) оседание земной поверхности;

S_{ci} – конечная деформация глинистого i –го слоя;

S_{ai} – конечная деформация песчаного i –го слоя.

Деформация глинистого слоя определяется на основе теории одномерной консолидации К. Терцаги. В нижеследующей формуле не рассматриваются первоначальная и вторичная деформации и предположение о том, что мощность глины не изменяется в ходе консолидации. В данной формуле рассматривается только консолидированная деформация [63].

$$S_{ci} = RR_i \text{ (or } CR_i) \cdot H_{0i} \cdot \log \left(\frac{\sigma'_{0i} + \Delta\sigma'_i}{\sigma'_{0i}} \right) \quad 2.11$$

Где:

RR_i – коэффициент разуплотнения глинистого i –го слоя;

CR_i – коэффициент уплотнения глинистого i –го слоя;

H_{0i} – мощность глинистого i –го слоя;

σ'_{0i} – начальное эффективное напряжение в середине глинистого i –го слоя;

$\Delta\sigma'_{0i}$ – изменение эффективного напряжения в середине глинистого i –го слоя из-за добычи подземных вод.

$$CR_i = C_{ci} / (1 + e_{0i}) \text{ и } RR_i = C_{ri} / (1 + e_{0i}) \quad 2.12$$

C_{ci} – коэффициент компрессии глинистого i –го слоя;

C_{ri} – коэффициент рекомпрессии глинистого i –го слоя;

e_{0i} – начальный коэффициент пористости глинистого i –го слоя.

Деформация песчаного слоя определяется по следующей формуле:

$$S_{ai} = \frac{1}{E_i} H_{0i} \gamma_w dh_i = H_{0i} m_{vi} \gamma_w dh_i \quad 2.13$$

Где:

H_{0i} – мощность песчаного i -го слоя;

E_i – модуль деформируемости песчаного i -го слоя;

γ_w – плотность воды;

m_{vi} – коэффициент относительной сжимаемости песчаного i -го слоя;

dh_i – изменение водного давления в середине глинистого слоя из-за добычи подземных вод.

2.1.3.2. Прогноз оседания земной поверхности во времени

Способ 1:

Оседание земной поверхности в момент t из-за добычи подземных вод является суммой деформаций слоев грунта, залегающих выше уровня подземных вод в момент t :

$$S(t) = - \sum m_{vi} \Delta u'_i(t) H_{0i} \quad 2.14$$

Где:

$S(t)$ – оседание земной поверхности в момент t ;

m_{vi} – коэффициент относительной сжимаемости i -го слоя грунта;

Δu_i – диссипация нейтрального напряжения в середине i -го слоя грунта в момент t ;

H_{0i} – мощность i -го слоя грунта.

Способ 2:

Оседание земной поверхности в момент t из-за добычи подземных вод является суммой деформаций слоев грунта, залегающих выше уровня подземных вод:

$$S(t) = \sum \{S_{ci}(t) + S_{ai}(t)\} \quad 2.15$$

Где:

$S(t)$ – оседание земной поверхности в момент t ;

$S_{ci}(t)$ – деформация глинистого i -го слоя грунта в момент t ;

$S_{ai}(t)$ – деформация песчаного i -го слоя грунта в момент t .

При извлечении подземных вод, нейтральное напряжение в глинистом слое будет уменьшаться на $\Delta u(z,t)$, тогда деформация глинистого слоя определяется по

следующей формуле:

$$S_{ci}(t) = RR_i \cdot H_{oi} \cdot \log\left(\frac{\sigma'_{ci}}{\sigma'_{oi}}\right) + CR_i \cdot H_{oi} \cdot \log\left(\frac{\sigma'_{oi} + \Delta u_i(t)}{\sigma'_{ci}}\right) \quad 2.16$$

Где:

$S_{ci}(t)$ – деформация глинистого слоя i , в момент t ;

RR_i – коэффициент разуплотнения глинистого слоя i ;

CR_i – коэффициент уплотнения глинистого слоя i ;

H_{oi} – мощность глинистого слоя i ;

σ'_{oi} – начальное эффективное напряжение в середине глинистого слоя i ;

σ'_{ci} – давление предуплотнения в середине глинистого слоя i ;

$\Delta u_i(t)$ – диссипация нейтрального напряжения в середине глинистого слоя i в момент t .

Деформация песчаного слоя в момент t определяется по следующей формуле:

$$S_{ai}(t) = \frac{1}{E_i} H_{oi} \gamma_w dh_i(t) = H_{oi} m_{vi} \gamma_w dh_i(t) \quad 2.17$$

Где:

$S_{ai}(t)$ – деформация песчаного слоя в момент t ;

H_{oi} – мощность песчаного слоя i ;

E_i – модуль деформации песчаного слоя i ;

γ_w – плотность воды;

m_{vi} – коэффициент относительной сжимаемости песчаного слоя i ;

$dh_i(t)$ – изменение водного давления в середине песчаного слоя из-за добычи подземных вод в момент t .

Чтобы определить значение нейтрального давления некоторого элемента грунта на глубине z в момент t , будут использоваться дифференциальное уравнение одномерной консолидации К. Terzaghi (1925 г.) для несущего глинистого слоя [63, 65].

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad 2.18$$

Где:

u – нейтральное давление глинистого слоя в момент t ;

C_v – коэффициент вертикальной консолидации глинистого слоя;

z – глубина.

Данная формула применяется для прогноза оседания земной поверхности, поскольку мощность сжимаемого слоя грунта намного меньше по сравнению с площадью. Тогда грунт только сжимается, а вода дренируется в одном направлении.

Таким образом, величины водного давления и его изменения определяются согласно гидрогеологическим моделям, и рассматриваются в качестве граничных условий для расчета нейтрального давления по модели консолидации, представленной в уравнении 2.16. Далее, нейтральное давление, полученное из уравнения 2.16, используется для определения деформации сжимаемого слоя грунта по вышеуказанным формулам. Физические и механические показатели сжимаемых слоев грунта определяются в лаборатории на ненарушенных образцах.

Методы решения уравнения 2.16

Аналитический метод

Можно решить уравнение 2.16 по методу преобразования цифрового ряда Фурье (Furie). Проводя интегрирование цифрового ряда, получаем формулу для расчета степени консолидации Q_t , из которой, можно вычислить оседание земной поверхности во времени. Формула для определения степени консолидации Q_t выглядит следующим образом [5, 16, 63]:

$$Q_t = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N} \quad 2.19$$

Где: N – фактор времени,

$$N = t \frac{\pi^2}{4H^2} C_v \quad 2.20$$

В том числе:

H – длина проницаемой линии;

t – время;

C_v – коэффициент консолидации.

Так:

$$S(t) = Q_t \cdot S \quad 2.21$$

Где:

$S(t)$ – оседание земной поверхности в момент t ;

S – конечное (полное) оседание земной поверхности.

Метод конечных разностей

По этому методу безграничные дифференциальные величины заменятся ограниченными разностными величинами; дифференциальное уравнение преобразуется в разностное уравнение, которое может решиться обычными алгебраическими методами.

При использовании разностного метода для решения математических задач консолидации, нейтральное давление u заменяется высотой водного напора H , то есть прямое решение уравнения [63, 65].

$$\frac{\partial H}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} \quad 2.22$$

Слои грунта разделятся на тонкие слои (элементарные слои), имеющие одинаковую мощность ($h_i = \Delta z$) по горизонтальной плоскости. В узлах (граничных узлах слоев h_i) можно вычислить высоту водного напора H в каждый момент (t_j), соответствующий с $t_0 = 0$; $t_1 = \Delta t$; $t_2 = 2\Delta t \dots$

На основе полученных значений водного напора H_i можно составить график распределения нейтрального давления в любой момент.

Некоторые авторы, Т. Okumura (1969 г.), G. Gambolati (1973 г.), D.T. Bergado (1981 г.), R. Young và R.H. Raymond (1984 г.), З.Т. Тоан (2005 г.) использовали этот метод для разработки компьютерных программ с целью прогнозирования оседания земной поверхности в Ниигате, Венеции, Бангкоке, Шанхае.

Метод конечных элементов

Используется в следующей последовательности:

- Составление и внесение входных параметров;
- Разделение пространства на конечные элементы;
- Составление матрицы жесткости системы $[K]$;
- Составление специфических векторов функции изменения нейтрального давления по глубине и времени;
- Определение функций $\phi(u)$ и $u(t)$ в узлах;
- Определение вектора эффективного давления $\sigma'_o(t)$ в узлах;
- Составление графика $u(z, t)$ или $\sigma'_o(z, t)$;
- Определение оседания земной поверхности во времени $S(t)$.

Используя компьютерные программы, такие как Geoslope, Plaxis, Modflow и др., можно решить уравнение 2.16 и определить оседание земной поверхности во

времени.

Способ 3 (метод противоположного анализа):

Это метод прогнозирования оседания земной поверхности с рассмотрением изменения деформаций во времени t .

- Использование вышеуказанных методов определения оседания земной поверхности;

- Из данных наблюдений определяем значения оседания во времени $S(t)$;

- На базе формул определения оседания земной поверхности и данных наблюдений $S(t)$, находят правила изменения параметров k , m_v , C_v во времени;

- Заменяют вышеназванные параметры в формуле для определения оседания земной поверхности в будущем.

2.1.3.3. Методы расчета осадков грунтовых толщ при водопонижении в России

Прогнозирование осадков грунтовых толщ при водопонижении отражено в работе русских профессоров В. А. Мироненко и В. М. Шестакова, Н. М. Герсеванова, З. Г. Тер-Мартirosяна, Ю. И. Ярового, С. К. Абрамова, С. Г. Авершина, Е.А. Демешко, Ж. С. Ержанова, Л. С. Лapidуса, Ю. А. Лиманова, Г. И. Черного, П. Юкевича, А. И. Юшина, А. В. Булдакова, С. Г. Дубейковского, А. Д. Потапова, И. П. Кусакина, В. Е. Ольховатенко и других.

Способ 1:

Осадка слоя грунта в предположении, что коэффициент фильтрации его велик, а скелет не обладает ползучестью и эпюра напряжений треугольная, определяется по формуле (З.Г. Тер-Мартirosян, 1980, 1986) [19].

$$S_{(t)} = \gamma_w \cdot \Delta H^2 \cdot m / 2 \quad 2.23$$

Где:

t – время от начала водопонижения; m – коэффициент относительной сжимаемости; ΔH – величина понижения; γ_w – удельный вес воды.

Способ 2:

В результате профессор З.Г. Тер-Мартirosян предложил так называемый «интегральный» способ определения осадков в мульде депрессии. Вначале определяются осадки в точке на поверхности земли, расположенной под центром водопонижающей скважины по формуле (З.Г. Тер-Мартirosян, 1980, 1986) [19].

$$S_o = \frac{\gamma_w(1-\nu)}{E} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta C_i \cdot C_i \cdot A_i \quad 2.24$$

Где:

C_i – расстояние от поверхности до депрессионной кривой в i -й точке воронки; ΔC_i – мощность элементарного слоя внутри депрессионной воронки; ν – коэффициент Пуассона (коэффициент бокового расширения грунта); $A_i = 2(1 - \nu_i)(\sqrt{1 + \alpha_i^2} - \sqrt{1 + \beta_i^2}) + 1/\sqrt{1 + \beta_i^2} - 1/\sqrt{1 + \alpha_i^2}$; $\alpha_i = r_i/C_i$; $\beta_i = r_o/C$ – вспомогательные величины; r_i – расстояние от центра скважины до поверхности депрессионной кривой в слое.

Форма прогиба поверхности подобна кривой депрессии, описываемой уравнением [19]

$$Z^2 = h_o^2 + (H^2 - h_o^2)[\ln(r/r_o)/\lg(R/r_o)] \quad 2.25$$

Осадки в любой точке по площади мульды депрессии вычисляются по формуле [19]

$$S_{\text{ит}} = \sqrt{S_o^2 + (S_r^2 - S_o^2)\ln(r/r_o)/\lg(R/r_o)} \quad 2.26$$

Где:

R – радиус влияния скважины (радиус депрессии); h_o и H – пониженные уровни воды в скважине и на расстоянии r от нее; r_o – радиус скважины или колодца; S_r – осадка поверхности на границе депрессионной воронки R .

Способ 3:

При модели грунта в виде упругого полупространства, вертикальные перемещения точек (W) поверхности полуплоскости определяются по формуле (С.Ш. Нуридджанян, 1987) [19]

$$W = \frac{\Delta\gamma}{2\pi G} \sum_{i=1}^n \Delta h_i [2(2\nu - 1)\rho_i + (1 + 2\nu)(\alpha_+ - \alpha_-)h_i + (1 - \nu)(\beta_+ - \beta_-)] \quad 2.27$$

Где:

$\Delta\gamma = \gamma_w$ – удельный вес воды; $G = E/2(1+\nu)$ – модуль сдвига; ρ_i – полуширина зоны осушения на глубине h от поверхности;

$$\alpha_{\mp} = \arctg \frac{x \mp \rho_i}{h_i}; \quad \beta_{\mp} = (x \mp \rho_i) \ln \left[\frac{(x \mp \rho_i)^2 + h_i^2}{R_o^2} \right]$$

R_o – единая длина, применяемая для соблюдения размерности.

Способ 4:

Ю.И. Яровой на основании сравнения аналитического и численного решений, с допущением «структурной прочности» грунтов, предлагает в формулу З.Г. Тер-

Мартиросяна ввести поправочный коэффициент $K_m = 1 + N_m/m$. Тогда формула 3.Г. Тер-Мартиросяна принимает вид (Ю.И. Яровой, 1999) [19]

$$S_o = \frac{\gamma_w(1-\nu_m)}{E_m K_m} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta C_i \cdot C_i \cdot A_i \quad 2.28$$

Где:

E_m , ν_m – приведенные значения (средневзвешенные) модуля деформации и коэффициента Пуассона грунта; N_m – коэффициент в зависимости от мощности сжимаемой толщ (m).

Осадка в любой точке по площади депрессионной воронки рассчитывается по формуле [19]

$$S_r = \sqrt{S_o^2 - S_o^2} \cdot \ln(r/r_o) / \ln(R/r_o) \quad 2.29$$

Где:

R – радиус депрессионной воронки (влияния скважины); r_o – радиус водопонижительной скважины; r – расстояние от точки до центра водопонижительной скважины.

Способ 5:

Прогнозное суммарное оседание земной поверхности (S , м) может быть рассчитано по формуле [19]

$$S = 0,8 \cdot \Delta \delta_{\text{Э}} \cdot \alpha_c \cdot m \quad 2.30$$

Где:

$\Delta \delta_{\text{Э}}$ – изменение эффективного давления; α_c – коэффициент сжимаемости пород, равный для неуплотненных глин $n \cdot 10^{-1} - n \cdot 10^{-2}$ МПа; m – мощность сжимаемых пород, м.

Способ 6:

Полная осадка грунтовых толщ при условии длительного водопонижения может быть рассчитано по формуле [19]

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{h_i \cdot \sigma_{zq \text{ ср}}}{E_i} \quad 2.31$$

Где:

S – полная осадка грунтовых толщ, см; β – безразмерный коэффициент, равный 0,8; h_i – мощность слоя грунта, м; $\sigma_{zq \text{ ср}}$ – среднее значение дополнительного вертикального напряжения, вызванного снижением уровня подземных вод, кПа; E_i – модуль деформации с учетом m_k , МПа.

Способ 7:

Значение величины просадки земной поверхности для отдельного слоя можно определиться следующего выражения (Н.И. Плотников, 1999) [20]

$$\Delta m = \frac{\gamma a_v m \Delta H}{1+e} \quad 2.32$$

Где:

Δm : величина просадки земной поверхности; γ – объемный вес воды; a_v – коэффициент сжимаемости (уплотнения) пород, определяемый лабораторным методом; m – мощность пласта; ΔH - величина изменения пьезометрического напора; e – коэффициент пористости пласта.

Способ 8:

Изучение в естественных условиях процессов послонного уплотнения рыхлых пород, вскрытых опорной режимной скважиной, более детально можно выполнить с помощью гамма-гамма-каротажа. Для этого могут быть использованы малогабаритные стандартные зонды, позволяющие осуществлять каротажные исследования в любое время в обсаженных колонной труб скважинах. Исследования этим методом динамики уплотнения глин, песков и других пород можно производить периодическим зондированием опорных скважин. Сущность натуральных определений плотности породы в скважине ядерно-физическим методом основана на использовании зависимости между рассеянием гамма-излучением и плотностью пород. Исследованиями в условиях естественного залегания более объектив можно выявить основные закономерности уплотнения пород по мере снижении пьезометрических напоров подземных вод, которые затем могут быть использованы для более достоверной прогнозной оценки оседания поверхности земли на площади водозабора на длительный период его эксплуатации (Н.И. Плотников, 1999) [20]

Выводы по разделу

1. Динамика развития оседания земной поверхности в связи с извлечением подземных вод зависит от литологического состава, мощности пород водоносного комплекса, физико-механических свойств пород водовмещающей толщ, режима уровней и напоров подземных вод, гидрогеологических условий.

2. Основные факторы определяют условия оседания земной поверхности при интенсивном извлечении подземных вод:

- Увеличение объемного веса скелета осушенных водоносных пород вследствие освобождения от взвешивающего действия подземных вод;

- Уменьшение давления в поровой воде водоносных горизонтов и перераспределение пластового давления.

3. Механизм оседания земной поверхности в связи с извлечением подземных вод является преобразованием нейтрального напряжения в эффективное напряжение, вызванным понижением уровня подземных вод в процессе добычи подземных вод. Это приводит к уплотнению горных пород, слагающих его основание и формированию оседания поверхности.

4. Изменение гидродинамических характеристик подземных вод, фильтрационные характеристики горных пород и условия дренажа воды, преобразование нейтрального напряжения в эффективное напряжение, уплотнение горных пород и формирование оседания поверхности в основном зависят от гидрогеологических и инженерно-геологических характеристик территории. Среди них, самыми важными факторами являются количество водоносных горизонтов, положение уровня подземных вод, количество слоев в геологическом разрезе, особенно количество и мощность слоев слабых грунтов, их сжимаемость и проницаемость. Они определяют процесс фильтрации горных пород и процесс оседания поверхности. Кроме того, многие другие факторы также влияют на процесс оседания поверхности.

5. Оседание земной поверхности является результатом механических процессов, в том числе в основе процесса фильтрационной консолидации и возможной ползучести слабых грунтов, связанных с изменением гидродинамических условий водоносного горизонта из-за извлечения подземных вод. Таким образом, теоретической основой исследования оседания земной поверхности является теория фильтрационной консолидации и теория динамики подземных вод.

2.2. Выбор и описание методов для моделирования развития осадок

Как было проанализировано выше, есть много методов для прогноза величины оседания земной поверхности в связи с добычи подземных вод. Некоторые методы являются простыми, другие сложными. При исследовании оседания земной

поверхности в связи с добычи подземных вод некоторые методы должны быть использованы вместе, чтобы прийти к выводу на основе общей оценки.

Для территории г. Ханоя количество станций мониторинга за оседанием земной поверхности еще малое и разреженное; время мониторинга мало и разрывно, поэтому прогноз оседания земной поверхности по экспериментальному методу не соответствует; полутеоретический и теоретический методы являются самыми подходящими.

2.2.1. Метод многофакторного корреляционного анализа (ММКА)

Оседание земной поверхности в результате извлечения подземных вод зависит от различных факторов, таких как снижение уровня подземных вод; состав, мощность и физико-механические свойства грунтов; нагрузки от зданий, сооружений и насыпных грунтов; разложение органических соединений в породах; тектонические движения и другие.

Для количественно оценки вноса каждого фактора в величину осадки поверхности в результате извлечения подземных вод, наиболее эффективным методом решения является комбинация факторного и корреляционного анализа, а именно многофакторный корреляционный анализ. Данный метод представляет собой методику исследования факторов (параметров системы или их совокупностей), связь которых с результативным показателем в отличие от функциональной является неполной, вероятностной (корреляционной). Если при функциональной (полной) зависимости с изменением аргумента всегда происходит соответствующее изменение функции, то при корреляционной связи изменение аргумента может дать несколько значений прироста функции в зависимости от сочетания других факторов, определяющих данный показатель. Данные особенности этого метода позволяют решить поставленную задачу.

Решение задачи многофакторного корреляционного анализа проводится на ПЭВМ по типовым программам. Сначала формируется матрица исходных данных, в первой колонке которой записывается порядковый номер наблюдения, во второй – результативный показатель (Y), а в следующих – факторные показатели (X_i). Эти сведения вводятся в ПЭВМ и рассчитываются матрицы парных и частных коэффициентов корреляции, уравнение множественной регрессии, а также показатели, с помощью которых оцениваются надежность коэффициентов

корреляции и уравнения связи: критерий Стьюдента, критерий Фишера, средняя ошибка аппроксимации, множественные коэффициенты корреляции и детерминации. Изучая матрицы парных и частных коэффициентов корреляции, делается вывод о тесноте связи между изучаемыми явлениями [24, 26].

Метод позволяет количественно оценить взнос каждого фактора в величину осадки поверхности в результате извлечения подземных вод, представляя тем самым более надежные результаты прогноза.

Определение интегрированного показателя геотехнических факторов (целевая функция) основывается: на анализе и синтезе геотехнических факторов, влияющих на осадку поверхности по данным наблюдений; моделировании связи между факторными и результативными показателями, т.е. подбор соответствующего уравнения, которое наилучшим образом описывает изучаемые зависимости; оценки надежности показателей связи и правомерности его использования для практической цели.

В качестве целевой функции для прогноза оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод может быть выбрана величина деформации земной поверхности по времени (S_t) или среднегодовая скорость деформации земной поверхности (V_s). Целевая функция Y (S_t или V_s) является функцией геотехнических факторов (X_i):

$$Y (S_t \text{ или } V_s) = f (X_1, X_2, \dots, X_n) \quad 2.33$$

Геотехническими факторами (X_i) могут быть: уровень или скорость снижения подземных вод; характеристики грунтов (литологический состав, мощность и физико-механические свойства грунтов) и время t . Все эти факторы связаны с процессом оседания земной поверхности и между собой.

По фактическим данным мониторинга записывается уравнение множественной регрессии между S_t или V_s с геотехническими факторами и между самими геотехническими факторами. Затем определяется вес g_i каждого геотехнического фактора в целевой функции S_t или V_s . Таким образом, деформация земной поверхности по времени S_t или скорость деформации земной поверхности V_s на любом месте в исследуемом регионе определяются [22, 26]:

$$Y = \sum_{i=1}^p g_i R_i^H \quad 2.34$$

Где:

Y – интегрированный показатель геотехнических факторов или целевая функция, может быть S_t или V_s ;

g_i – вес геотехнического фактора i ;

R_i^H – стандартизированный количественный параметр геотехнического фактора i .

Количественный параметр геотехнологического фактора стандартизирован путем деления значения этого параметра на ее максимальное значение (для S_t) или ее среднее значение (для V_s). Стандартизированные количественные параметры геотехнологических факторов, следовательно, имеют значения от 0 до 1.

Определение веса геотехнических факторов g_i осуществляется следующим образом:

+ сбор и статистическая оценка фактических данных мониторинга, связанных с геотехническими факторами и целевой функцией;

+ моделирование связи между факторными и результативными показателями, т.е. подбор соответствующего уравнения, которое наилучшим образом описывает изучаемые зависимости;

+ вычисление парного коэффициента корреляции между геотехническим фактором и целевой функцией (r_{iy}) и между геотехническими факторами (r_{ij});

+ вычисление стандартизованных коэффициентов ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$);

Они являются корнями системы уравнений [22, 26]:

$$\begin{cases} r_{1y} = \beta_1 + \beta_2 r_{21} + \dots + \beta_p r_{p1} \\ \dots \\ r_{py} = \beta_1 r_{1p} + \beta_2 r_{2p} + \dots + \beta_p \end{cases} \quad 2.35$$

+ вычисление многомерного коэффициента корреляции R :

$$R^2 = \sum_{i=1}^p \beta_i r_{iy} \quad 2.36$$

Многомерный коэффициент корреляции R позволяет оценить являются ли значимыми геотехнические факторы в целевой функции. Если $R \geq 0,75$, то выбранные геотехнические факторы являются значимыми и адекватными. Если $R < 0,75$, то отсутствует некоторые важные геотехнические факторы и необходимо пересмотреть геотехнические факторы в целевой функции;

+ вычисление веса геотехнических факторов g_i .

Вес геотехнических факторов g_i в целевой функции определяется по формуле 2.27 [22, 26]:

$$g_i = \frac{|\beta_i r_{iy}|}{\sum_{i=1}^p |\beta_i r_{iy}|} \quad 2.37$$

В том числе: $\sum_{i=1}^n g_i = 1$ (общий вес геотехнических факторов равен 1).

При применении данного метода к моделированию величин оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод, должны проводиться в следующем порядке:

1. Собрать данные по стратиграфии, свойствам грунтов и наблюдаемым осадкам;
2. Обобщать и проанализировать данные по мощности слабых грунтов, свойствам грунтов и наблюдаемым осадкам (глубине уровня подземных вод, деформации земной поверхности по времени и среднегодовой скорости деформации земной поверхности);
3. Выбрать геотехнические факторы в целевых функциях;
4. Построить связи между факторными и результативными показателями, т.е. подбор соответствующего уравнения, которое наилучшим образом описывает изучаемые зависимости;
5. Вычислить парные коэффициенты корреляции между геотехническим фактором и целевыми функциями и между геотехническими факторами;
6. Вычислить стандартизованные коэффициенты;
7. Вычислить многомерный коэффициент корреляции;
8. Вычислить вес геотехнических факторов;
9. Определить целевые функции S_t и V_s ;
10. Проверить модели прогноза оседания земной поверхности;
11. Сделать прогноз оседания поверхности на ближайшие годы.

2.2.2. Метод конечных элементов (МКЭ)

Оседание земной поверхности в момент t из-за добычи подземных вод является суммой деформаций слоев грунта, залегающих выше уровня подземных вод в момент t :

$$S(t) = \sum \{S_{ci}(t) + S_{ai}(t)\} \quad 2.38$$

Где:

$S(t)$ – оседание земной поверхности в момент t ;

$S_{ci}(t)$ – деформация глинистого i -го слоя грунта в момент t ;

$S_{ai}(t)$ – деформация песчаного i -го слоя грунта в момент t .

В том числе сумма деформации глинистых слоев составляет значительную долю в общем деформации. Деформация глинистых слоев вычислена на основе теории одномерной консолидации, созданной К. Терцаги в 1925 году. Однако в его теории ползучесть скелета грунта не считается, а мощность глинистых слоев предполагается не измениться в процессе консолидации.

Чтобы вычислить деформацию глинистого слоя, изменение уровня подземных вод должно быть вычислено на основе гидрогеологической модели. Затем оно вводится в качестве граничного условия для решения уравнения 2.31, чтобы найти распределение порового давления в глинистом слое. Снижение порового давления равно увеличению эффективного напряжения. Затем деформация глинистого слоя может быть рассчитана:

$$S_{ci}(t) = RR_i \cdot H_{oi} \cdot \log\left(\frac{\sigma'_{ci}}{\sigma'_{oi}}\right) + CR_i \cdot H_{oi} \cdot \log\left(\frac{\sigma'_{oi} + \Delta u_i(t)}{\sigma'_{ci}}\right) \quad 2.39$$

Где:

$S_{ci}(t)$ – деформация глинистого слоя i в момент t ;

RR_i – коэффициент разуплотнения глинистого слоя i ;

CR_i – коэффициент уплотнения глинистого слоя i ;

H_{oi} – мощность глинистого слоя i ;

σ'_{oi} – начальное эффективное напряжение в середине глинистого слоя i ;

σ'_{ci} – предварительно консолидированное напряжение в середине глинистого слоя i ;

$\Delta u_i(t)$ – диссипация нейтрального напряжения в середине глинистого слоя i в момент t .

Деформация песчаного слоя (водоносного горизонта) довольно мгновенная при извлечении подземных вод и может быть рассчитана с помощью следующего соотношения:

$$S_{ai}(t) = \frac{1}{E_i} H_{oi} \gamma_w dh_i(t) = H_{oi} m_{vi} \gamma_w dh_i(t) \quad 2.40$$

Где:

$S_{ai}(t)$ – деформация песчаного слоя в момент t ;

H_{oi} – мощность песчаного слоя i ;

E_i – модуль деформации песчаного слоя i ;

γ_w – плотность воды;

m_{vi} – коэффициент относительной сжимаемости песчаного слоя i ;

$dh_i(t)$ – изменение водного давления в середине песчаного слоя из-за добычи подземных вод в момент t .

Чтобы определить значение нейтрального давления некоторого элемента грунта в глинистом слое на глубине z в момент t , может быть использовано дифференциальное уравнение одномерной консолидации, созданной К. Терцаги в 1925 году. Данное уравнение описывает поведение глинистого слоя под действием одномерной нагрузки на основе закона Дарси [63, 65].

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad 2.41$$

Где:

u – нейтральное напряжение глинистого слоя в момент t ;

C_v – коэффициент вертикальной консолидации глинистого слоя;

z – глубина.

Формула 2.31 применяется в случае мощности сжимаемого слоя грунта намного меньше его площади. Тогда грунт сжимается, и вода дренируется только в одномерном направлении.

Далее, нейтральное напряжение, полученное из уравнения 2.31, применяется для определения деформации сжимаемого слоя грунта по вышеуказанным формулам. Показатели физико-механических свойств сжимаемых слоев грунта приведены в таблице 4.2-4.23 главы 4.

Для анализа оседания земной поверхности на территории г. Ханоя использована программа TZP, разработанная Ф.Х. Жао (P.H. Giao, 1997), при сочетании применения двухмерной модели движения подземных вод и модели одномерной консолидации на базе метода конечных элементов (МКЭ). Она рассчитывает диссипацию порового давления в водонепроницаемых горизонтах из-за понижения уровня подземных вод. Результаты расчета диссипации порового давления используется для расчета деформации слоев грунта на основе геотехнических параметров. Алгоритм создания цифровой расчетной модели по программе TZP показан на рис. 2.6. Входные данные являются свойствами грунтов (плотность грунта

(ρ), степень переуплотнения грунтов (OCR), CR, RR, C_v), изменением уровня подземных вод плейстоценового водоносного комплекса.

Формулировка МКЭ из моделей кратко представлена ниже (Ф.Х. Жао, 1997):

МКЭ двумерной модели движения подземных вод:

Основное уравнение двумерного потока подземных вод в водоносном горизонте показано ниже [65]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) \pm Q = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad 2.42$$

Где:

h – уровень подземных вод;

T_x, T_y – водопроницаемости по направлениям x и y ;

S – запас водоносного горизонта;

Q – дебит, с знаком «-» для разгрузки и «+» для пополнения.

Применяя обобщенный принцип Галеркина, уравнение 2.32 представим в виде [65]:

$$\begin{aligned} \int_{\Omega^e} \left(T_x \frac{\partial N_k}{\partial x} \frac{\partial N_l}{\partial x} + T_y \frac{\partial N_k}{\partial y} \frac{\partial N_l}{\partial y} \right) h_k d\Omega^e + \int_{\Omega^e} S N_k N_l \left(\frac{\partial h_k}{\partial t} \right) h_k d\Omega^e \\ - \int_{\Omega^e} Q N_l d\Omega^e - \int_{R^e} N_l \left(T_x \frac{\partial N_k}{\partial x} + T_y \frac{\partial N_k}{\partial y} \right) h_k dR^e = 0 \end{aligned} \quad 2.43$$

МКЭ модели одномерной консолидации:

Применяя метод леммы Грина для уравнения консолидации К. Терцаги (2.31) можно получить форму для общего элемента, который является линейным в этом случае в следующем [65]:

$$\int_{\Omega^e} C_v \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial N_j}{\partial z} u_j d\Omega^e + C_v N_i \frac{\partial N_j}{\partial z} u_j |_{R^e} - \int_{\Omega^e} N_i N_j \frac{\partial u_j}{\partial t} d\Omega^e = 0 \quad 2.44$$

Второй член является сроком водного потока, которым можно пренебречь.

Таким образом, уравнение 2.34 примет вид [65]:

$$\int_{\Omega^e} C_v \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial N_j}{\partial z} u_j d\Omega^e - \int_{\Omega^e} N_i N_j \frac{\partial u_j}{\partial t} d\Omega^e = 0 \quad 2.45$$

- Расчет деформации слоев во времени:

Первичная консолидация глинистого слоя из-за изменения порового давления, вызванного понижением уровня подземных вод плейстоценового водоносного комплекса, может быть вычислена в следующем:

Слои глинистых грунтов, залегающие выше плейстоценового водоносного комплекса, разбиты на узлы и линейные элементы (обычно 1 элемент на 1 метр). Изменение порового давления в сжимаемых слоях из-за добычи подземных вод рассчитано по МКЭ модели одномерной консолидации использованием программы TZP, разработанной Ф.Х. Жао в 1997 г. На основе изменения порового давления деформация каждого элемента грунта может быть рассчитана использованием соотношения, приведенного ниже (Ф.Х. Жао, 1997):

$$dS_{ci}(t) = H_{oi} \left[RR_i \cdot \log \left(\frac{\sigma'_{ci}}{\sigma'_{oi}} \right) + CR_i \cdot \log \left(\frac{\sigma'_{oi} + \Delta u_i(t)}{\sigma'_{ci}} \right) \right] \quad 2.46$$

Деформация первичной консолидации глинистых слоев, состоящих из n элементов, может быть рассчитана по формуле:

$$S_c(t) = \sum_{i=1}^n dS_{ci}(t) \quad 2.47$$

Где:

$S_c(t)$ – деформация первичной консолидации глинистых слоев в момент t ;

$dS_{ci}(t)$ – деформация первичной консолидации глинистого элемента i в момент t ;

RR_i – коэффициент разуплотнения глинистого элемента i ;

CR_i – коэффициент уплотнения глинистого элемента i ;

H_{oi} – мощность глинистого элемента i ;

σ'_{oi} – начальное эффективное напряжение в середине глинистого элемента i ;

σ'_{ci} – предварительно консолидированное напряжение в середине глинистого элемента i ;

$\Delta u_i(t)$ – диссипация нейтрального напряжения в середине глинистого элемента i в момент t ;

n – количество элементов.

На рис. 2.6 приведена схема работы программы TZP.

2.3. Выводы

1. Есть много методов для прогноза величины оседания земной поверхности в связи с добычей подземных вод. Некоторые методы являются простыми, другие являются сложными. При исследовании оседания земной поверхности в связи с добычей подземных вод некоторые методы должны быть использованы вместе, чтобы прийти к выводу на основе общей оценки.

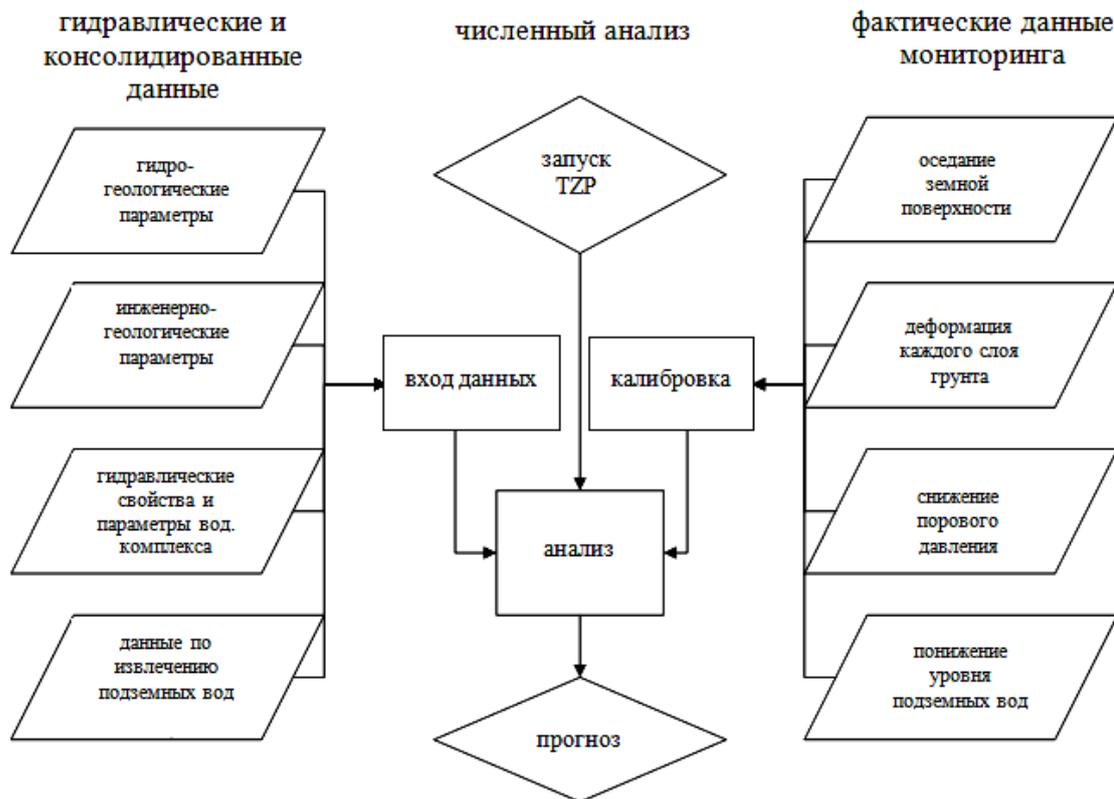


Рисунок 2.6. Схема работы программы TZP [65]

2. Адекватные и точные входные данные необходимы для получения точных результатов прогноза.

3. Для территории г. Ханоя количество станций мониторинга за оседанием земной поверхности еще малое и разреженное; время мониторинга мало и прерывно, поэтому прогноз оседания земной поверхности по экспериментальному методу не подходит для получения точного прогноза; полутеоретические и теоретические методы являются наиболее оптимальными методами.

4. Принципиальная схема исследования оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя показана на рисунке 2.7.

Принципиальная схема исследования

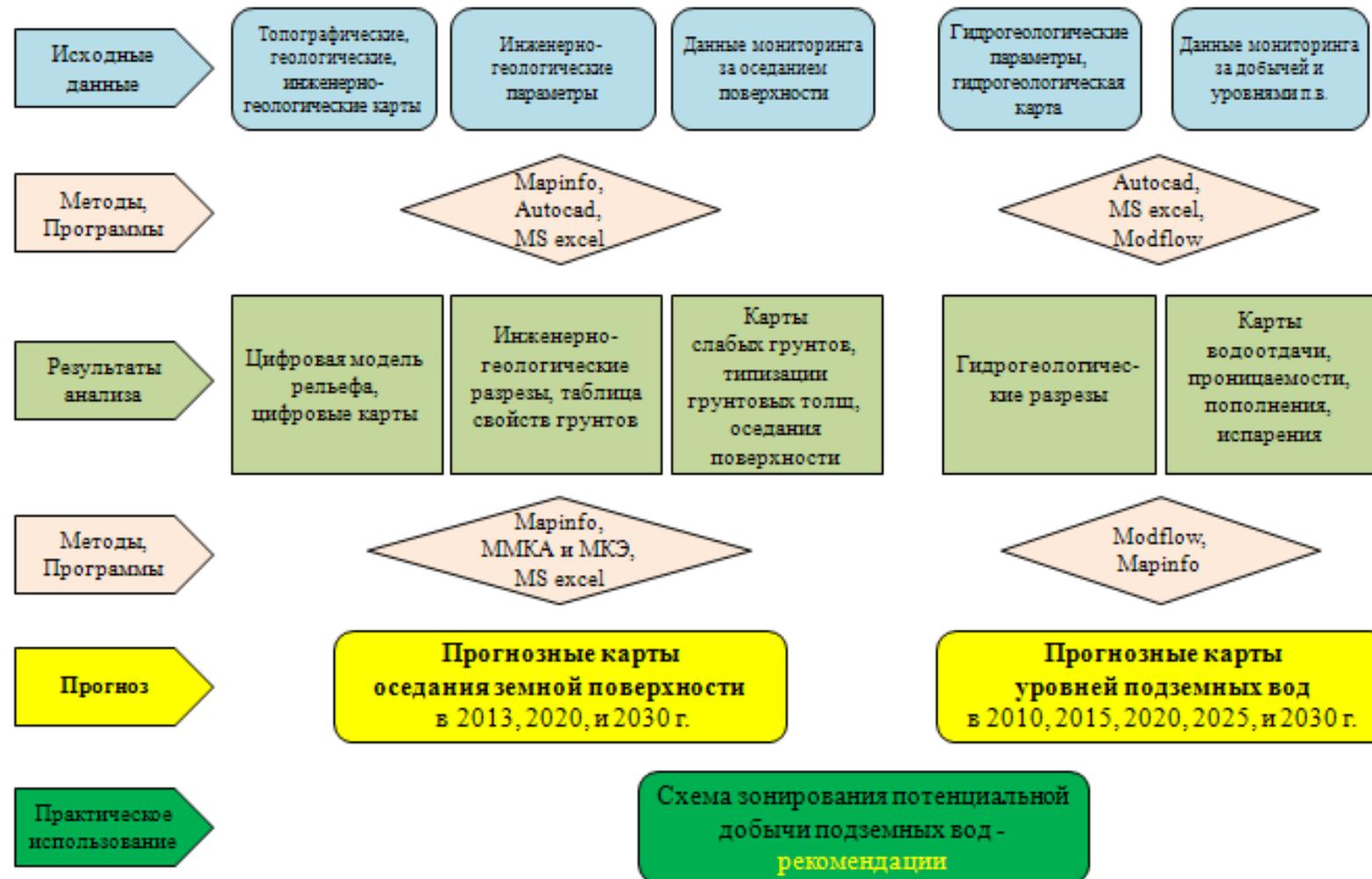


Рисунок 2.7. Принципиальная схема исследования оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод

ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ Г. ХАНОЯ

Находясь в центре дельты реки Красной, г. Ханой – главный политический, образовательный и культурный центр Вьетнама и второй по значению промышленный центр (после г. Хошимина). С 1976 г. Ханой является столицей Социалистической Республики Вьетнам. После расширения административного образования в августе 2008 г. Ханой имеет площадь 3.348,5 кв. км и население 6.451.909 чел. по результатам всеобщей переписи населения 01.04. 2009 года. С начала 2008 г. город Ханоя включил в себя территорию Старого Ханоя, провинцию Хатаи, а также прилегающие районы соседних провинций Вингфук и Хоабинь. В территорию современного Ханоя входят 10 городских районов, 18 сельских районов (уездов) и один городок местного значения Шонтаи. Ханой занимает первое место по площади и второе по населению во Вьетнаме.

3.1. Природные условия

3.1.1. Географическое местоположение

Ханой имеет координаты от 20°34' с. ш. (от сельской коммуны Хыонгшон района Мидык) до 21°25' с. ш. (до горы Батыонг района Шокшон) и от 105°17'50'' в. д. (от сельской коммуны Батбат района Бави) до 106°01'50'' в. д. (до сельской коммуны Дыкхиеп района Залам). Ханой граничит с провинциями Тхайнгуен и Виньфук на севере, на юге – провинциями Ханам и Хоабинь, на востоке – провинциями Бакзанг, Бакнинь и Хынгиен, на западе – провинциями Хоабинь и Футхо. Большая часть г. Ханоя расположена на правом берегу реки Красной.

3.1.2. Рельеф

Поверхность территории имеет общий наклон по направлению северо-запад – юго-восток (по течению реки Красной). Абсолютные отметки уменьшается с севера (от 400 м) к югу и с запада (от 1200 м) к востоку до средней высоты 5–20 м. Большая часть Ханоя находится на отметках до 60 м над уровнем моря.

Однако некоторые микрорайоны города имеют высоту около 2 м под уровнем моря (Рисунок 3.1). Низкий рельеф приводит к затоплению центральной части города во время сильных дождей.

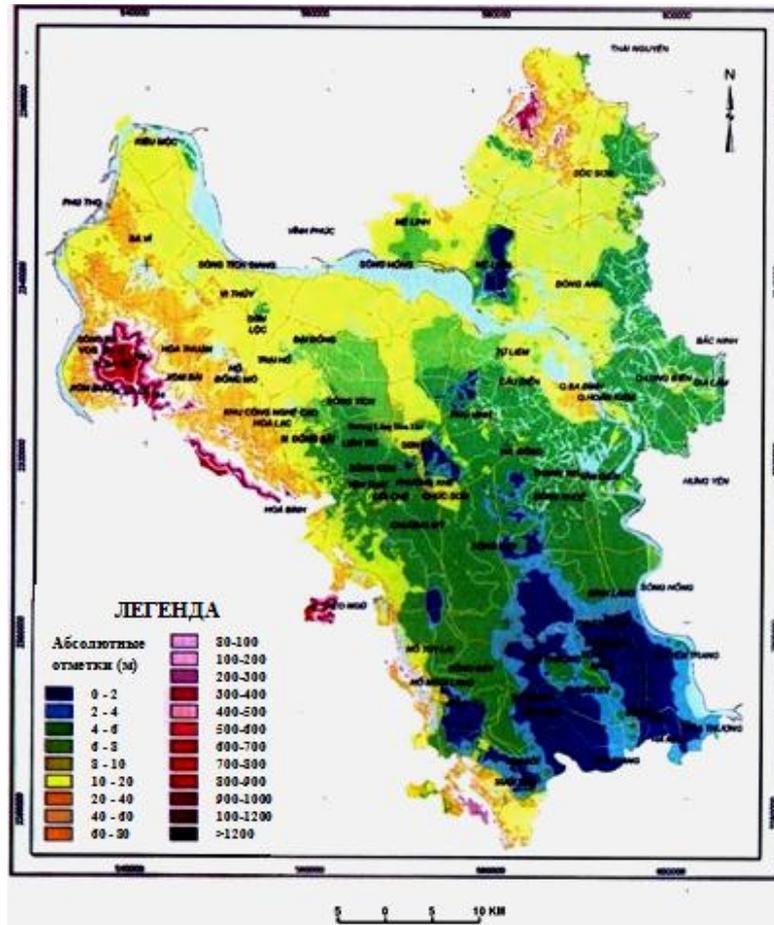


Рисунок 3.1. Схема зонирования рельефа г. Ханоя [82]

3.1.3. Климат

г. Ханой, как вся равнина Бакбо, расположен в области субэкваториального муссонного климата. Тропический климат характеризуется делением года на два сезона.

- Лето (сезон дождей) длится с мая по сентябрь, температура и влажность высокая с большим количеством дождей из-за явления юго-западного муссона.

- Зима (сухой сезон) длится с ноября по март последующего года, температура и влажность низкая с маленьким количеством дождей из-за влияния северо-восточного муссона.

С двумя переходными периодами в апреле и октябре, на территории г. Ханоя выделяются все 4 сезона: весна, лето, осень и зима.

Среднее многолетнее количество атмосферных осадков на станции Ланг – 1.671 мм и на станции Бави – 2.025 мм. Дожди в основном выпадают в летние и осенние месяцы (с мая по октябрь, примерно 80% годовой нормы осадков), а в зимние месяцы (с декабря по март последующего года) количество дождей минимальное. Среднее количество дождливых дней в год – 114.

Средний годовой объем испарения на станции Ланг – 979,6 мм и на станции Бави – 905,0 мм. Процесс испарения происходит в основном в летние и первые зимние месяцы (с мая по декабрь) и минимален с января по март.

Средняя годовая температура воздуха на станции Ланг – 23,6 °С и на станции Бави – 23,3 °С. Под влиянием муссонов температура воздуха в Ханое разделяется на два сезона:

В летние месяцы (с мая по октябрь), средняя температура на станции Ланг – от 24,8 до 29,0 °С, а на станции Бави – от 24,4 до 28,6 °С. Зарегистрированный абсолютный максимум на этих станциях – 40,4 и 42,0 °С соответственно.

В зимние месяцы (с ноября по апрель последующего года), средняя температура изменяется на станции Ланг – от 16,6 до 23,8 °С, на станции Бави – от 16,1 до 23,8 °С. Зарегистрированный абсолютный минимум на этих станциях – 2,7 °С и 2,8 °С соответственно.

Средняя влажность воздуха на станции Ланг 83%, на станции Бави – 84%. В первые зимние месяцы (ноябрь и декабрь) влажность воздуха минимальна (80 и 81% соответственно), однако в марте и апреле влажность воздуха максимальна (87%). Суточная амплитуда влажности воздуха в Ханое варьирует от 20 до 30%. В сезон дождей влажность воздуха достаточно высокая, средняя от 83 до 84%.

3.1.4. Гидрология

г. Ханой имеет густую систему рек и озер. Средняя густота рек – 0,5...1,0 км/кв.км (Рисунок 3.2). Реки на территории г. Ханоя широкие и сильно извилистые. Самые большие реки – Красная, Да и Дуонг, все они относятся к бассейну Восточного моря.

*** Река Красная:**

Река Хонгха (Красная) является самой большой рекой на территории Северного Вьетнама. Она начинается в китайской провинции Юньнань, входит на территорию Вьетнама в районе Хакхау провинции Лаокай по направлению юго-восток и впадает в

Тонкинский залив в районе заповедника Суантхуй, образуя бухту (эстуарий) Балат провинции Намдинь. Длина реки Красной на территории Вьетнама около 556 км. Река Красная входит на территорию г. Ханоя в сельской коммуне Фонгван района Бави, затем течет на север, далее меняет направление на восток, затем на юг и покидает город в сельской коммуне Куангланг района Фусуен. Длина реки Красной на территории Ханоя около 163 км; ширина варьирует от 480 до 1440 м. Вдоль берегов реки Красной были построены дамбы с 1108 г., средняя высота дамб – 14 м.

Гидрометрический режим реки Красной характеризуется как равнинный. Сток сильно меняется по сезонам. Имеются два ярко выраженных сезона: сезон ливней и сухой сезон. Результаты мониторинга гидрометрических режимов реки Красной с 1956 г. по 2010 г. [85, 139] показали, что средний многолетний дебит составляет 2.650 м³/с или годовой объем стока 83,5 млрд. м³/год. В сезон ливней (с июня по октябрь) максимальный дебит составляет 22.200 м³/с; в сухом сезоне дебит уменьшается до 207 м³/с (зарегистрирован в 21/2/2010 г.). Исторический максимальный уровень воды – 14,0 м (зарегистрирован в 22/8/1971 г.). Исторический минимальный уровень воды – 1,0 м (зарегистрирован в 21/2/2010 г.).

Ежегодно река Красная уносит 96,46 млн. тонн взвешанных наносов в море. Мутность реки высокая. Максимальное количество наноса – 13.200 т/с зарегистрировано в 14.07.2001 г. Мощность илового слоя в реке большая. В геологических разрезах на территории г. Ханоя существуют «гидрогеологические окна» вдоль реки Красной. Это места, через которые речные воды р. Красная поступают в подземные воды.

Воды широко используются для орошения (главным образом рисовых полей). Река судоходна в нижнем течении, до г. Ханоя (175 км от моря) поднимаются морские суда.

*** Река Да (Черная):**

Река Да является самым большим правым притоком реки Красной. Река Да тоже начинается в китайской провинции Юньнань, течет по направлению северо-запад - юго-восток и впадает в реку Красная в микрорайоне Хонгда района Тамнонг провинции Футхо. Длина реки Да на территории Вьетнама составляет 527 км. Река Да обеспечивает 31% дебита реки Красной [139].

Второй по величине является система р. Тхайбинь с тремя притоками Кау,

Тхыонг и Лукнам. По сравнению с бассейном р. Красной она отличается небольшими уклонами. Река Тхайбинь соединяется с р. Красной, р. Дуонг и Луок и впадает в залив Бакбо многими рукавами.

*** Река Дуонг:**

Река (протока) Дуонг с длиной 67 км соединяет две самые большие реки севера Вьетнама – реки Красная и Тхайбинь. Река Дуонг начинается из района Донгань, течет по направлению север и юго-восток через районы Тхуантхань и Зябинь провинции Бакнинь, затем присоединяется к реке Тхайбинь в Дайтхан. Длина Дуонг на территории Ханоя составляет 17,5 км.

Средний годовой дебит протоки Дуонг, измеряемый на станции Тхыонгкат, достигает около $915 \text{ м}^3/\text{с}$. В 2010 г. максимальный дебит был 27 августа – $2.900 \text{ м}^3/\text{с}$ и уровнем 5,27 м и минимальный дебит был 21 февраля – $311 \text{ м}^3/\text{с}$ с уровнем 0,14 м; средний – 2,14 м [85, 139].

Протока Дуонг также имеет высокое содержание наносов. В сезоне ливней в 1 м^3 воды содержит 1,0 кг наноса. Из-за большой ширины и глубины, Дуонг ежегодно уносит значительное количество воды и наносов из реки Красной в реку Тхайбинь.

Кроме семи перечисленных главных рек, на территории Ханоя присутствуют многие более мелкие реки (Даи, Ньюе, Кало, Кау, Толич, Кимнгыу, Лы, Шет, Тич, Нгунуиенкхуэ). В настоящее время эти реки сильно загрязнены бытовыми и промышленными отходами, а их годовой сток незначителен из-за сильных изменений, вызванных деятельностью людей.

В общем, гидрометрические режимы системы рек в Ханое сильно зависят от сезонного количества дождей и гидрометрического режима реки Красной. Река Красная играет ведущую роль в этой системе. После построения ГЭС Хоабинь на реке Да, сток реки Красной через Ханой потерпел значительные изменения: в связи с процессами накопления воды реки Да в сезон ливней и спуска воды реки Да в сухом сезоне, уровень воды реки лучше урегулирован. Однако из-за системы дамб, которая считается одной из огромных систем в мире и достраивается даже в настоящее время, и плохо управляемого процесса градостроительства, затопление станет серьезной проблемой Ханоя, явным примером чего является затопление центральной части города во время сильных дождей в ноябре 2008 г.

Ханой также обладает множеством озер. В центральных районах г. Ханоя

находятся озера Таи (526 га), Чукбач (22 га), Баймау (22 га), Бамау (10 га), Хоанкием (12 га), ТхиенКуанг (5 га), Тхуле (6 га), Ванчыонг, Нгоухань, Садан, Донгда и др. В сельских районах находятся другие крупные озера: Нгаишон-Донгмо (200 га), Шуойхай (180 га), Меогу (113 га), Суанхань (129 га), Туйлай (401 га), Куаншон (483 га), Дамлонг (72 га), пруд Ванчи (150 га) [82, 85, 98, 139].

Общее состояние озер в городских районах плохое. Они загрязнены бытовыми отходами. Средняя глубина воды в этих реках 1,0–2,5 м и уменьшается непрерывно из-за накопления илового слоя мощностью 0,5–1,0 м. Незаконное строительство около уреза воды уменьшает площадь озер. Плохое качество озерных вод косвенно влияет на качество подземных вод, например, озеро Таи.

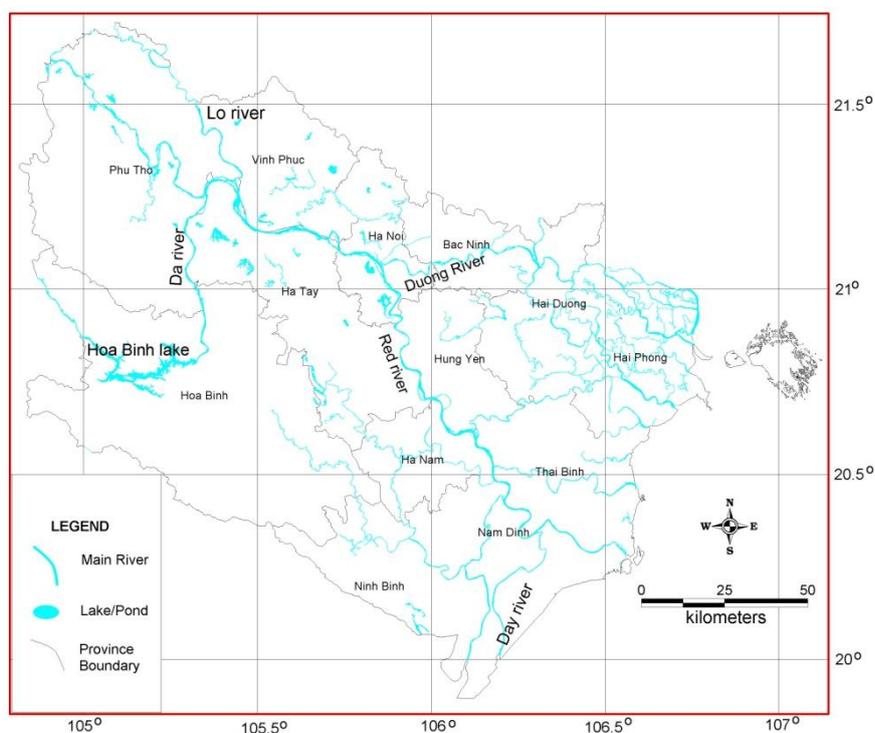


Рисунок 3.2. Схема крупных рек на северной дельте [41]

3.2. Социально-экономическая характеристика

3.2.1. Население

Город Ханой имеет высокую плотность населения. Ханой занимает 1% общей площади страны, но там проживают 7,5% населения всей страны. По результатам всеобщей переписи населения в 2009 г., население Ханоя составляет 6.451.909 чел., в том числе городское население – 40%. Плотность населения Ханоя – 1.926 чел/кв. км, в 7,4 раз выше аналогичного показателя для всей страны (260 чел/кв. км). Однако

распределение неравномерное. Городский район Донгда имеет самую высокую плотность – 36.682 чел/кв. км, сельский район Бави имеет самую низкую плотность – 575 чел/кв. км. Темп роста населения в последние годы уменьшается. В 2009 г. население выросло на 1,1% по сравнению с 2008 г.

3.2.2. Инфраструктура

Поскольку Ханой является столицей, политическим, хозяйственным и культурным центром страны инфраструктура Ханоя относительно хорошо развивается.

В Ханое развиты такие виды транспорта как автомобильный, водный, воздушный, железнодорожный.

Здравоохранение: в 2008 г. Ханой имел 665 больницы и поликлиники [139]. Однако большая часть больниц и поликлиник находится в городских районах и значительно перегружена.

Образование: Ханой является самым большим образовательным центром страны. В 2008 г. Ханой имел 767 детских садов, 674 начальных школ, 584 базовых средних и 182 средних школы, более 50 вузов и множество колледжей, училищ [139].

3.2.3. Экономика

По отчету Народного комитета города 2010 г., в городе наблюдаются положительные и активные изменения в социально-экономическом развитии. Экономика города быстро развивается во всех областях. Экономика города ориентирована на систему «услуги – промышленность – сельское хозяйство». ВВП города в 2010 г. вырос на 11% по сравнению с 2009 г., это на 1,64 раз быстрее темпа всей страны. Этот же показатель для промышленности – 11,6%, услуг – 11,1%, для сельских, лесных и рыболовных хозяйств – 7,2%. ВВП на душу населения – 37 млн. вьетнамский донг/год [139].

3.3. Геологическое строение

Вьетнам расположен на стыке Тихоокеанского и Средиземноморского геосинклинальных поясов. Северная часть Вьетнама связана со следующими крупными регионально-тектоническими единицами – Катазиатской каледонской геосинклинальной складчатой системой, подвижной частью Южно-Китайской платформы, Восточно-Индокитайской (Северо-Вьетнамской) складчатой системой.

Особенности геологического строения позволяют подразделить территорию на 2 области.

Северо-восточный Бакбо относится к подвижной окраине Южно-Китайской платформы и юго-западному окончанию Катазиатской системы. Образования древнего фундамента платформы (гнейсы, кварцы, кристаллические сланцы, мраморы, гранитоиды) перекрыты верхнепротерозойскими и палеозойскими терригенно-карбонатными отложениями. Вдоль северо-восточного побережья залива Бакбо (юго-запад Катазиатской системы) терригенно-эффузивные отложения кембрия, ордовика и силура сильно смяты с образованием складчатого комплекса нижнего палеозоя. Мезозойские вулканогенно-осадочные и терригенные толщи выполняют отдельные прогибы и впадины. Позднепалеозойские и мезозойские интрузии кислого и основного состава связаны с разломами. В этой части страны установлены месторождения каменного угля и антрацитов в поздне триасовых грабенах, титаномагнетитовых руд, связанные с габброидами, железных руд – в скарнах мезозойских интрузий, гидротермальных руд свинца и цинка – в пермо-триасовых гранитоидах и кислых вулканитах триаса, бокситов – в отложениях Перми, руд олова и вольфрама – с гранитами мел-палеогенового возраста и в современных аллювиальных россыпях и др. Газоконденсатные месторождения и бурые угли установлены в Ханойской депрессии, а акватория залива Бакбо потенциально перспективна на нефть и газ.

Северо-западный Бакбо – раннегерцинская и индосинийская (поздне триасовая) геосинклинально-складчатая система. Северо-западный Бакбо характеризуется особыми пермо-триасовыми офиолитовыми образованиями, превращенными в глыбово-складчатую зону Индосинийского комплекса. Здесь установлены месторождения хромитов в элювиально-делювиальных россыпях; месторождения руд меди, никеля, титана, связанные с дифференцированными и габбро-норитовыми интрузиями; месторождения руд редкоземельных элементов, барита и флюорита – с щелочными интрузиями позднего мела и палеогена; гидротермально-метасоматического месторождения руд меди и редкоземельных элементов, месторождения колчеданных руд золота – с вулканогенными образованиями.

3.3.1. Стратиграфия

На территории г. Ханоя существуют геологические формации с возрастом от

протерозоя до кайнозоя и разделены на 23 стратиграфических подразделения. Геологическая карта территории г. Ханоя масштаба 1:50.000 составлена Нго К.Т. и опубликована Ханойским издательством в 2011 г. Геологические формации дочетвертичного возраста распространены, в основном, в горных и холмистых местностях районов Шокшон, Мелинь, Бави, Тхачтхат, Шонтаи, Куокоай, Чыонгми, Ынгхоа, Мидык и т.д. Четвертичные осадочные отложения распространены в Ханое повсеместно.

В г. Ханое самыми древними горными породами являются протерозойские геологические формации, представленные сильно метаморфизованными осадочными породами (гнейсами, амфиболитами, кварцитами, мрамором и т.д.) серии Хонгха. Породы серии представлены геологическими свитами: «горы Вой», PP_{nv} ; «Нгойчи», $PP-MP_{nc}$; «Тхачькхоан», $NP-\epsilon_1tk$ и «Шонгчай», $NP-\epsilon_1sc$.

Горные породы палеозойских геологических формаций представлены известняками и сланцами геологических свит: «Шифай», P_{1-2sp} ; «Наванг», P_{2nv} ; «Иензуэт», P_{3ud} .

Мезозойские геологические формации представлены осадочными и эффузивными образованиями триаса и юры свит Виеннам (T_{1vn}), Танлак (T_{1otl}), Донгзао (T_{2adg}), Кхонланг (T_{2akl}), Накхуат (T_{2nk}), Намтхам (T_{2lnt}), «река Бои» (T_{2-3sb}), Хакои (J_{1-2hc}), Тамлунг (J_2-K_1tl).

Горные породы кайнозойских геологических формаций имеют разнообразный генезис, литологический состав и различный уровень прочности. Горные породы кайнозойских геологических формаций можно разделить снизу вверх следующим образом:

НЕОГЕНОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Неогеновые отложения на территории г. Ханоя по условиям залегания подразделяются на районы, где породы залегают с поверхности с возрастом позднего миоцена (Фанлыонг); и районы (дельта реки Красной), где отложения плиоцена (Виньбао) встречены в разрезе и перекрыты четвертичными отложениями.

*** Геологические отложения Фанлыонг (N_1^3pl)**

Крупнозернистые осадочные отложения встречаются в виде полосы длиной 16 км, шириной 1,5–2,0 км от микрорайона Чунгха, западного микрорайона Шуойхай до

микрорайона Суанкхань городка Шонтаи. Они распространены в древнем грабене, перегороженном северо-западными – южно-восточными разломами и разломом, простирающимся параллельно широте. Породы этих отложений встречены в плотине Шуойхай. Они состоят из валунника, конгломерата, песчаника с линзами конгломератов, угля в нижней части. В верхней части они состоят из серого, темно-серого алевролита, песчаника перемежающегося с аргиллитом и содержащего линзы конгломератов. В темно-сером аргиллите содержит окаменелости *Viviparus sp.*, *Paludina sp.*, *Corbula sp.*, пыльцевые споры *Polypodiaceae*, *Cyathea*, *Pretis*, *Angiopteris*, *Ginkgo*, *Pinus*, *Tsuga*, *Quercus*, *Fagus* и т.д. Мощность отложений составляет 130 метров. Их возраст относят к ранне-миоценовому периоду.

* Геологические отложения Виньбао (N₂vb)

Неогеновые породы геологических отложений Виньбао, перекрыты четвертичными отложениями, они нигде не выходят на дневную поверхность и встречены только в глубоких скважинах. В южной и восточно-южной части района Донгань эти геологические отложения встречаются на глубине 77 м и более. В микрорайоне Каузиен они встречаются на глубине до 40 м. Представлены конгломератом, гравелитом, перемежаясь с серым песчаником, алевролитом, сланцем; в некоторых местах они содержат уголь и лигнит. В мелкозернистых породах содержатся растительные окаменелости *Pseudorotalia sp.*, *Elphidium sp.* и т.д. Они принадлежат к мелководным морским отложениям и встречаются на глубине от 78 м до 134 м. На глубине от 97 м до 103 м, встречаются растительные окаменелости *Cyclotella omarensis*, *Centrophyceae*, и пыльцевые споры *Gleichenia*, *Lygopodium*, *Pinus*, *Albus*, *Betula*, *Carpinus*, *Quercus* и т.д. Мощность отложений колеблется от 50 до 350 метров. Возраст пород принадлежит к плиоценовому периоду.

ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

На территории г. Ханоя четвертичные отложения занимают большую часть дельты. Они различаются по генезису и имеют возраст от раннего плейстоцена до позднего голоцена. Анализ выполненных буровых, геофизических работ показывает, что мощность четвертичных отложений увеличивается с северо-запада на юго-восток и почти совпадает с направлением течения реки Красной.

В разрезе четвертичных отложений выделено пять свит, различающихся по возрасту и генезису, снизу вверх следующим образом:

* Плейстоценовые свиты

- Свита Лечи (aQ_1^{1lc}) – $aIlc$

Свита Лечи выделена Нго Куанг Тоан в 1989 г. в скважине LK4HN, которая расположена в коммуне Лечи района Залам. Эта свита включает аллювиальные отложения, вскрытые на глубине от 45,0 до 80,0 м от поверхности. Мощность свиты колеблется от 2,5 до 24,5 м. Свита Лечи распространена от района Донгань до юга и юго-востока города Ханоя. Она увеличивается по площади и мощности к югу, юго-востоку города Ханоя. Самая большая мощность свиты наблюдается в скважине LK6HN в микрорайоне Аймо района Залам, где достигает 24,5 м. Она подстилается неогеновыми отложениями и перекрыта свитой Ханой.

Разрез свиты исследовался детально в коммуне Лечи района Залам по скважине LK4HN. Она состоит из трех пачек мощностью 14 м, снизу вверх следующим образом:

Пачка 1: состоит из хорошо окатанных галек, гравия с включениями песка, ила, глин, коричнево-серых, залегает на глубине 67,0 до 77,0 м, мощностью 10,0 м.

Пачка 2: состоит из пылеватых и мелких песков, серых, желтовато-серых, залегает на глубине 63,5 до 67,0 м, мощностью 3,5 м.

Пачка 3: состоит из илов, глин, песков, серых, желтовато-серых, темно-серых с органическими остатками и остатками пыльцевой споры *Polypodiaceae*, *Tyilia* и пресноводными водорослями *Centrophyceae*. Породы залегают на глубине 63,0 до 63,5 м, с мощностью 0,5 м. Возраст свиты относят к раннеплейстоценому периоду.

- Свита Ханой ($a,apQ_1^{2-3}hn$) – $a,apII-III^1hn$

Свита Ханой выделена Хоанг Нгок Ки в 1973 году. Она распространена довольно широко на окраине холмов районов Бави и Шокшон и на равнине. Свита Ханой имеет два генезиса:

+ Аллювиально – пролювиальные отложения ($apQ_1^{2-3}hn$), мощностью 2,5–6,0 м, слагают 2 террасу, распространенную в микрорайоне Суанмаи района Чьонгми – Хоалак района Тхачтхат – района Шонтаи до района Бави; а также от микрорайона Дафук до микрорайона Кимань, в микрорайоне Миньчи и некоторых местах района Шокшон.

В районе Шокшон, они делятся на 2 пачки:

Пачка 1: залегает в нижней части. Он состоит из гальки, гравия, песков, илов с глинами желтыми со средней мощностью 0,3–2,5 м.

Пачка 2: залегает в верхней части. Он состоит из илистых песков, илов с темно-желтыми глинами. В илистых песках содержатся множество пыльцевых спор *Quercus*, *Ulmus*, *Polydiacaea*. Средняя мощность колеблется от 2,2 до 3,5 м. Во многих местах, верхняя часть пачки подверглись латеризации.

+ Аллювиальные отложения ($aQ_1^{2-3}ln$), мощностью от 9,9 до 34,0 м: встречаются в большинстве скважин на равнине. Они делятся на 3 пачки:

Пачка 1: залегает в нижней части, состоит из гальки, валунов, гравия, илистых песков, разноцветных, желтовато-серых, с мощностью 10,0–20,0 м.

Пачка 2: залегает в средней части, состоит из мелких фракций гравия, крупных песков, илистых песков, желтых, желтовато-серых, коричневатого-желтых со средней мощностью 17,0 м.

Пачка 3: залегает в верхней части, состоит из илистых песков, илистых желтых и желтовато-серых глин, со средней мощностью 4,0 м.

В илистых глинах, желтовато-серых содержатся остатки пресноводной водоросли *Navicula*, *Gomphonema*, *Centrophyceae* и множество пыльцевой споры *Polypodiaceae*, *Carya*, *Ulmus* и др. с средне-позднеплейстоценовым возрастом.

- Свита Виньфук (Q_1^3vp) – *a,alb,am*Ш²vp_{1,2,3}

Свита Виньфук выделена Хоанг Нгок Ки в 1973 г. при составлении геологической карты г. Ханоя масштаба 1:200.000. По условиям залегания отложения свиты подразделяются на 2 зоны:

+ Породы свиты залегают первыми от поверхности – в районах Мелинь, Шокшон, Донгань, Тхачтхат, Куокоай, микрорайоне Суанмай района Чыонгми, микрорайоне Коньуэ района Тылием и некоторых местах.

+ Породы свиты залегают на глубине 2,0 до 26,5 м – юг района Донгань, южный микрорайон Коньуэ района Тылием.

Свита Виньфук имеет три генезиса:

+ *Аллювиальные отложения* (aQ_1^3vp): широко распространены в районах Мелинь, Шокшон, Донгань, Тхачтхат, Куокоай, микрорайоне Суанмай района Чыонгми слагают 1-ую террасу, высотой 8–20 м. На равнине эти отложения встречаются в скважинах на глубине от 20,0 до 40,0 м, с мощностью от 6,2 до 38,0 м.

Аллювиальные отложения свиты Виньфук подверглись слабой латеризации и имеют характерный кирпично-коричневый цвет. Породы имеют 2-х членное строение:

Нижняя пачка состоит из гальки, мелкого гравия, песков с илистыми желтовато-серыми глинами, мощностью 3,0–10,0 м и залегает над свитой Ханой.

Верхняя пачка состоит из илистых песков, глин, суглинков, желтовато-серых, красновато-коричневых, мощностью 10,0–33,0 м. В илистых глинах содержатся остатки пресноводной водоросли *Eunotia monodon*, *Epithemia zebra*, *Cymbella ventricosa* и множество пыльцевой споры *Myrolepia*, *Taxodium*, *Quercus*, *Cyathea*, *Pinus*, *Taxus* и т.д. с позднеплейстоценовым возрастом.

+ *Аллювиально–озерно–болотные отложения* ($albQ_1^3vp$): распространены незначительно, только в районе Шокшон. Они состоят из желтых, темно-серых, светло-серых каолиновых глин с органическими остатками *Sassa*, *Pistacia*, *Anguliagra*, *Oxypania*, с позднеплейстоценовым возрастом, и мощностью 5,0–12,5 м.

+ *Аллювиально-морские отложения* (amQ_1^3vp): обнаружены на небольшой площади в микрорайонах Майлам района Донгань и Коньуе района Тылием, а также в юго-восточной и южной частях города. Они состоят из глин, илистых глин с песками. В верхней части, они выветрены, поэтому имеют кирпично-красноватый цвет.

Мощность отложений колеблется от 2,5 до 19,6 м. В илистых глинах содержатся остатки водоросли *Cyclotella*, *Diploneis* и др. с позднеплейстоценовым возрастом.

Общая мощность свиты Виньфук колеблется от 6,2 м до 38,0 м.

* Голоценовые отложения

Голоценовые отложения на территории г. Ханоя и в дельте северного Вьетнама начали формироваться около 10.000 лет назад. Тогда, в конце позднего плейстоцена, уровень морской воды поднялся во всем мире, и достиг максимального значения в среднеголоценовом периоде (6.000–4.000 лет назад), оставил зримый отпечаток древней береговой линии с зеленовато-серым глинистым слоем. Этот зеленовато-серый глинистый слой является признаком отличия между свитами Хайхынг и Тхайбинь.

- Свита Хайхынг ($Q_2^{1-2}hh$) – $lb, amb, mIV^{1-2}hh_{1,2,3}$

Свита Хайхынг выделена Хоанг Нгок Ки в 1978 году. Она сформировалась около 4.000 – 6.000 лет назад, в период трансгрессии «Flandrian». Она имеет 3 генезиса:

+ Озерные – болотные отложения ($lbQ_2^{1-2}hh$): сформировались *перед трансгрессией* «Flandrian». Они распространены на окраине равнины в районах Бави, Куокоай, Донгань, и в пониженном микрорайоне Шондонг района Хоайдык и т.д. Эти отложения состоят из илистых глин, пылеватых и среднезернистых песков, темно-серых и темно-серых, с органическими остатками и линзами торфа с мощностью 0,5–3,6 м. Мощность отложений колеблется от 2,0 м до 13,5 м.

+ Морские отложения ($mQ_2^{1-2}hh$): широко распространены в районах Тханьоай, Тхыонгтин, Мидык, и встречаются в скважинах микрорайона Шондонг района Хоайдык, а также в южной и юго-восточной части города Ханоя. Они состоят из глин, илистых глин с пылеватыми зеленовато-серыми и желто-серыми песками, мощностью 2,0–6,0 м. В зеленовато-серых глинах содержатся фораминиферовые остатки «Foraminifera» *Quinqueloculina*, *Elphidium*, *Ammonia* и др., принадлежащие к среде мелководного моря со среднеголоценовым возрастом.

+ Аллювиальные – морские – болотные отложения ($ambQ_2^{1-2}hh$): встречены в районах Мидык, Тханьоай, Тхыонгтин, и в центре г. Ханоя, имеют незначительное распространение, не появляются на земной поверхности.

Они состоят из темно-серых, серых илистых глин с песками, песков, торфов с органическими остатками и фораминиферовыми остатками, мощностью 2–5 м. Их согласно перекрывают голоценовые морские отложения. Общая мощность свиты Хайхынг колеблется от 1 до 43 м.

- Свита Тхайбинь (Q_2^3tb) – *a,albIV^3tb_{1,2}*

Свита Тхайбинь выделена Хоанг Нгок Ки в 1978 году. Это самая молодая свита на территории г. Ханоя. Она формировалась в период регрессии моря около 3.000 лет назад и продолжается до настоящего. В этом периоде уровень морской воды понизился: эрозия и накопления реки Красной и других рек увеличились в процессе образования дельты Бакбо. Красная река активно развивалась в этот период. Процесс донной эрозии быстро перешел к горизонтальной. Аллювиальные наносы и осадки аккумуляровались вдоль рек Красной, Да, Дуонг, Кало, Даи, Кау и т.д. С империи Ли до настоящего времени система дамб вдоль рек Красной, Дуонг, Даи и т.д. построена для защиты территории от наводнения. Эта система дамб приводит к тому, что большая часть равнины за системой дамб не получает осадочный материал от рек.

По генезису, свита Тхайбинь может разделяться на:

+ Аллювиальные отложения за дамбами (aQ_2^3tb): широко распространены в микрорайоне Кодо района Бави, районах Фуктхо, Тхачтхат, Данфыонг, Хоайдык, Донгань, Залам, Куокоай, Хадонг, Тханьчи, Тханьоай, Тхыонгтин, Ынгхоа, Фусуен, и в центре г. Ханоя и т.д. Мощность свиты колеблется от 1 м до 26 м: в центре г. Ханоя - мощность свиты 1,0–5,0 м; в районе Залам – около 15 м; в районе Тханьчи – около 20 м. Вдоль обоих берегов реки Красной, за дамбой эти отложения залегают на глубине от 0 м до 35,5 м, с мощностью 0,9 м до 26,5 м.

Литологический состав этих отложений описывается по скважине LK2HN снизу вверх следующим образом:

Пачка 1: состоит из мелких – среднезернистых песков, серых, коричнево-серых с органическими остатками на глубине 9,0 м до 26,5 м.

Пачка 2: состоит из илистых глин с песками, серо-коричневых, с остатками пыльцевой споры подтипа папоротников *Polypodiaceae*, *Alsophilum*, *Cyathea*, *Lygodium*, *Schizea*, *Gleichenia*, *Taxus*, *Morus*, *Palmae* и пресноводных водорослей *Hantzschia*, *Melosira*, *Synedra*.

+ Аллювиальные – озерные – болотные отложения ($albQ_2^3tb$): расположены рассеянно с небольшой площадью. Они в основном встречаются в русле древних рек в микрорайоне Ванчи района Донгань и в центре г. Ханоя. Эти отложения сформировались в процессе накопления осадков в пониженных участках: озерах, прудах, старицах, Характерной чертой этих отложений является присутствие слоя темно-серых органических материалов.

Литологический состав этих отложений описан по скважине LK12B в микрорайоне Ньаттан района Таихо снизу вверх следующим образом:

Пачка 1: состоит из илистых песков, серых, темно-серых, с органическими остатками. Он встречается на глубине 4,0 м до 8,0 м.

Пачка 2: состоит из илистых глин, серых, темно-серых, с органическими остатками. Он встречается на глубине 2,7 м до 4,0 м.

В озере Таи, мощность этих отложений довольно большая, и колеблется от 1 м до 14 м. В других озерах, таких как озера Хоанкием и Тхиенкуанг и т.д. мощность этих отложений менее 1,0 м.

+ Аллювиальные отложения вне дамбы (aQ_2^3tb): Это самые молодые отложения на территории г. Ханоя. Это отложения поймы рек и прибрежных рек. Они

расположены вне системы дамб рек «Красная», Дуонг, Да, Дай, Кау, Кало и других рек. Они состоят в нижней части: из гравия, песков с илистыми глинами, желто-коричневых, желто-серых, мощностью 2–10 м, в верхней части из илистых глин, илистых песков, светло-коричневых, с мощностью 2–5 м.

С появлением системы дамб вдоль рек на территории г. Ханоя, деятельность горизонтальной эрозии Красной реки и других рек была ограничена по пространству. Поэтому, большинство аллювиальных материалов аккумулируется в русле рек, приведшее к тому, что в некоторых местах пойма реки Красной имеет высоту выше, чем высоту земной поверхности за дамбами. Мощность этих отложений составляет около 15 м.

Общая мощность свиты Тхайбинь колеблется от 0,5 м до 26,5 м.

Магматизм

На территории г. Ханоя, магматические интрузивные породы принадлежат к комплексу Бави, расположены в виде небольших рассеянных массивов в горах Бави и Виеннам. Комплекс Бави состоит из дунита, перидотита, габбро-диабазы, диабазы, темно-серого, твердого и плотного. Они имеют явную связь по генезису и местоположению с магматическими эффузивными породами, которые принадлежат к свите Виеннам. Возраст интрузивных пород относят к раннетриасовому периоду.

3.3.2. Тектоника

Исследуемая территория имеет длительную историю геологического развития. В пределах Северного Вьетнама выделяются следующие тектонические зоны: 1) южная окраина Китайской платформы; 2) зона катазиатских каледонид; 3) зона герцинской складчатости; 4) северо-восточная мезозойская складчатая система.

Город Ханой расположен в северо-западной части дельты «Красная река». История образования и развития территории тесно связывается с развитием тектонической зоны Красной реки. Начиная с города Виетчи, дельта «Красная река» погружается в виде шарнира и расширяется веерообразно к юго-востоку. Образование и развитие дельты «Красная река» непосредственно подчиняются глобальным северо-западным – юго-восточным разломам, таким как разломы «Красная река», «река Чай», «река Ло» и т.д. Ханой является переходной зоной между горой и равниной с тонкими кайнозойскими осадочными отложениями. С точки зрения тектоники, большая часть территории города Ханоя расположена в центральной погруженной

зоне прогиба реки Красной, приуроченного к чрезвычайно сложному тектоническому узлу – сгущению тектонических разломов различного порядка и простирания, в основном северо-западного, северо-восточного и субширотного, реже субмеридионального направлений. Некоторые разломы относятся к числу активных, перемещения отдельных крупных тектонических блоков составляют от долей до 5 мм, реже 8 мм в год (В.Д. Чыонг и др., 1993; Н.Д. Суен и др., 1985, 1989, 2003).

По данным бурения и геолого-геофизических исследований впадина Красной реки образована на земной коре континентального типа, которая в пределах континента имеет мощность 30–45 км, а на шельфе залива Бакбо – 30 км.

3.3.2.1. Тектонические зоны

Результаты исследований авторов Дао Динь Бак, Нго Куанг Тоан и Ха Ван Хай [82, 137] показывают, что на территории г. Ханоя существуют 6 тектонических зон (Рисунок 3.3).

* **Тектоническая зона «Анчау»:** включает в себя конечную часть на юго-востоке горного ряда Тамдао, невысокие горы в районах Мелинь и Шокшон и с мезозойскими осадочными горными породами. Тектоническая зона «Анчау» отделяется от тектонической зоны «Логам» разломом «река Ло» (разлом на северо-западе и юго-востоке).

* **Тектоническая зона «Логам»:** занимает небольшую площадь уезда Мелинь и общины Кимань в уезде Донгань с древними метаморфическими образованиями (возраста протерозоя – ранней кембрии) и мезозойскими осадочными породами в виде слоев (возраста среднего триаса – юры – мела). Молодой грабен был заполнен неоген-четвертичными осадочными горными породами. Тектоническая зона «Логам» отделяется от тектонической зоны Красной реки разломом «река Чай».

* **Тектоническая зона «река Красная»:** расположена между двумя глубокими разломами «Красная река» и «река Чай» на северо-западе – юго-востоке. Она простирается от города Вьетчи через общину Чунгха городка Шонтаи до холма, на котором находится пагода Таифыонг в районе Тхачтхат с наличием протерозойских метаморфических пород фации амадина – амфиболита и нижних мезозойских и кайнозойских осадочных горных пород. Продолжаясь на юго-восток, тектоническая зона постепенно исчезает и перекрывается более молодой тектонической зоны «Ханой». Тектоническая зона «Красная река» – большая антиклиналь с комплексом

метаморфических пород, которые были смяты в складки, и вследствие того были сформированы антиклинали и синклинали, простирающиеся с северо-запада – юго-востока от города Вьетчи до городка Шонтаи и далее до пагоды Таифьюнг. Разрушительная деятельность глубоких разломов вдоль окраины города придала зоне блоковое строение, отражающееся на земной поверхности.

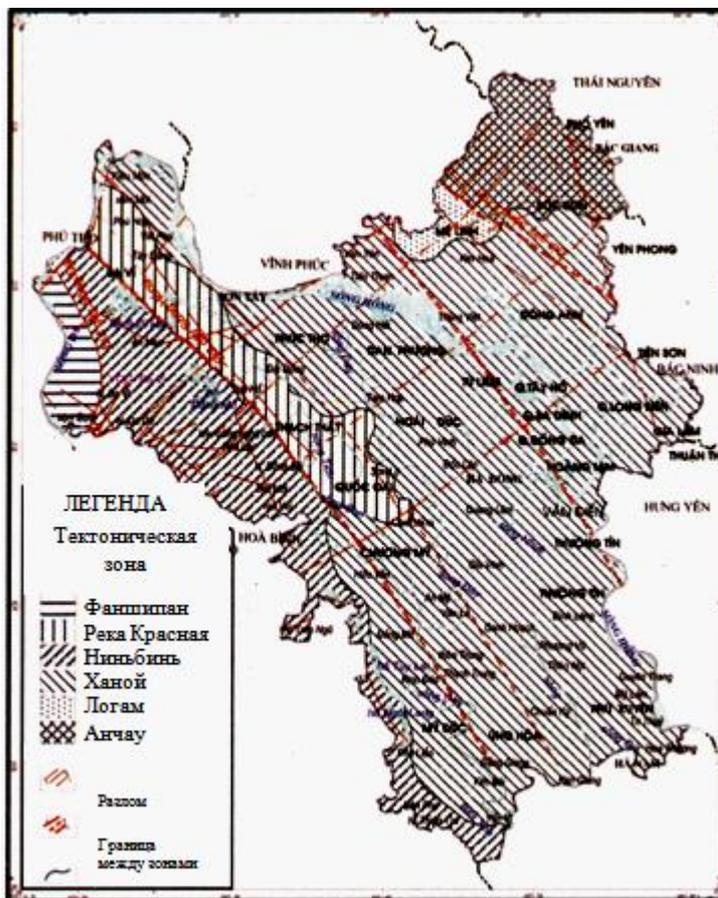


Рисунок 3.3. Тектоническая схема территории г. Ханоя [82]

* **Тектоническая зона «Фаншипан»:** расположена на территории г. Ханоя. Это небольшая площадь на западе разлома «река Да». Геологические формирования этой зоны проявляются только на западе, юго-западе и северо-западе горной цепи Бави, состоят из протерозойских метаморфических пород, позднепалеозойских и раннемезозойских осадочных горных пород. Структура осложнена внедрением интрузий (комплексы Танфьюнг, Бави) и системами разломов.

* **Тектоническая зона «Ниньбинь»:** распространена от общины Батбат района Бави до района Чыонгми и Мидык. Сложена терригенными осадочными породами, позднепалеозойских карбонатных осадочных пород и раннемезозойских осадочных пород. В плане зона представляет собой короткую арку, пологую,

неориентировочную. Тектоническая зона «Ниньбинь» находится между двумя разломами «река Да» на западе и «река Красная» на северо-востоке.

* **Тектоническая зона «Ханой» (погруженная зона «река Красная»):** расположена в двух тектонических местностях (северо-восточной и северо-западной в северном Вьетнаме). Она занимает более половины площади г. Ханоя и состоит из неогеновых и четвертичных континентальных и морских отложений. Погруженная зона Красной реки начинается от города Виетчи и расширяется к юго-востоку и тянется к морю. Чем дальше продолжается к юго-востоку, погруженная зона Красной реки, тем больше погружается по глубине, особенно вблизи разлома «река Чай». В соответствие с данными геофизических исследований и глубокого бурения, строение этой зоны – блочное, включает протерозойские, палеозойские, мезозойские осадочные породы и неогенные геологические отложения, содержащие бурые угля.

3.3.2.2. Тектонические разломы

Территория г. Ханоя, это место, где проходят самые большие разломы Вьетнама (разломы «река Красная» и «река Ло»). Такие разломы сопровождаются широкими областями динамического влияния, что было доказано в работах, выполненных вьетнамскими и иностранными геологами.

На основе исследований геолого-геофизических данных, дешифрирования космических снимков, материалов аэрофотосъемки Н.Ч. Ием, З.Д. Лам, Д.Д. Бак, Н.К. Тоан и Х.В. Хай, С.И. Шермана, К.Ж. Семинского в работах [82, 94, 111, 137] показано, что структурная организация тектонических разломов на территории г. Ханоя очень сложная. По роли в истории геологического развития территории тектонические разломы подразделяются на три группы: глобальные, трансрегиональные и региональные.

* **Тектонические разломы I порядка (глобальные разломы):** – наиболее крупная полоса развития активных разрывных структур в северной части Вьетнама состоит из таких известных сместителей, как разлом «река Красная», разлом «река Чай», разлом «Виньнинь» и представляет собой зону влияния межплитной границы Айлао-Шаг – Красная река.

- **Разлом «река Чай»** разделяет северо-восточную и северо-западную части северного Вьетнама на две тектонические зоны, а также является основным разломом, разграничивающим «река Красная» и «Логам» двумя тектоническими зонами.

Глубина разлома прослеживается до 37 км, угол наклона сместителя 72° к северо-востоку, амплитуда горизонтального смещения от 1 до 10 км, амплитуда вертикального смещения от 1 до 3 км. На территории г. Ханоя, этот разлом установлен при исследовании геофизических данных и космоснимков. Разлом, вероятно, был сформирован в позднепротерозойском – раннепалеозойском времени, и неоднократно активизировался в палеозое, мезозое, кайнозое, и продолжается свое действие до настоящего времени. Следует отметить, что активная деятельность разлома в неогеновом периоде сформировала грабены, и разлом был заполнен континентальными отложениями, содержащими бурые угля. В четвертичном периоде по этому разлому реализуются современные движения земной коры: – продолжается процесс оседания поверхности вдоль разлома с накоплением рыхлых отложений с мощностью больше, чем в окрестностях. Вдоль разлома многие малоэтажные жилые дома разрушены, на стенах и полах других домов разрастаются трещины; на обоих берегах реки Толич (в окружении моста То, район Хадонг) зафиксированы оползни; в общине Чунгха провинции Виньфук, обнаружены сильные эрозии на левом берегу Красной реки.

*** Тектонические разломы II порядка (трансрегиональные):**

- **Разлом «река Красная»** простирается по направлению северо-запад – юго-востока, угол наклона сместителя 75° на северо-восток. Глубина разлома составляет 35 км. На территории г. Ханоя, этот разлом протягивается с берега реки Да до общин Хиеулык и Донгчук района Куокоай и опускается на юго-восток. Этот разлом сформирован в позднепротерозойском – раннепалеозойском периоде, и неоднократно активизировался в палеозое, мезозое, кайнозое. Действия этого разлома и его ответвления образовали грабен «Чунгха – Суанкань», заполненный неогенными осадочными породами.

- **Разлом «река Ло»**, протянувшийся по направлению северо-запад – юго-восток. По материалам исследования геофизических данных и космоснимков его глубина составляет 35 км, угол наклона сместителя 70° на юго-запад, средняя амплитуда горизонтального смещения 2 км. Это взброс-разлом был образован в палеозойском периоде, и неоднократно активизировался в позднем палеозое и кайнозое. В кайнозое вдоль разлома был сформирован грабен (юго-запад), заполненный неогеновыми осадочными породами. Действия этого разлома: оползень–обвал на склоне гор в

общине Намшон района Шокшон; сильный оползень–обвал на берегах реки Кало в общине Суантху района Донгань. По результатам новейшего исследования, система разлома реки Ло выражается слабым действием в современном тектоническом периоде.

*** Разломы III порядка, (региональные разломы, разделяющие внутренние структуры тектонической зоны):** являются системами разломов, располагающимися в направлениях: северо-запад – юго-восток, северо-восток – юго-запад, вдоль параллелей и меридианов. Эти системы разлома усложняют геологические структуры и придают им блочность. В некоторых местах, они указывают на несогласное залегания слоев пород в г. Ханое.

- **Разлом «Виньнинь»:** простирается по направлению северо-запад – юго-восток, проходящий через район Донгань, городские районы до района Тхыонгтин. Ширина разлома составляет от 400 до 500 м; глубина 20 км, наклоняется к северо-востоку с углом наклона 72° . Выражение движения этого разлома – можно наблюдать в общине Вонгла района Донгань посредством явления обвала на левом берегу Красной реки, на том же положении разлома «Виньнинь»; явление оползня – обвала на малом масштабе происходит регулярно на берегу реки Ньуе в дождливый сезон.

- **Разлом «Чыонгми – Тышон»:** прослеживается по направлению северо-восток – юго-запад, на расстоянии более 50 км, проходит через районы Хадонг, Донгда, Бадинь и Лонгбиен. Активность этого разлома отражается достаточно четко на правом берегу реки Красной в начале моста Чыонгзыонг проявлением эрозии берега реки, которая совершается непрерывно в течение многих лет, возникновением трещин поверхности земли в микрорайоне Чунгты района Донгда.

*** Субмеридиональный разлом Донгзы – Майлам – Вьетлонг:** прослеживается на расстоянии более 50 км, начинается с района Тхыонгтин и далее протягивается через зону у моста Дуонг и к северу до провинции Тхайнгуиен. Ширина разрушенной зоны этого разлома составляет от 500 до 1000 м. Этот разлом выделен на спутниковом снимке, сделанном в 1998 году. На изображении можно заметить, что восточное крыло (блок) поднято, а западное крыло (блок) опущено, т.к. русло реки Дуонг было сужено на поднятом крыле у моста Дуонг и расширено на лежащем крыле в нижней части кирпичного завода Каудуонг. В общинах Кимлу,

Вьетлонг района Шокшон, видно, что река Кало сильно меандрирует на лежащем крыле разлома. Близко этого разлома в районе Шокшон, мощность голоценовых осадочных пород увеличивается возле моста Дуонг, в месте, где над разломом расположен кирпичный завод Каудуонг, берега реки оползают.

Кроме вышеуказанных основных разломов, можно перечислить еще ряд других разломов таких, как разломы Тхачтхат – Донгань, Бави – Шокшон и т.д. Действие этих разломов осуществляется в современном тектоническом периоде, их сейсмические явления выражается нечетко или имеются резонансы под доминирующие влияния систем глубоких разломов территории. Проявления деятельности этих разломов можно наблюдать сильной эрозией Красной реки на участке микрорайоне Тылиен и впадении реки Дуонг; трещины появились в четвертичных отложениях по северо-восточному – юго-западному направлению на участке длиной 1–5 м, шириной 10–20 см на правом берегу Красной реки в микрорайоне Тылиен района Таихо; трещины в пятиэтажных зданиях войсковой части на улице Хоангкуоквьет, район Каузаи; плотина Суанкань района Донгань вдоль этого разлома треснула и ремонтировалась несколько раз.

3.3.2.3. Землетрясение

К настоящему времени на территории города с XIII века до 2002 г. зафиксировано 152 землетрясения (144 – в XX веке), в том числе два сильных землетрясения около 7-8 баллов (1278 г. и 1285 г.), три – 7, тридцать два – 6, и остальные – менее 6 баллов [17, 82].

Согласно картам обзорного сейсмического районирования территории Вьетнама, а также детального сейсмического районирования Ханойского прогиба и его окрестностей, сейсмичность территории Ханоя соответствует 7 и 8 баллам шкалы MSK-64 [17, 82].

3.4. Причины оседания земной поверхности на территории г. Ханоя

В настоящее время выделяются две группы причин, вызывающих оседание земной поверхности:

1. Оседание земной поверхности, вызванное естественными причинами: неотектоническими движениями; трещиноватостью горных пород; консолидацией

рыхлых отложений; землетрясениями; сезонными колебаниями уровня грунтовых вод; карстовыми процессами; а также изменением климата.

2. Оседание земной поверхности, связанное с инженерной деятельностью человека: извлечением подземных вод; статическими нагрузками от строительных конструкций и техногенных грунтов, динамическими нагрузками от транспортных систем; загрязнением окружающей среды; суффозией; проявлением пльвунов; отрицательного трения, возникающего по боковой поверхности свай при осадке околовсвайного грунта. Эти причины подробно анализируются ниже.

3.4.1. Естественные факторы

Неотектонические движения. Оседания земной поверхности, вызванные современными неотектоническими движениями, на территории г. Ханоя сравнительно небольшие. Данные нивелирования за период с 1963 по 1985 гг. показали, что нулевая изолиния движений охватывает центральный район города; контур «1 мм/год» охватывает пригородные районы на границе с провинциями Хоабинь, Виньфук, Бакнинь [111]. Для районов с различным геологическим строением характерны и разные скорости поднятия и опускания: скорость среднего подъема северной части г. Ханоя составляет в 0,3–1,2 мм/год. Скорость среднего подъема западной окраины г. Ханоя (микрорайон Суанмай) составляет в 10–15 мм/год [111, 140]. Большая часть территории г. Ханоя опускается со средней скоростью 1 мм/год. Некоторые участки г. Ханоя опускаются с большей скоростью, например, районы Залыог провинции Бакнинь снижаются со скоростью 8,8 мм/год [82, 111].

Современные разломы и трещиноватость. Большая часть территории г. Ханоя расположена в рифтовой зоне реки Красной, приуроченной к чрезвычайно сложному тектоническому узлу – сгущению тектонических разломов различного порядка и простирания. Разломы приводят к потерям подземных вод, их загрязнению, способствуют оседанию земной поверхности. На территории г. Ханоя и прилегающей территории было зафиксировано 70 активных разломов [150]. Перемещения отдельных крупных тектонических блоков составляют от долей до 5 мм, реже 8 мм в год. Наиболее активны разломы в районах Данфьонг, Тыльем, Донгда [111]. В период 1981 – 1985 гг. подробно исследовано появление трещин на северо-западе г. Ханоя. Были проанализированы физико-механические характеристики грунтов этого

района, проведен мониторинг изменения свойств грунтов и деформаций массивов грунта. Результаты показывают, что геологическое строение, особенно наличие в разрезе слабых грунтов, заметно влияет на расположение и направление развития трещин. На образование и размеры трещин оказывают влияние такие параметры как приуроченность к региональным разломам, состав пород, высокое содержание глинистой фракции, изменение их влажности. В г. Ханое трещины земли наблюдаются сильнее всего вдоль регионального разлома рек Красной и Чаи, например, Батбат района Бави, Танхой района Данфыонг, Сенчьеу, Линьчьеу, Ванкок провинции Фуктхо. Трещины обычно развиваются в виде рядов, вытянутых по направлению северо-запад – юго-восток. По линиям трещин наблюдаются осыпи, оползни циркообразной формы, размером от нескольких десятков сантиметров до нескольких десятков метров, глубина измеряется простыми инструментами и составляет несколько метров [82, 140]. Трещины и оседания земной поверхности зафиксированы например, в августе–сентябре 1978 г. на дамбе реки Даи в микрорайоне Фунг, а также в Нгоктхую района Залам вблизи набережной Суанкань района Тыльем [140].

Сейсмичность. К настоящему времени на территории города с XIII века до 2002 г. зафиксировано 152 землетрясения [17, 150]. Однако влияние землетрясений на оседание земной поверхности еще не изучено, и вероятно, величина осадок небольшая. На основе инженерно-геологического районирования в масштабе 1:25 000 города, данных общего и детального сейсмического районирования Нгуен Дык Манем [17] выполнено сейсмическое микрорайонирование (СМР) Старого Ханоя. Целью проведения работ по СМР является выделение в пределах данного сейсмического района участков с существенно различными грунтовыми условиями и определение сейсмической балльности на этих участках. По результатам этих работ центральная часть города Ханоя была разделена на 4 района с различной балльностью: 7, 8, 8-9 и 9. Район с 7 баллами находится в районе Донгань (северная часть города). Район в 8 баллов – в пределах большей части территории города Ханоя и его окрестностей. Район с 8 - 9 баллами в южной части. Район с 9 баллами – поймы, располагаемые вне защитных дамб р. Красной с небольшой глубиной уровня грунтовых вод 2 – 4 м (Тханьчи).

Консолидация рыхлых отложений и сезонные колебания уровня подземных вод. Проблема появления трещин на поверхности земли и дамб в районе Шокшон в период 1995 – 1999 гг., в районе правого побережья реки Кау, сельской общины Танхынг района Шокшон, была изучена на основе анализа механизма трещинообразования, колебания уровня подземных вод, физико-механических характеристик грунтов. Работа показала, что основной причиной является колебание уровня подземных вод из-за гидрологического режима реки Кау [150, 151]. В вышеуказанном периоде гидрологический режим р. Кау был экстремальным: короткий сезон дождей и продолжительный сухой сезон. Низкий уровень речной воды привел к снижению уровня подземных вод. Постоянное снижение уровня подземных вод способствовало естественному уплотнению слоев слабых грунтов, в частности, заторфованных глин, что привело к неравномерным деформациям земной поверхности и появлению трещин.

Карстовые процессы. 30.11.2008 г. произошло оседание земной поверхности в поселке городского типа Куокоай. Главной причиной является то, что этот микрорайон и некоторые другие микрорайоны района Мидык находятся в зоне развития карстующихся пород. Бурение скважин приводит к тому, что подземная вода дренируется в карстовые пещеры, это приводит к резкому падению давления и, как следствие, к оседанию земной поверхности. На территории бывшей провинции Хатаи с 2006 г. по 2008 г. вышеуказанное явление, разрушившее дома, произошло трижды.

Изменение климата. Во Вьетнаме изменение климата наблюдается в виде изменений в частоте и интенсивности экстремальных климатических явлений, например, в 2010 г., повысилась средняя температура земной поверхности на 0,3 – 0,5 °С, в 2020 г. ожидается повышение температуры на 1 – 2 °С [150]. Это изменение приводит к засухам, снижению уровня подземных вод, росту оседания земной поверхности в Ханое.

3.4.2. Искусственные воздействия

Извлечение подземных вод. В Ханое подземные воды для бытовых нужд начали добывать в 1905 г. бурением скважин в Иенфу. Объем извлекаемых подземных вод составил в 2010 г. – 628.000 м³/сутки. Площадь депрессионной воронки плейстоценового водоносного комплекса Q_p уменьшается в сезоны дождей (август-

сентябрь), и расширяется в сухие сезоны (март-апрель). За период 1992–2006 гг. в среднем площадь депрессионной воронки ежегодно увеличивается на $8,6 \text{ км}^2$ [151]. Рост оседания земной поверхности и количества сооружений, подвергающихся влиянию оседания, наблюдаются одновременно с разворачиванием нового проекта по развитию водоснабжения города и резким увеличением извлечения подземных вод (1985–1995 гг.) [151].

Исследованию влияния извлечения подземных вод на оседание земной поверхности в Старом Ханое посвящены работы [77, 98, 104, 115, 116].

В [98] предложен метод оценки оседания земной поверхности при извлечении подземных вод на основе исследования корреляционно-регрессионных связей между такими параметрами как величина и скорость оседания, глубина залегания подземных вод, коэффициент относительной сжимаемости, мощность слоев слабых грунтов, деформации земной поверхности во времени. Коэффициенты корреляции между оседанием земной поверхности и геотехническими параметрами определены по данным мониторинга на семи станциях, расположенных на юго-западе Старого Ханоя. Преимуществом этого метода является возможность оценки оседания земной поверхности, вызванного добычей подземных вод, с различными сценариями развития процесса.

В [77] и [115] изучались деформации земной поверхности под влиянием хозяйственной деятельности на территории района Хадонг и прилегающей территории, указано, что основной причиной деформаций земной поверхности является извлечение подземных вод на станции водоснабжения Хадинь. Деформации грунтов от строительства сооружений незначительные.

Льеу Ч.М. [151] использовал метод расчета отрицательного трения и построил прогнозную карту появления отрицательного трения, возникающего по боковой поверхности свай при осадке околовсвайного грунта, в результате извлечения подземных вод на юго-западе Старого Ханоя.

По мнению [98], нужно обратить внимание на то, что риск большего оседания земной поверхности на территории г. Ханоя в результате снижения уровня подземных вод наблюдается только в тех районах, где имеются слои слабых грунтов свиты Хайхынг большой мощности, особенно, когда эти слои перекрывают водоносные комплексы и находятся в зоне сильного снижения уровня подземного вод. Там, где

отсутствуют такие слабые грунты, как органические грунты, текучие и текучепластичные суглинки и глины, водонасыщенные пески, скорость оседания земной поверхности из-за извлечения подземных вод не превышает 10 мм/год [155].

В 2003 и 2005 гг. на основе таких характеристик как геолого-тектоническое строение, рельеф, строение геолого-геотехнического разреза и уровень урбанизации, Хоанг Ч.В. и Ань Б.Т.Б. провели районирование территории Старого Ханоя на 3 подзоны с различной стабильностью геологической среды: север р. Красной – стабильная подзона с незначительной скоростью оседания; 2-ая подзона – сравнительно стабильная – районы Тылием, Залам и центральная часть города; 3-я подзона – нестабильная – территория Тханьчи, Фапван, Тханьконг [155].

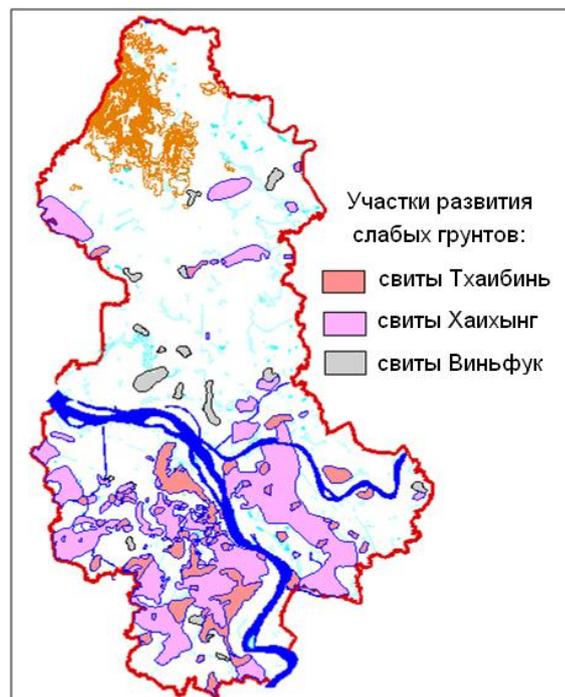


Рисунок 3.4. Карта распространения слабых грунтов на территории Старого Ханоя [140]

Фыонг Н.Х. и сотрудники в 2004 г. осуществили научный проект ТС-ĐT/06-02-3, одной из задач которого явилось составление карты распространения слабых грунтов Старого Ханоя, карт одинаковой мощности и глубины залегания слабых грунтов, карты типичных физико-механических характеристик грунтов масштаба 1:25.000 (Рисунок 3.4). В [140] предоставлен обзор о распределении слабых грунтов в 14 районах Старого Ханоя.

Для изучения условий распространения и залегания водоносных комплексов, а также зон развития слабых грунтов в 2013 г. Фи Х.Т. построено 8 инженерно-

геологических и гидрогеологических разрезов по данным 173 скважин глубиной от 11 до 280 метров (рис. 3.6, 3.7 и рис. 4.1, 4.2). Положение разрезов показано на рис. 3.5.

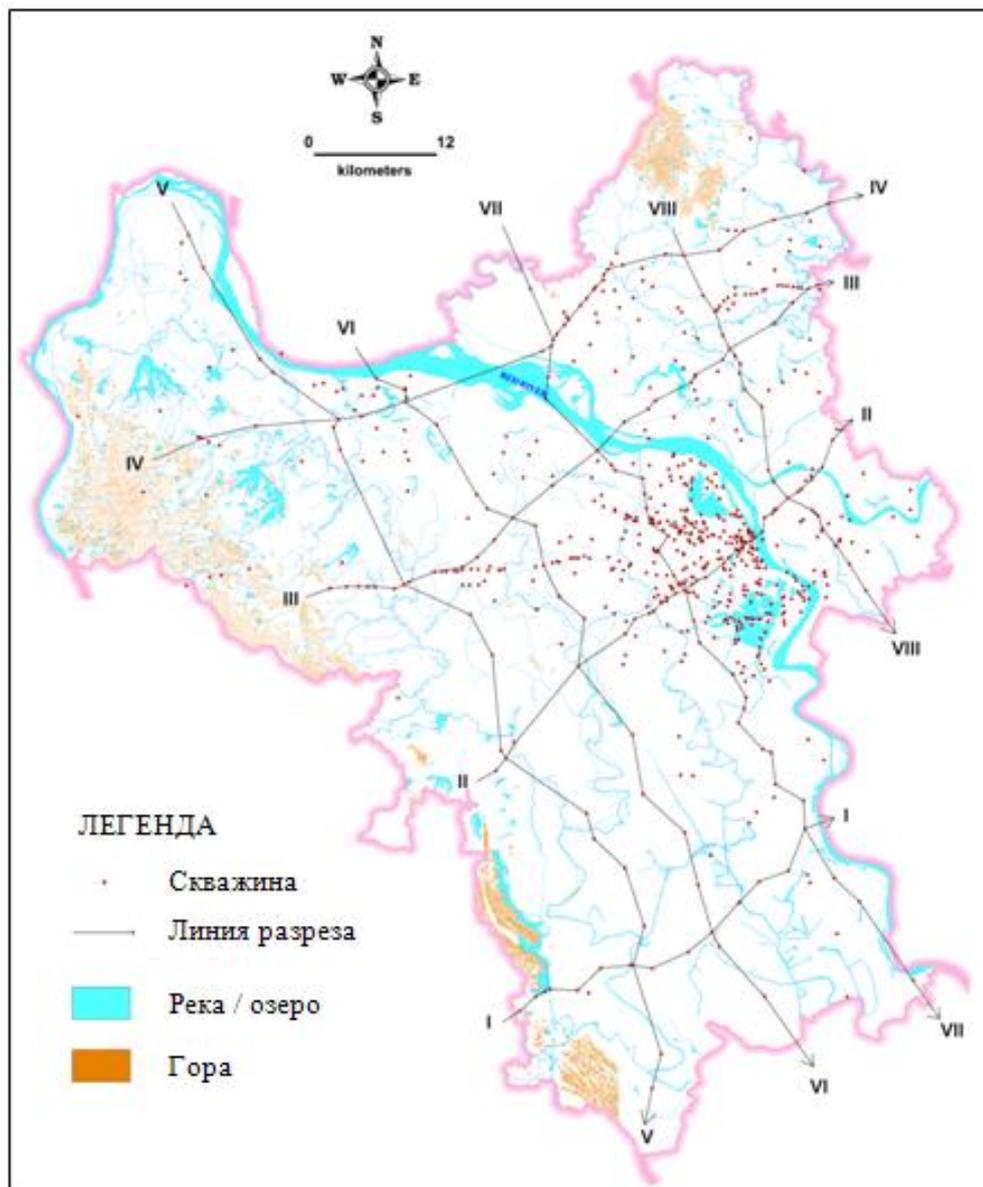


Рисунок 3.5. Расположение скважин и линий инженерно-геологических и гидрогеологических разрезов на территории г. Ханоя (Фи Х.Т., 2013)

Статические нагрузки от строительства и техногенных грунтов; динамические нагрузки от транспортных систем. Льеу Ч.М. цитировал литературные данные о том, что степень вибрации фундамента зависит от расстояния до источника воздействия в квадратной степени. Размеры зоны динамического воздействия зависят от геологического строения основания и динамических свойств пород. Глубина зоны воздействия 10–15 м. Радиус воздействия автодорог – 30–40 м,

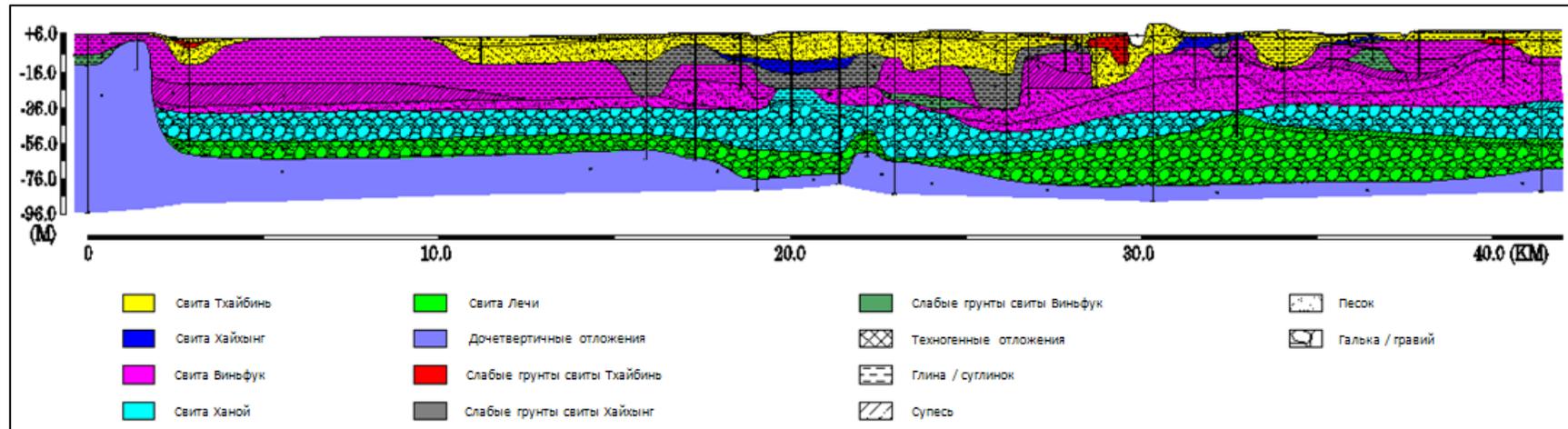


Рисунок 3.6. Распространение слабых грунтов в инженерно-геологическом разрезе по линии II-II' (Фи Х.Т., 2013)

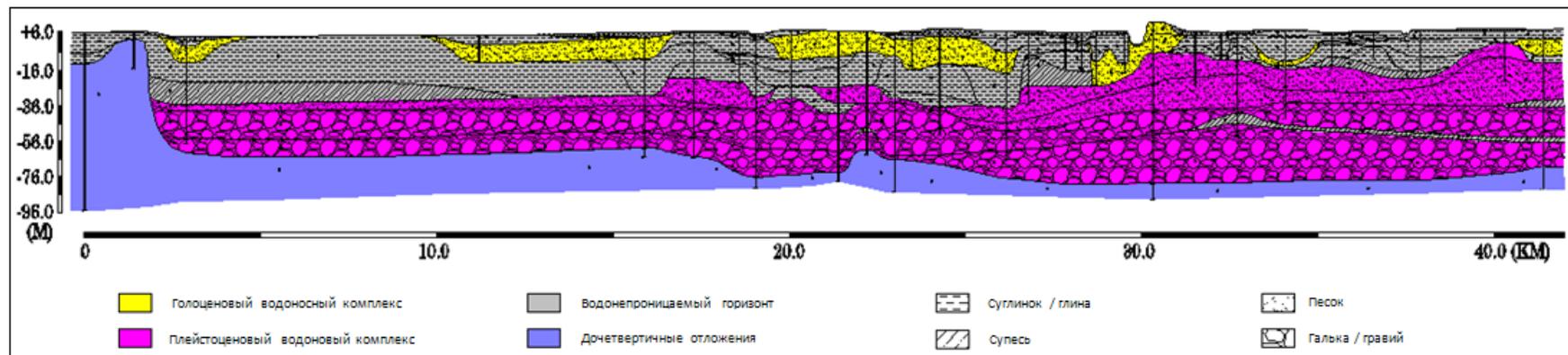


Рисунок 3.7. Распространение и мощность голоценового водоносного и плейстоценового комплекса в гидрогеологическом разрезе по линии II-II' (Фи Х.Т., 2013)

железных дорог – 150–300 м. Однако этой проблеме во Вьетнаме еще недостаточно уделяется внимание. Нагрузка от строительства сооружений, уплотнение застройки также являются причинами и факторами ускорения оседания. Кроме нагрузки от сооружений, слой техногенных грунтов мощностью до 5–10 м оказывает значительную нагрузку на грунтовые массивы, эквивалентную нагрузке от 2–6 этажного здания [151]. Строительство метрополитена, интенсивное использование подземного пространства и возможная добыча бурого угля в дельте р. Красной в будущем будут являться причинами оседания на территории Ханоя. Из-за низкого расположения города, уровень воды в реке Красной всегда выше поверхности города в сезон дождей, что приводит к сезонному затоплению и ухудшению отвода сточных вод из низких мест города.

Загрязнение окружающей среды. Загрязнение почв и подземных вод в городе связано с формированием восстановительной среды в результате окисления органических веществ и просачивания жидкости, богатой органическими веществами из мусорных свалок (Тхуле, Тханьконг, Тхайха, Нгокхань и Мечй). Загрязнение приводит к снижению прочностных характеристик грунтов, к образованию и скоплению малорастворимых биогазов и микроорганизмов, уменьшающих прочность и модуль деформации грунта, способствующих проявлению тиксотропии и увеличивающих «чувствительность» грунта к динамическим нагрузкам. Насыщение газов в песчаных отложениях уменьшает их угол внутреннего трения, что способствует переходу песка в плавунное состояние [151]. Таким образом, загрязнение почв и подземных вод косвенно приводит к оседанию земной поверхности.

3.5. Выводы

1. Город Ханой является одним из крупнейших мегаполисов азиатского региона с развитой промышленностью, инфраструктурой, высокой плотностью населения. Город расположен на особо сложной природной территории.

2. Большая часть разреза четвертичных отложений мощностью до 90 м в пределах территории города – это водонасыщенные песчано-глинистые породы, в том числе грунты малой степени литификации, содержащие природную органику. Водонасыщенные песчано-глинистые породы рассматриваются как среда развития плавунцов, суффозионных процессов, тиксотропных явлений в глинистых грунтах,

склоновых процессов (оползни, оплывания) на незакрепленных берегах рек и котлованов, именно их присутствие в разрезе является причиной значительных осадок земной поверхности при извлечении подземных вод.

3. Активность и особенности развития экзогенных процессов в г. Ханое определяются природными и техногенными факторами. К ним относятся специфические климатические условия региона и гидрологические особенности р. Красной, наличие слабых песчано-глинистых водонасыщенных грунтов, изменение напряженного состояния пород при снижении напоров в результате использования водоносных горизонтов для водоснабжения города.

4. Расширение границ города, сложность инженерно-геологических условий территории, в том числе наличие слабых грунтов и рыхлых песчаных водонасыщенных отложений в верхней части разреза, неглубокое залегание грунтовых вод, а также интенсивное извлечение подземных вод предопределяют необходимость проведения районирования величины оседания земной поверхности для территории Нового Ханоя для градостроительного освоения.

5. Главными причинами оседания земной поверхности на территории г. Ханоя являются извлечение подземных вод, присутствие слабых грунтов в геологическом разрезе, нагрузки от сооружений и техногенных грунтов.

ГЛАВА 4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ТИПИЗАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД Г. ХАНОЯ

4.1. Классификация горных пород на территории г. Ханоя по степени сжимаемости и несущей способности

4.1.1. Понятие о слабых грунтах

Для типизации горных пород в связи с исследованием оседания земной поверхности на территории г. Ханоя необходимо дать определение понятию «слабые грунты», выделить их существенные свойства.

В мире существует много определений понятия «слабые грунты». В настоящее время во Вьетнаме используются несколько стандартов по классификации слабых грунтов, но их определение и классификация слабых грунтов в данных стандартах непоследовательные.

По мнению доцента Н.Х. Фьонг, слабыми грунтами являются грунты сильносжимаемые и с низкой несущей способностью при их использовании в качестве основания сооружений. В настоящее время, расчеты фундаментов выполняются по двум предельным состояниям. Если слой грунта по физико-механическим показателям не соответствует требованиям двух предельных состояний при расчетах оснований и фундаментов, то он считается слабым грунтом. По мнению этого автора, расчетное сопротивление грунта R_0 и модуль деформации E_0 должны быть использованы в качестве показателей для определения и классификации слабых грунтов.

Таким образом, слабыми грунтами являются грунты сильносжимаемые и с низкой несущей способностью, которые характеризуются следующими величинами: расчетное сопротивление грунта R_0 меньше 100 кПа и модуль деформации грунта E_0 меньше 5 МПа. На слабых грунтах нельзя использовать неглубокие фундаменты для малоэтажных и средних сооружений. Они не могут быть несущими слоями для свайного фундамента, т.к. легко изменяются их механические свойства под влиянием механических воздействий и изменением геологической среды; слабые грунты имеют

особые состав, состояние и характер [140].

В соответствии с вышеприведенным понятием, слабые грунты включают в себя: сапропели, торфы, заторфованные грунты, глины, суглинки, супеси с текучим или текучепластичным состоянием.

Слабые грунты имеют особые характеристики, которые легко узнают посредством их состава, состояния и свойства:

- *Физические характеристики:*

+ Грунт содержит органические остатки.

+ Грунт имеет большую пористость и коэффициент пористости ($e > 1$).

+ Неконсолидированный грунт.

+ Грунт имеет низкую прочность структурных связей.

- *Механические характеристики:*

+ Грунт имеет низкую прочность: удельное сцепление $c_u < 15$ кПа, угол внутреннего трения $\varphi < 10^\circ$.

+ Грунт имеет большой коэффициент компрессионной сжимаемости $m > 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кН}$ или маленький модуль деформации $E_0 < 5$ МПа.

+ Грунт имеет маленький коэффициент консолидации C_v и обычно требует значительного времени для консолидации.

+ Грунт имеет реологические свойства.

- *Генезис:*

Слабые грунты обычно имеют болотный, озерный, речной, морской генезис.

4.1.2. Классификация горных пород на территории г. Ханоя по степени сжимаемости и несущей способности

Самой дробной единицей в классифицировании горных пород является инженерно-геологический элемент. Однако из-за неоднородности горных пород, выделение инженерно-геологических элементов возможно только на детальной стадии изучения строительной площадки. При инженерно-геологическом исследовании территории города Ханоя, в качестве самой маленькой единицы для классификации горных пород используется понятие «слой».

Под «слоем» горной породы будем понимать массив грунта, однородный по возрасту, генезису, петрографическому типу, состоянию и инженерно-геологическим свойствам [140].

В одном слое, количество образцов с одинаковым петрографическим типом достигает 80–90%, и остальные 10–20% образцов других петрографических типов. Например, в одном слое может быть 80–90% образцов суглинка, 10–20% остальных образцов из супеси или глины. Причинами появления образцов других петрографических типов является неоднородность горных пород; они могут быть линзами, тонкими слойками, залегающими в этом слое. Например, 6-ой слой называется коричневым, желтовато-коричневым суглинком, тугопластичным – мягкопластичным, т.е. большинство образцов этого слоя имеет тугопластичное состояние и 10–20% образцов имеют мягкопластичное состояние.

Самым важным различием между слоями горных пород является их степень сжимаемости и несущая способность. Показатели R_0 и E_0 используются для разделения горных пород на слои с разной степенью сжимаемости и несущей способностью (Таблица 4.1).

В соответствии с вышеуказанной классификацией, четвертичные отложения на территории г. Ханоя могут разделяться на геологические свиты, пачки и слои грунта сверху вниз:

(а) Голоценовые отложения

- Позднеголоценовые отложения: свита Тхайбинь (верхняя и нижняя пачка);
- Ранне-среднеголоценовые отложения: свита Хайхынг (верхняя, средняя и нижняя пачка).

(б) Плейстоценовые отложения

- Позднеплейстоценовые отложения: свита Виньфук;
- Поздне- и среднеплейстоценовые отложения: свита Ханой;
- Раннеплейстоценовые отложения: свита Лечи.

В отложениях и пачках существуют слои грунта, такие как: глинистые илы, суглинистые илы, глины, суглинки, супеси, пылеватые – среднезернистые, крупные пески, гравелистые пески, гравийные пески и т.д.

Слои нумеруются 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ...

Слои описываются по следующим параметрам: название, состав, строение, цвет, состояние, символ для оценки плохой – хорошей возможности строительства сооружений на грунте.

Четвертичные отложения на территории г. Ханоя разделены на 24 слои сверху

вниз следующим образом:

Таблица 4.1.

Классификация грунта по степени сжимаемости и несущей способности [140]

Название грунта и его символ	Нормативное значение R_0 и E_0
Слабый грунт – A_1 (с низкой несущей способностью и очень сильносжимаем)	$R_0 \leq 50$ кПа $E_0 \leq 2$ МПа
Относительно слабый грунт – A_2 (с относительной низкой несущей способностью и сильносжимаем)	$50 < R_0 < 100$ кПа $2 < E_0 \leq 5$ МПа
Обыкновенный грунт – B_1 (со средней несущей способностью и среднесжимаем)	$R_0 = 100 - 150$ кПа $E_0 = 5 - 10$ МПа
Относительно прочный грунт – B_2 (с относительно высокой несущей способностью и с относительно слабосжимаем)	$R_0 = 150 - 200$ кПа $E_0 = 10 - 15$ МПа
Прочный грунт – C (с высокой несущей способностью и слабосжимаем)	$R_0 = 200 - 300$ кПа $E_0 = 15 - 20$ МПа
Очень прочный грунт – D (с очень высокой несущей способностью и очень слабосжимаем)	$R_0 = 300 - 500$ кПа $E_0 = 20 - 50$ МПа
Особенно прочный грунт – E (с особенно высокой несущей способностью и незначительно сжимаем)	$R_0 \geq 500$ кПа $E_0 > 50$ МПа

I. Техногенные отложения (tH)

Слой 1: Насыпные и намывные грунты – пески, суглинки и супеси с примесью отходов.

II. Верхняя пачка свиты Тхайбинь (aIV^3tb_2)

Слой 2: Суглинистый ил дна озер и прудов – A_1 .

Слой 3: Суглинок, перемежающийся с супесями, коричневым, розовато-коричневым, мягкопластичным – B_1 .

Слой 4: Мелко- и тонкозернистый водонасыщенный песок, местами с гравием, буровато-серый, рыхлый – B_1 .

III. Нижняя пачка свиты Тхайбинь (alb, aIV^3tb_1)

Слой 5: Глина, желтовато-серая, тугопластичная – мягкопластичная – B_2 .

Слой 6: Суглинок, желтовато-серый, коричневый, тугопластичный – мягкопластичный – B_2 .

Слой 7: Водонасыщенный суглинок с органическими остатками, серо-коричневый, текучепластичный – текучий – A_2 .

Слой 8: Суглинок, перемежающийся с супесями и песками, серо-коричневый, мягкопластичный – текучепластичный – B_1 .

Слой 9: мелко- и тонкозернистые водонасыщенные пески, зеленовато-серые, средней плотности – B_2 .

Слой 10: Суглинок перемежающийся с супесями и песками местами, серо-коричневый, мягкопластичный – B_1 .

IV. Верхняя пачка свиты Хайхынг ($ambIV^{1-2}hh_3$)

Слой 11: Водонасыщенный суглинок с органическими остатками, темно-серый, текучепластичный – текучий – A_2 .

V. Средняя пачка свиты Хайхынг ($mIV^{1-2}hh_2$)

Слой 12: Глина, зеленовато-серая, тугопластичная – мягкопластичная – B_1 .

VI. Нижняя пачка свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$)

Слой 13: Суглинистый ил с органическими остатками, темно-серый – A_1 .

VII. Верхняя пачка свиты Виньфук ($a,amIII^2vp_3$)

Слой 14: Глина, светло-серая, желтовато-серая, тугопластичная – B_2 .

Слой 15: Суглинок, разноцветный (коричневый, желтый, красный), полутвердый – тугопластичный – C .

VIII. Средняя пачка свиты Виньфук ($albIII^2vp_2$)

Слой 16: Суглинок с органическими остатками, темно-серый, текучепластичный – текучий – A_2 .

IX. Нижняя пачка свиты Виньфук ($aIII^2vp_1$)

Слой 17: Супесь/суглинок, перемежающаяся с суглинками или песками, желтовато-серая, пластичная – B_2 .

Слой 18: Мелко- и тонкозернистые водонасыщенные пески, коричневые, желтовато-коричневые, средней плотности – плотные – C .

Слой 19: Средне- и крупнозернистые водонасыщенные пески, местами с гравием и галькой, желтовато-серые, светло-серые, плотные и очень плотные – D .

X. Свита Ханой ($a,apII-III^1hn$)

Слой 20: Суглинок, местами с органическими остатками, серо-коричневый, мягкопластичный – B_1 .

Слой 21: Супесь, местами с гравием, серая, пластичная – В₂.

Слой 22: Водонасыщенные галечно-гравийные отложения, местами крупнозернистые пески, серые, желтовато-серые, очень плотные – Е.

XI. Свита Лечи (*aIIc*)

Слой 23: Супесь, местами с гравием, серая, коричневая, пластичная – С.

Слой 24: Водонасыщенные галечно-гравийные отложения, мелко- и крупнозернистые с суглинками, коричневатого-серые, желтовато-серые, очень плотные – Е.

4.2. Инженерно-геологические особенности четвертичных отложений г. Ханоя

Инженерно-геологические особенности четвертичных отложений выявлены по результатам инженерно-геологических изысканий под строительство многих объектов (мостов, дорог, многоэтажных зданий) и гидрогеологических изысканий на территории г. Ханоя, собранных Фи Х.Т. от коллег и его личного участия в процессе инженерно-геологических изысканий на территории г. Ханоя. В данной работе использованы данные по 691 скважине (глубиной от 11 до 281 м – до неогеновых отложений) и результаты лабораторных испытаний 4536 образцов грунта.

Распространение слоев грунта показывается на восьми инженерно-геологических разрезах, составленных Фи Х.Т. в 2012 и 2013 годах. Положение линий инженерно-геологического разреза показано на рис. 3.5. Восемь инженерно-геологических разрезов показаны на рис. 4.1, 4.2. Физико-механические свойства четвертичных отложений представлены в таблице 4.2

Инженерно-геологические особенности четвертичных отложений на территории г. Ханоя описываются сверху вниз следующим образом:

4.2.1. Техногенные отложения (*tH*)

Слой 1: Насыпные и намывные грунты – пески, суглинки и супеси с примесью отходов

Техногенные отложения не разделяются детально. Они состоят из насыпных и намывных грунтов – песков, суглинков и супесей с примесью отходов (осколков кирпича, камней, извести, строительных растворов и др.) Техногенные отложения обычно имеют разные цвета и состояния. Техногенные отложения можно встретить повсеместно и в старинных кварталах, и в новых жилых районах. Наибольшая их

мощность может достигать 10,0 м (в микрорайонах Тьонгмай и Линьнам района Хоангмай), наименьшая мощность составляет 0,2 м (в микрорайоне Тханьсуан района Шокшон), в среднем 1,7 м. Степень неоднородности техногенных отложений очень высокая – по составу, состоянию и физико-механическим свойствам. Поэтому можно сказать, что большинство техногенных отложений не рекомендуется использовать в качестве основания сооружений. Практика показала, что при строительстве 2–3-х этажных зданий на техногенных отложениях с большой мощностью необходимо использовать глубокие фундаменты, плитные фундаменты или песчаные сваи.

4.2.2. Верхняя пачка свиты Тхайбинь (aIV^3tb_2)

В инженерно-геологических разрезах на территории г. Ханоя данная пачка разделяется на следующие слои.

Слой 2: Суглинистый ил дна озер и прудов – A_1

Данный слой представляет собой современные осадочные отложения прудов, озер, древних рек; состоит из суглинистого ила, серого, темно-серого, с органическими остатками. Данный слой имеет незначительное распространение, в основном, в центральной части города. Здесь слой 2 встречен в виде прерывающейся полосы Хоанкием – Хайбачынг – Хоангмай, а также в виде небольших площадок в микрорайонах Майдинь и Кимлу района Шокшон, Кимчунг района Донгань, Суандинь района Тылием, Зичвонг и Куанхоа района Каузаи, Катлинь и Лангха района Донгда, Фула района Хадонг, Тхачбан района Лонгбиен, Ваньян района Фусуен. Мощность слоя изменяется: максимальная – 4,0 м встречена в Катлинь района Донгда; наименьшая – 0,2 м (в Суандинь района Тылием); средняя – 1,6 м. Слой 2 залегает на небольшой глубине или под техногенными отложениями, или с поверхности. На максимальной глубине – 3,0 м он встречается в Виньхынг района Хоангмай. Физико-механические свойства слоя 2 приведены в таблице 4.3.

Слой 3: Суглинок, перемежающийся с супесями, коричневый, розовато-коричневый, мягкопластичный – B_1

Данный слой имеет незначительное распространение на территории г. Ханоя, только за пределами дамбы Красной реки и в некоторых местах вдоль таких рек, как Шенчйеу, Фобындо и Вонгсуен района Фуктхо, Виетхынг района Лонгбиен, Минькыонг и Дайсуен района Фусуен, Бакфу района Шокшон. Мощность слоя

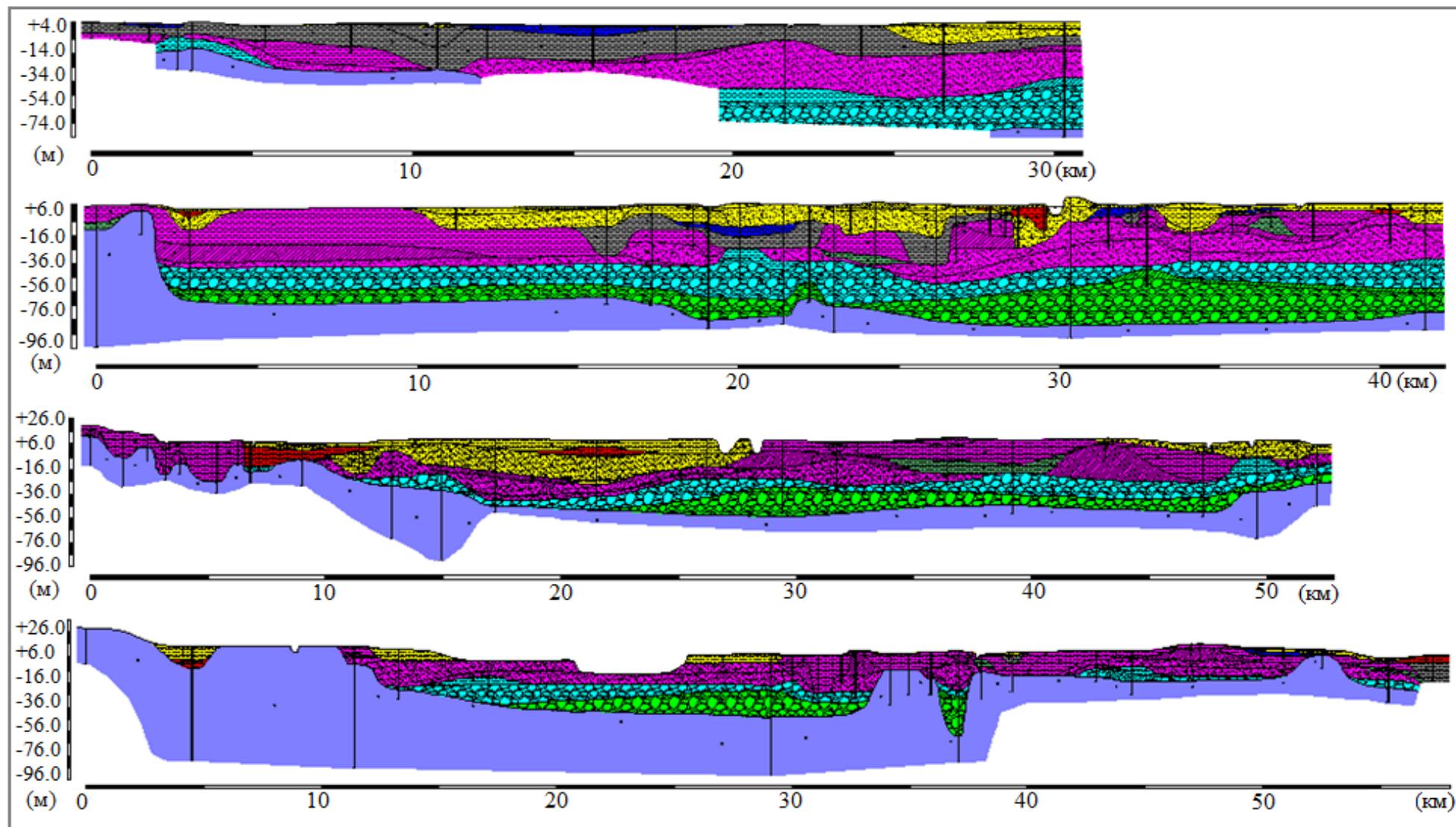


Рисунок 4.1. Инженерно-геологические разрезы I-I', II-II', III-III' и IV-IV' (Фи Х.Т., 2013)

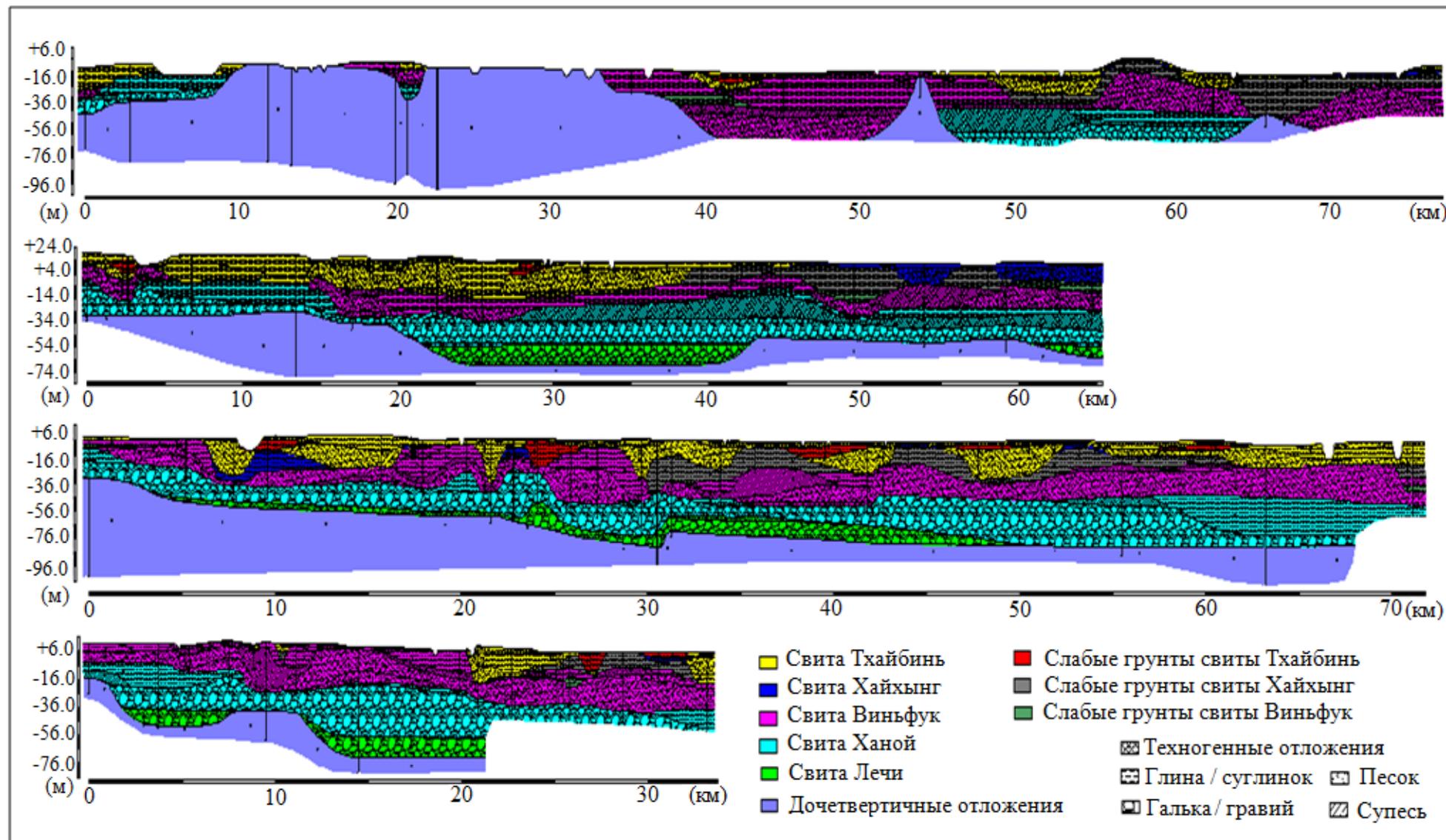


Рисунок 4.2. Инженерно-геологические разрезы V-V', VI-VI', VII-VII' и VIII-VIII' (Фи Х.Т., 2013)

Обобщенные физико-механические свойства четвертичных отложений на территории г. Ханоя

Слой	W	ρ	ρ_s	e	S_r	I_p	I_L	φ	c	m_{1-2}	$E_{0(1-2)}$	R_0	P_c	C_c	C_r	$C_v_{(1-2)}$	O	Группа	Название грунта
	%	г/см ³	г/см ³	-	%	%	-	град.	кПа	10 ⁻³ М ² /кН	МПа	кПа	кПа	-	-	10 ⁻³ см ² /сек	%		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	55,8	1,64	2,60	1,470	98,7	16,9	1,12	5°33'	7,0	0,999	1,6	49,1	-	-	-	-	-	A1	Суглинок
3	32,6	1,79	2,70	1,000	88,0	15,6	0,58	10°32'	16,2	0,408	6,8	117,7	-	-	-	-	-	B1	Суглинок
4	-	-	-	-	-	-	-	25°57'	-	-	7,1	100,0	-	-	-	-	-	B1	Песок
5	32,8	1,85	2,71	0,945	94,0	19,0	0,35	10°43'	28,7	0,357	10,9	166,8	124,6	0,14	0,05	0,419	-	B2	Глина
6	29,1	1,89	2,70	0,844	93,1	14,3	0,37	12°51'	26,3	0,306	11,4	166,8	88,3	0,16	0,07	0,646	-	B2	Суглинок
7	42,6	1,72	2,66	1,205	94,0	14,8	0,89	7°10'	11,8	0,703	3,9	68,7	78,5	0,30	0,09	0,987	5,7	A2	Суглинок
8	31,6	1,82	2,67	0,931	90,7	9,7	0,78	12°50'	14,4	0,398	7,5	107,9	61,8	0,18	0,07	0,641	-	B1	Суглинок
9	-	-	-	-	-	-	-	27°29'	-	-	10,5	127,5	-	-	-	-	-	B2	Песок
10	34,3	1,74	2,66	1,053	86,6	12,1	0,73	10°44'	15,8	0,489	5,3	107,9	96,1	0,18	0,08	0,885	-	B1	Суглинок
11	40,1	1,76	2,68	1,133	94,8	15,6	0,96	6°35'	9,4	0,785	3,3	58,9	60,8	0,26	0,05	0,927	12,2	A2	Суглинок
12	35,1	1,80	2,71	1,034	92,0	18,6	0,47	10°22'	23,7	0,418	8,7	137,3	126,5	0,19	0,04	0,483	5,3	B1	Глина
13	53,3	1,61	2,60	1,476	93,9	15,9	1,26	5°39'	8,9	0,999	1,6	49,1	81,4	0,28	0,12	1,022	9,7	A1	Суглинок
14	30,6	1,87	2,72	0,900	92,5	18,5	0,25	12°50'	30,2	0,265	14,9	176,6	92,2	0,13	0,05	0,670	-	B2	Глина
15	26,6	1,92	2,70	0,780	92,0	13,9	0,28	14°01'	29,8	0,275	14,5	206,0	111,8	0,12	0,05	0,617	-	C	Суглинок
16	36,4	1,76	2,67	1,069	90,9	12,8	0,88	10°40'	11,8	0,540	4,8	88,3	99,1	0,23	0,09	0,847	8,0	A2	Суглинок
17	26,0	1,85	2,68	0,825	84,4	7,5	0,77	15°30'	14,2	0,326	11,3	137,3	102,0	0,18	0,06	0,555	-	B2	Суглинок

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
18	-	-	-	-	-	-	-	33°39'	-	-	19,4	284,5	-	-	-	-	-	С	Песок
19	-	-	-	-	-	-	-	36°04'	-	-	29,5	363,0	-	-	-	-	-	Д	Песок
20	27,3	1,84	2,69	0,861	85,3	10,8	0,59	9°45'	17,9	0,510	6,9	117,7	105,0	0,19	0,07	0,826	-	В1	Суглинок
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,2	176,6	-	-	-	-	-	В2	Суглинок
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>50	>490	-	-	-	-	-	Е	Песок
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15-20	>196	-	-	-	-	-	С	Суглинок
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>50	>490	-	-	-	-	-	Е	Песок
ТК1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5-10	100-150	-	-	-	-	-	В1	Песок
ТК2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5-10	100-150	-	-	-	-	-	В1	Песок
ТК3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5-10	100-150	-	-	-	-	-	В1	Глина

Фи Х.Т., 2013

Где:

W – Естественная влажность; ρ – Плотность грунта; ρ_s – Плотность частиц грунта; e – Коэффициент пористости; S_r – Степень влажности; I_p – Число пластичности; I_L – Показатель текучести; φ – Угол внутреннего трения; c – Удельное сцепление; m_{1-2} – Коэффициент сжимаемости; $E_{o(1-2)}$ – Модуль деформации; R_0 – Расчетное сопротивление грунта; P_c – Давление предуплотнения; C_c – Коэффициент компрессии; C_r – Коэффициент рекомпрессии; $C_{v(1-2)}$ – Коэффициент консолидации; O – Процент органических веществ.

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 2

№	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	55,8	18,03	0,32
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,64	0,12	0,08
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _S	2,60	0,12	0,04
4	Коэффициент пористости	-	e	1,470	-	-
5	Пористость	%	n	59,5	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	98,7	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	53,8	15,39	0,29
8	Предел раскатывания	%	W _P	36,9	13,83	0,37
9	Число пластичности	%	I _P	16,9	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	1,12	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	5°33'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	7,0	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	1,325	0,05	0,37
			m ₁₋₂	0,999	0,04	0,41
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	1,6	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	49,1	-	-
16	Количество образцов	n		52		

Где: X_n : Нормативное значение, S : Среднеквадратическое отклонение, V : Коэффициент вариации.

изменяется незначительно: наибольшая – 8,0 м в Фыонгдо района Фуктхо, наименьшая – 1,9 м в Дайсуен района Фусуен; средняя – 4,1 м. Слой встречается на небольшой глубине, может залегать под техногенными отложениями или с поверхности, на максимальной глубине 2,5 м встречается в Виньхынг района Хоангмай. Физико-механические свойства слоя 3 представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 3

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	32,6	2,85	0,09
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,79	0,07	0,04
3	Плотность скелета грунта	г/см ³	ρ _d	1,35	-	-
4	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _S	2,70	0,02	0,01
5	Коэффициент пористости	-	e	1,000	-	-
6	Пористость	%	n	50,0	-	-
7	Степень влажности	%	S _r	88,0	-	-
8	Предел текучести	%	W _L	39,1	5,83	0,15
9	Предел раскатывания	%	W _P	23,5	3,09	0,13
10	Число пластичности	%	I _P	15,6	-	-
11	Показатель текучести	-	I _L	0,58	-	-
12	Угол внутреннего трения	градус	φ	10°32'	-	-

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
13	Удельное сцепление	кПа	c	16,2	-	-
14	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	0,663	0,02	0,34
			m ₁₋₂	0,408	0,01	0,22
15	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	6,8	-	-
16	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	117,7	-	-
17	Количество образцов	n		29		

Фи Х.Т., 2013

Слой 4: Мелко- и тонкозернистый водонасыщенный песок, местами с гравием, буровато-серый, рыхлое состояние – В₁

Это современные осадочные отложения, в основном, распространены вдоль дамбы Красной реки и в некоторых местах, прилегающих к рекам на территории г. Ханоя, в виде полосы от моста Лонгбиен до моста Тханьчи. Слой встречается на небольшой глубине под техногенными отложениями, на максимальной глубине 7,5 м он встречен в микрорайоне моста Донгчу района Лонгбиен или залегать с поверхности. Мощность слоя изменяется незначительно: максимальная – 12,0 м в микрорайоне моста Чыонгзыонг района Хоанкием, наименьшая – 0,7 м в микрорайоне Чанфу района Хоангмай; средняя – 4,0 м. Физико-механические свойства слоя 4 представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Типичные физико-механические свойства слоя 4

Гранулометрический состав - мм (%)						Угол внутреннего трения	Число ударов N ₃₀
2-1	1,0-0,5	0,50-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	<0,05		
-	0,2	7,9	62,6	29,3	-	25°57'	10
Количество образцов 16			R ₀ = 100,0 (кПа)			E ₀ = 7,1 (МПа)	

Фи Х.Т., 2013

4.2.3. Нижняя пачка свиты Тхайбинь (alb, aIV³tb₁)

В инженерно-геологических разрезах на территории г. Ханоя данная пачка разделяется на следующие грунтовые слои:

Слой 5: Глина, желтовато-серая, тугопластичная – мягкопластичная – В₂ имеет неравномерное распределение, почти не встречается в северной и южной частях города, а только в центральных районах города и рассеянно в районах Лонгбиен, Тылием, Хоайдык и в городке Куокоай. Данный слой распространен в виде узких площадок, прерывно и незакономерно. Мощность слоя изменяется

незначительно: наибольшая – 13,8 м встречается в Донгнгах района Тылием, наименьшая – 0,6 м в Тхачбан района Лонгбиен и в Куатдонг района Тхьонгтин, средняя – 4,0 м. Слой встречается на небольшой глубине, может залегать под техногенными отложениями или с поверхности. На максимальной глубине 4,0 м он встречается в Конгви района Бадинь. Физико-механические свойства слоя 5 представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 5

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	32,8	4,76	0,14
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,85	0,06	0,03
3	Плотность скелета грунта	г/см ³	ρ _d	1,39	-	-
4	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _s	2,71	0,04	0,01
5	Коэффициент пористости	-	e	0,945	-	-
6	Пористость	%	n	48,6	-	-
7	Степень влажности	%	S _r	94,0	-	-
8	Предел текучести	%	W _L	45,2	6,81	0,15
9	Предел раскатывания	%	W _p	26,2	3,40	0,13
10	Число пластичности	%	I _p	19,0	-	-
11	Показатель текучести	-	I _L	0,35	-	-
12	Угол внутреннего трения	градус	φ	10°43'	-	-
13	Удельное сцепление	кПа	c	28,7	-	-
14	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³	m ₀₋₁	0,540	0,02	0,37
		м ² /кН	m ₁₋₂	0,357	0,01	0,19
15	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	10,9	-	-
16	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	166,8	-	-
17	Давление предуплотнения	кПа	P _c	124,6	0,26	0,21
18	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,14	0,02	0,17
19	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,05	-	-
20	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	0,377	0,14	0,37
			C _{v(1,0-2,0)}	0,419	0,19	0,45
21	Количество образцов	n		87		

Фи Х.Т., 2013

Слой 6: Суглинок, желтовато-серый, коричневый, тугопластичный – мягкопластичный – В₂ имеет широкое распространение в северной и южной части реки Красной (Рисунок 4.3).

В северной части реки Красной он распространен в виде большой полосы вдоль национальной магистрали № 18, начиная от общины Фуминь, протягивается до местечка Фуло и заканчивается в общине Кимлу района Шокшон. Кроме того, он может встречаться в виде площадок в общинах Танзан, Танминь, Бакфу и Виетлонг,

местечке Шокшон, общинах Фукыонг и Тханьсуан района Шокшон. В районах Донгань и Мелинь, слой 6 имеет небольшое распространение в виде полос вдоль рек. В общем, мощность слоя 6 в районах Донгань и Мелинь небольшая. Его мощность составляет от 1,0 м до 5,0 м, в некоторых местах до 9,0 м. Он встречается на небольшой глубине, в среднем – 2 м. Может залегать под техногенными отложениями или с поверхности. Но в районах Лонгбиен и Залам, данный слой покрывает почти всю площадь, начиная от Майлам, Иентхыонг до Лечи, Батчанг. Его мощность изменяется значительно от 2,0 м (в Шайдонг района Лонгбиен) до 17,5 м (в Биньминь района Залам).



Рисунок 4.3. Образец слоя 6 (суглинок, желтовато-серый, коричневый, тугопластичный) из скважины QT1 с глубины 2,8 – 3,0 м по объекту № 84 улицы Чуаланг города Ханоя [96]

В южной части реки Красной, слой 6 широко распространен в центральных районах, в районах Данфьюнг, Фуктхо, Хоайдык, Тхачтхат, Куокоай, Тхыонгтин и Мидык, кроме того рассеянно в виде площадок в районах Бавй, Чыонгми, Фусуен и Юнгхоа.

Он встречается на небольшой глубине от 1,0 до 15,8 м (в Донггак района Тылием) или первым от поверхности. В южной части его мощность изменяется от 0,4 (в Тхыонгкок района Фуктхо) до 28,0 м (в Антхыонг района Хоайдык и в микрорайоне Литхайто района Хоанкием), средняя 6,0 м. Физико-механические свойства слоя 6 представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 6

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	29,1	4,55	0,16
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,89	0,08	0,04

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _s	2,70	0,03	0,01
4	Коэффициент пористости	-	e	0,844	-	-
5	Пористость	%	n	45,8	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	93,1	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	38,1	5,88	0,15
8	Предел раскатывания	%	W _P	23,8	3,74	0,16
9	Число пластичности	%	I _p	14,3	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	0,37	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	12°51'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	26,3	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³	m ₀₋₁	0,479	0,02	0,37
		м ² /кН	m ₁₋₂	0,306	0,02	0,56
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	11,4	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	166,8	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	88,3	0,24	0,26
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,16	0,10	0,59
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,07	0,03	0,44
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	0,704	0,38	0,53
			C _{v(1,0-2,0)}	0,646	0,30	0,46
20	Количество образцов	n		733		

Фиг. X.T., 2013

Слой 7: Водонасыщенный суглинок с органическими остатками, серо-коричневый, текучепластичный – текучий – А₂

Слой распространен вдоль реки Красной. В северной части реки Красной слой 7 распространен в виде небольших площадок в местах Бакфу, Фуло, Донгсуан, Кимлу района Шокшон, Тамса района Донгань, Иентхьонг, Чаукуи, Батчанг района Залам, Дыкзанг, Фуклой, Шайдонг района Лонгбиен (Рисунок 4.4). Он часто встречается на глубине 4,0 м, на минимальной глубине 0,7 м залегает в Тамса района Дангань, на максимальной глубине 7,3 м – в Батчанг района Залам. Только в Чаукуи района Залам слой 7 появляется на земной поверхности с мощностью 3,8 м. Мощность слоя изменяется от 1,9 до 4,9 м, средняя 4,2 м.

В южной части реки Красной, слой 7 распространен в центральных районах в виде прерывных полос по направлению северо-запада – юго-востока, начиная из районов Таихо, Каузаи до районов Хайбачынг, Хоангмай и закачивается в Нгухиеп района Тханьчи. Слой 7 также встречается в виде маленьких площадок в разных микрорайонах, например, вдоль магистрали Ланг–Хоалак района Куокоай, местечке Фунг района Данфьонг, общине Анхань района Хоайдык и общине Таимо, Суанфьонг, Ванкань района Тылием, в районах Фуктхо, Данфьонг, Тхачтхат,

Чыонгми, Тханьоай, Куокоай, Тханьчи, Тхыонгтин. В районах Мидык, Юнгхоа и Фксуен слой 7 практически не встречается. Глубина залегания слоя обычно 5,0 м, на максимальной глубине 20,0 м слой встречен в Лакчунг района Хайбатчынг. В Фунгтхыонг района Фуктхо или в Ньянтчинь района Тханьсуан он появляется на земной поверхности. Его мощность изменяется значительно от 0,4 м (в местечке Куокоай района Куокоай) до 31,9 м (в Анкхань района Хоайдык), средняя 8,0 м. Мощность слоя снижается с запада до востока. Физико-механические свойства слоя 7 представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 7

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	42,6	12,11	0,28
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,72	0,12	0,07
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _s	2,66	0,05	0,02
4	Коэффициент пористости	-	e	1,205	-	-
5	Пористость	%	n	54,7	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	94,0	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	44,2	10,97	0,25
8	Предел раскатывания	%	W _P	29,4	8,63	0,29
9	Число пластичности	%	I _P	14,8	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	0,89	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	7°10'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	11,8	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	1,264	0,06	0,52
			m ₁₋₂	0,703	0,03	0,40
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	3,9	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	68,7	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	78,5	0,35	0,43
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,30	0,08	0,27
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,09	0,03	0,35
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	1,131	0,31	0,27
			C _{v(1,0-2,0)}	0,987	0,35	0,36
20	Процент органических веществ	%	O	5,7	-	-
21	Количество образцов	n		385		

Фу Х.Т., 2013

Слой 8: Суглинок, перемежающийся с супесями и песками, серо-коричневый, мягкопластичный – текучепластичный – В₁

Слой 8 распространен в центральной части города. В северной части встречается в некоторых микрорайонах, таких как Кимлу района Шокшон, Ванной района

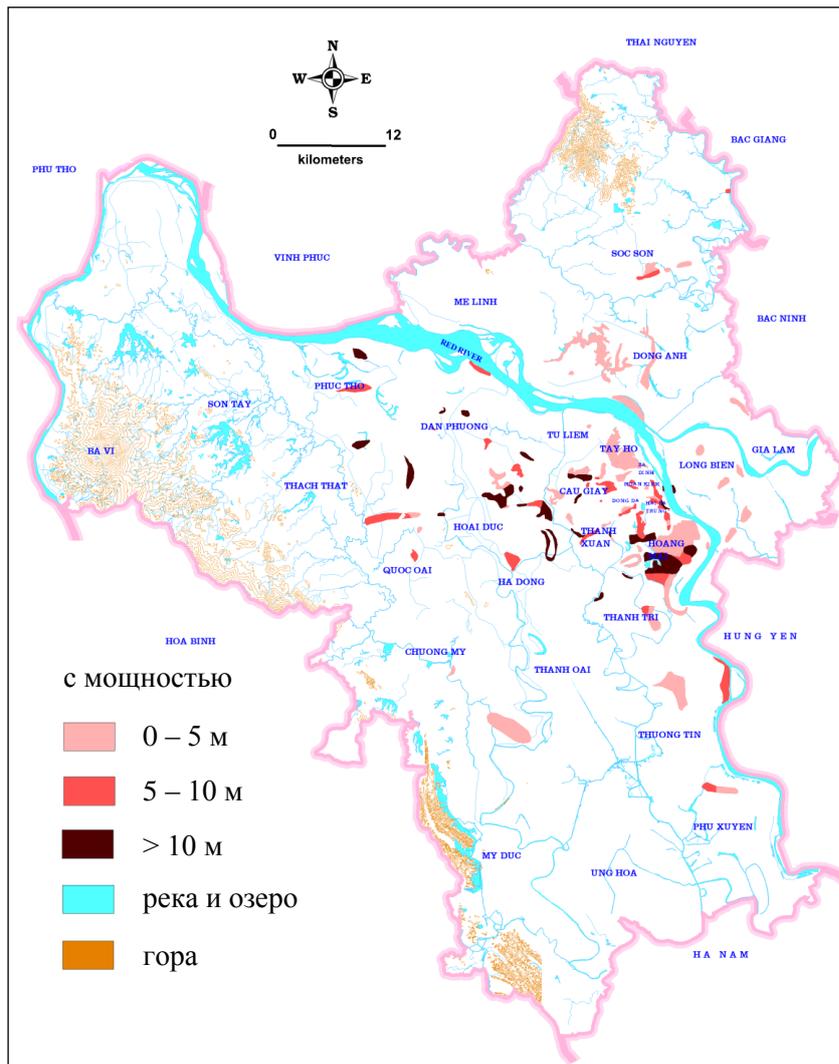


Рисунок 4.4. Карта мощности и распространения слабых грунтов свиты Тхайбинь (слои 2 и 7), составленная Фи Х.Т., 2013 г. Масштаб 1: 50 000

Донгань, Фукдонг района Лонгбиен, Чаукии, Дангса, Чунгмау района Залам. В восточной части города его мощность изменяется от 1,8 м (в Чунгмау района Залам) до 6,5 м (в Ванной района Донгань), средняя 4,2 м. В южной части города слой 8 встречается на глубине от 1,0 м (в Дангса района Залам) до 15,5 м (в Фукдонг района Лонгбиен). В общине Кимлу района Шокшон, данный слой залегает с поверхности, мощностью 2,2 м.

В южной части города слой 8 распространен в виде узких площадок или прерывных полос в центральных районах и в местах, прилегающих к дамбе Красной реки, таких как: районы Таихо, Хоанкием, Хайбачынг, Тханьчи. Кроме того, данный слой распространен в виде маленьких площадок в районах Фуктхо, Данфьонг, Куокоай, Хадонг. Он не встречен в таких южных районах города, как Тханьоай, Чьонгми, Тхьонгтин, Мидык, Фусуен. Мощность слоя изменяется от 0,5 м (в Лахе

района Хадонг) до 32,0 м (в Фунгтхьонг района Фуктхо), средняя 7,0 м. Данный слой встречается на небольшой глубине, в среднем 8,5 м. На максимальной глубине 26,0 м встречен в Тханьльонг района Хайбачынг. В Каодинь района Тылием, Фуктхо, Тханьсуанчунг района Тханьсуан, в Тхиньлиет района Хоангмай слой 8 залегает с поверхности. Физико-механические свойства слоя 8 представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 8

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	31,6	8,40	0,27
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,82	0,10	0,06
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _s	2,67	0,02	0,01
4	Коэффициент пористости	-	e	0,931	-	-
5	Пористость	%	n	48,2	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	90,7	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	33,7	8,48	0,25
8	Предел раскатывания	%	W _P	24,0	5,66	0,24
9	Число пластичности	%	I _p	9,7	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	0,78	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	12 ⁰ 50'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	14,4	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	0,642	0,03	0,48
			m ₁₋₂	0,398	0,03	0,79
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	7,5	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	107,9	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	61,8	0,06	0,10
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,18	0,12	0,64
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,07	0,03	0,45
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	0,693	0,40	0,57
			C _{v(1,0-2,0)}	0,641	0,37	0,57
20	Количество образцов	n		249		

Фи Х.Т., 2013

Слой 9: мелко- и тонкозернистые водонасыщенные пески, зеленовато-серые, средней плотности – В₂

Слой 9 распространен в центральной части города в виде полос вдоль Красной реки, от района Фуктхо до района Фусуен или в виде маленьких площадок вдоль других рек, таких как в местечке Куокоай района Куокоай, Анхань района Хоайдык, Чой района Данфьонг, Хоачинь и Виенан района Чьонгми, и Фунгса района Мидык.

В северной части города слой 9 распространен незначительно в Лонгбиен, Нгоклам, Дыкзанг, Вьетлонг, Затхуи, Фукдонг, Шайдонг района Лонгбиен, в Чаукуи, Батчанг, Киеукй, Кимшон, Чунгмау, Зьонгха, Иентхьонг района Залам, в Тамса,

местечке Донгань, Ванной, Лиенха, Суантху района Донгань, а также в виде узкой полосы от Фуло до Кимлу района Шокшон. Мощность слоя 9 значительно изменяется от 0,7 м (в Шайдонг района Лонгбиен) до 32,5 м (в Тханьсуанчунг района Тханьсуан), средняя 11,1 м. Он встречается на небольшой глубине, в среднем 8,2 м. На максимальной глубине 28,5 м встречен в Татханьоай района Тханьоай, в некоторых местах он залегает с поверхности, таких как в Вонгсуен района Фуктхо, Нхаттан района Тайхо, Хадинь района Тханьсуан, Донгсуан района Шокшон, Куангланг района Фусуен и т.д. Физико-механические свойства слоя 9 представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 9

Гранулометрический состав - мм (%)						Угол внутр. трения	Число ударов N ₃₀
5-2	2,0-0,5	0,50-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	<0,05		
0,3	5,7	27,1	45,6	12,9	8,4	27°29'	13
Количество образцов 545			R ₀ = 127,5 (кПа)			E ₀ = 10,5 (МПа)	

Фи Х.Т., 2013

Слой 10: Суглинок перемежающийся с супесями и песками местами, серо-коричневый, мягкопластичный – В₁ распространен в южной части центра города, в виде маленьких площадок в Суанфу, Тханьда, Лиенхиеп, Хиептхуан района Фуктхо, Фунг района Данфыонг, местечке Куокоай района Куокоай, Лелой района Тхьонгтин, а также в районах Тылием, Тханьчи, Каузаи, Тханьсуан, Донгда, Бадинь, Хоанкием, Хайбачынг, Тайхо, Хоангмай, Хадонг.

В северной части города слой встречается только в некоторых местах, таких как в Фуло, Донгсуан, Кимлу района Шокшон, Лонгбиен, Фукдонг, Фуклой района Лонгбиен, Киеуки района Залам.

Данный слой встречается на довольно большой глубине, в среднем 16,9 м, максимальная глубина залегания – 37,5 м встречена в Татханьоай района Тханьоай. В некоторых местах слой 10 появляется на поверхности, таких как в Фунг района Данфыонг, Суанфу района Фуктхо, Нгуенчунгчык района Бадинь, Донгмак района Донгда, Хангчонг района Хоанкием и т.д. Средняя мощность слоя составляет 7,9 м, максимальная – 28,0 м в Татханьоай района Тханьоай, минимальная – 0,8 м в Лиенхиеп района Фуктхо. Физико-механические свойства слоя 10 представлены в таблице 4.11.

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 10

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	34,3	6,08	0,18
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,74	0,09	0,05
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _S	2,66	0,03	0,01
4	Коэффициент пористости	-	e	1,053	-	-
5	Пористость	%	n	51,3	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	86,6	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	37,6	6,45	0,17
8	Предел раскатывания	%	W _P	25,5	5,02	0,20
9	Число пластичности	%	I _P	12,1	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	0,73	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	10 ⁰ 44'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	15,8	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	0,775	0,02	0,26
			m ₁₋₂	0,489	0,01	0,29
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	5,3	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	107,9	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	96,1	0,33	0,34
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,18	0,11	0,65
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,08	0,07	0,80
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	1,154	0,74	0,65
			C _{v(1,0-2,0)}	0,885	0,53	0,60
20	Количество образцов	n		89		

Фи Х.Т., 2013

4.2.4. Верхняя пачка свиты Хайхынг (ambIV¹⁻²hh₃)

Слой 11: Водонасыщенный суглинок с органическими остатками, темно-серый, текучепластичный – текучий – A₂ распространен в южной части города в виде небольших площадок в Фунгтхыонг района Фуктхо, местечке Куокоай района Куокоай, Анхань района Хоайдык, Таимо района Тылием, Нгокхань, Виньфук, Куантхань района Бадинь, Лангтхыонг, Нгатышо района Донгда, Бачхоа района Хайбачынг, Хоанглиет района Хоангмай, Молао, Фулам района Хадонг, Нгухиеп района Тханьчи, Тыниен района Тхыонгтин, Ваньбан, Минькыонг, Куангланг района Фусуен, Хоаса района Юнгхоа, Фуклой района Лонгбиен. Данный слой встречается на довольно большой глубине, в среднем 14,7 м, на максимальной – 33,0 м в Анхань района Хоайдык, на минимальной – 3,0 м в Хоаса района Юнгхоа. Средняя мощность слоя составляет 7,9 м, максимальная – 23,0 м в Нгухиеп района Тханьчи, минимальная – 1,1 м в Нгуенчай района Хадонг. Физико-механические свойства слоя

11 представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 11

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	40,1	8,14	0,20
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,76	0,10	0,06
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _S	2,68	0,02	0,01
4	Коэффициент пористости	-	e	1,133	-	-
5	Пористость	%	n	53,1	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	94,8	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	40,8	5,51	0,14
8	Предел раскатывания	%	W _P	25,2	3,71	0,15
9	Число пластичности	%	I _P	15,6	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	0,96	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	6°35'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	9,4	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	1,335	0,02	0,15
			m ₁₋₂	0,785	0,01	0,12
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	3,3	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	58,9	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	60,8	0,06	0,10
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,26	0,03	0,12
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,05	-	-
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	0,959	0,18	0,19
			C _{v(1,0-2,0)}	0,927	0,22	0,24
20	Процент органических веществ	%	O	12,2	-	-
21	Количество образцов	n		27		

Фу Х.Т., 2013

4.2.5. Средняя пачка свиты Хайхынг ($mIV^{1-2}hh_2$)

Слой 12: Глина, зеленовато-серая, тугопластичная – мягкопластичная – В₁ распространен в южной части города от района Данфюонг до района Фусуен. Слой появляется в районах, в которых абсолютная высота поверхности менее 7,0 м.

В северной части города, данный слой встречается только в районах Лонгбиен и Залам. В районах Мелинь, Донгань и Шокшон данный слой почти не встречается. В районах Лонгбиен и Залам слой распространен в виде довольно большой площадки, простирающейся от Фудонг через Фуклой, Шайдонг, Тхачбан, Донгзу, Чаукуи до Кобй. Кроме того, в районе Лонгбиен слой распространен в виде узкой полосы, простирающейся от Боде, Жатхуи, Виетхынг, Зангбиен, Иенвиен до Фыонгтхань, а также в виде небольших площадок в микрорайонах Лонгбиен и Иенвиен и местечке Шокшон.

В южной части города слой 12 распространяет очень широко и большими площадками, в районах Тханьоай, Тхьонгтин, Мидык, Юнгхоа и Фусуен. В центральных районах, таких как в Таихо, Хоанкием, Бадинь, Хайбачынг, Хоангмай, Донгда, Каузаи, Тханьсуан и Тылием, данный слой распространен в виде маленьких площадок в нескольких местах. Кроме того, в районах Данфыонг, Хоайдук, Куокоай, Хадонг и Тханьчи слой также распространен в виде небольших площадок. Он не появляется в западных районах, имеющих высокие абсолютные отметки поверхности, таких как в Фуктхо, Бави, Тхачтхат и Чьонгми.

Мощность слоя изменяется от 23,0 м в Виньтуи района Хайбачынг до 0,4 м в Иенвиен района Залам, средняя 4,7 м. В южной части Красной реки (кроме района Хайбачынг) мощность слоя обычно больше, чем в северной.

Данный слой встречается на глубине от 0,3 м в Хоптиен района Мидык до 37,6 м в Таимо района Хоайдук, средняя 8,4 м. В районах Тханьоай, Тхьонгтин, Мидык, Юнгхоа и Фусуен, данный слой встречается на меньшей глубине, чем в других районах города. В некоторых местах слой залегает первым от поверхности.

Данный слой состоит из грунтов двух основных генезисов:

Морская глина, зеленовато-серая, тугопластичная – мягкопластичная, и иногда текучепластичная, в некоторых местах с органическими остатками – имеет широкое распространение.

Озерная глина, светло-серая, зеленовато-серая, желтовато-серая, тугопластичная – имеет незначительное распространение.

Физико-механические свойства слоя 12 представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 12

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	35,1	7,15	0,20
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,80	0,07	0,04
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _s	2,71	0,20	0,01
4	Коэффициент пористости	-	e	1,034	-	-
5	Пористость	%	n	50,8	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	92,0	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	45,0	7,57	0,17
8	Предел раскатывания	%	W _P	26,4	5,13	0,19
9	Число пластичности	%	I _P	18,6	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	0,47	-	-

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	10 ⁰ 22'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	23,7	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	0,622	0,03	0,42
			m ₁₋₂	0,418	0,01	0,34
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	8,7	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	137,3	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	126,5	0,31	0,24
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,19	0,04	0,19
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,04	-	-
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	0,695	0,29	0,42
			C _{v(1,0-2,0)}	0,483	0,25	0,51
20	Процент органических веществ	%	O	5,3	-	-
21	Количество образцов	n		163		

Фиг. X.T., 2013

4.2.6. Нижняя пачка свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$)

Слой 13: Суглинистый ил с органическими остатками, темно-серый – A₁ (Рисунок 4.5) распространен довольно широко в центральной части и южных районах города. В северных и западных районах города, данный слой распространен локально. В южной части города, слой 13 распространен в виде больших площадок, в районах Тылием, Таихо, Бадинь, Хоанкием, Донгда, Тханьсуан, Хайбачынг, Хоангмай, Тханьчи, Хадонг, Тханьоай, Тхыонгтин, Мидык, Унгхоа и Фусуен. В уездах Фуктхо, Данфыонг, Хоайдык и Куокоай. В северной части города слой 13 распространен в районах Лонгбиен и Залам в виде большой полосы, начиная от Тхыонгтхань, Дыкзанг, Вьетхынг, Шайдонг, Фуклой, Тхачбан, Коби, Чаукуи до Донгзы (Рисунок 4.6). Кроме того, в северной части города, слой распространен в виде небольших площадок в Нгоклам района Лонгбиен, Иенвиен района Залам, в местечке Донгань района Донгань, Тханьсуан, Донгсуан, Кимлу, в местечке Шокшон и Танхынг района Шокшон.

Мощность слоя изменяется значительно, максимальная – 43,0 м в Хоангвантху района Хоангмай, минимальная – 0,5 м в Тхыонгтхань района Лонгбиен, средняя 10,6 м. Слой 13 встречается на глубинах от 0,3 м в Хоптиен района Мидык до 37,5 м в Тхыонгмай района Хоангмай. Физико-механические свойства слоя 13 представлены в таблице 4.14.



Рисунок 4.5. Образцы слоя 13 (суглинистый ил с органическими остатками) взяты из скважины QT1 с глубины 10,6 – 10,8 м и 16,3 – 16,5 м по объекту № 84 улицы Чуаланг микрорайона Лангтхьонг города Ханоя [96]



Рисунок 4.6. Карта мощности и распространения слабых грунтов свиты Хайхынг (слои 11 и 13), составленная Фи Х.Т., 2013 г. Масштаб 1: 50 000

Обобщенные показатели физико-механических свойств 13

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	53,3	18,62	0,35
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,61	0,13	0,08
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _S	2,60	0,16	0,06
4	Коэффициент пористости	-	e	1,476	-	-
5	Пористость	%	n	59,6	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	93,9	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	49,1	14,08	0,29
8	Предел раскатывания	%	W _P	33,2	11,96	0,36
9	Число пластичности	%	I _P	15,9	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	1,26	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	5 ⁰ 39'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	8,9	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	1,366	0,06	0,48
			m ₁₋₂	0,999	0,05	0,48
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	1,6	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	49,1	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	81,4	0,31	0,38
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,28	0,17	0,60
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,12	0,07	0,61
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	1,149	0,74	0,64
			C _{v(1,0-2,0)}	1,022	0,68	0,67
20	Процент органических веществ	%	O	9,7	2,34	0,24
21	Количество образцов	n		628		

Фи Х.Т., 2013

4.2.7. Верхняя пачка свиты Виньфук (а, ат III²vr₃)

Слой 14: Глина серая, желтовато-серая, тугопластичная – В₂ имеет значительное распространение в центральной и северной частях города в виде небольших площадок в районах Шокшон, Донгань, Мелинь, Лонгбиен, Залам, Тылием, Каузаи, Таихо, Бадинь, Донгда, Тханьсуан, Хоангмай, Тханьчи. Кроме того, данный слой еще распространен рассеянно в районах, таких как в Фуктхо, Тхачтхат, Хоайдык, Данфьонг, Куокоай, Хадонг, Чынгми и Юнгхоа. Мощность слоя изменяется от 0,7 м в Тханьльонг района Хайбачынг и Уино района Донгань до 20,2 м в Хадинь района Тханьсуан. Мощность слоя в центральной, северной и западной части больше, чем в южных районах города. Средняя мощность слоя составляет 6,8 м. Глубина залегания слоя увеличивается от севера и запада к южной части города. В районах Шокшон, Донгань, Мелинь, Тылием, Таихо, Фуктхо, Тхачтхат, Чыонгми и

Каузаи он встречается на небольшой глубине от 1,0 до 5,0 м в районе Каузаи. В некоторых местах этих районов, данный слой появляется на земной поверхности. В центральных районах города Хоанкием, Бадинь, Тханьсуан, Донгда, Хоангмай и Тханьчи он залегает на глубине более 20,0 м, в южных районах города до 10,0 м. Физико-механические свойства слоя 14 представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 14

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	30,6	5,82	0,19
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,87	0,08	0,04
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _s	2,72	0,02	0,01
4	Коэффициент пористости	-	e	0,900	-	-
5	Пористость	%	n	47,4	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	92,5	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	44,5	6,24	0,14
8	Предел раскатывания	%	W _P	26,0	4,54	0,17
9	Число пластичности	%	I _P	18,5	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	0,25	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	12°50'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	30,2	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	0,418	0,01	0,32
			m ₁₋₂	0,265	0,01	0,29
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	14,9	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	176,6	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	92,2	0,37	0,39
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,13	0,04	0,33
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,05	0,02	0,41
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	0,693	0,46	0,66
			C _{v(1,0-2,0)}	0,670	0,43	0,64
20	Количество образцов	n		196		

Фи Х.Т., 2013

Слой 15: Суглинок, разноцветный (коричневый, желтый, красный), полутвердый – тугопластичный – С распространен в центральной и северной частях города. В виде маленьких площадок встречается в районах Фуктхо, Данфьюнг, Хоайдык, Тхачтхат, Куокоай, Хадонг, Чыонгми, Тхыонгтин, Фусуен, Юнгхоа и Мидык. В южных районах города, он не встречается. Мощность слоя изменяется от 0,5 м в Мидинь района Тылием до 33,2 м в Донгчук района Тхачтхат, средняя 8,5 м. Мощность слоя в районах Лонгбиен, Хайбачынг, Залам, Донгань, Шокшон, Фуктхо и в южных районах города меньше, чем в остальных районах города. Глубина залегания слоя увеличивается с севера на юг. В районах Шокшон, Мелинь, Донгань,

Фуктхо, Тылием, Таихо, данный слой встречается на небольшой глубине от 2,0 м в районе Шокшон до 7,0 м в районе Тылием. В этих зонах, данный слой обычно залегает под слоем 14 или под техногенными отложениями. Во многих местах он появляется на земной поверхности. В других районах, он встречен на глубине от 12,3 м в южных районах и районе Каузаи до 43,2 м в районе Хоайдык.

Слой 15 характеризуется разной окраской, составом, содержанием конкреций оксидов железа. Физико-механические свойства слоя 15 представлены в таблице 4.16.

Таблица 4.16

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 15

№	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	26,6	3,60	0,14
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,92	0,07	0,03
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _S	2,70	0,02	0,01
4	Коэффициент пористости	-	e	0,780	-	-
5	Пористость	%	n	43,8	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	92,0	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	36,6	5,58	0,15
8	Предел раскатывания	%	W _P	22,7	3,29	0,14
9	Число пластичности	%	I _P	13,9	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	0,28	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	14 ⁰ 01'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	29,8	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	0,418	0,02	0,41
			m ₁₋₂	0,275	0,01	0,26
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	14,5	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	206,0	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	111,8	0,27	0,23
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,12	0,04	0,31
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,05	0,01	0,20
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	0,618	0,37	0,60
			C _{v(1,0-2,0)}	0,617	0,35	0,57
20	Количество образцов	n		608		

Фи Х.Т., 2013

4.2.8. Средняя пачка свиты Виньфук (albIII²vp₂)

Слой 16: Суглинок с органическими остатками, темно-серый, текучепластичный – текучий – A₂ распространен узкими площадками в районах Шокшон, Мелинь, Донгань, Фуктхо, Залам, Лонгбиен, Тылием, Данфыонг, Хоайдык, Куокоай, Тханьсуан, Донгда, Хоангмай, Тханьчи, Тхыонгтин, Тханьоай, Чыонгми и Фусуен (Рисунок 4.7). Мощность слоя изменяется от 1,2 м в Тамхиеп района Тханьчи до 25,0 м в Тиензыонг района Донгань, средняя 6,9 м. В районах Донгань, Залам и

Тылием мощность слоя составляет от 10,0 до 15,0 м. Глубина залегания слоя увеличивается с севера на юг. В районах Шокшон, Мелинь, Донгань, Фуктхо, Залам, Лонгбиен, Таихо слой обычно встречается на глубине, от 3,0 м до 10,0 м. В остальных районах на глубине от 20,0 м до 37,8 м. Физико-механические свойства слоя 16 представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 16

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	36,4	7,73	0,21
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,76	0,09	0,05
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _S	2,67	0,04	0,02
4	Коэффициент пористости	-	e	1,069	-	-
5	Пористость	%	n	51,7	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	90,9	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	38,0	6,31	0,17
8	Предел раскатывания	%	W _P	25,2	4,97	0,20
9	Число пластичности	%	I _P	12,8	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	0,88	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	10 ⁰ 40'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	11,8	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	0,979	0,04	0,41
			m ₁₋₂	0,540	0,02	0,33
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	4,8	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	88,3	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	99,1	0,26	0,25
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,23	0,08	0,37
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,09	0,02	0,18
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. * 10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	0,965	0,40	0,42
			C _{v(1,0-2,0)}	0,847	0,28	0,33
20	Процент органических веществ	%	O	8,0	0,84	0,10
21	Количество образцов	n		54		

Фи Х.Т., 2013

4.2.9. Нижняя пачка свиты Виньфук (aIII²vr₃)

Слой 17: Супесь/Суглинок, перемежающаяся с суглинками или песками, желтовато-серая, пластичная – B₂ распространен в центральной и северной частях города, в Шокшон, Мелинь, Донгань, Лонгбиен, Тылием, Каузаи, Таихо, Бадинь, Хоанкием, Тханьсуан, Хоангмаи, в виде небольших площадок в районах Залам, Фуктхо, Хоайдык, Куокоай, Чыонгми, Хадонг, Тханьчи, Тханьоай, Тхыонгтин, Мидык и Юнгхоа.

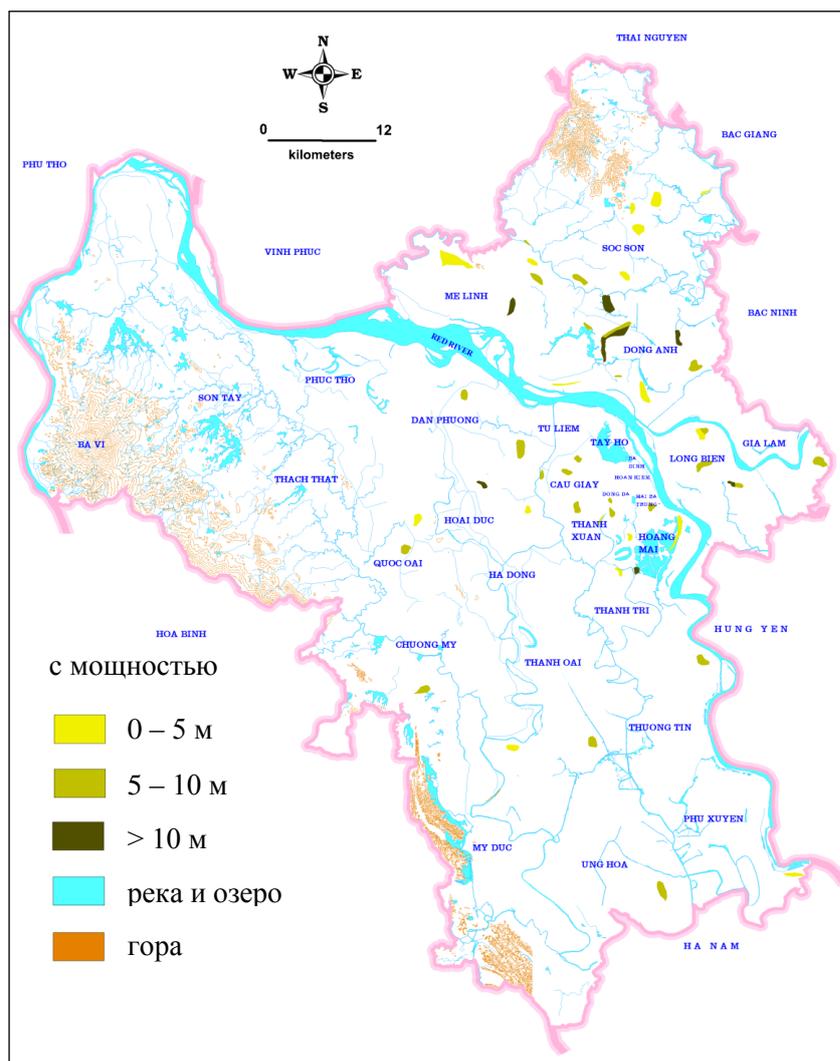


Рисунок 4.7. Карта мощности и распространения слабых грунтов свиты Виньфук (слой 16), составленная Фи Х.Т., 2013 г. Масштаб 1: 50 000

Мощность слоя небольшая, изменяется от 0,5 м в Уино района Донгань до 29,9 м в местечке Донгань района Донгань, средняя 6,2 м. Самая большая мощность слоя встречается в районах Донгань и Шокшон от 15,0 м до 29,9 м. Физико-механические свойства слоя 17 представлены в таблице 4.18.

Глубина залегания слоя увеличивается севера на юг. В районах Донгань, Шокшон и Мелинь глубина залегания в среднем ниже 10 м. В некоторых местах Фуло, Дыкхоа, Суанзанг района Шокшон он появляется на поверхности. В других районах глубина залегания слоя больше, зачастую составляет от 17,0 м до 35,0 м и более, например, в Вандинь района Юнгхоа (45,0 м), Татханьоай района Тханьчи (43,0 м), Чунглиет района Донгда (42,0 м), Хоанглиет района Хоангмай (41,8 м).

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 17

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	26,0	6,13	0,24
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,85	0,11	0,06
3	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _s	2,68	0,02	0,01
4	Коэффициент пористости	-	e	0,825	-	-
5	Пористость	%	n	45,2	-	-
6	Степень влажности	%	S _r	84,4	-	-
7	Предел текучести	%	W _L	27,7	5,30	0,19
8	Предел раскатывания	%	W _P	20,2	4,24	0,21
9	Число пластичности	%	I _P	7,5	-	-
10	Показатель текучести	-	I _L	0,77	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	15°30'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	14,2	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₀₋₁	0,408	0,02	0,45
			m ₁₋₂	0,326	0,01	0,38
14	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	11,3	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	137,3	-	-
16	Давление предуплотнения	кПа	P _c	102,0	0,42	0,41
17	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,18	0,10	0,53
18	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,06	0,03	0,55
19	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	0,688	0,32	0,46
			C _{v(1,0-2,0)}	0,555	0,21	0,38
20	Количество образцов	n		167		

Фи Х.Т., 2013

Слой 18: Мелко- и тонкозернистые водонасыщенные пески, коричневые, желтовато-коричневые, средней плотности – плотные – С

Водонасыщенные пески (Рисунок. 4.8) слоя 18 широко распространены в равнинной части города. В районах Куокоай, Чыонгми, Тханьоай, Тханьчи и Мидык данный слой распространен с меньшей площадью, по сравнению с другими районами. Мощность слоя довольно большая и изменяется от 0,5 м в Тханьсуанбак района Тханьсуан до 41,0 м в Зыонгха района Хадонг, средняя – 9,6 м.



Рисунок 4.8. Образец слоя 18 (мелко- и тонкозернистые пески, коричневые, желтовато-коричневые) взят из скважины QT1 с глубины 22,8 – 23,0 м по объекту № 84 улицы Чуаланг микрорайона Лангтхьонг района Донгда города Ханоя [96]

Физико-механические свойства слоя 18 представлены в таблице 4.19.

Таблица 4.19

Типичные физико-механические свойства слоя 18

Гранулометрический состав - мм (%)						Угол внутреннего трения	Число ударов N_{30}
5-2	2,0-0,5	0,50-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	<0,05		
1,2	7,5	29,9	40,1	14,8	6,5	33°39'	29
Количество образцов 195			$R_0 = 284,5$ (кПа)			$E_0 = 19,4$ (МПа)	

Фи Х.Т., 2013

Слой 19: Средне- и крупнозернистые водонасыщенные пески, местами с гравием и галькой, желтовато-серые, светло-серые, плотные и очень плотные – D

Грунты слоя 19 (Рисунок 4.9) широко распространены в центральной и северной частях города Ханоя, таких как в Шокшон, Мелинь, Донань, Лонгбиен, Залам, Тылием, Таихо, Хоанкием, Бадинь, Каузаи, Донгда, Тханьсуан, Хадонг, Хайбачынг, Хоангмай, Хоайдык. В западной и южной части города и в холмистых зонах района Шокшон данный слой почти не встречается.



Рисунок 4.9. Образец слоя 19 (средне- и крупнозернистые пески, местами с гравием и галькой, желтовато-серые) взят из скважины QT1 с глубины 26,5 – 27,0 м по объекту № 84 улицы Чуаланг микрорайона Лангтхьонг района Донгда города Ханоя [96]

Мощность слоя значительная и изменяется от 0,9 м в Виетхунг района Донгань до 28,7 м Тхуихуе района Таихо, средняя 9,4 м. Мощность слоя 19 в центральных районах города больше, чем в других районах города.

Глубина залегания слоя увеличивается с севера на юг. В северных районах, таких как Донгань, Шокшон и Мелинь, данный слой обычно встречается в глубине от 15,0 до 30,0 м. В остальных районах он встречается на глубине от 27,0 до 40,0 м и более, например, в Иеншо района Хоайдык (46,6 м), Хоангвантху района Хоангмай (48,3 м), Молао района Хадонг (50,7 м), Мечи района Тылием (48,7 м), Тхиньлиет района Хоангмай (55,2 м). На территории города Ханоя слой 19 встречается на максимальной глубине в районах Тханьсуан, Хадонг и Тханьчи с глубиной более 40 м. Физико-механические свойства слоя 19 представлены в Таблице 4.20.

Таблица 4.20

Типичные физико-механические свойства слоя 19

Гранулометрический состав - мм (%)							Угол внут. трения	Число ударов N ₃₀
> 5	5-2	2,0- 0,5	0,50- 0,25	0,25- 0,10	0,10- 0,05	<0,05		
7,9	4,8	21,8	34,8	19,5	9,1	2,1	36°04'	37
Количество образцов 215			R ₀ = 363,0 (кПа)				E ₀ = 29,5 (МПа)	

Фу Х.Т., 2013

4.2.10. Свита Ханой (a, apII-III¹hn)

В инженерно-геологических разрезах на территории г. Ханоя данная свита разделяется на следующие грунтовые слои:

Слой 20: Суглинок, местами с органическими остатками, серо-коричневый, мягкопластичный – В₁ распространен маленькими площадками в районах Шокшон, Мелинь, Донгань, Фуктхо, Данфыонг, Хоайдык, Тхачтхат, Тылием, Таихо, Бадинь, Каузаи, Хадонг, Тханьсуан, Хоанкием, Донгда, Хайбачынг, Хоангмай, Тханьоай, Тхыонгтин, Мидык, Юнгхоа и Фусуен. В других районах данный слой почти не встречается.

Мощность слоя небольшая и изменяется от 0,5 м в Донгхой района Донгань до 27,5 м в Намчиеу района Фусуен, средняя 7,8 м. В центральных районах города, таких как в Каузаи, Таихо, Бадинь, Хоанкием, Донгда, Тханьсуан и Хайбачынг, мощность слоя меньше и составляет от 1,0 до 5,0 м.

Данный слой встречается на довольно большой глубине от 9,0 м в Донгчук района Тхачтхат до Татханьоай района Тханьчи, в среднем 28,7 м. Глубина залегания слоя увеличивается по направлению с северо-запада на юго-восток. В районах Каузаи, Тханьсуан, Хоангмай, Донгда, Хоанкием, Хадонг, Залам и Фусуен, глубина залегания слоя обычно более 40,0 м. В районах Мелинь, Шокшон, Донгань, Фуктхо, Мидык, глубина меньше 15,0 м. Только в Фулинь района Шокшон, Шондонг городка Шонтаи данный слой появляется на земной поверхности.

Слой 20 находится на большой глубине и залегает под гравелистыми слоями 18 и 19 свиты Виньфук и над гравелистыми слоями 22, 24 свиты Ханой. Этому слою должно уделяться особое внимание при изысканиях и проектировании свайных фундаментов. Физико-механические свойства слоя 20 представлены в таблице 4.21.

Таблица 4.21

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 20

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
1	Естественная влажность	%	W	27,3	3,88	0,14
2	Плотность грунта	г/см ³	ρ	1,84	0,09	0,05
3	Плотность скелета грунта	г/см ³	ρ _d	1,45	-	-
4	Плотность частиц грунта	г/см ³	ρ _s	2,69	0,02	0,01
5	Коэффициент пористости	-	e	0,861	-	-
6	Пористость	%	n	46,3	-	-
7	Степень влажности	%	S _r	85,3	-	-
8	Предел текучести	%	W _L	31,7	2,31	0,07
9	Предел раскатывания	%	W _p	20,9	1,84	0,09
10	Число пластичности	%	I _p	10,8	-	-
11	Показатель текучести	-	I _L	0,59	-	-

	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Величина		
				X _n	S	V
12	Угол внутреннего трения	градус	φ	9 ⁰ 45'	-	-
13	Удельное сцепление	кПа	c	17,9	-	-
14	Коэффициент сжимаемости	10 ⁻³ м ² /кН	m ₁₋₂	0,510	0,01	0,27
15	Модуль деформации	МПа	E _{o(1-2)}	6,9	-	-
16	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	117,7	-	-
17	Давление предуплотнения	кПа	P _c	105,0	0,32	0,30
18	Коэффициент компрессии	-	C _c	0,19	0,03	0,16
19	Коэффициент рекомпрессии	-	C _r	0,07	0,02	0,25
20	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	C _{v(0,5-1,0)}	0,907	0,57	0,63
			C _{v(1,0-2,0)}	0,826	0,51	0,62
21	Количество образцов	n		08		

Фи Х.Т., 2013

Слой 21: Супесь, местами с гравием, серая, пластичная – В₂, распространен маленькими площадками в юго-восточной и центральной частях города, в районах Шокшон, Донгань, Залам, Тылием, Таихо, Бадинь, Донгда, Хоангмай, Хадонг, Хоайдык, Куокоай, Тханьоай, Тхыонгтин, и Юнгхоа.

Мощность слоя небольшая и изменяется от 0,7 м в Анкхань района Хоайдык до 20,1 м в Хоачинь района Тханьоай, средняя – 6,9 м. Данный слой встречается на довольно большой глубине, от 18,4 м в Кимлу района Шокшон до 45,5 м в Футук района Юнгхоа, в среднем от 32 м до 41 м. Физико-механические свойства слоя 21 представлены в таблице 4.22.

Таблица 4.22

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 21

Гранулометрический состав - мм (%)						Число ударов N ₃₀
5-2	2,0-0,5	0,50-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	<0,05	
2,9	5,2	8,4	55,0	21,5	7,0	22
Количество образцов: 10			R ₀ = 176,6 (кПа)		E ₀ = 12,2 (МПа)	

Фи Х.Т., 2013

Слой 22: Водонасыщенные галечно-гравийные отложения, местами крупнозернистые пески, серые, желтовато-серые, очень плотные – Е

Слой 22 распространен широко в северных, центральных и северо-западных районах города Ханоя. В южных районах города он распространяется рассеянно и прерывно. Он не появляется в холмистых и горных районах на западе города и в северной части района Шокшон.

В составе преобладают гравий и гальки с размерами фракций от 2 см до 5 см, даже до 10 см (рис. 4.10, 4.11). Мощность слоя изменяется от 0,5 м на Фохуэ района Хоанкием до 69,0 м в Хонгминь района Фусуен.

Глубина залегания слоя увеличивается от севера к югу и с запада на восток. В районах Шокшон, Мелинь, Донгань, Фуктхо, Данфыонг, Тхачтхат, Хоайдык и Куокоай глубина залегания слоя изменяется от 25,0 до 35,0 м; в центральных районах города – от 35,0 до 45,0 м; в южных районах – в Тханьоай, Чыонгми, Тхыонгтин, Мидык, Юнгхоа и Фусуен – от 45,0 до 55,0 м, а в некоторых местах более 65,0 м (Фусуен).



Рисунок 4.10. Образец слоя 22 (гравийно-галечниковые отложения) взят из скважины QT1 с глубины 39,0 – 42,0 м по объекту № 84 улицы Чуаланг микрорайона Лангтхыонг района Донгда города Ханоя [96]



Рисунок 4.11. Гравийно-галечниковые отложения из скважины QT1 с глубины 45,0 – 48,0 м по объекту № 84 улицы Чуаланг микрорайона Лангтхыонг района Донгда города Ханоя [96]

Физико-механические свойства слоя 22 представлены в таблице 4.23. В настоящее время, при строительстве крупномасштабных объектов, часто используются армировано-бетонные свайные фундаменты с большим диаметром. Сваи часто устанавливаются в этом слое.

Таблица 4.23

Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 22

Гранулометрический состав - мм (%)							Число ударов N ₃₀
>10	10-5	5-2	2-1	1,0-0,5	0,5-0,05	<0,05	
45,7	16,7	14,3	7,2	4,2	10,9	1,0	>100
Количество образцов: 80				R ₀ > 490 (кПа)		E ₀ > 50 (МПа)	

Фи Х.Т., 2013

В соответствии с законом общего образования и фактическими данными, в этом слое могут существовать песчаные или глинистые линзы. Этим линзам должны

уделяться пристальное внимание при изысканиях и проектировании свайных фундаментов.

4.2.11. Свита Лечи (allc)

В инженерно-геологических разрезах на территории г. Ханоя данная свита разделяется на следующие грунтовые слои:

Слой 23: Супесь, местами с гравием, серая, коричневая, пластичная – С, распространен очень узко, только в некоторых местах, таких как в Кимхоа, Тханьлам, Ванхе района Мелинь, Ванной района Донгань, Жатхуи района Лонгбиен, Тылиен района Тайхо, Нгокха района Бадинь, Куоктыжам района Донгда и Хадинь района Тханьсуан. Мощность слоя изменяется от 1,2 м в Куоктыжам района Донгда до 5,7 м в Жатхуи района Лонгбиен, в среднем 2,7 м. Данный слой залегает под слоем 22 на глубине от 20,8 м в Тханьлам района Мелинь до 61,0 м в Кимхоа, Ванхе района Мелинь, в среднем 47,4 м.

Слой 24: Водонасыщенные галечно-гравийные отложения, мелко- и крупнозернистые с суглинками, коричневато-серые, желтовато-серые, очень плотные – Е, распространен в центральной и северной частях города и в районе Фуктхо. Мощность слоя еще не точно определена, самая большая мощность слоя составляет 61,0 м в Футхыонг района Таихо. Данный слой встречается на большой глубине. В северной части города, глубина залегания кровли этого слоя изменяется от 35,0 м до 65,0 м; в центральной части – от 50,0 м до 70,0 м; в районе Фуктхо – от 30,0 м до 40,0 м. Данный слой обычно залегает под слоем 22, а в некоторых местах под слоем 23. В этом слое число ударов N_{30} составляет больше 100.

Линза ТК1: Мелкозернистый песок, в некоторых местах супесь, серый, желтовато-серый, средней плотности, распространена рассеянно в некоторых местах южных районов города небольшими площадями, таких как Анкхань района Хоайдык, Хыухоа района Хадонг, Тханьван района Тханьоай, Зунгтиен и Тханглой района Тхыонгтин, Футук, Чунгту, Кимдыонг района Юнгхоа, Фулуте района Мидык, Фуктиен, Куангланг района Фусуен. Мощность линзы изменяется от 2,1 м в Зунгтиен района Тхыонгтин до 34,0 м в Фуктиен района Фусуен, в среднем 13,5 м. Глубина залегания линзы изменяется от 2,0 м в Фуктиен района Фусуен до 12,2 м в Анкхань района Хоайдык. Линза залегает между слоем 12 и другими нижними слоями. В Кимдыонг района Юнгхоа линза появляется на земной поверхности.

Линза ТК2: Мелкозернистый песок, серый, желтовато-серый, средней плотности, появляется только в Куангланг района Фусуен с мощностью 4,5 м, на глубине от 27,0 м до 31,5 м. Эта линза залегает между слоями 13 и 16.

Линза ТК3: Глина, светло-серая, мягкопластичная – тугопластичная, появляется только в Виетхунг района Донгань с мощностью 2,6 м, в глубине от 28,7 м до 31,3 м. Эта линза залегает между слоями 16 и 22.

Обобщение имеющихся данных, позволило Фи Х.Т. составить карты мощности и распространения слабых водонасыщенных грунтов г. Ханоя (Рисунок 4.12).

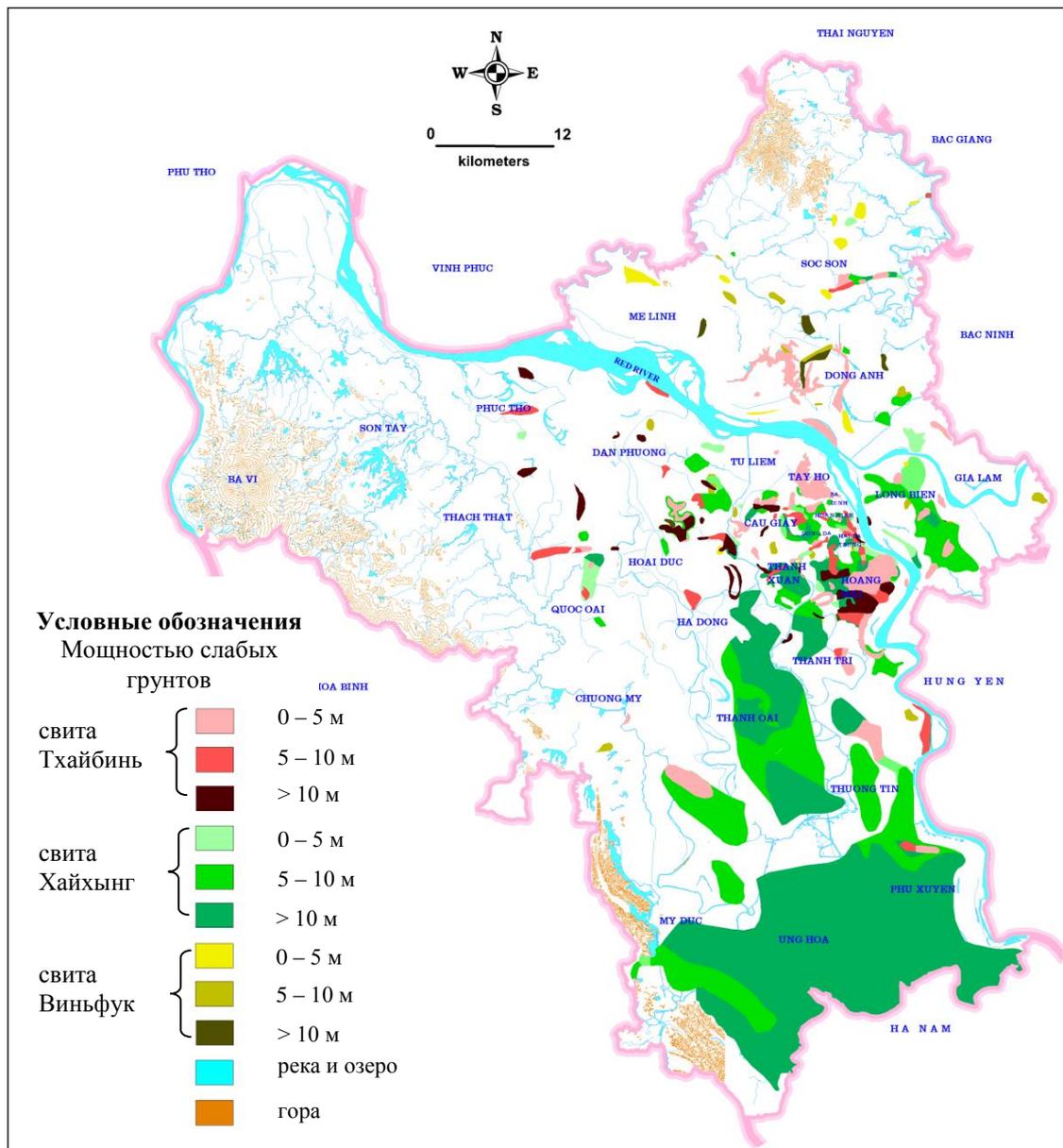


Рисунок 4.12. Карта мощности и распространения слабых грунтов территории г. Ханоя (5 слоев слабых грунтов), составленная Фи Х.Т. в 2013 г. Масштаб 1: 50 000

Выводы по разделу

В разрезе четвертичных отложений выделяют пять свит, различающихся по возрасту и генезису (снизу вверх): ранний плейстоцен – аллювиальные отложения (свита Лэчи – *alIc*), представлены гальками, гравием, с включением линз песков, супесей или суглинков; средне-поздний плейстоцен – аллювиально-пролювиальные и аллювиальные отложения (свита Ханой – *ap, aII-III¹hn*) сложены гальками, гравием и песками, местами суглинками и супесями, развитыми в верхней части разреза; поздний плейстоцен – аллювиальные, аллювиально-озерно-болотные и аллювиально-морские отложения (свита Виньфук – *a, alb, amIII²vp_{1,2,3}*), имеют определенные закономерности перехода от песков в нижней части разреза к суглинкам и глинам в верхней, местами прослеживаются суглинки с органическими остатками; ранний и средний голоцен – озерно-болотные, аллювиально-морские-болотные и морские отложения (свита Хайхынг – *lb, amb, mIV¹⁻²hh_{1,2,3}*) относятся к специфическим слабым водонасыщенным грунтам в Ханое и представлены суглинками и глинами с органическими остатками в основании разреза, постепенно сменяющимися морскими глинами синего цвета; поздний голоцен – аллювиальные и аллювиально-озерно-болотные отложения (свита Тхайбинь – *a, albIV³tb_{1,2}*), имеют широкое распространение и характеризуются постепенным переходом от песков к супесям и суглинкам, местами с включениями органических остатков.

В верхней части разреза четвертичных отложений прослеживаются аллювиально-озерно-болотные отложения свиты Виньфук (*albIII²vp₂*) – слой 16, озерно-болотные и аллювиально-морские-болотные отложения свиты Хайхынг (*lb, ambIV¹⁻²hh_{1,3}*) – слои 13 и 11, и аллювиально-озерно-болотные отложения свиты Тхайбинь (*albIV³tb₁*) – слои 2 и 7 – слабые песчано-глинистые грунты с низкой несущей способностью и высокой сжимаемостью ($R_0 < 100$ кПа и $E_{0(1-2)} < 5$ МПа). Широкое распространение водонасыщенных песчано-глинистых отложений с включением органики свиты Хайхынг (*lbIV¹⁻²hh₁*) – слой 13 – определяет высокую степень сложности инженерно-геологических условий рассматриваемой территории. Присутствие органического вещества с различной степенью разложения в слабых грунтах *lbIV¹⁻²hh₁* создает пространственную неоднородность и анизотропию строения, состояния и свойств грунтов. Толща слабых пород свиты Хайхынг имеет наиболее широкое распространение в центральной части и южных районах города. Мощность толщи слабых пород свиты Хайхынг *lbIV¹⁻²hh₁* изменяется в широких пределах от 0,5 до 43,0 м. Она встречается на глубине от 0,3...15,5 м в южных

районах города до 3,0...37,5 м в центральной части. Слабые грунты свиты Хайхынг $lbIV^{1-2}hh_1$ характеризуются самыми низкими параметрами прочности ($\phi=5^{\circ}39'$ и $c=8,9$ кПа) и самой высокой сжимаемостью ($E_{0(1-2)}=1,6$ МПа), (Таблица 4.14).

Водонасыщенные песчано-глинистые породы рассматриваются как среда развития плывунов, суффозионных процессов, тиксотропных явлений в глинистых грунтах, склоновых процессов (оползни, оплывания) на незакрепленных берегах рек и котлованов, именно их присутствие в разрезе является причиной значительных осадок поверхности при откачках подземных вод.

4.3. Типизация грунтовых толщ в связи с исследованием оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод

4.3.1. Принципы типизации грунтовых толщ

Под *грунтовой толщей*, по В.Т. Трофимову, понимается толща горных пород, находящихся в зоне активного воздействия инженерного сооружения. Грунтовые толщи могут состоять из множества различных слабых и скальных слоев. Толщи могут разделяться на классы, типы и виды на основе условий их залегания, состава, физико-механических свойств, мощности и в зависимости от целей типизации. Обычно требуется отразить их поведение при воздействии инженерных сооружений или изменении геологической среды. Таким образом, при типизации грунтовых толщ описывается система пространственного расположения их слоев, выделенных согласно поставленным целям.

Результаты оценки и анализа оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя (глава 6) показали, что величина оседания земной поверхности в большей степени зависит от мощности слабых грунтов:

- Значительную долю 68 – 94 % от общей величины осадки на станциях мониторинга Тханьконг, Фапван, Лыонгиен и Хадинь составляет сжатие слабых грунтов.

- В депрессионных воронках оседание поверхности из-за водопонижения имеет дифференциальные значения при мощности слабых грунтов 0 – 5 м; 5 – 10 м; и больше 10 м.

Поэтому мощность слабых грунтов является основным критерием, используемым при типизации грунтовых толщ.

В связи с исследованием оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод, глубина исследований должна достигать водонасыщенных гравийно-галечниковых отложений свиты Ханой (слой 22). Этот главный водоносный горизонт широко используется для водоснабжения. Он менее подвержен влиянию изменений окружающей среды, чем слои, залегающие выше. Ниже этой глубины воздействие извлечения подземных вод на величину оседания земной поверхности незначительное.

Грунтовые толщи на территории г. Ханоя были разделены на классы, типы и виды. Класс выделяется по условиям залегания свит, пронумерован римскими цифрами. Тип выделяется на основе отсутствия (1) или отсутствия (2) слабых грунтов, обозначается арабскими цифрами после класса. Вид выделяется по мощности слабых грунтов, обозначается латинской буквой.

4.3.2. Типизация грунтовых толщ

С использованием этих принципов, по условиям залегания свит Тхайбинь, Хайхынг и Виньфук/Ханой, грунтовые толщи территории г. Ханоя были разделены на 4 класса, 6 типов и 9 видов следующим образом.

- Класс I: распространение свиты Тхайбинь на земной поверхности.
 - + Тип I.1. Отсутствие слабых грунтов.
 - + Тип I.2. Присутствие слабых грунтов (слои 2,7,11,13,16).
 - Вид I.2.a. Суммарная мощность слабых грунтов меньше 5 м.
 - Вид I.2.b. Суммарная мощность слабых грунтов от 5 до 10 м.
 - Вид I.2.c. Суммарная мощность слабых грунтов больше 10 м.
- Класс II: распространение свиты Хайхынг на земной поверхности.
 - + Тип II.1. Отсутствие слабых грунтов.
 - + Тип II.2. Присутствие слабых грунтов (слои 11,13,16).
 - Вид II.2.a. Суммарная мощность слабых грунтов меньше 5 м.
 - Вид II.2.b. Суммарная мощность слабых грунтов от 5 до 10 м.
 - Вид II.2.c. Суммарная мощность слабых грунтов больше 10 м.
- Класс III: распространение свиты Виньфук/Ханой на земной поверхности.
 - + Тип III.1. Отсутствие слабых грунтов.
 - + Тип III.2. Присутствие слабых грунтов (слой 16).
 - Вид III.2.a. Суммарная мощность слабых грунтов меньше 5 м.

- Вид III.2.b. Суммарная мощность слабых грунтов от 5 до 10 м.
- Вид III.2.c. Суммарная мощность слабых грунтов больше 10 м.

- Класс IV: распространение дочетвертичных отложений на земной поверхности.

Карта типизации грунтовых толщ территории г. Ханоя масштаба 1:50.000 составлена Фи Х.Т. (Рисунок 4.13) на основе геологической карты территории города того же масштаба, построенной Нго К.Т. и опубликованной Ханойским Издательством в 2011 г. и стратиграфических данных по 691 скважине.

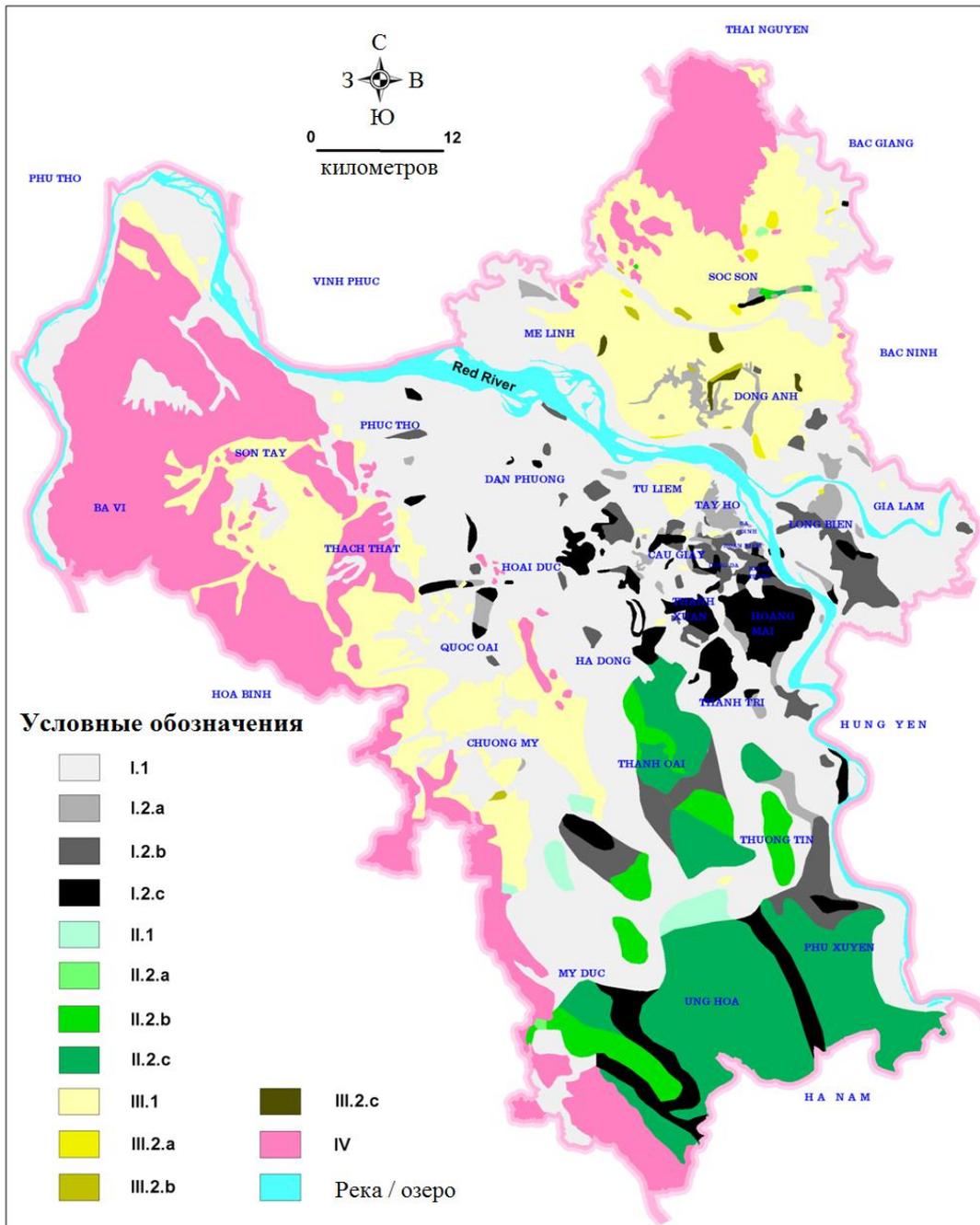


Рисунок 4.13. Карта типизации грунтовых толщ территории г. Ханоя в связи с исследованием оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод, составленная Фи Х.Т. в 2013 г. Масштаб 1: 50.000

4.3.3. Описание типов грунтовых толщ

Описание классов, типов и видов грунтовых толщ, показанных на рис. 4.13, приводится ниже.

Класс I: по площади распространения свиты Тхайбинь на земной поверхности

Данный класс составляет около 40% от площади Ханоя. Он распространен сосредоточенно на большой площади в центральной части города и занимает часть площади северо-западной, северной, западной, южной и северо-восточной частей города. В данном классе выделяются два типа на основе наличия / отсутствия слабых грунтов.

Тип I.1. В разрезе отсутствуют слабые грунты

Данный тип занимает большую часть общей площади класса I, распространен в северной, северо-восточной, западной, северо-западной, южной частях города.

Стратиграфические характеристики этого типа представлены на рис. 4.14.

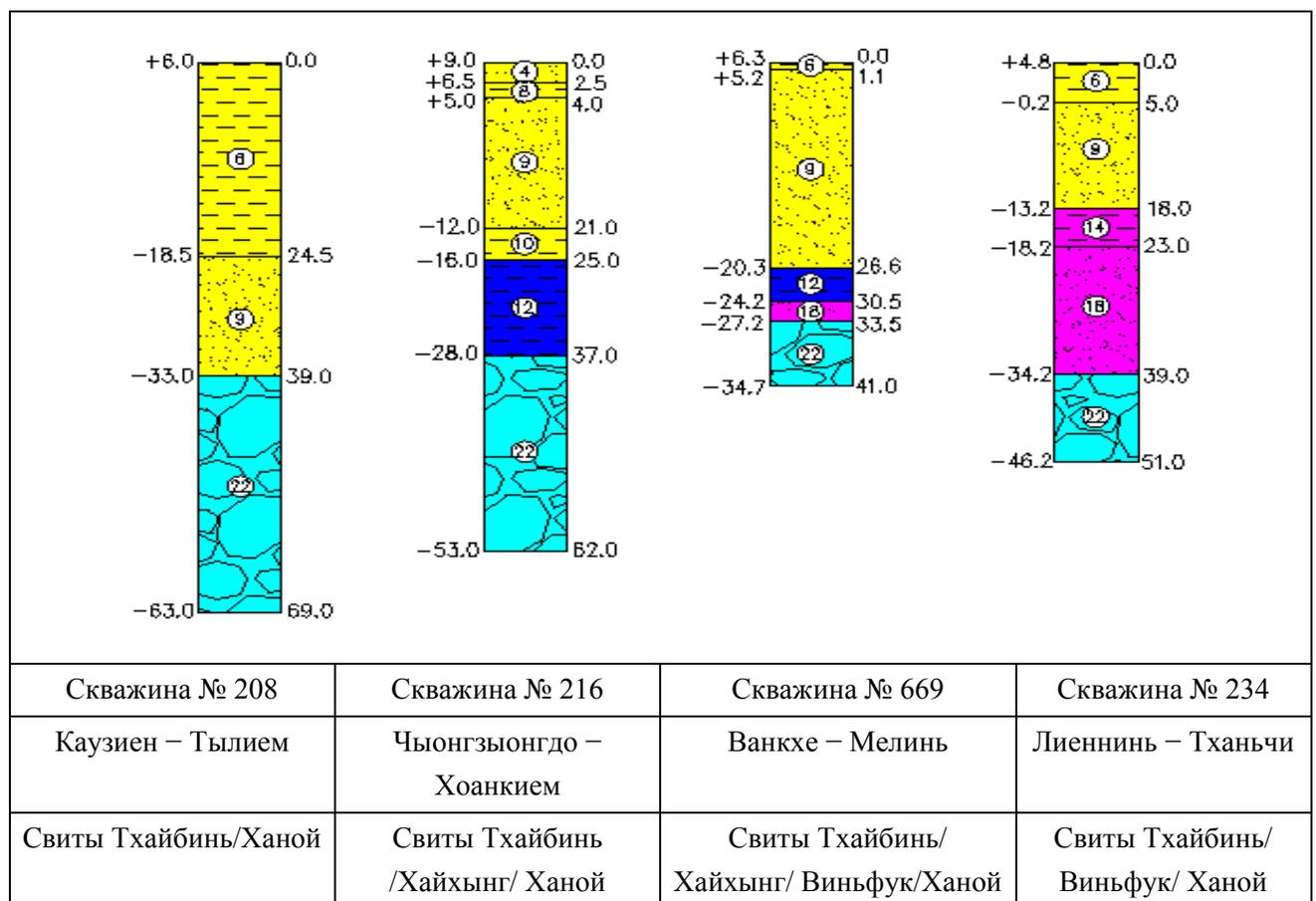


Рисунок 4.14. Стратиграфические характеристики типа I.1 (Фи Х.Т., 2013)

Тип I.2. В разрезе присутствуют слабые грунты

Он распространен сосредоточенно в виде больших площадок в центральной,

северо-восточной, южной частях города и рассеянно в виде маленьких площадок в северной, северо-западной частях города. В данном типе выделяются три вида по мощности слабых грунтов.

Вид I.2.a. Мощность слабых грунтов менее 5 м

Данный вид распространен сосредоточенно на довольно больших площадках в районах Тайхо, Лонгбиен, Залам, Донгань и рассеянно в виде маленьких площадок в Донгсуан, Фуло, Тамса района Донгань, Тиентхань района Мелинь, Кыкхой района Лонгбиен, Фунгтхыонг района Фуктхо, Лиенмач, Мидинь района Тылием, Зичвонг, Иенхоа района Каузаи, Конгви, Виньфук, Нгокха района Бадинь, Хангбонг, Литхайто, Чангтиен района Хоанкием, Иенмй, Лиеннинь, Нгокхой района Тханьчи, Тхачтхан района Куокоай и в виде узкой полосы в Хахой, Куатдонг и Лелой района Тхыонгтин. Стратиграфические характеристики этого вида представлены на рис. 4.15.

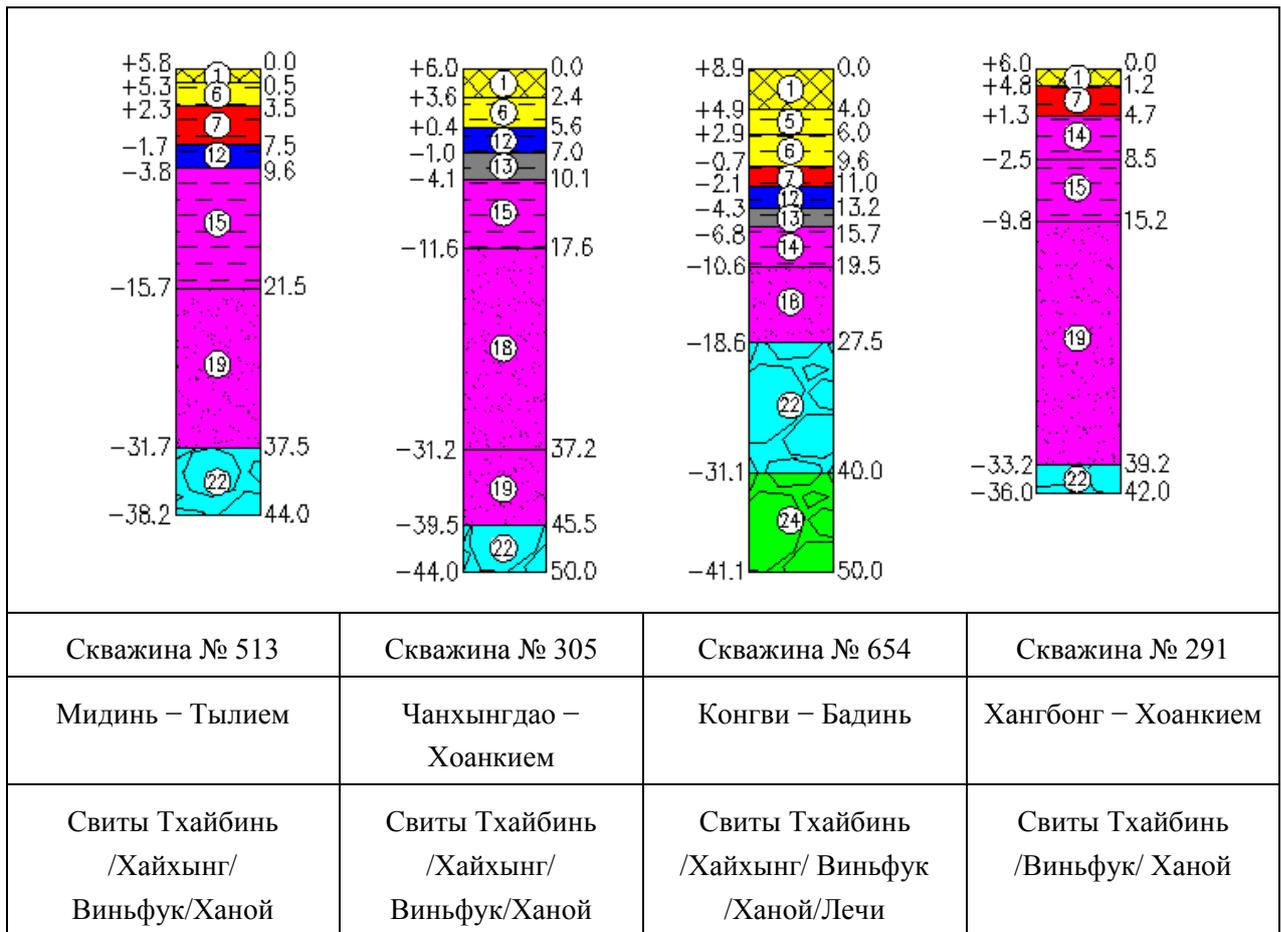


Рисунок 4.15. Стратиграфические характеристики вида I.2.a (Фи Х.Т., 2013)

Вид I.2.b. Мощность слабых грунтов составляет от 5 до 10 м

Данный вид распространен сосредоточенно на довольно больших площадках в

районах Лонгбиен, Тылием, Каузаи, Донгда, Хоанкием, Хайбачынг, Тханьчи, Тханьоаи, Чыонгми, Фусуен, Ынгхоа и рассеянно в виде маленьких площадок в Зукту, Майлам, Лечи района Залам, Лонгсуен района Фуктхо, Танхой района Данфыонг, Таймо, Шонгфонг района Хоаидык, Донгла, Ванкоан района Хадонг, Фунгиа района Куокоай, Тханьлиет района Тханьчи, Хонгван района Тхыонгтин. Стратиграфические характеристики этого вида представлены на рис. 4.16.

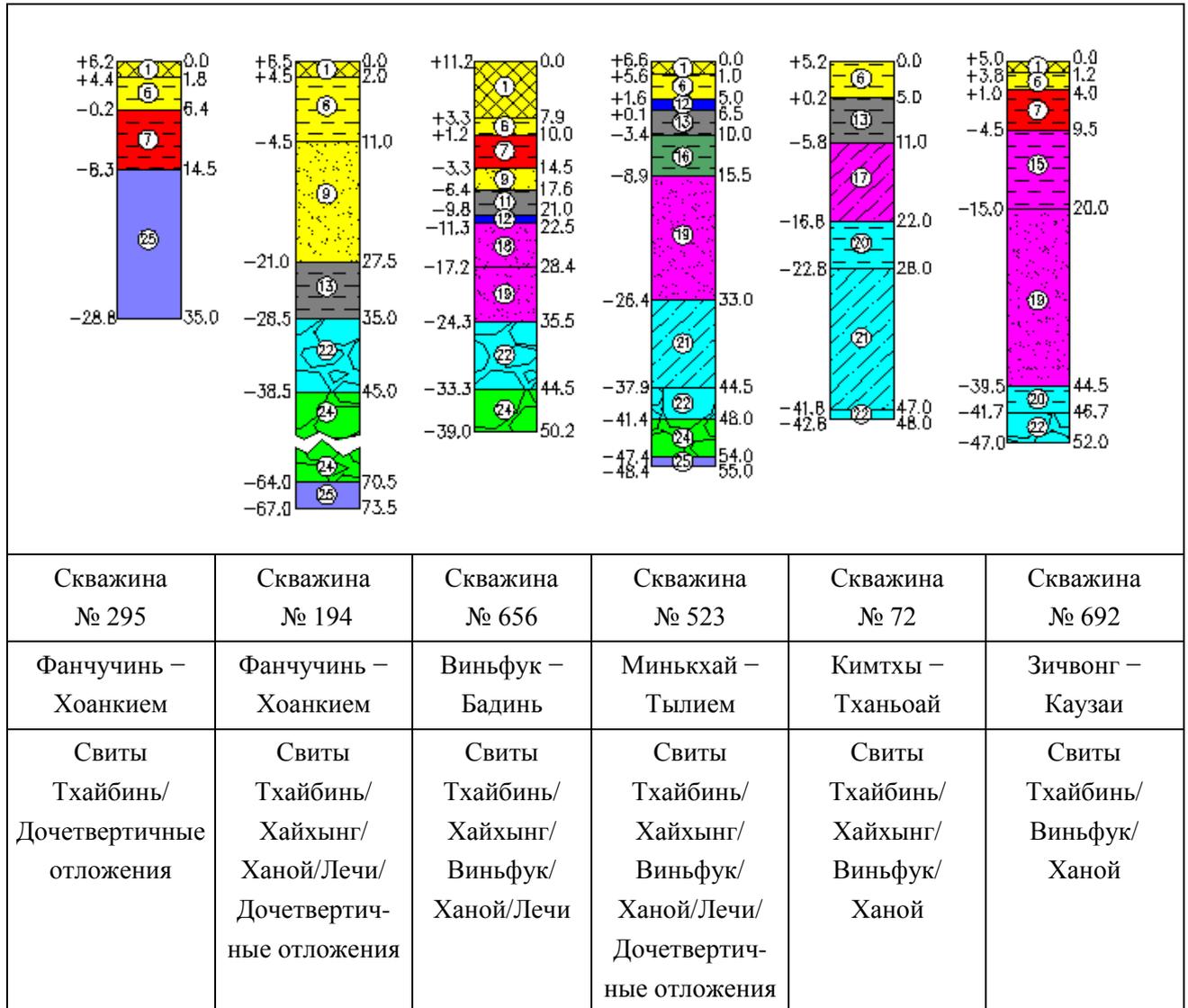


Рисунок 4.16. Стратиграфические характеристики вида I.2.b (Фи Х.Т., 2013)

Вид I.2.c. Мощность слабых грунтов более 10 м

Данный вид распространен сосредоточенно с больших площадок в районах Хоангмай, Тханьчи, Тханьсуан, Хадонг, Хоаидык, Чыонгми и рассеянно в виде маленьких площадок и узких полос в Фуло района Шокшон, Фусуан района Фуктхо, Кимфу района Тхачтхат, Таймо, Ванкань района Хоаидык, Фунг района Данфыонг,

Шаишон, местечне Куокоай района Куокоай, Минькхаи района Тылием, Зичвонг, Иенхоа района Каузаи, Лангтхыонг, Очозыа, Чунглиет, Кимлиен района Донгда, Хангчонг, Чангтиен района Хоанкием, Бачкхоа, Фамдингхо, Фохие, Донгнань, Донгмак района Хаибачынг, Тхыонгдинь района Тханьсуан, Ванфук, Лакхе района Хадонг, Шаидонг, Фуклой, Коби, Донгзы района Лонгбиен, Нгухиеп, Нгокхой Тханьчи, Тынхиен района Тхыонгтин, Вандиём, Ванньан, Минькыонг района Фусуен и в виде узких полос вдоль рек районов Фусуен, Ынгхоа и Мидык.

Стратиграфические характеристики этого вида представлены на рис. 4.17

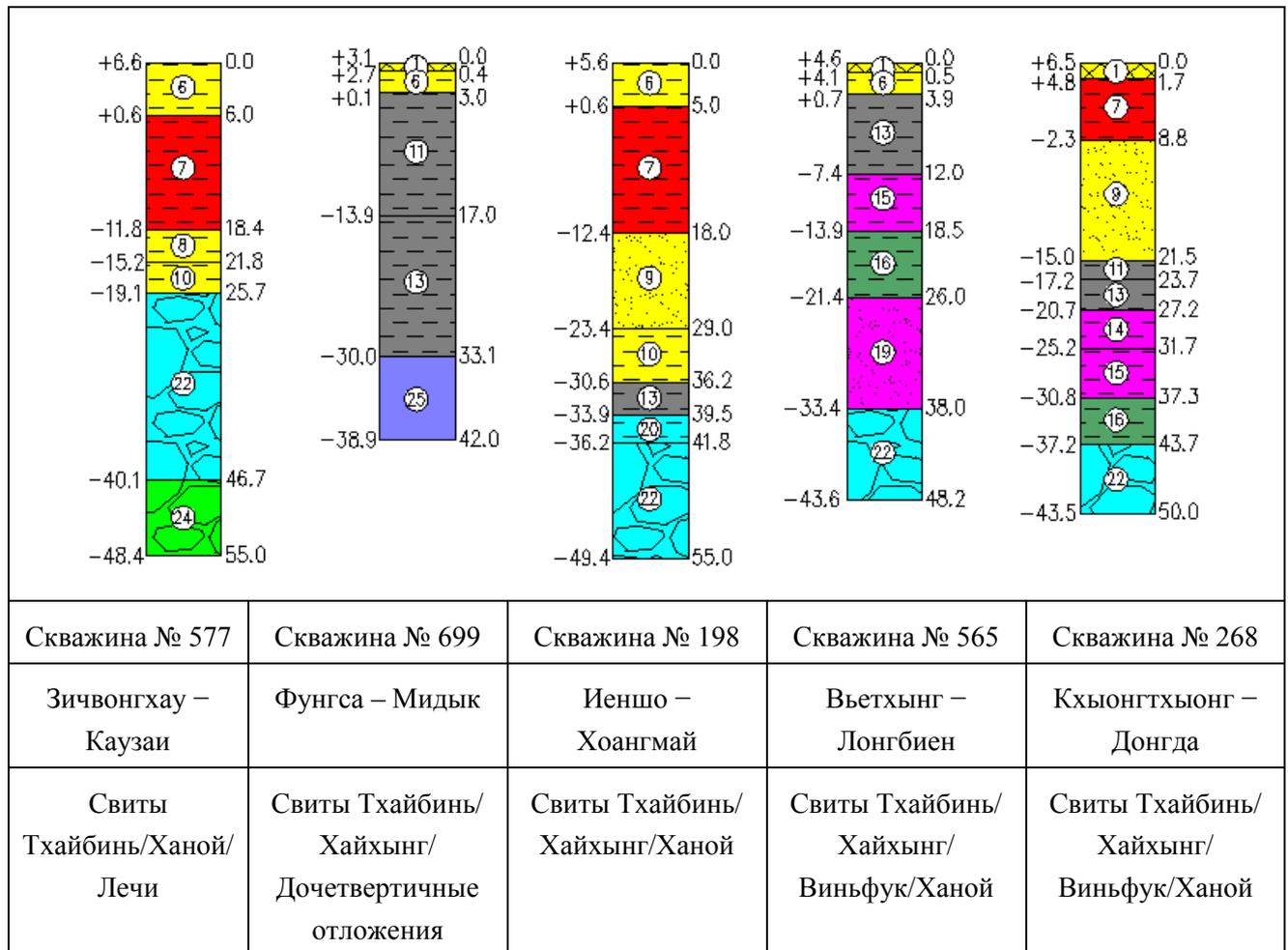


Рисунок 4.17. Стратиграфические характеристики вида I.2.c (Фи Х.Т., 2013)

Класс II: распространение свиты Хайхынг на земной поверхности

Данный класс составляет около 18% от площади Ханоя. Он распространен сосредоточенно на большой площади в районах южной части, как Чыонгми, Тханьоай, Тхыонгтин, Фусуен, Ынгхоа, Мидык, и распространяет с маленькой площадью в Кимлу, Донгсуен района Шокшон. В данном классе выделяются два типа на основе наличия / отсутствия слабых грунтов.

Тип II.1. В разрезе отсутствуют слабые грунты

Данный тип занимает небольшую площадь грунтовых толщ класса II. Он распространен в нескольких микрорайонах Тхьонгвык, Фуктам, Митхань, Тхьонтам района Чьонгми, Лиенбат района Ынгхоа, Чичунг, Футук района Фусуен. Стратиграфические характеристики этого типа представлены на рис. 4.18.

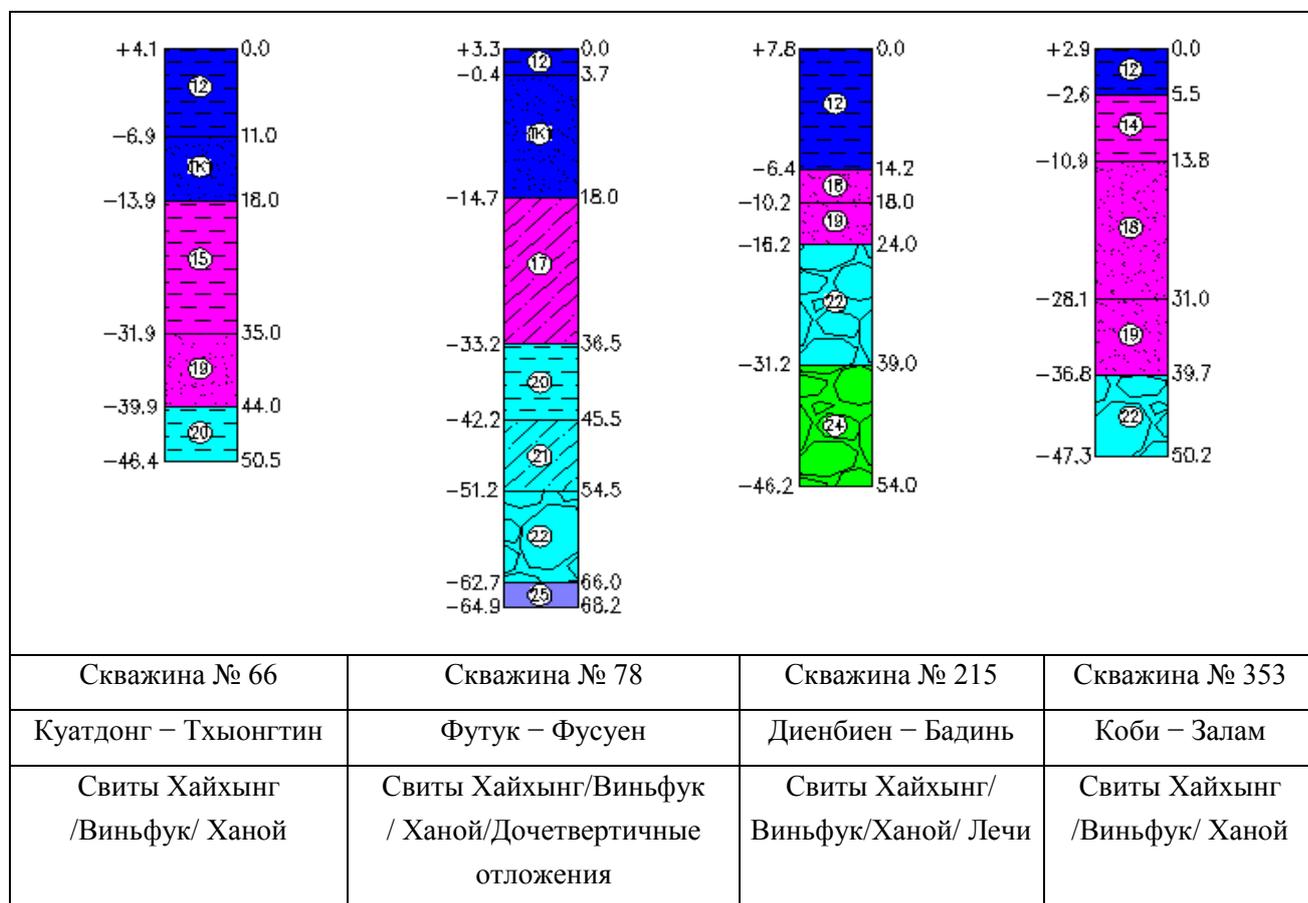


Рисунок 4.18. Стратиграфические характеристики типа II.1 (Фи Х.Т., 2013)

Тип II.2. В разрезе присутствуют слабые грунты

Данный тип занимает большую часть площади грунтовых толщ класса II. Он распространен сосредоточенно в виде больших площадок в южной части города и рассеянно в виде маленьких площадок в Донгсуан, Кимлу района Шокшон. В данном типе выделяется три вида по мощности слабых грунтов.

Вид II.2.а. Мощность слабых грунтов менее 5 м

Данный вид распространен в виде маленьких площадок в Хоптиен района Мидык, Кимлу района Шокшон. Стратиграфические характеристики этого вида представлены на рис. 4.19.

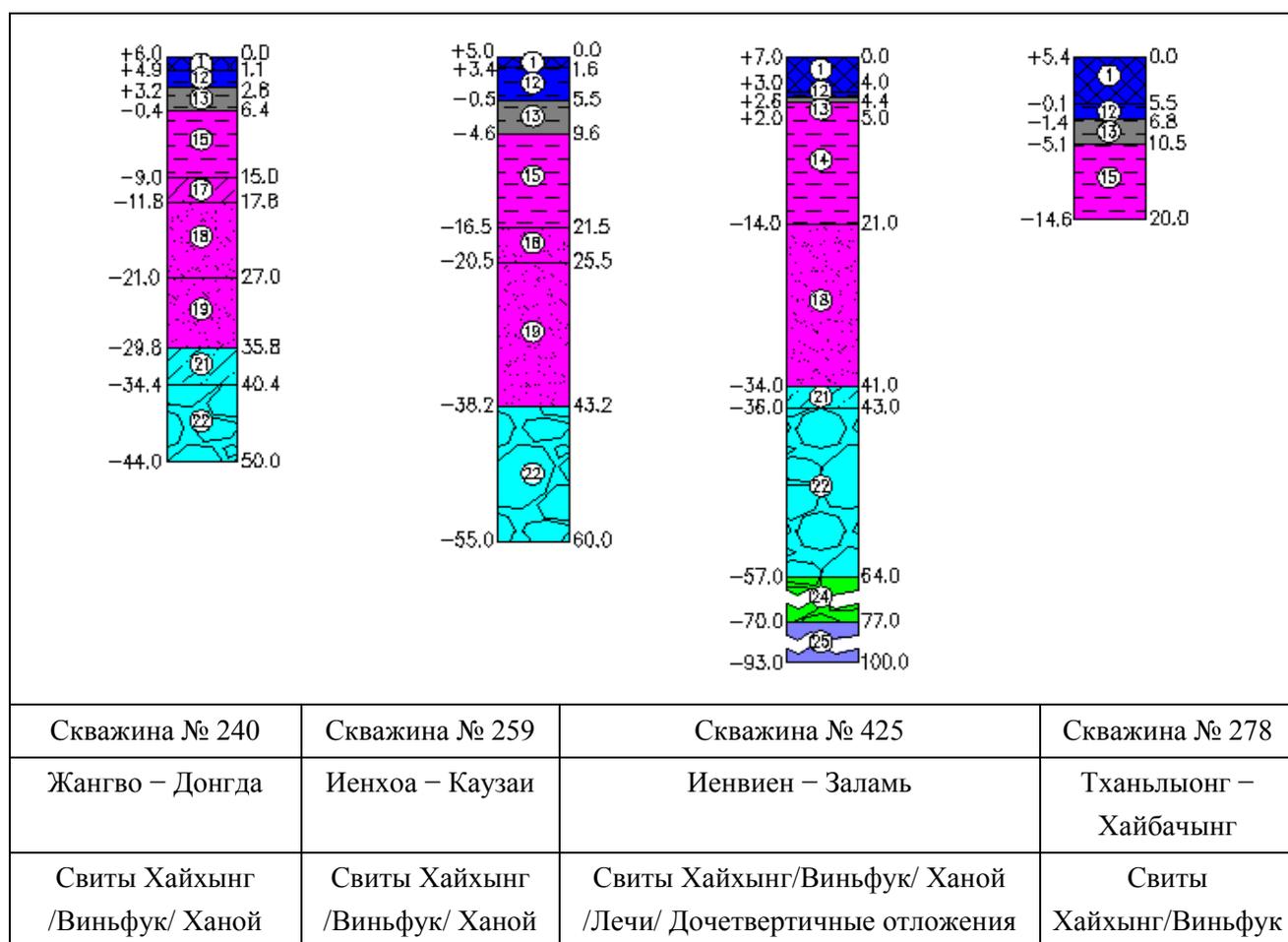


Рисунок 4.19. Стратиграфические характеристики вида II.2.a (Фи Х.Т., 2013)

Вид II.2.b. Мощность слабых грунтов от 5 до 10 м

Данный вид распространяет сосредоточенно в виде больших площадок в Бичхоа, Биньминь, Тханьван, Таныок района Тханьоай, Нгуенчай, Зунгтиен, Тханглой, Гачотиа района Тхыонгтин, Каозыонг, Хоашон района Чыонгми, Вандинь, Чырингтхинь, Донгтиен района Ынгхоа, Хоптиен, Хоптхань, Даихынг, Ванким, Доктин района Мидык, и в виде маленьких площадок в Кимлу, Донгсуан района Донгань. Стратиграфические характеристики этого вида представлены на рис. 4.20.

Вид II.2.c. Мощность слабых грунтов более 10 м

Вид распространен сосредоточенно в виде больших площадок в южной части города, как Тханьоай, Фусуен, Юнгхоа и занимает часть площади районов Тхыонгтин и Мидык. Стратиграфические характеристики вида представлены на рис. 4.21.

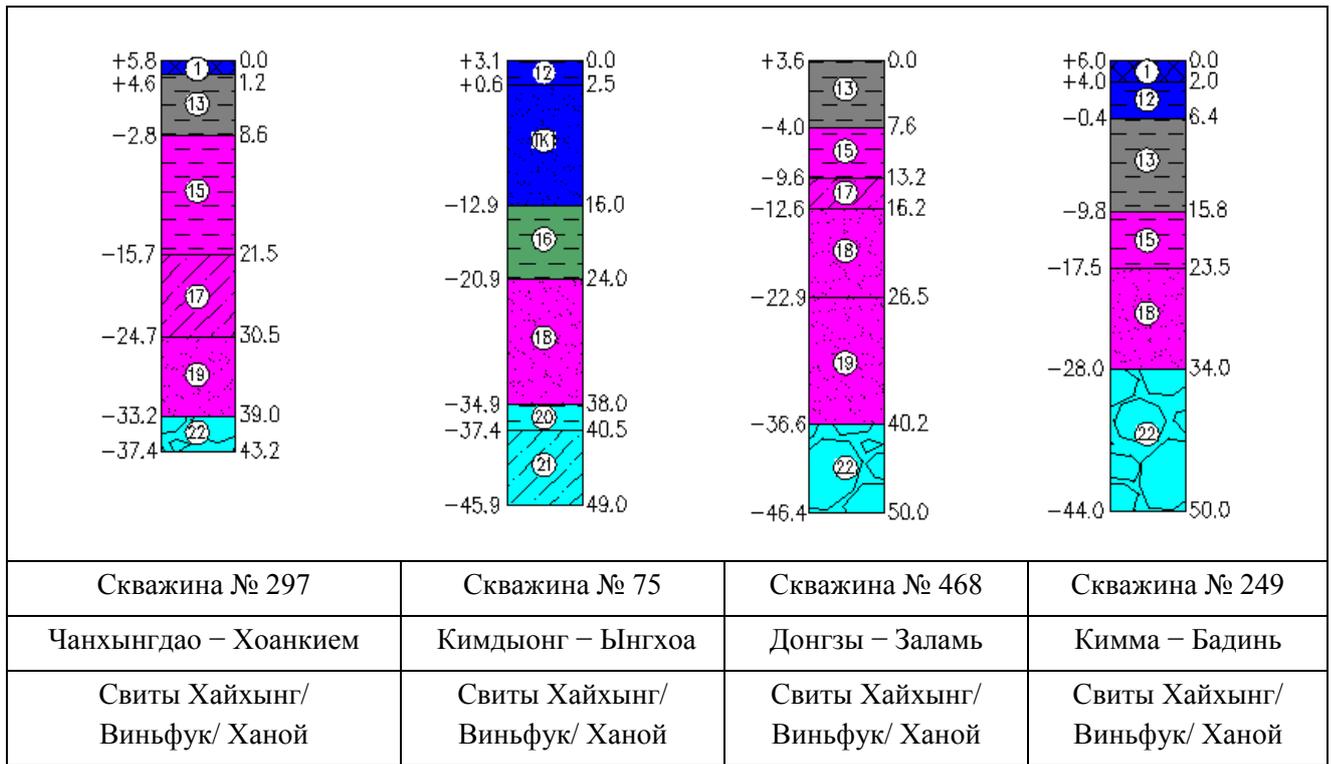


Рисунок 4.20. Стратиграфические характеристики вида II.2.b (Фи Х.Т., 2013)

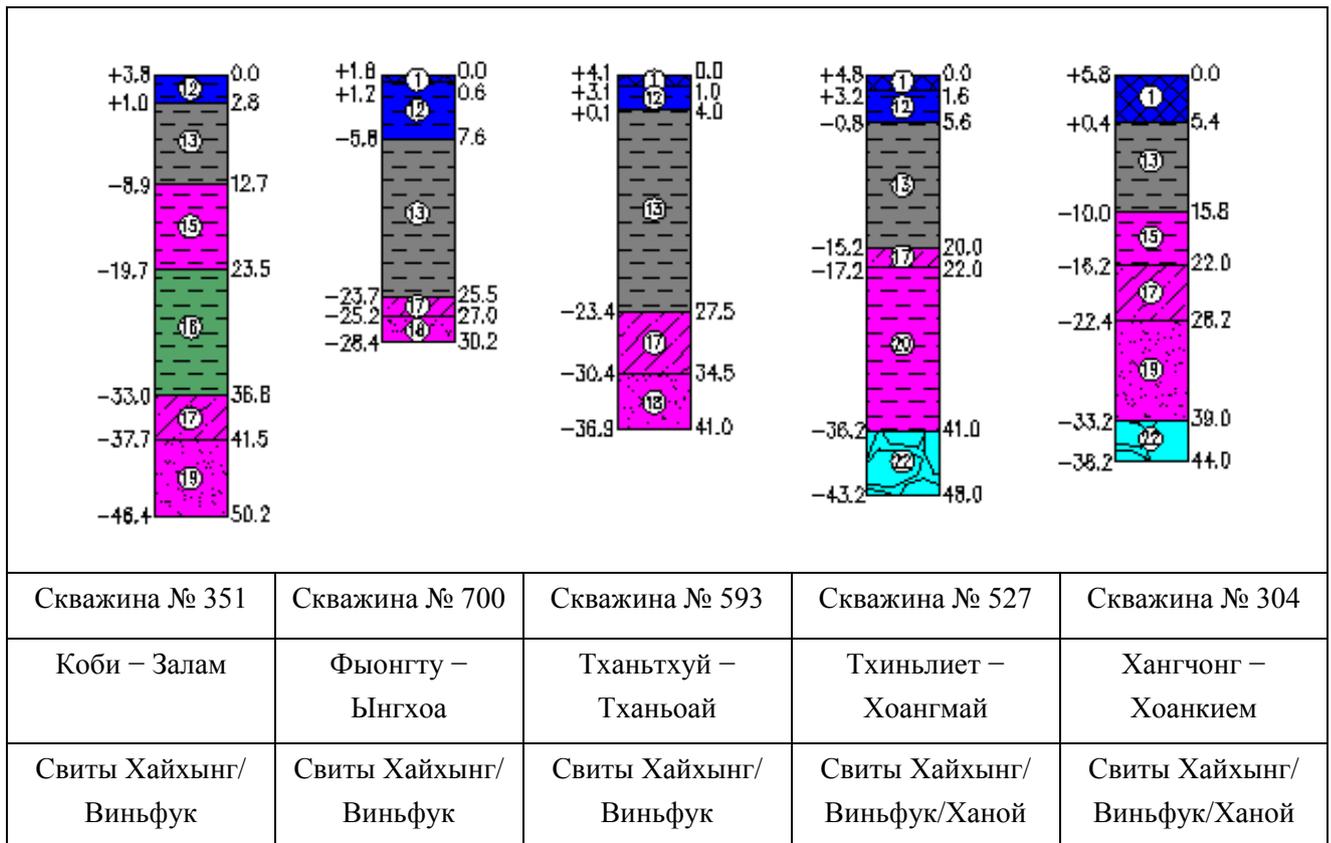


Рисунок 4.21. Стратиграфические характеристики вида II.2.c (Фи Х.Т., 2013)

Класс III: распространение свиты Виньфук/Ханой на поверхности

Данный класс занимает около 18% площади Ханоя. Он распространен сосредоточенно на большой площади в северной и западной частях города, где рельеф довольно высокий, таких как в районах Шокшон, Донгань, Мелинь, Куокоай, Чыонгми и занимает часть площади районов Бави, Шонтай, Тхачтхат, Фуктхо, Тылием, Лонгбиен, Залам, Хоаидык, Данфыонг, Каузаи, Бадинь, Хадонг. В данном классе выделяются два типа на основе наличия / отсутствия слабых грунтов.

Тип III.1. В разрезе отсутствуют слабые грунты.

Данный тип занимает около 90% общей площади класса III. Он распространен во всех вышеупомянутых районах. Стратиграфические характеристики этого типа представлены на рис.4.22.

Тип III.2. В разрезе присутствуют слабые грунты.

Данный тип занимает около 10% от общей площади грунтовых толщ класса III. Он распространен рассеянно в виде маленьких площадок в районах Шокшон, Донгань, Мелинь, Лонгбиен, Данфыонг, Тылием, Хоаидык, Чыонгми. В данном типе выделяется три вида по мощности слабых грунтов.

Вид III.2.а. Мощность слабых грунтов менее 5 м

Данный вид распространен рассеянно в виде маленьких площадок в нескольких микрорайонах районов Шокшон, Донгань, Лонгбиен. Стратиграфические характеристики этого вида представлены на рис. 4.23.

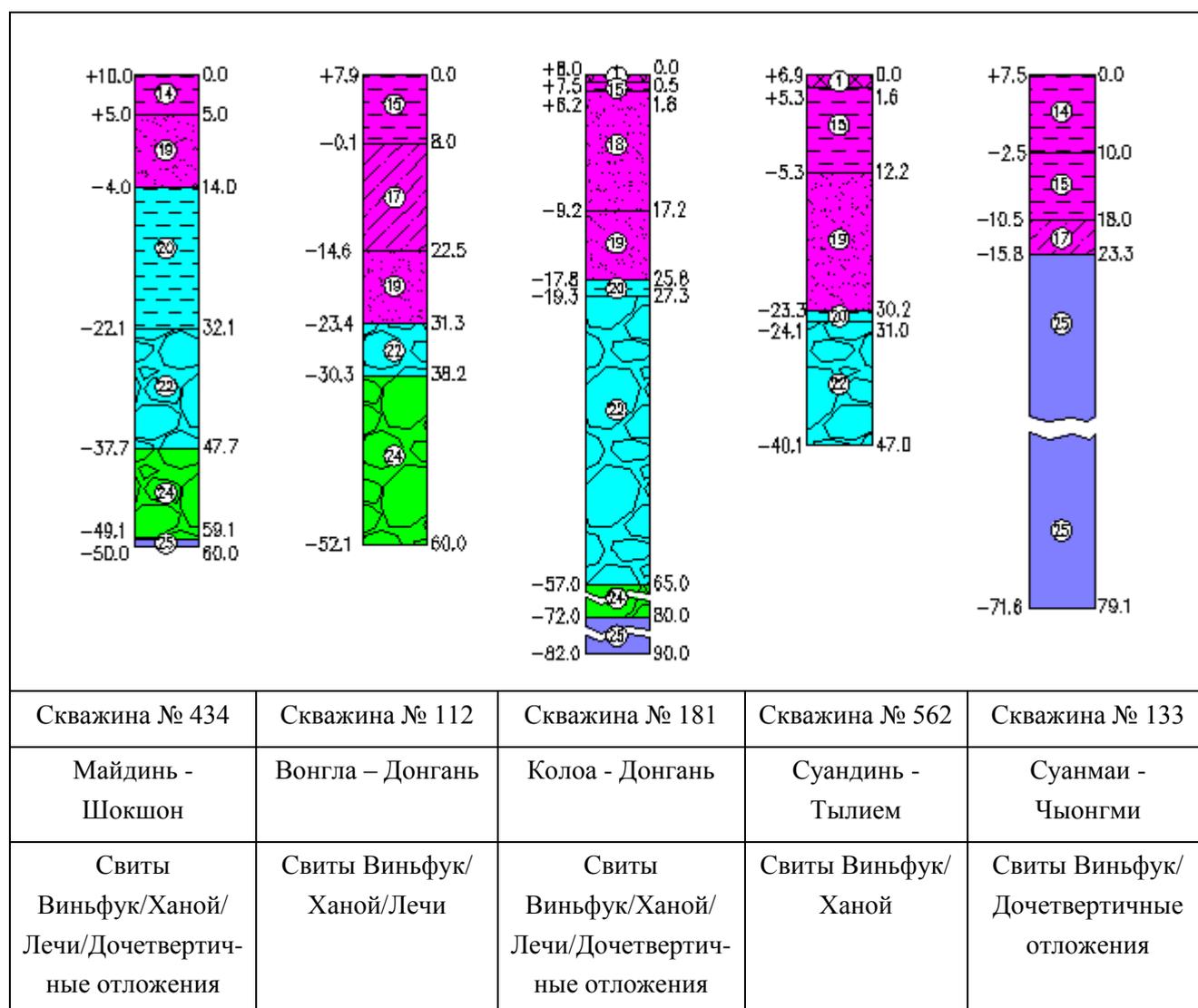


Рисунок 4.22. Стратиграфические характеристики типа III.1 (Фи Х.Т., 2013)

Вид III.2.b. Мощность слабых грунтов от 5 до 10 м

Данный вид распространен рассеянно в виде маленьких площадок в Фукыонг района Шокшон, Чидонг, Намхонг, Ванной, Тиензыонг района Донгань, Тхыонгтхань района Лонгбиен, Танхой района Данфыонг, Каузиен района Тылием, Хыуван района Чыонгми. Стратиграфические характеристики этого вида представлены на рис. 4.24.

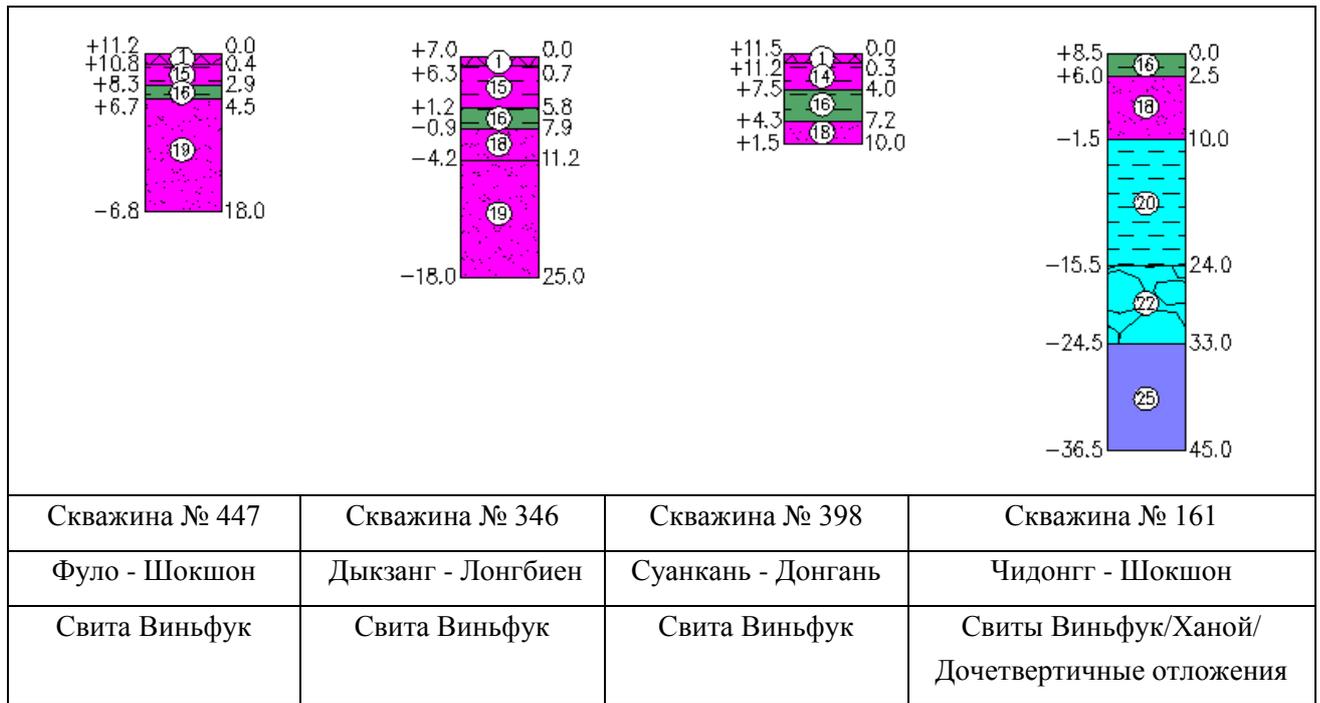


Рисунок 4.23. Стратиграфические характеристики вида III.2.a (Фи Х.Т., 2013)

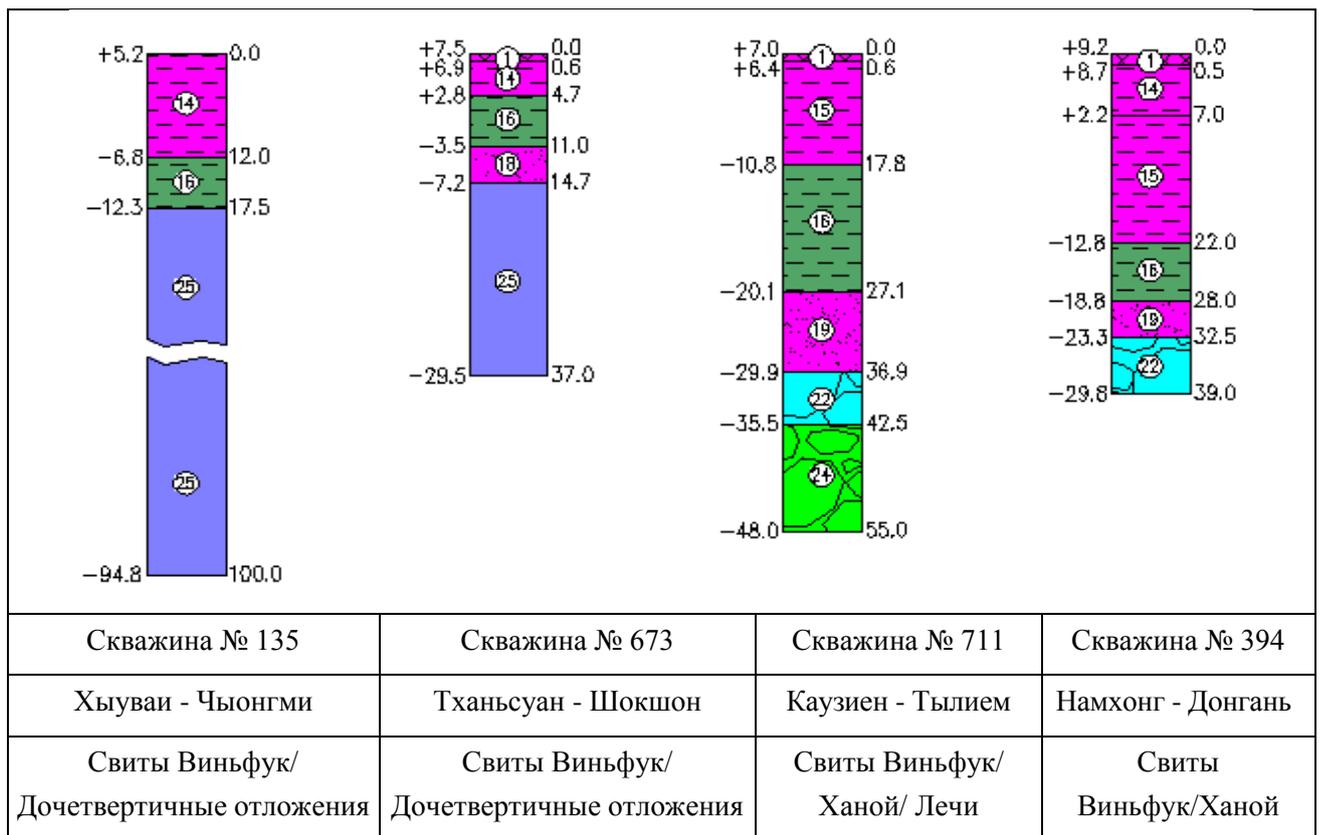


Рисунок 4.24. Стратиграфические характеристики вида III.2.b (Фи Х.Т., 2013)

Вид III.2.с. Мощность слабых грунтов более 10 м.

Данный вид распространен в виде небольших площадок в Нгуенхе, Ванной, Тиензыонг, Вьетхунг района Донгань, Даитхинь района Мелинь, Лаиен района Хоаидык. Стратиграфические характеристики этого вида представлены на рис. 4.25.

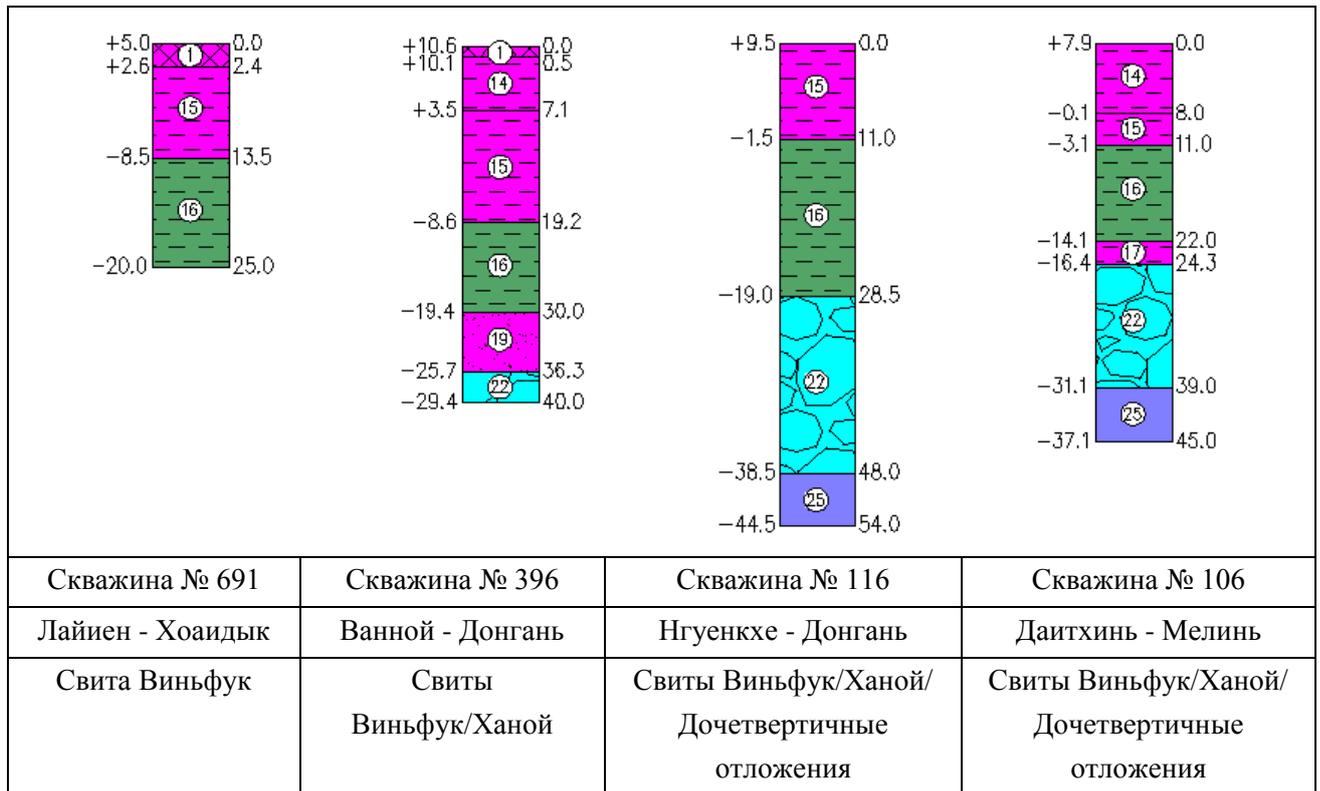


Рисунок 4.25. Стратиграфические характеристики вида III.2.c (Фи Х.Т., 2013)

Класс IV: распространение дочетвертичных отложений на земной поверхности.

Данный класс составляет около 24% площади Ханоя. Он распространен сосредоточенно на большой площади в северной и северо-западной частях города, в районах где рельеф имеет холмистый, горный вид, таких как Шокшон, Бави, Шонтаи, Тхачтхат, Фуктхо. Он также распространен в виде узкой полосы в западной и юго-западной частях города, простирающейся от Куокоай, Чыонгми до Мидык, а также распространен рассеянно в виде маленьких холмов и бугров в районах Куокоай, Хоаидык, Чыонгми, Тхачтхат, Фуктхо, Мелинь, Шокшон и Донгань. Грунтовая толща сложена коренными породами или выветрелыми коренными породами. В данном классе не существуют слабые грунты.

4.4. Выводы

1. В верхней части разреза четвертичных отложений территории г. Ханоя существует пять слоев слабых песчано-глинистых грунтов. Они широко распространены в центральном и южном районах города. В том числе толща слабых грунтов свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$) имеет большую мощность от 0,5 – 43,0 м, глубину залегания от 0,3 – 37,5 м, широкое распространение и высокую сжимаемость ($E_{0(1-2)}=1,6$ МПа), что определяет высокую степень сложности инженерно-

геологических условий рассматриваемой территории.

2. В связи с исследованием оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод, грунтовые толщи территории г. Ханоя типизированы на 4 класса, 6 типов и 9 видов. Результаты типизации грунтовых толщ изучаемой территории показали, что типы слабых грунтов широко распространены в центральной части и южных районах города. Распространение типов грунтовых толщ I.2.b, I.2.c, II.2.b и II.2.c с наличием слабых грунтов мощностью больше 5 м предопределяет значительную величину оседания земной поверхности при большем водопонижении и необходимость особого внимания к ним при исследовании осадок.

ГЛАВА 5. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

5.1. Гидрогеологические условия

Город Ханой расположен во впадине Красной реки, которая исторически является местом наиболее плотного проживания основной части населения Северного Вьетнама (более 10 млн. человек). Здесь традиционно широко развито интенсивное земледелие; сконцентрированы основные промышленные производства. Современное развитие промышленного и сельскохозяйственного производства, расширение городских поселений и повышение уровня их благоустройства выводят на первый план проблему развития новых, а также модернизации имеющихся систем водоснабжения. При этом проявляется тенденция резкого повышения доли подземных вод в централизованном водоснабжении, главным образом, по санитарно-гигиеническим требованиям в условиях жаркого и дождливого климата, высокой плотности населения.

Анализ результатов исследований и данных гидрогеологической карты г. Ханоя масштаба 1:50 000, составленной в 2011 г. Н.К. Тоан, и карты подземных водных ресурсов г. Ханоя масштаба 1:100 000, составленной в 2010 г. Конфедерацией планирования и исследования водных ресурсов Северного региона, в гидрогеологическом отношении на территории г. Ханоя выделяют водоносные горизонты в порых, водоносные горизонты в трещинах и водонепроницаемые отложения [82, 139].

С точки зрения пространственного распределения подземных вод и одновременно их взаимоотношения с горными породами на территории г. Ханоя выделяют 4 гидрогеологических формации (структуры): рыхлую, эффузивную, карбонатную и метаморфическую. Рыхлая формация содержит водоносные горизонты в порых, имеет наибольшее значение, затем карбонатная, наименьшее значение имеют эффузивная и метаморфическая формации, расположенные в виде узких полос в районах Чьонгми и Бави.

5.1.1. Водоносные комплексы в пористых коллекторах

На территории г. Ханоя выделяют 2 водоносных комплекса в порях: голоценовый и плейстоценовый.

Голоценовый водоносный комплекс (Qh) залегает первым от земной поверхности, сложен отложениями различного генезиса свит Тхайбинь (aIV^3tb) и Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh$) вдоль реки Красной и реки Дуонг, на юге города. На севере города, этот водоносный комплекс расположен только в виде узких полос вдоль реки Кау и реки Кало с небольшой мощностью.

По литологическому составу в комплексе выделяют 2 части:

- Верхняя часть состоит из суглинков свиты Хайхынг и верхней части свиты Тхайбинь. Мощность это колеблется от 0,5 м до 11,0 м. Водоносные отложения имеют слабую водопроницаемость от 0,0036 до 0,065, в среднем 0,023 м/сутки.

- Нижняя часть состоит из супесей, мелких – среднезернистых песков, в некоторых местах с гравием. Средняя мощность этой нижней части м на севере реки Красной и реки Дуонг 9,2 м; в районе Залам – 10,1 м; на юге реки Красной – 13,3 м. Она содержит много воды.

Коэффициент водопроницаемости (кН) голоценового водоносного комплекса изменяется от 20 до 790 м²/сутки, чаще 200 до 400 м²/сутки, особенно 1000 м²/сутки в некоторых местах. Коэффициент водоотдачи (μ) колеблется от 0,01 до 0,17, чаще 0,08 до 0,10. Положение статического уровня зависит от интенсивности атмосферных осадков и уровня воды в р. Красной и изменяется в пределах 1 до 5 м в течение года; в южной части реки Красной уровень подземных вод глубже из-за добычи подземных вод из плейстоценовых отложений. Это безнапорный или слабо напорный водоносный комплекс. Дебит (q) скважин невелик до 4,5 л/сек. В целом, этот водоносный комплекс имеет низкое и среднее водосодержание.

Питание этого водоносного комплекса осуществляется за счет дождевых и оросительных вод. Особенно, вдоль рек в сезон дождей речные воды являются основным источником питания этого водоносного комплекса. Но в сухом сезоне, воды из водоносного комплекса поступают в реки, испаряются или служат источником питания для нижних водоносных горизонтов. В районах вдоль рек Красной, Дуонг, Даи, Кау и Кало и в некоторых других местах, вследствие маломощных или отсутствия водонепроницаемых отложений водоносный комплекс

Qh тесно связан с плейстоценовым водоносным комплексом Qp через «гидрогеологические окна», особенно в районе вдоль Красной реки от моста Виньтуй до верховья.

Химический состав воды в водоносном комплексе Qh изменяется сложно. Однако, в целом, воды в водоносном комплексе Qh имеют степень минерализации (М) менее 1 г/л и принадлежит к неминерализованной воде. В некоторых местах южной части города, от рынка Тиа районов Хадонг до района Фусуен, Ынгхоа и Мидык, воды в водоносном комплексе Qh имеют степень минерализации (М) больше 1 г/л. В основном, воды в водоносном комплексе Qh принадлежат к HCO_3 - Ca или HCO_3 -Cl-Na-Ca классу. В целом, воды в водоносном комплексе Qh характеризуются высоким содержанием общего железа и аммония. Содержание общего железа в этом комплексе может достигать 0,4–9,2 мг/л; марганца 0,20–0,57 мг/л, содержание NH_4^+ очень большое в некоторых районах г. Ханоя, например, в районах Тханьчи и Тхьонгтин и др. южной части города, содержание NH_4^+ достигает десятки и даже более 100 мг/л.

Из-за того, что водоносный комплекс Qh расположен близко к земной поверхности, он подвергается прямому воздействию метеорологических факторов, хозяйственной деятельности человека, например, широкое использование удобрений и пестицидов на полях; сброс отходов и сточных вод из городских, промышленных, ремесленных районов; строительные и изыскательские действия; усиление фундаментов сооружений др., сильно изменяют химический состав водоносного комплекса Qh в сторону увеличения загрязняющих веществ в воде.

Этот водоносный комплекс имеет небольшое значение для водоснабжения. Население в сельских районах добывает воду колодцами и маленькими скважинами из водоносного комплекса Qh для жизни и орошения.

Плейстоценовый водоносный комплекс (Qp) имеет широкое распространение на равнине г. Ханоя. Воды содержатся, в основном, в отложениях нижней части свиты Ханой (a, apII-III¹hn) и свиты Лечи (allc). Кровля водоносного комплекса залегает на глубине 2 – 10 м в северной части реки Красной и реки Дуонг; 5 – 22 м в районе Залам и 10 – 35 м в южной части реки Красной.

Плейстоценовый комплекс Qp отделен от голоценового Qh водонепроницаемыми отложениями свиты Виньфук. Вдоль реки Красной, реки

Дуонг, между комплексами встречаются «гидрогеологические окна». Эти «окна» распространены в виде узких полос на окраине равнинной части города, в районах Шокшон, Бави, Тхактхат, Куокоай, Чыонгми и т.д. с очень маленькой мощностью, но способствует пополнению запасов подземных вод. По литологическому составу в комплексе выделяется 2 части:

- Верхняя часть состоит из крупных – среднезернистых песков с гравием, со средней мощностью 10 – 15 м.

- Нижняя часть состоит из гальки и гравия с крупными песками, которые подстилаются супесями. В северной части рек Красной и Дуонг, мощность этой части 12 – 22 м; в районе Залам и южной части реки Красной 30 – 35 м. Между обеими частями в некоторых местах существует тонкие линзы суглинков. На территории г. Ханоя водоносный комплекс Qp залегает на глубине от 22,5 до 54,0 м, в среднем 38,5 м. Глубина залегания подошвы комплекса изменяется от 39,0 до 94,6 м, в среднем 65,5 м. Мощность водоносного комплекса изменяется от 8,0 до 75,0 м, в среднем 27,8 м. Коэффициент водопроницаемости (кН) верхней части плейстоценового водоносного комплекса изменяется от 50 до 300 м²/сутки, и нижней части 260 до 700 м²/сутки, достигая 300 – 1.600 м²/сутки в районе Шокшон; в районе Донгань - 1000 – 1600 м²/сутки.

Плейстоценовый водоносный комплекс напорный. Давление воды достигает в среднем 9,5 м в северной части рек Красной и Дуонг; 20 м в районе Залам и 23 м в южной части реки Красной. Положение статического уровня водоносного комплекса в течение года изменяется от 2 до 4 м. Вдоль рек Красной и Дуонг в сезон дождей положение уровня воды превышает отметку уровня земли до 1,5 м. Коэффициент упругой водоотдачи (μ^*) колеблется от 0,00004 до 0,066, в северной части реки Красной и реки Дуонг - 0,025; в районе Залам - 0,51 и в южной части реки Красной - 0,012.

Водоносный комплекс Qp имеет большую мощность, содержит большое количество воды и относительно однородный. В некоторых испытательных скважинах, в верхней части водоносного комплекса Qp, удельный дебит (q) достигает 0,3 до 5,0 л/см, а в нижней части q выше 11 л/см. В 70% испытательных скважин q достигает выше 3 л/см.

Питание водоносного комплекса происходит за счет речных и дождевых вод в сезоне дождей. В сухом сезоне, воды из водоносного комплекса питают реки, а также нижние водоносные комплексы. В районе Залам, воды в водоносном комплексе формируют непрерывный поток по направлению северо-восток – юго-запад.

Водоносный комплекс Qr тесно связан с поверхностными водами, голоценовым водоносным комплексом Qh и неогенным водоносным горизонтом через «гидрогеологические окна» и в зонах вдоль рек Красной и Дуонг.

В целом, воды в водоносном комплексе Qh имеют степень минерализации (M) менее 1 г/л. В основном, воды принадлежат к $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ и $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ классу. На районах Фусуиен, Ынгхоа и Мидык, воды соленые и воды принадлежат к Cl - Na воде. Содержание общего железа в этом комплексе достигает 0,4 – 47,7 мг/л; марганца 0,03 – 1,15 мг/л; мышьяка 0 – 0,33 мг/л; NH_4^+ 0,1 – 23,8 мг/л; фенола 0,0001 – 0,0106 мг/л. В частности, в районе Тханьчи содержание NH_4^+ очень высокое, более 10 мг/л с площадью около 80 км². Водоносный комплекс Qr содержит большое количество воды, поэтому имеет огромное значение для водоснабжения города.

5.1.2. Водоносные горизонты в трещиноватых коллекторах

Водоносный горизонт в трещинах осадочных отложений свиты Виньбао (N_2yb) расположен на большой глубине, под палеогеновым водоносным комплексом Qr и покрывается все части равнины г. Ханоя. В некоторых микрорайонах г. Ханоя как Линьдам, Диньконг, Фапван, введены в эксплуатацию скважины с дебитом более 10 л/с. В районе Бави этот водоносный горизонт расположен в виде полос между разломами. Он состоит из конгломерата, песчаника, алевролита, аргиллита. Верхняя часть осадочных отложений имеет слабое цементирование. Результаты исследований показывают, что этот водоносный горизонт содержит незначительное количество воды в верхней части. А нижняя часть водоносного горизонта на глубине 200 м в скважине № 809 в районе Тхыонгтин не содержит воды. Результаты оценки водных запасов на территории г. Ханоя по данным буровых скважин в районах Хоангмаи и Залам показывают, что воды обладают хорошим качеством. Воды горизонта – напорные. В естественных условиях колебания уровня подземных вод составляет 0 – 5 м в течение года. Воды неогенного водоносного горизонта имеют тесно гидравлическую связь с палеогеновым водоносным комплексом.

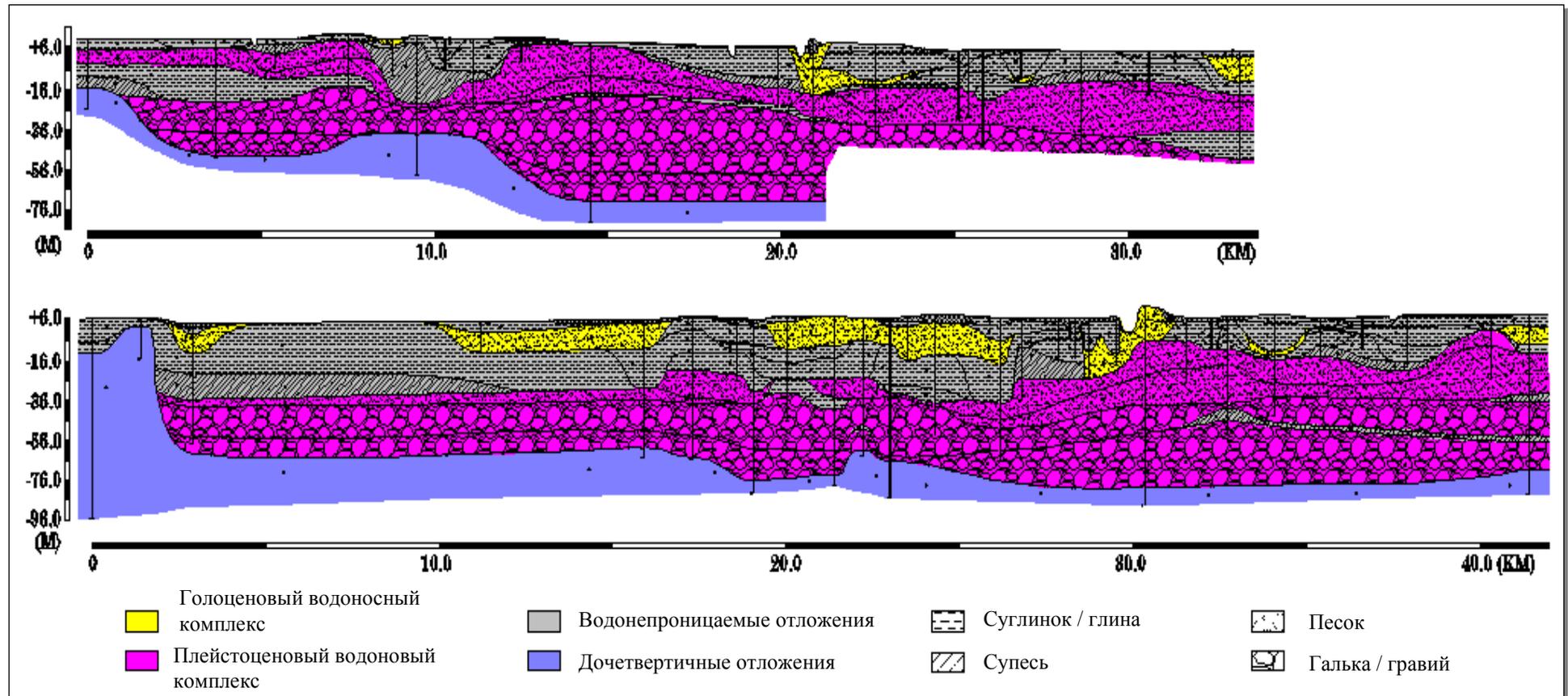


Рисунок 5.1. Гидрогеологические разрезы VIII-VIII' и II-II' (Фи Х.Т., 2013)

Водоносный горизонт в трещинах осадочных отложений свиты Хакой ($J_{1-2}hc$) расположен на северо-западе в микрорайонах Миньфу, Миньхиен, Танзан района Шокшон с площадью около 20 км². Он состоит из песчаника, алевролита и аргиллита. Этот водоносный горизонт плохо изучен, принадлежит к группе с небольшими запасами воды.

Водоносный горизонт в трещинах осадочных отложений свиты Шонгбой ($T_{2-3}sb$) расположен в виде полос в районах Шонтай и Бави, состоит из слоистого песчаника, алевролита, аргиллита, черного сланца, известкового сланца, чередующихся тонких линз известняка. На этот горизонт было пройдено восемь скважин, которые показали, что он принадлежит к группе с небольшими запасами воды.

Водоносный горизонт в трещинах осадочных отложений свиты Намтхам (T_{2nt}) расположен в микрорайоне Лиеншон района Чыонгми с площадью 4 – 5 км². Он состоит из алевролита, чередующегося песчаника, аргиллита и известкового конгломерата. Этот водоносный горизонт слабо изучен, принадлежит к группе с небольшими запасами воды.

Водоносный горизонт в карстовых трещинах отложений свиты Донгжао (T_{2dg}) расположен в виде отдельных массивов в микрорайонах Чобен, пагоды Хыонг, пагоды Тхай, горы Чам и т.д. районов Куокоай и Мидык. Он состоит из толстого слоистого и массивного известняка, чередующегося с тонкослоистым известковым аргиллитом. Породы сильнотрещиноваты. Во многих местах существуют пещеры, иногда с земной поверхности, как в горе пагоды Тхай, в горе Чам и т.д. В карстовых и трещинноватых зонах вдоль разломов горизонт имеет большие запасы. Горизонт слабо изучен. Горизонт имеет гидравлическую связь с водоносными горизонтами четвертичных отложений. Воды в водоносном горизонте принадлежат к неминерализованной воде со степенью минерализации (М) 0,25–0,63 г/л. Для этого водоносного горизонта рН составляет 7 – 8. Воды принадлежат к типу бикарбонатно-кальциевые. Воды имеют хорошее качество, могут быть использованы для питьевого и промышленного водоснабжения, но легко загрязняются. Добыча подземных вод из этого водоносного горизонта часто приводит к провалам земной поверхности.

Водоносный горизонт в трещинах отложений свит Накхуат и Хонланг (T_{2nk}, T_{2kl}) выявляется в северных горах города, в районе Шокшон, и залегает под

четвертичными отложениями в юго-восточном районе Шокшон, формирующий полосу по направлению северо-запада – юго-востока. Он состоит из песчаника, илистого песчаника, алевролита. Он принадлежит к группе с небольшими запасами воды. Только в трещиноватых зонах из-за тектонической активности, он содержит воды со средними запасами. Воды в водоносном горизонте принадлежат к типу бикарбонатно-кальциево-натриевых, с минерализацией (М) менее 0,5 г/л. В некоторых скважинах, воды этого водоносного горизонта имеют хорошее качество и могут быть использованы для питьевого и промышленного водоснабжения.

Водоносный горизонт в трещинах отложений свит Танлак и Виеннам (T_{1otl} , T_{1yn}) распространен довольно широко, в зонах вокруг горы Бави, горы пагоды Чамжан, северной горы Мук и т.д. Он состоит из базальта, порфирированного базальта, андезит-базальта, дацита, порфирированного дацита, конгломерата, песчаника, алевролита и т.д. Этот водоносный горизонт обводнен неравномерно. Проницаемость пород неоднородна. Он принадлежит к группе с малыми запасами воды. Воды в водоносном горизонте принадлежат к типу бикарбонатно-кальциевых с минерализацией (М) 0,18 до 0,21 г/л. Воды этого водоносного горизонта имеют хорошее качество, могут быть использованы для питьевого и промышленного водоснабжения. В некоторых скважинах, он загрязнен бактериями и микробами.

Водоносный горизонт в трещинах нижних кембрийских – неопротерозойских отложений свиты Шонгчаи ($NP-\epsilon 1$) расположен в виде узких полос по направлению северо-запад – юго-восток, в северной части реки Красной, от коммуны Ванлои района Мелинь до коммуны Вонгла района Донгань. Этот водоносный горизонт принадлежит к группе с довольно большими запасами воды.

Водоносный горизонт в трещинах протерозойских метаморфических пород (PR) расположен в виде узких полос по направлению северо-запад – юго-восток, в районе Шонтаи. В некоторых местах он появляется на земной поверхности, особенно на высоких местах. В основном, он состоит из кварцевого сланца, биотического гнейса, метаморфического известняка и амфиболита. Породы водоносного горизонта PR обладают водным запасом и проницаемостью довольно неоднородно. Практика показывает, что сланцы обладают очень маленьким запасом воды и низким коэффициентом проницаемости. А метаморфические известняки и гнейсы обладают большим запасом воды, особенно, карстовые и трещиноватые породы. Воды в

водоносном горизонте принадлежат к неминерализованной воде с минерализацией (М) 0,08 до 0,36 г/л и рН 6,2–8,4, содержанием общего железа 1,20–9,16 мг/л. Воды этого водоносного горизонта имеют хорошее качество и могут быть использованы для питьевого и промышленного водоснабжения. В некоторых скважинах воды загрязнены бактериями и микробами. Некоторые предприятия пробурили скважины для добычи подземных вод из этого водоносного горизонта.

5.1.3. Качество подземных вод

В рамках проекта «Составление базы данных водных ресурсов на территории расширенного города Ханоя – 2-й этап» [139], выполненного Конфедерацией планирования и исследования водных ресурсов Северного региона в 2011 году, было отобрано и проанализировано 200 образцов подземных вод (Рисунок 5.2).

Голоценовый водоносный комплекс (Qh) распространен широко и относительно непрерывно на территории г. Ханоя. Он выходит на поверхность во многих местах, особенно в районах как Тылием, Тханьчи, Хоангмай, Донгань, Залам, Мелинь, Фусуен, Куокоай, Тхыонгтин, Хоаидык, Данфыонг и т.д. На территории г. Ханоя относительно много воды забирается из голоценового водоносного комплекса (Qh) частной формой водозабора подземных вод.

Результаты анализа подземных вод этого комплекса показывает, что содержание аммония 0,0–17,0 мг/л, (среднее 1,21 мг/л); железа: 0,0–23,73 мг/л, (среднее 6,248 мг/л); мышьяка: 0,001–0,808 мг/л, (среднее 0,02 мг/л). Другие характеристики приведены в таблице 5.1. Данные показывают, что качество водоносного комплекса (Qh) относительно хорошее. Почти все показатели воды менее допустимых пределов по Вьетнамскому стандарту QCVN 09:2008/BTNMT. Однако, некоторые показатели такие, как железо, марганец, нитрит, KMnO_4 , цианид, мышьяк, кишечная палочка и колиподобная бактерия в некоторых местах превышают допустимые пределы в районах Ынгхоа, Данфыонг, Мелинь, Фусуен, Тылием, Тханьчи.

Голоценовый водоносный комплекс (Qh) является первым от поверхности, имеет тесную связь с поверхностными водами, поэтому легко загрязняется.

Плейстоценовый водоносный комплекс (Qp) распространен широко и непрерывно на территории г. Ханоя. Выходит на поверхность на окраинах, большей частью перекрыт водонепроницаемыми отложениями голоцена. Это слабонапорный

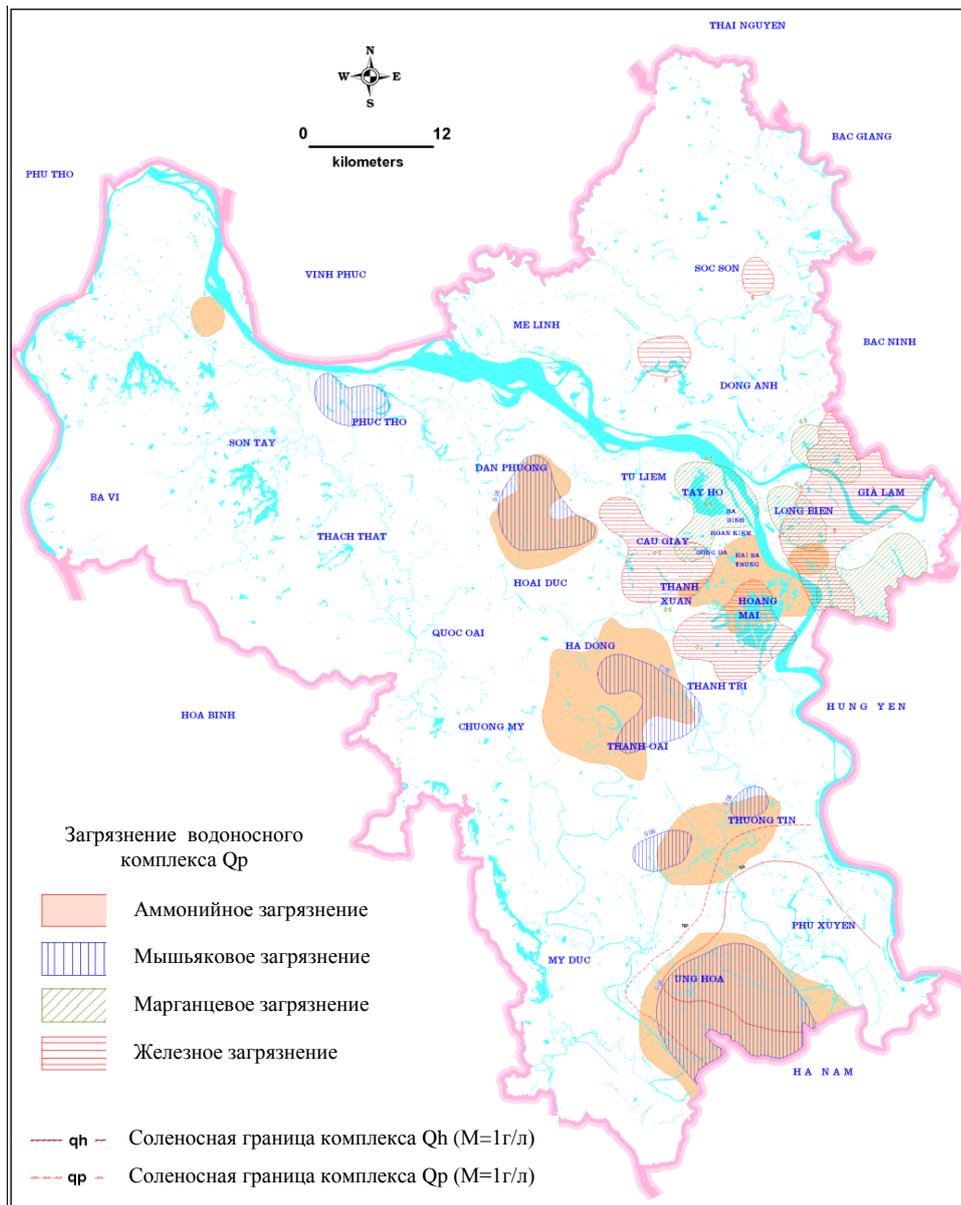


Рисунок 5.2. Схема зонирования загрязнения подземных вод Qp по Вьетнамскому стандарту QCVN 09:2008/BTNMT [139]

водоносный комплекс. Он имеет гидравлическую связь с голоценовым водоносным комплексом (Qh) и рекой Красной через гидрогеологические окна.

На территории г. Ханоя вода забирается из плейстоценового водоносного комплекса общественными и промышленными формами водозабора с большой мощностью.

Результаты анализа подземных вод этого комплекса показывают, что содержание аммония 0,0–32,0 мг/л, (среднее 1,29 мг/л); железа: 0,0003–0,23 мг/л, (среднее 0,008 мг/л); мышьяка: 0,0–0,248 мг/л, (среднее 0,019 мг/л). Содержания других показателей показаны в таблице 5.2.

Оценка качества вод голоценового водоносного комплекса Qh [139]

№	Показатель воды	Единица измерения	Предельное значение	Аналитические результаты мин. – макс. / среднее	Оценка
1	pH	-	5,5 - 8,5	2,6-8,97/ 7,3	97,7% хорошо
2	Твердость (по CaCO ₃)	мг/л	500	12,5-675,0/ 183,28	95,5% хорошо
3	Твердое вещество (Сухой остаток)	мг/л	1500	35,7-1812/ 318,3	98,9% хорошо
4	KMnO ₄	мг/л	4	0,4-20,4/ 5,52	54,1% хорошо
5	Аммоний (по N)	мг/л	0,1	0 – 17,0/ 1,21	87,5% хорошо
6	Хлорид	мг/л	250	5,32-691,28/ 70,39	92,0% хорошо
7	Фторид	мг/л	1	-	-
8	Нитрит (по N)	мг/л	1	0-35,2/ 2,58	61,7% хорошо
9	Нитрат (по N)	мг/л	15	0-400/ 10,03	75,8% хорошо
10	Сульфат	мг/л	400	0-271,37/ 15,26	100% хорошо
11	Цианид	мг/л	0,01	0,002-0,02/ 0,01	47,8% хорошо
12	Фенол	мг/л	0,001	0-0,001/ 0,0002	хорошо
13	Мышьяк	мг/л	0,05	0,001-0,808/ 0,02	93,9% хорошо
14	Кадмий	мг/л	0,005	0,0001-0,0049/ 0,001	100% хорошо
15	Свинец	мг/л	0,01	0,0001-0,012/ 0,0016	99,1% хорошо
16	Хром VI	мг/л	0,05	0,0009-0,0043/ 0,0021	100% хорошо
17	Медь	мг/л	1	0,0002-0,08/ 0,0034	100% хорошо
18	Цинк	мг/л	3	0,008-0,54/ 0,09	100% хорошо
19	Марганец	мг/л	0,5	0,012-2,7/ 0,53	69,2% хорошо
20	Ртуть	мг/л	0,001	<0,001	100% хорошо
21	Железо	мг/л	5	0-23,73/ 6,24	50% хорошо
22	Селен	мг/л	0,01	0-0,03/ 0,0017	95,6% хорошо
23	Общая радиоактивность α	бк/л	0,1	-	-
24	Общая радиоактивность β	бк/л	1	-	-
25	Кишечная палочка	MPN/100мл	КНР	0-5600/ 64	100% плохо
26	Колиподобная бактерия	MPN/100мл	3	0-12000/ 148	100% плохо

Оценка качества подземных вод плейстоценового водоносного комплекса Qp [139]

№	Показатель воды	Единица	Предельное значение	Аналитические результаты мин. – макс. / среднее	Оценка
1	pH	-	5,5 - 8,5	5,28-9,16/ 7,45	97,3% хорошо
2	Твердость (по CaCO ₃)	мг/л	500	10,0-496,25/ 179,3	100% хорошо
3	Твердое вещество (Сухой остаток)	мг/л	1500	1,2-1056/ 282,4	100% хорошо
4	KMnO ₄	мг/л	4	0,4-26,4/ 7,4	26,6% хорошо
5	Аммоний (по N)	мг/л	0,1	0 – 32,0/ 1,29	83,01% хорошо
6	Хлорид	мг/л	250	7,1- 434,26/ 45,7	96,4% хорошо
7	Фторид	мг/л	1	-	-
8	Нитрит (по N)	мг/л	1	0-35,2/ 3,09	47,9% хорошо
9	Нитрат (по N)	мг/л	15	0-72/ 3,48	75,89% хорошо
10	Сульфат	мг/л	400	0-145,9/ 8,1	100% хорошо
11	Цианид	мг/л	0,01	0,002-0,032/ 0,007	33,9% хорошо
12	Фенол	мг/л	0,001	0-0,0009/ 0,0002	100% хорошо
13	Мышьяк	мг/л	0,05	0,001-0,248/ 0,019	91,09% хорошо
14	Кадмий	мг/л	0,005	0-0,02/ 0,001	98% хорошо
15	Свинец	мг/л	0,01	0-0,036/ 0,001	99% хорошо
16	Хром VI	мг/л	0,05	0,001-0,007/ 0,002	100% хорошо
17	Медь	мг/л	1	0-0,06/ 0,003	100% хорошо
18	Цинк	мг/л	3	0,008-4,4/ 0,15	98,5 хорошо
19	Марганец	мг/л	0,5	0 -0,002/ 0,0004	100% хорошо
20	Ртуть	мг/л	0,001	0- 0.002/ 0,0002	100% хорошо
21	Железо	мг/л	5	0-0.023/ 0,009	100% хорошо
22	Селен	мг/л	0,01	0-0,23/ 0,004	92,5% хорошо
23	Общая радиоактивность α	бк/л	0,1	-	-
24	Общая радиоактивность β	бк/л	1	-	-
25	Кишечная палочка	MPN/100мл	КНР	0-5/ 1	100% плохо
26	Колиподобная бактерия	MPN/100мл	3	0-290/ 14	100% плохо

Таблица 5.2 показывает, что качество водоносного комплекса (Qp) хорошее. Почти все показатели воды ниже допустимых пределов по Вьетнамскому стандарту QCVN 09:2008/BTNMT. Однако, некоторые показатели такие, как KMnO₄, нитрит, нитрат, аммоний, мышьяк в некоторых местах превышают допустимые пределы.

На территории г. Ханоя плейстоценовый водоносный комплекс (Qp) начал загрязняться.

- В районах Данфыонг, Хадонг, Тханьоай, Тхыонгтин и Ынгхоа содержания мышьяка и аммония превышают допустимые пределы;

- В районах Каузаи, Хоангмаи и юге города содержания железа и аммония превышают допустимые пределы;

- В районе Залам содержания железа и марганца превышают допустимые пределы.

Плейстоценовый водоносный комплекс (Qp) является главным водозаборным комплексом с большим резервом на территории г. Ханоя. Но этот водоносный комплекс начал загрязняться дождевой и поверхностной водами.

Водоносный комплекс неогеновых отложений (N). Большая часть воды имеет общую минерализацию менее 1 г/л. Они принадлежат к пресной и суперпресной воде. Результаты исследования и оценки качества подземных вод показывают, что качество воды водоносного комплекса неогеновых отложений на территории г. Ханоя хорошее по многим аспектам: по макроэлементам, микроэлементам, палочкам и бактериям. Вода этого водоносного комплекса может быть использована для розлива.

5.1.4. Водонепроницаемые отложения

Ранне-среднеголоценовые водонепроницаемые отложения свиты Хайхынг (IV¹⁻²hh) широко распространены на территории г. Ханоя, особенно в районе Залам, в южной и юго-западной части реки Красной. Мощность и состав отложений значительно изменяются по простиранию. Эти водонепроницаемые отложения морского – озерного – болотного генезиса состоят из глин, суглинков, илистых глин с органическими остатками, торфов, зеленовато-серых, коричнево-серых, темно-серых. Мощность отложений изменяется в широких пределах от 1,0 м до 24,0 м и даже до 31,5 м (в скважине LK48). Экспериментальные результаты показывают, что коэффициент проницаемости отложений очень маленький, от 0,005 до 0,030 м/сутки и принадлежит к слабым водопроницаемыми или водонепроницаемыми материалам. Эти водонепроницаемые отложения играют важную роль в защите нижерасположенного водоносного комплекса от загрязнения.

Позднеплейстоценовые водонепроницаемые отложения свиты Виньфук (III²vp)

широко распространены и довольно непрерывно. Они появляются на земной поверхности в северной части реки Красной и реки Дуонг и в окраинах северной и Северо-западной части города, как районах Донгань, Шокшон, Чыонгми, Тылием. Остальные части отложений покрыты полностью. Отсутствуют в зонах вдоль рек Красной, Дуонг, Кало, Кау и т.д. В этих зонах, эти водонепроницаемые отложения были размывы речными водами, приведшие к появлению гидрогеологических окон между Qh и Qp водоносными комплексами. Мощность отложений изменяется в широких пределах от 3,0 м до 37,3 м (в скважине LKLY); 20,0 м в районах Шокшон и Донгань; 10 м в районах Залам и Чыонгми. Водонепроницаемые отложения имеют озерно-болотный, аллювиально-морской и аллювиальный генезис. Они состоят из глин, суглинков разноцветных, в некоторых местах темно-серых суглинков с органическими остатками, торфов, с линзами супесей. Эти водонепроницаемые отложения являются границей между голоценовым и плейстоценовым водоносным комплексом. Экспериментальные результаты показывают, что коэффициент проницаемости отложений очень маленький, от 0,004 до 0,065 м/сутки, принадлежит к водонепроницаемым материалам.

Водонепроницаемые отложения свиты Иензуэт (P₃ud) расположены и выявляются на западе горы Виеннам, в микрорайоне Донгванг и горе Ниньшон района Чыонгми. Они состоят из сланца, глинистого сланца с углями и угольным аргиллитом. Мощность отложений изменяется от 200 до 300 м.

Водонепроницаемые отложения свиты Тамлунг (J₃-K₁tl) расположены в виде узких полос по направлению северо-запад – юго-восток, в западном районе Шокшон. Они состоят из эффузивного порфирового риолита. Мощность отложений составляет 100 м.

5.1.5. Динамические характеристики подземных вод г. Ханоя

5.1.5.1. Сеть мониторинга динамических характеристик подземных вод

*** Государственная сеть мониторинга в г. Ханоя**

Эта сеть мониторинга была построена Вьетнамским государством в период 1985 – 1995 гг., включает 30 станций с 52 сооружениями. С 2007 по 2010 гг. сеть была дополнена 16 сооружениями. В настоящее время в городе Ханоя существует 37 станций с 68 сооружениями мониторинга, которые регулярно и непрерывно

контролируются. Каждая станция включает от 1 до 3 сооружения мониторинга. Распределение сооружений следующее [139]:

- В голоценовом *водоносном комплексе Qh*: 27 сооружений.
- В плейстоценовом *водоносном комплексе Qp*: 33 сооружения.
- В неогенном *водоносном горизонте*: 6 сооружений.
- Мониторинг речной воды: 2 сооружения.

*** Городская сеть мониторинга в г. Ханоя**

Эта сеть мониторинга была построена народным комитетом г. Ханоя в период 1991 – 1994 гг., включает 60 станций с 114 сооружениями. После обновления, восстановления и дополнения в настоящее время в городе Ханоя существует 84 станции с 142 сооружениями мониторинга, которые регулярно и непрерывно контролируются. Каждая станция включает от 1 до 3 сооружений мониторинга. Распределение сооружений следующее [139]:

- В голоценовом *водоносном комплексе Qh*: 57 сооружений.
- В плейстоценовом *водоносном комплексе Qp*: 76 сооружений.
- В неогенном *водоносном горизонте*: 2 сооружений.
- Мониторинг речной воды: 7 сооружений.

5.1.5.2. Динамические характеристики подземных вод

Динамические характеристики подземных вод определяется на базе анализа факторов: формирующих динамику подземных вод, таких как топография, геоморфология, геологическое строение и литологический состав водоносных горизонтов, гидрогеологические условия, а также других – влияющих на динамику подземных вод – метеорологии, гидрологии, деятельности человека и т.д.

Различные зоны имеют различные динамические характеристики подземных вод. На территории г. Ханоя исследована только динамика подземных вод четвертичных отложений. На базе синтеза и анализа факторов, формирующих и влияющих на динамику подземных вод, территория г. Ханоя подразделяется на три зоны динамики подземных вод следующим образом:

- Зона естественной динамики подземных вод, расположена в северной части реки Красной и реки Дуонг.
- Зона слабо нарушенной динамики подземных вод, расположена в районе Залам.

- Зона нарушенной динамики подземных вод, расположена в южной части реки Красной.

Динамические характеристики подземных вод каждой зоны показаны ниже:

*** Зона в северной части реки Красной и реки Дуонг**

Зона в северной части реки Красной и реки Дуонг является зоной естественной динамики подземных вод. В этой зоне такие виды деятельности человека, как добыча подземных вод, орошение и водоотведение еще не изменили естественное состояние подземных вод. Эта зона характеризуется наличием слабого напорного водоносного комплекса Qr. Водоносный комплекс Qr расположен в виде узких полос вдоль рек Красной, Дуонг, Кало и Кау. На базе анализа данных мониторинга в течение многих лет, динамика подземных вод имеет следующие характеристики:

- В полосе шириной 4 – 5 км вдоль реки Красной и реки Дуонг: подземные воды имеют тесную гидравлическую связь с речной водой. Гидравлическая связь двоякая: в паводок уровень речной воды выше уровня подземных вод. Речная вода является источником *питания* подземных вод. В сухой сезон подземные воды *из водоносных комплексов Qh и Qr* питают реки. В зонах вблизи рек, уровень подземных вод колеблется в одной фазе с уровнем речной воды, но амплитуда колебания меньше и уменьшается по направлению от берега реки на расстоянии от 5 – 7 м до 2 – 3 м.

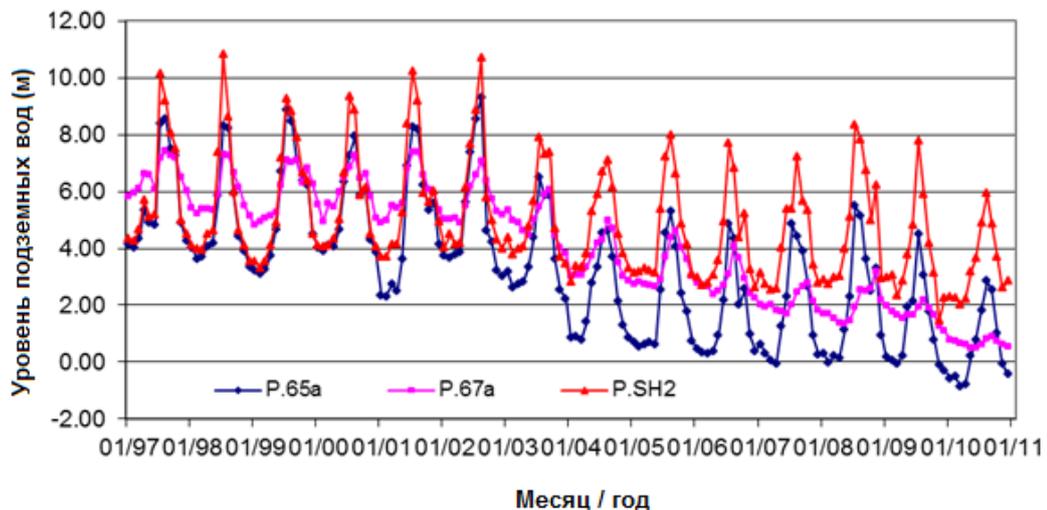


Рисунок 5.3. Амплитуды колебания уровней подземных вод в наблюдательных скважинах P65a, P67a и уровня реки Красной PSH2 [139]

Рисунок 5.3 показывает, что с 1997 г. по 2010 г., уровень подземных вод в этой зоне снижался в среднем на 4 м.

- *Зона между реками Красной, Дуонг, Кало:* на уровень подземных вод сильно влияют метеорологические факторы. Уровень подземных вод колеблется в одной фазе с дождевым режимом. Самый высокий уровень подземных вод в июле и августе - в середине сезона дождей; самый низкий в декабре и январе – в середине сухого сезона. Амплитуда колебания подземных вод достигала от 1 до 2 м. С 1995 г. по 2010 г. уровень подземных вод снижался в среднем на 6,7 м. Это доказывает, что на уровень грунтовых вод сильно влияют климатические и гидрологические факторы, а также добыча подземных вод.

*** Зона Залам**

Зона Залам расположена между реками Красной и Дуонг. Это является зоной слабо нарушенной динамики подземных вод. В этой зоне, добыча подземных вод происходит относительно сильно. Но по сравнению с потенциальными запасами подземных вод в этой зоне, дебит добычи подземных вод еще очень малый, поэтому влияние добычи подземных вод на уровень подземных вод рассматривается только в сухом сезоне. Зона характеризуется наличием двух основных водоносных комплексов Qh и Qp.

- *Водоносный комплекс Qh:* расположен вдоль рек Красной и Дуонг, расширен в восточно-южной части города. Водоносный комплекс Qh имеет тесную гидравлическую связь с речной водой. Уровень подземных вод колеблется по одной фазе с уровнем речной воды, но амплитуда колебания меньше и уменьшался по направлению от берега реки на расстоянии от 5 – 7 м до 2 – 3 м. С 1995 г. по 2010 г. уровень подземных вод снижался ежегодно в среднем на 3,0 м. В этой зоне запасы подземных вод очень большие, добыча подземных вод производится, в основном, скважинами с малым диаметром. Дебит добычи подземных вод еще очень малый по сравнению с потенциальными запасами подземных вод в этой зоне.

- *Водоносный комплекс Qp:* динамика водоносного комплекса Qp зависит от динамики двух рек Красной и Дуонг из-за отсутствия водонепроницаемых отложений в зоне вдоль рек; поэтому водоносный комплекс Qp имеют тесную гидравлическую связь с водоносным комплексом Qh и речной водой. Уровень подземных вод колеблется в одной фазе с уровнем речной воды со средней амплитудой колебания - 3,1 м. С 1995 г. по 2010 г. уровень подземных вод ежегодно снижался в среднем 4,0 м. Итак, динамика подземных вод водоносного комплекса Qp слабо нарушена. Тем не

менее, водоносный комплекс Qp имеет тесную гидравлическую связь с водоносным комплексом Qh и речной водой. В сезон дождей водоносный комплекс Qp сильно пополняется водами из поверхностных водотоков и водоносного комплекса Qh, поэтому запас подземных вод быстро восстанавливается.

*** Зона южной части реки Красной**

Зона южной части реки Красной имеет два основных водоносных комплекса Qh и Qp, за исключением небольшой площади в микрорайонах Майзич и Коньуэ, в которых присутствует только один водоносный комплекс Qp. В этой зоне промышленная добыча подземных вод происходит с большим дебитом и увеличивается непрерывно во времени. Добыча подземных вод с большим дебитом значительно изменили естественное состояние подземных вод в этой зоне. Поэтому в этой зоне формируется воронка снижения уровней подземных вод с сечением вида эллипса, длинной осью параллельно реке Красной (от района Тылием до района Тханьчи) и короткой осью перпендикулярно реке Красной (от района Хадонг до реки Красной). Большинство мест, в которых уровни подземных вод значительно снижены, расположены на территории таких крупных общественных водозаборных предприятий в городе, как Тханьсуан, Каузаи, Донгда.

- Динамические характеристики грунтовых вод водоносного комплекса Qh: в полосе вдоль реки Красной с шириной 3 – 4 км, на динамику подземных вод водоносного комплекса Qh сильно влияют гидрологические факторы. В этой зоне подземные воды имеют гидравлическую связь с речными водами через гидрогеологические окна. Они имеют следующие характеристики:

+ Зона вдоль реки Красной: Колебание уровня подземных вод зависит от годового гидрологического периода и речного режима. Минимальные уровни подземных вод достигают в марте, и максимальные уровни подземных вод достигают в августе. Амплитуда колебания уровня подземных вод была 5 – 7 м. Чем дальше от реки, тем меньше амплитуда колебания уровня подземных вод и составила от 3 – 5 м до 2 – 3 м. В полосе вдоль реки Красной подземные воды имеют гидравлическую связь с речной водой, поэтому уровень подземных вод снижается незначительно.

+ Зона в центральной и южной частях города: в этой зоне динамика подземных вод сильно нарушена из-за колоссальной добычи подземных вод общественными водозаборами. В результате, уровень подземных вод водоносного комплекса Qh

также снижается из-за инфильтрации воды вниз через гидрогеологические окна или через слабые водонепроницаемые отложения. Кроме этого, на динамику подземных вод также действует добыча подземных вод по форме частного забора буровыми скважинами маленького диаметра.

Результаты мониторинга показывают, что скорость снижения и закономерности изменения уровня подземных воды в этом водоносном комплексе зависят от режима и дебита добычи подземных вод на станциях водоснабжения. Колебания уровней подземных вод уже не следует естественным законам. На станциях водоснабжения, как Маизич, Хадонг, Тьонгмай, Фапван и Вандиен, уровень подземных вод снижался непрерывно (Рисунок 5.4).

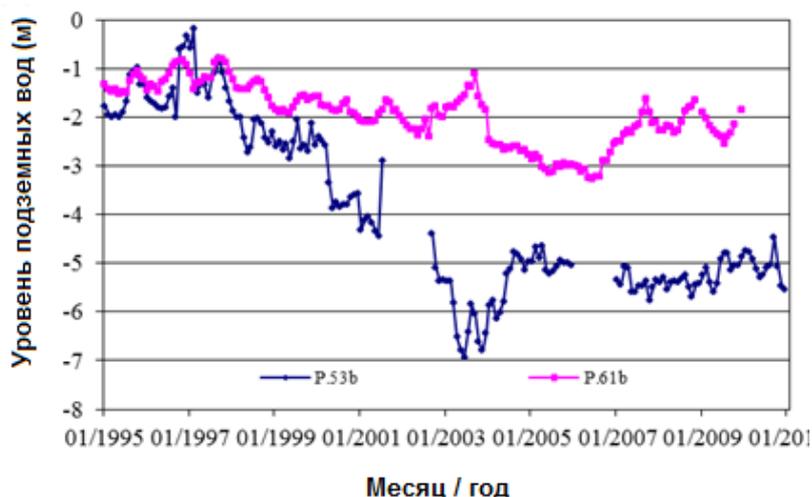


Рисунок 5.4. Колебания уровней подземных вод водоносного комплекса Qh в зоне нарушенной динамики подземных вод [139]. (P.61b – станция водоснабжения Фапван; P.53b – станция водоснабжения Тьонгмай)

С 1995 г. по 2010 г. уровень подземных вод снижался в среднем на 2,3 м из-за добычи подземных вод.

- Динамические характеристики грунтовых вод водоносного комплекса Qp : в южной части реки Красной, это зона нарушенной динамики подземных вод. Снижение уровня подземных вод из-за добычи образует разность водных давлений, поэтому течение подземных вод всегда имеет направление от реки Красной к водоносному комплексу Qp . По данным мониторинга, уровень подземных вод уже снизился на глубину 25 – 30 м от земной поверхности.

+ В полосе вдоль реки Красной с шириной 3 – 6 км, подземные воды сильно зависят от гидрологического режима реки Красной. Они имеют следующие

характеристики: колебания уровня подземных вод водоносного комплекса Qp зависят от годового гидрологического периода и режима реки Красной. Подземные воды имеют тесную гидравлическую связь с речной водой. В полосе вдоль реки Красной уровень подземных вод снижается незначительно из-за интенсивного пополнения речной водой. Начиная с 2001 г. из-за повышения дебита добычи подземных вод и строительства новых станций водоснабжения (станции Каодинь и Намзы) в этом водоносном комплексе начал снижаться уровень подземных вод. Типичным положением является положение наблюдательных скважин P.81a и P.85a, расположенных в зоне влияния станций водоснабжения Каодинь и Намзы (Рисунок 5.5).

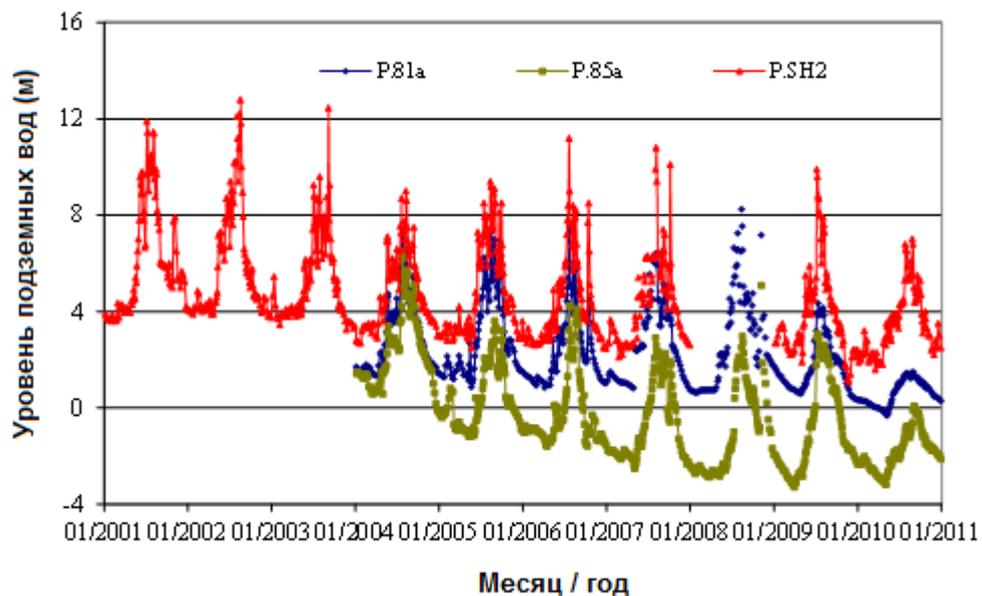


Рисунок 5.5. Колебания уровней подземных вод водоносного комплекс Qp в скважинах P81a и P85a и уровня реки Красной PSH2 [139]

+ Остальная часть расположена в южной части города. Естественная динамика подземных вод сильно нарушена из-за добычи подземных вод. В настоящее время, образуется большая воронка снижения уровней подземных вод, которая занимает всю южную часть города, в том числе, внутри нее много маленьких воронок с более глубокими уровнями подземных вод в местах станций водоснабжения.

+ Результаты мониторинга за уровнями подземных вод в г. Ханое показывают, что в сухом сезоне 2010 г., минимальная площадь воронки с уровнями вод ниже 15 м составляла 158,2 км²; ниже 20 м – 88,6 км²; ниже 30 м – 2,9 км². Итак, в южной части города, на динамику подземных вод сильно влияет действие добычи подземных вод.

5.1.6. Эксплуатационные запасы подземных вод

Эксплуатационные запасы – количество воды (расход, м³/сут), которое может быть получено с помощью рационального в технико-экономическом отношении водозаборного сооружения при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям целевого использования в течение расчетного срока водопотребления при условии отсутствия экологически негативных последствий эксплуатации (недопустимый ущерб речному стоку, переосушение ландшафтов и др.).

Эксплуатационные запасы подземных вод связаны с другими категориями запасов и ресурсов следующим балансовым уравнением [82, 139]:

$$Q_{kt} = Q_{in} + \frac{V_{dh}}{t} + \frac{\alpha V_{gl}}{t} + Q_{ct} \quad 5.1$$

Где:

Q_{kt} : эксплуатационные запасы подземных вод (м³/сутки);

Q_{in} : естественные ресурсы (м³/сутки);

V_{dh} : объем упругих статических запасов (м³);

V_{gl} : объем гравитационных статических запасов (м³);

Q_{ct} : привлекаемые ресурсы (м³/сутки);

α : коэффициент использования гравитационных статических подземных вод ($\alpha = 0,3$ для безнапорного водоносного горизонта);

t : срок эксплуатации ($t = 104$ сутки).

5.1.6.1. Определение статических запасов подземных вод

Под *естественными запасами* понимают объем гравитационной воды, заключенной в порах, трещинах, карстовых и других пустотах горных пород, а также объем воды, высвобождающейся из напорного водоносного комплекса при понижении в нем пластового давления (упругие запасы). Величина естественных запасов определяется геометрическими размерами и водоотдачей водонасыщенного пласта. Объем естественных запасов подземных вод (V) подразделяется на 2 части: объем гравитационных запасов (V_{gl}) и объем упругих запасов (V_{dh}).

* *Определение объема гравитационных статических подземных вод (V_{gl}):*

Объемом гравитационных статических подземных вод (V_{gl}) называется объем гравитационных статических подземных вод в водоносном комплексе при

естественных условиях. Объем гравитационных статических подземных вод определяется по следующей формуле [82, 139]:

$$V_{ст} = \mu \cdot V \quad 5.2$$

Где: V : объем водоносного комплекса (m^3); μ : коэффициент водоотдачи гравитационных подземных вод.

* *Определение объема упругих статических подземных вод ($V_{ст}$):*

Под упругими запасами подземных вод ($V_{ст}$) понимается количество воды, высвобождающееся при вскрытии водоносного пласта и снижении пластового давления в нем (при откачке или самоизливе) за счет объемного расширения воды и уменьшения пористости самого пласта. Объем упругих статических подземных вод определяется по следующей формуле [82, 139]:

$$V_{ст} = \mu^* \cdot F \cdot h \quad 5.3$$

Где:

μ^* : коэффициент упругой водоотдачи;

F : площадь распространения водоносного комплекса (m^2);

h : значение среднего давления на поверхности водоносного комплекса (м).

Объем гравитационных статических подземных вод ($V_{ст}$) определяется для водоносного комплекса Q_h , а объем упругих статических подземных вод ($V_{ст}$) определяется для водоносного комплекса Q_p . Водоносные комплексы в трещинах горных пород для расчета запасов не использовались.

Расчетные величины объема природных статических вод водоносных комплексов Q_h и Q_p приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Естественные запасы подземных вод в водоносных комплексах Q_h и Q_p [139]

№	Расчетная зона	Мощность водоносного комплекса, м		Площадь ($10^6 m^2$)		Средний коэффициент водоотдачи (μ, μ^*)		Естественные запасы ($10^6 m^3$)	
		Q_h	Q_p	Q_h	Q_p	Q_h	Q_p	$V_{ст} Q_h$	$V_{ст} Q_p$
1	Северная часть рек Красной и Донг	9,2	9,5	342	506	0,08	0,025	252	120
2	Залам	10,1	20,0	123	121	0,1	0,051	124	123
3	Южная часть реки Красной	13,3	23,0	1.882	1.570	0,08	0,012	2.002	433
Сумма				2.347	2.347			2.378	677

5.1.6.2. Определение динамических запасов подземных вод

Динамические запасы подземных вод характеризуют расход данного водоносного комплекса (Q_m) и определяется различными методами. Существующие методы определения запасов можно подразделить на несколько групп: по величине водоотдачи, по величине инфильтрации атмосферных осадков, по материалам гидрометрических наблюдений, по дебиту источников, по поперечному сечению потока подземных вод. Учитывая гидрогеологические условия г. Ханоя, запас природных движущих подземных вод рассчитывался для двух водоносных комплексов Q_h и Q_r способом Н.Н. Биндемана и гидродинамическим способом на базе данных длительного мониторинга уровней подземных вод. Запас природных движущих подземных вод выражается значением модуля подземного стока. Модулем подземного стока является величина потока подземных вод на единицу площади водоносных комплексов в единицу времени. На основании анализа результатов исследования динамики и процесса формирования подземных вод построена схема зонирования модуля подземного стока для двух водоносных комплексов Q_h и Q_r (Рисунок 5.6).

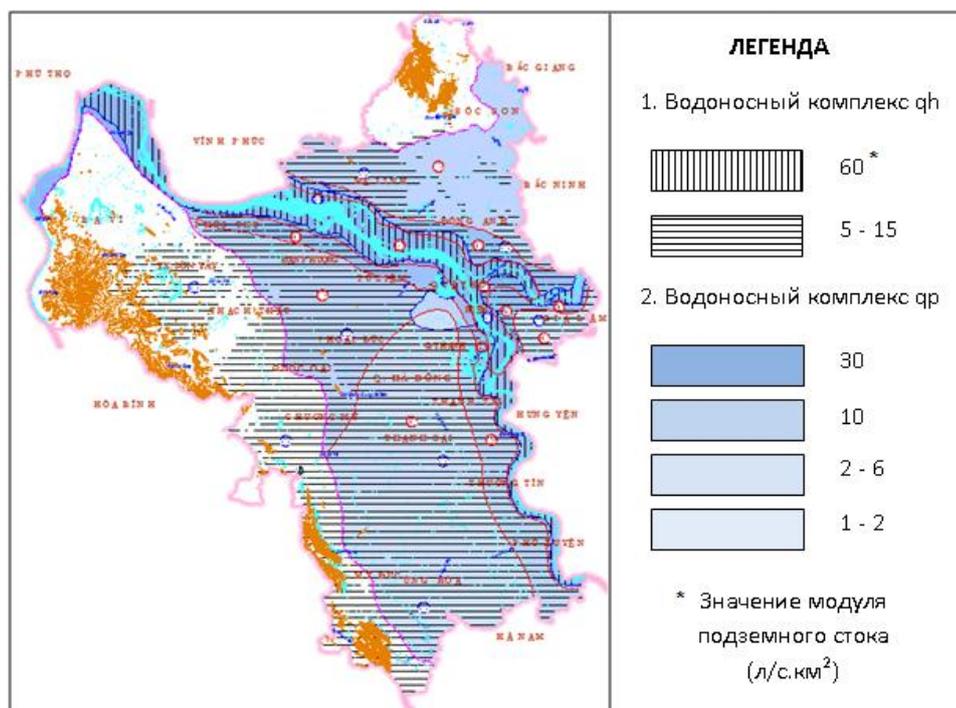


Рисунок 5.6. Схема зонирования модуля подземного стока на территории г. Ханоя [139]

Зная значения модуля подземного стока, запас природных движущих подземных вод (Q_m) определяется по следующей формуле [82, 139]:

$$Q_m = 86,4 \cdot M_n \cdot F \quad 5.4$$

5.1.6.3. Определение привлекаемых ресурсов подземных вод

Привлекаемые ресурсы (Q_{ct}) определяются увеличением питания подземных вод рассматриваемого элемента в условиях эксплуатации за счет возникновения или усиления фильтрации из рек и озер, перетеканием из смежных комплексов и др.

На территории г. Ханоя наибольшая величина привлекаемых ресурсов составляет вблизи реки Красной при добыче воды из водоносного комплекса Qp. Привлекаемые ресурсы за счет фильтрации из маленьких рек, озер, соседних водоносных комплексов не рассматривались из-за отсутствия детальных исследований. Подсчет привлекаемых ресурсов подземных вод (Q_{ct}) за счет фильтрации воды из реки Красной были выполнены В.Д. Нгуен и Н.Т. Тонг методом моделирования. Эксплуатационные запасы подземных вод на территории г. Ханоя составляют 8.362.000 м³/сутки.

Таблица 5.5

Расчетные результаты эксплуатационных запасов подземных вод [139]

№	Расчетная зона	Естественные ресурсы Q_{in} (10^3 м ³ /сутки)	Гравитационные запасы (10^3 м ³ /сутки)	Упругие запасы (10^3 м ³ /сутки)	Привлекаемые ресурсы Q_{ct} (10^3 м ³ /сутки)	Эксплуатационные запасы Q_{kt} (10^3 м ³ /сутки)
А. Водоносный комплекс Qh						
1	Северная часть рек Красной и Донг	467	8			475
2	Залам	231	4			234
3	Южная часть реки Красной	1,625	60			1,685
Сумма А		2,323	71			2,395
В. Водоносный комплекс Qp						
1	Северная часть рек Красной и Донг	410		12.0	1,232	1,654
2	Жалам	128		12.3	660	800
3	Южная часть реки Красной	623		43.3	2,728	3,395
Сумма В		1,162		68	4,620	5,850
С. Водоносные горизонты в трещинах горных пород						
4	Бави	50				50
5	Шокшон	68				68
Сумма С		118				118
Сумма А + В + С		3,603	71	68	4,620	8,362

5.2. Прогнозирование изменения уровней подземных вод

Гидрогеологические условия в районе исследования довольно сложные. В гидрогеологическом плане водовмещающие породы делятся на водоносные горизонты, которые отделены друг от друга слабопроницаемыми слоями. Подземные воды имеют тесную гидравлическую связь с поверхностными водами. Для прогнозирования изменения уровней подземных вод в результате извлечения подземных вод в ближайшие годы используется метод численного моделирования при помощи программы «Visual MODFLOW v.4.2», разработанной Waterloo Hydrogeologic, Inc. Канады. Эта программа предназначена для решения различных уравнений в частных производных, описывающих процесс геофильтрации, численными методами на трехмерной конечно-разностной сетке. Она позволяет моделировать скважины, реки, дренажи, различные гидродинамические границы, а также инфильтрацию и перетекание.

5.2.1. Построение модели проницаемого потока подземных вод

5.2.1.1 Разделение на слои

На основании имеющихся и обновленных материалов по октябрь 2012, Фи Х.Т. провел анализ и моделирование гидрогеологических условий на территории г. Ханоя. Гидрогеологические условия на территории г. Ханоя довольно сложные. В целях моделирования, мы схематизировали гидрогеологическую стратиграфию на территории г. Ханоя следующим образом (Рисунок 5.7):

- Слабый водопроницаемый комплекс в голоценовых отложениях, распространен широко, но прерывно на территории г. Ханоя. Он состоит из суглинков и супесей.
- Безнапорный водоносный комплекс в голоценовых отложениях (Qh) широко распространен, состоит из песков и супесей. Средняя толщина голоценового водоносного комплекса на территории составляет 14,0 м.
- Ранне-плейстоценовый водонепроницаемый комплекс в свите Виньфук: эти отложения залегают между водоносными комплексами Qh и Qp. Они распространены широко, но прерывно на территории г. Ханоя. Литологический состав в основном состоит из глин, суглинков и супесей.
- Напорный водоносный комплекс в плейстоценовых отложениях (Qp). Данный комплекс широко распространен на территории г. Ханоя. Он состоит из двух

комплексов, которые обозначаются как Qp^2 и Qp^1 . Литологический состав первого водоносного комплекса (Qp^2) в основном состоит из песков, супесей, песков с гравиями, с толщиной от 1,0 м до 55,7 м, в основном выше 20 м). Литологический состав второго водоносного комплекса (Qp^1) в основном состоит из галек с песками и гравий с песками, с толщиной от 14,0 м до 45,0 м.

– Водоносный горизонт в трещинах и пустотах неогеновых отложений (n) залегает под четвертичными отложениями. Распределенная глубина этого горизонта изменяется от 100 – 130 м и более.

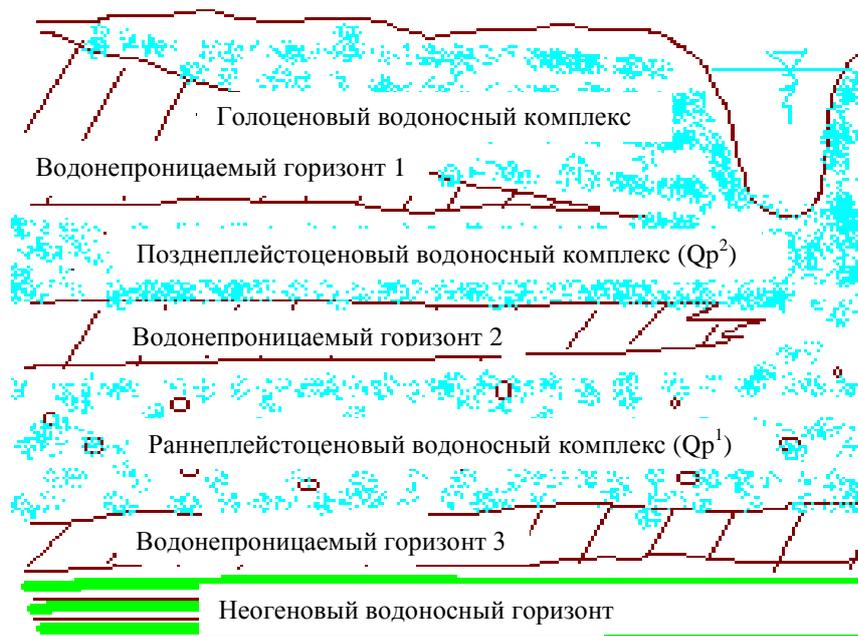
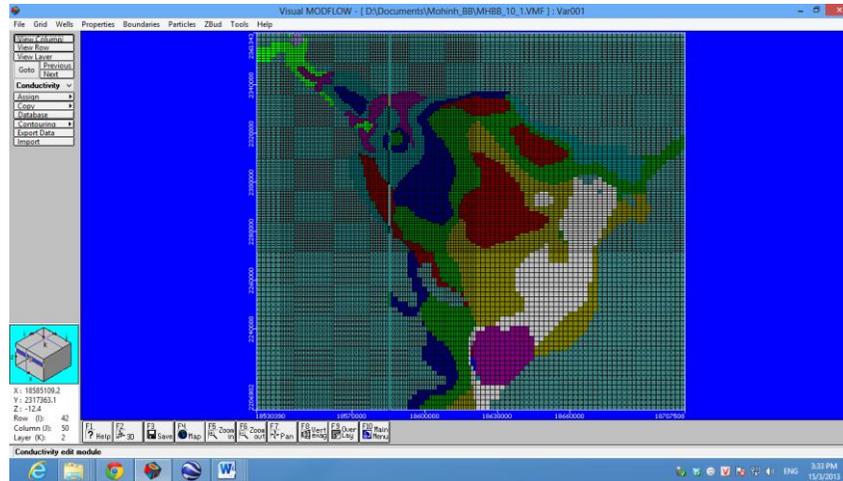


Рисунок 5.7. Гидрогеологическая стратиграфия на территории г. Ханоя [139]

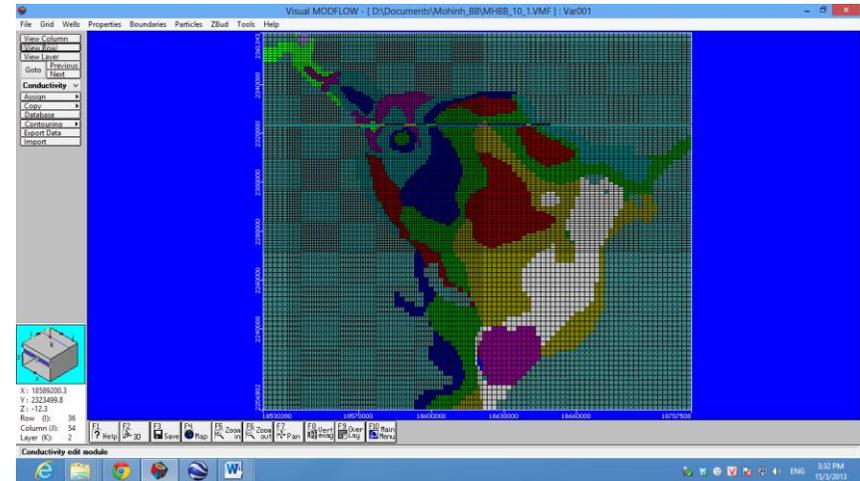
Моделирование гидрогеологической стратиграфии для расчетов

На базе схематизированных гидрогеологических условий в вышеприведенном рисунке, мы установили модель потока подземных вод в 4-х слоях на территории г. Ханоя следующим образом (Рисунок 5.8 и 5.9).

- Первый слой: Слабый водопроницаемый горизонт
- Второй слой: Голоценовый водоносный горизонт (Qh).
- Третий слой: Плейстоценовый – голоценовый водонепроницаемый горизонт.
- Четвертый слой: Плейстоценовый водоносный горизонт (Qp).
- Пятый слой: Водоносный комплекс в трещинах и пустотах неогеновых отложений (n). В модели, этот слой рассматривается как подошва модели и определяется как «неактивный горизонт».



a)



a)



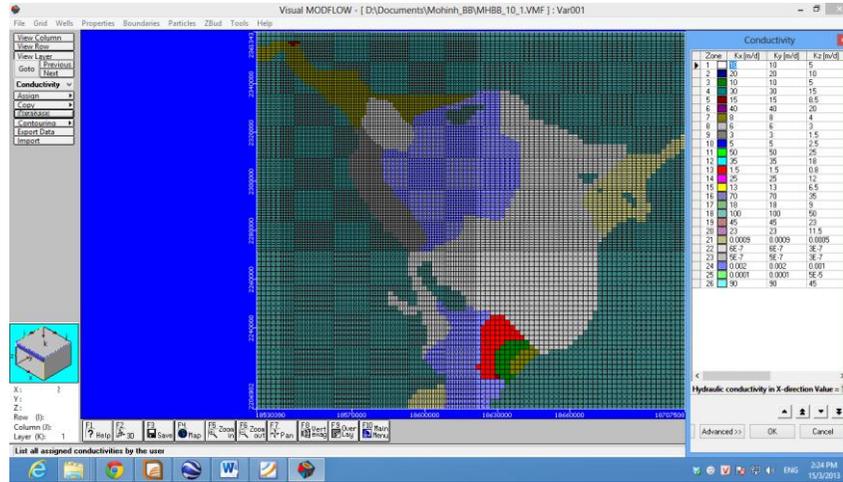
b)



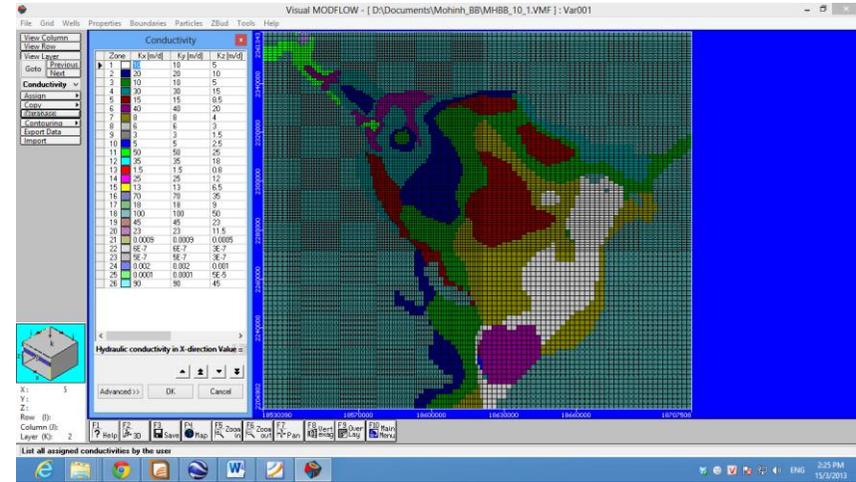
b)

Рисунок 5.8. Положение гидрогеологического разреза по направлению «север – юг» на территории г.Ханоя (а); разрез (b) (Чиеу Д.Х., Фам Б. К., Фи Х.Т., 2013)

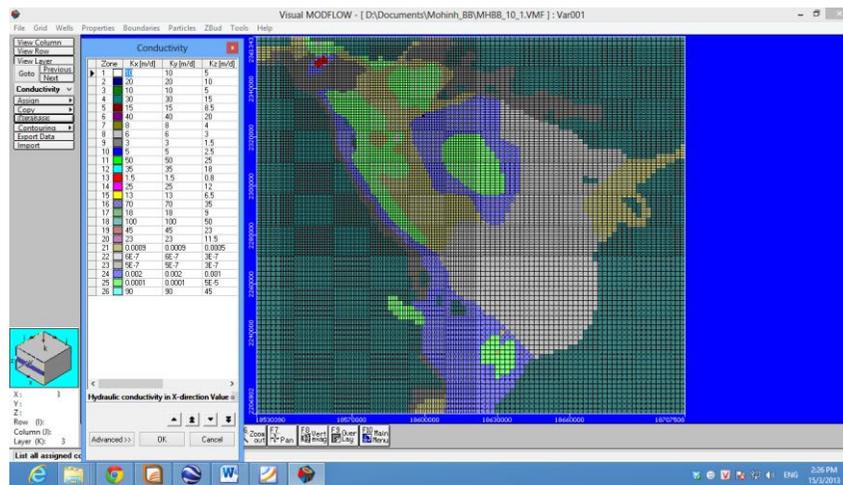
Рисунок 5.9. Положение гидрогеологического разреза по направлению «запад – восток» на территории г.Ханоя (а); разрез (b) (Чиеу Д.Х., Фам Б. К., Фи Х.Т., 2013)



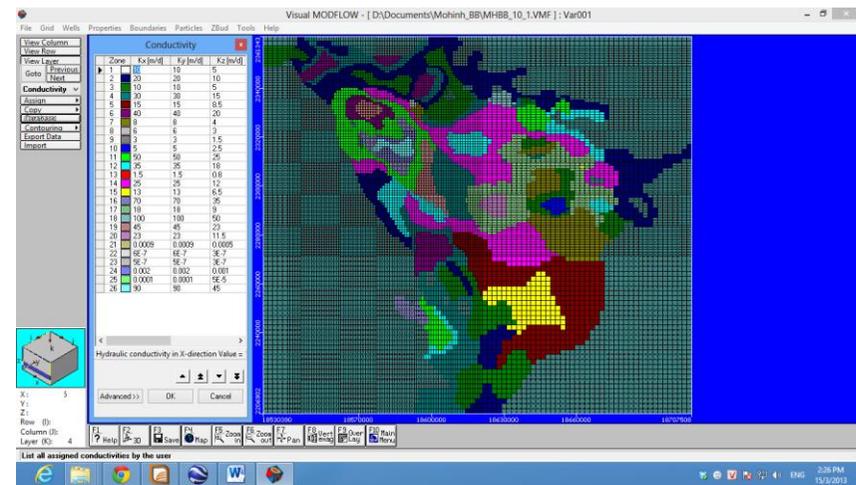
1 слой



2 слой



3 слой



4 слой

Рисунок 5.10. Карты районирования водопроницаемости 1 – 4 слоев в районе Северной дельты (Чуев Д.Х., Фам Б. К., Фи Х.Т., 2013)

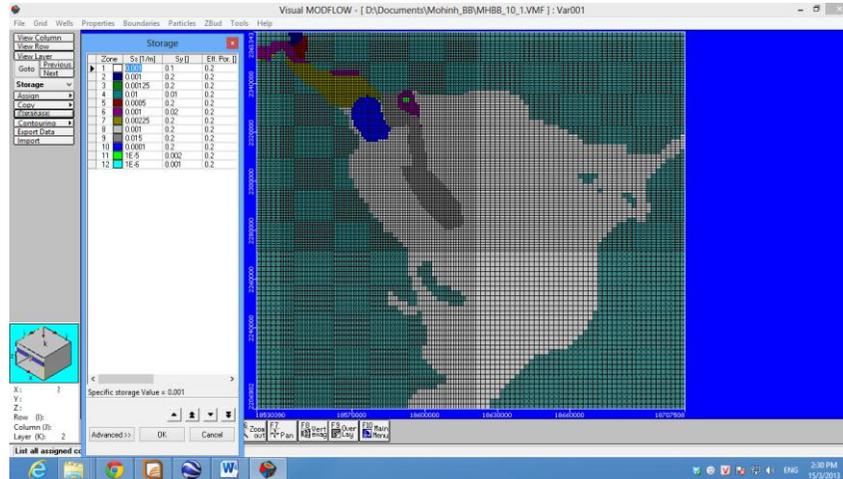


Рисунок 5.11. Карта районирования водоотдачи 2-го слоя в районе Северной дельты (Чиеу Д.Х., Фам Б.К., Фи Х.Т)

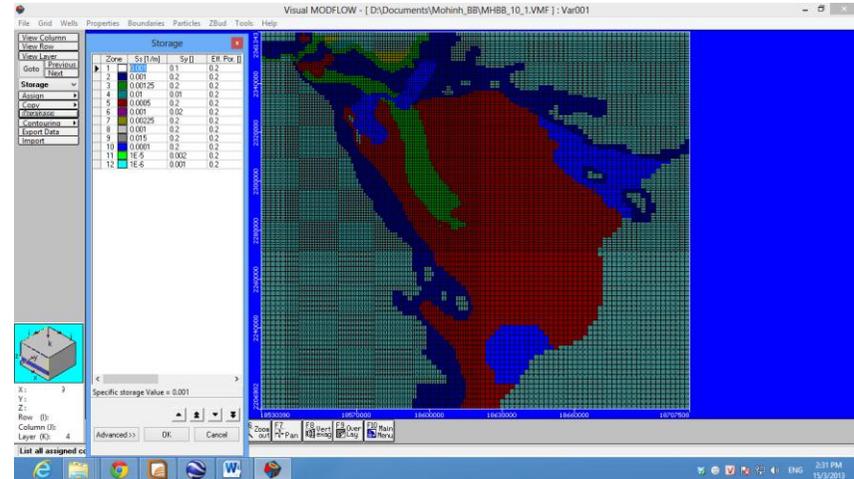


Рисунок 5.12. Карта районирования водоотдачи 4-го слоя в районе Северной дельты (Чиеу Д.Х., Фам Б.К., Фи Х.Т)

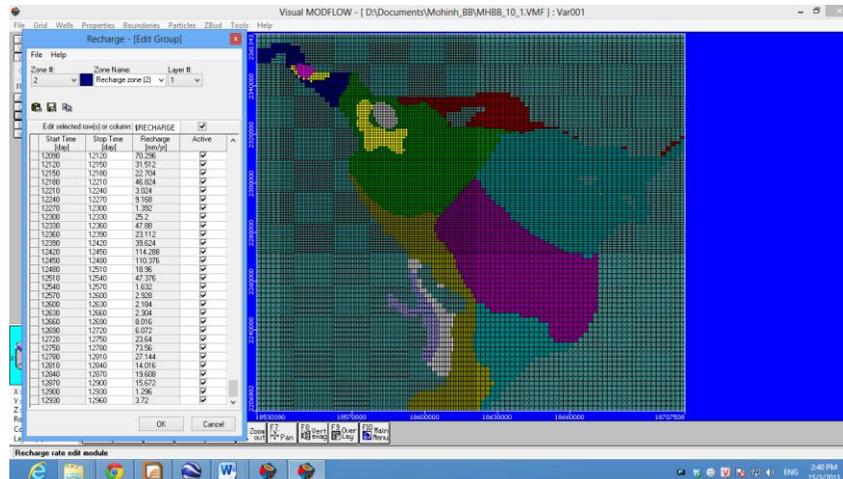


Рисунок 5.13. Карта районирования пополнения подземных вод в районе Северной дельты (Чиеу Д.Х., Фам Б.К., Фи Х.Т)

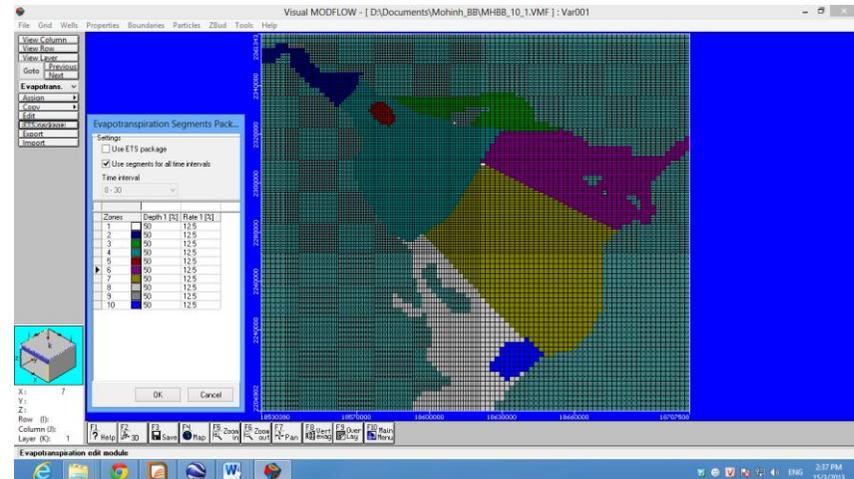


Рис 5.14. Карта районирования количества испарения в районе Северной дельты (Чиеу Д.Х., Фам Б.К., Фи Х.Т)

5.2.1.2. Построение и обновление входных данных модели

По собранным материалам мы проводили синтезы и анализы гидрогеологической особенности на территории г. Ханоя. После обработки и расчета системой программных обеспечений ГИС и управленческой программой о базе данных в модели, мы провели обновление и моделирования с помощью программной обеспечения «Visual MODFLOW Pro v.4.2». Эти данные имитируются в модели в цифровом виде, в том числе:

1. Топографические данные

➤ Топографическая карта Северной дельты Вьетнама с масштабом 1:50.000, опубликованная Общим отделом управления по земельным ресурсам. Эта карта используется в качестве основы установления разностной сетки в модели, установления граничных условий и других связанных факторов.

➤ Карта контуров уровня поверхности рельефа Северной дельты Вьетнама. Эта карта была составлена на основе высоких точек в топографической карте с масштабом 1/50.000 и абсолютная отметка скважин в планах, были осуществлены раньше, и других скважин в системе государственного и городского мониторинга за уровнем подземных вод.

2. Данные по геологическим и гидрогеологическим факторам

➤ Гидрогеологическая карта Северной дельты Вьетнама с масштабом 1:50.000 была составлена цифровыми методами. На основе карты и гидрогеологических разрезов, установлена концептуальная модель, определена граница вычислительной модели, определены граничные условия для водоносных комплексов по ширине и глубине.

➤ Данные по геолого-гидрогеологической стратификации всех скважин, пробуренных на территории г. Ханоя.

➤ Карта районирования водопроницаемости K (м/сутки) грунтовых слоев в модели. Эти карты были составлены на основе экспериментальных материалов по гидрогеологии, в том числе следующие карты для 1, 2, 3 и 4 слоев (Рисунок 5.10).

➤ Карта районирования водоотдачи водоносных слоев в модели. Эти карты были составлены на основе экспериментальных материалов по гидрогеологии, в том числе следующие карты:

- Карта районирования водоотдачи 2-го слоя (Рисунок 5.11);
- Карта районирования водоотдачи 4-го слоя (Рисунок 5.12).

➤ Карта высоты уровней подземных вод и карта водного напорного уровня водоносных комплексов Qh и Qp. Эти карты были составлены на основе наблюдательных данных по уровням подземных вод, обобщенным и рассчитанным на базе данных с 1995 г. по 2010 г, полученных из системы государственного мониторинга за подземными водами. Эти карты используются, чтобы учреждать граничные условия ($H = \text{постоянное значение}$) и условие по начальному уровню подземных вод в модели.

3. Данные по пополненному и испарительному значению

➤ Карта и данные по питанию и испарению основаны на материалах о количестве дождей, ирригации и дренаже на территории г. Ханоя. По величине пополнения подземных вод территория подразделяется на 15 основных районов, отображенных на рис. 5.13.

➤ Величина испарения была получена по данным метеорологической станции Ланг. Значения испарительной величины ограничиваются глубиной 3 м от поверхности земли (Рисунок 5.14).

4. Данные по процессу извлечения подземных вод

На основании существующих материалов, мы смоделировали эксплуатационные скважины в модели в соответствии с фактическими условиями по ширине и глубине (Рисунок 5.15). Дебит конкретного извлечения в каждой скважине обновляется ежеквартально средним значением в эксплуатационном процессе с 1995 по 2010 гг.

5.2.1.3. Начальные и граничные условия модели

Территория имитируется системой 2-х основных водоносных комплексов в четвертичных отложениях, Qh и Qp. На земной поверхности в некоторых зонах существует слабый водопроницаемый слой с непрерывным распределением. Отделение между водоносными комплексами Qh и Qp – слабый водопроницаемый слой или водонепроницаемый слой. В некоторых зонах этот водонепроницаемый слой размылся, поэтому сформировались гидрогеологические окна.

Неогеновый водоносный горизонт имитируется, как слой залегает непосредственно под водоносным комплексом Qp. Таким образом, в каждом

водоносном горизонте существуют различные края и граничные условия по широте и глубине.

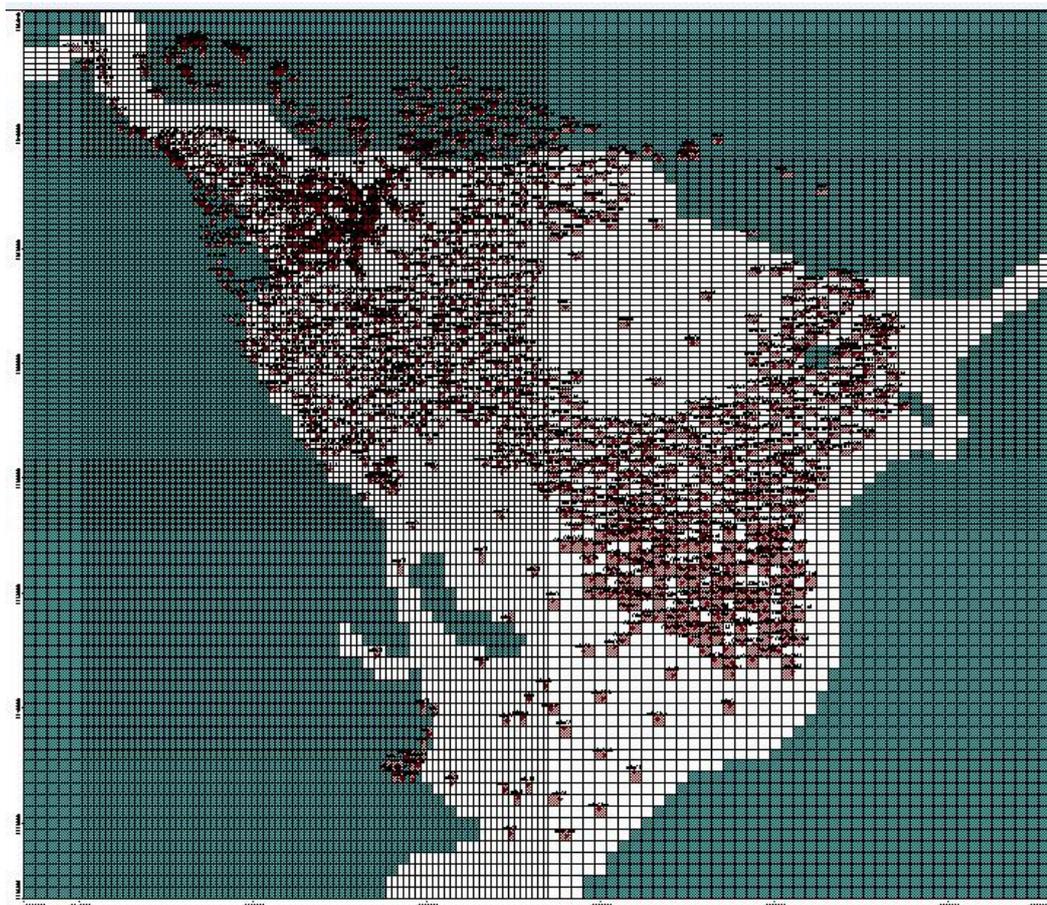


Рисунок 5.15. Модель системы водозаборных скважин в районе Северной дельты
(Чиеу Д.Х. и Фам Б.К., Фи Х.Т., 2013)

- Водоносный комплекс Qh:

По широте водоносный комплекс Qh ограничивается границей модели.

Для зон, сложенных коренными породами, на западе, на северо-западе и в некоторых других зонах, используется граничное условие II-го типа ($Q = 0$). В модели, они имитированы как ячейки "неактивные". В местах, сложенных трещиноватыми породами, содержащими воду, модуль стока равен 20 – 80 м³/сутки/км.

Главные участки рек, находящиеся в системе Красной реки и реки Даи, Западное озеро и несколько небольшие озера в зависимости от меры гидравлического взаимоотношения с подземными водами (определяются наблюдательными данными), используется граничное условие I – III-го типов.

Граничное условие II-ого типа ($Q = \{\text{проницаемое значение} - \text{испарительное значение}\} \times \text{распределенная площадь}$) используется в зонах, в которых водоносные комплексы проявляются на земной поверхности.

Зоны, в которых существует слабые водопроницаемые слои, залегающие сверху и снизу водоносного комплекса Q_h , имеют водопроницаемость. В этих зонах используется граничное условие III-го типа ($W = f\{\Delta H\}$). В модели, водопроницаемость отображается перепадом высоты уровня подземных вод между комплексами.

Граничное условие I-го типа – высота стабильного уровня подземных вод ($H = \text{постоянная}$), используется в крае модели на юго-западе и востоке.

Величина уровня воды в граничном условии III-го типа определяется данными наблюдений гидрологических станций и государственной системы мониторинга за подземными водами. Величина проводимости C в различных участках рек и озер определяется по прошедшим исследовательским материалам о их гидравлическом взаимоотношении с подземными водами, о распределении отложений в дне рек и водопроницаемом коэффициенте этих отложений.

- Водоносный комплекс Q_r :

Аналогично водоносному комплексу Q_h , по широте водоносный комплекс Q_r имитируется и ограничивается границей модели.

Зоны, прилегающие к коренным породам на западе, на северо-западе и в некоторых зонах, где вероятно проявляются коренные породы, дело в том, что породы не содержат воды, поэтому используется граничное условие II-го типа ($Q = 0$). В модели, они имитированы как ячейки "неактивные". На местах, прилегающих к трещиноватым породам, содержащим воду, снабженный модуль воды определяется как $Q = 25 - 80 \text{ м}^3/\text{сутки}/\text{км}$.

Главные участки рек, находящиеся в системе Красной реки и реки Тхаибинь, Западное озеро и болото Ванчи в зависимости от меры гидравлической взаимоотношения с подземными водами (определяются наблюдательными данными), используется граничное условие III-го типа (синтетическое граничное условие).

По глубине, где водоносный комплекс Q_r покрывается водоносным комплексом Q_h или слабым водопроницаемым слоем, будет существовать водопроницаемое

значение (граничное условие II-го типа). В модели, водопроницаемое значение отображается перепадом высоты уровня воды между водоносными пластами.

Граничное условие I-го типа используется на юго-западе и востоке в модели.

Величина водного уровня на граничном условии III-го типа определяется наблюдательными данными, полученными из гидрологических станций и государственной системы мониторинга за подземными водами. Величина проводимости C в различных участках рек и озер определяется по прошедшим исследовательским материалам о их гидравлическом взаимоотношении с подземными водами, о распределении отложений в дне рек и водопроницаемом коэффициенте этих отложений.

- Неогеновый водоносный горизонт:

По ширине, неогеновый водоносный горизонт распределен в юго-восточной части территории г. Ханоя, остальная часть считается водонепроницаемым горизонтом. Из-за не подробного исследования, поэтому для этого водоносного горизонта, используется водонепроницаемое граничное условие – граничное условие II-ого типа ($Q = 0$). В модели, они имитированы как ячейки "неактивные".

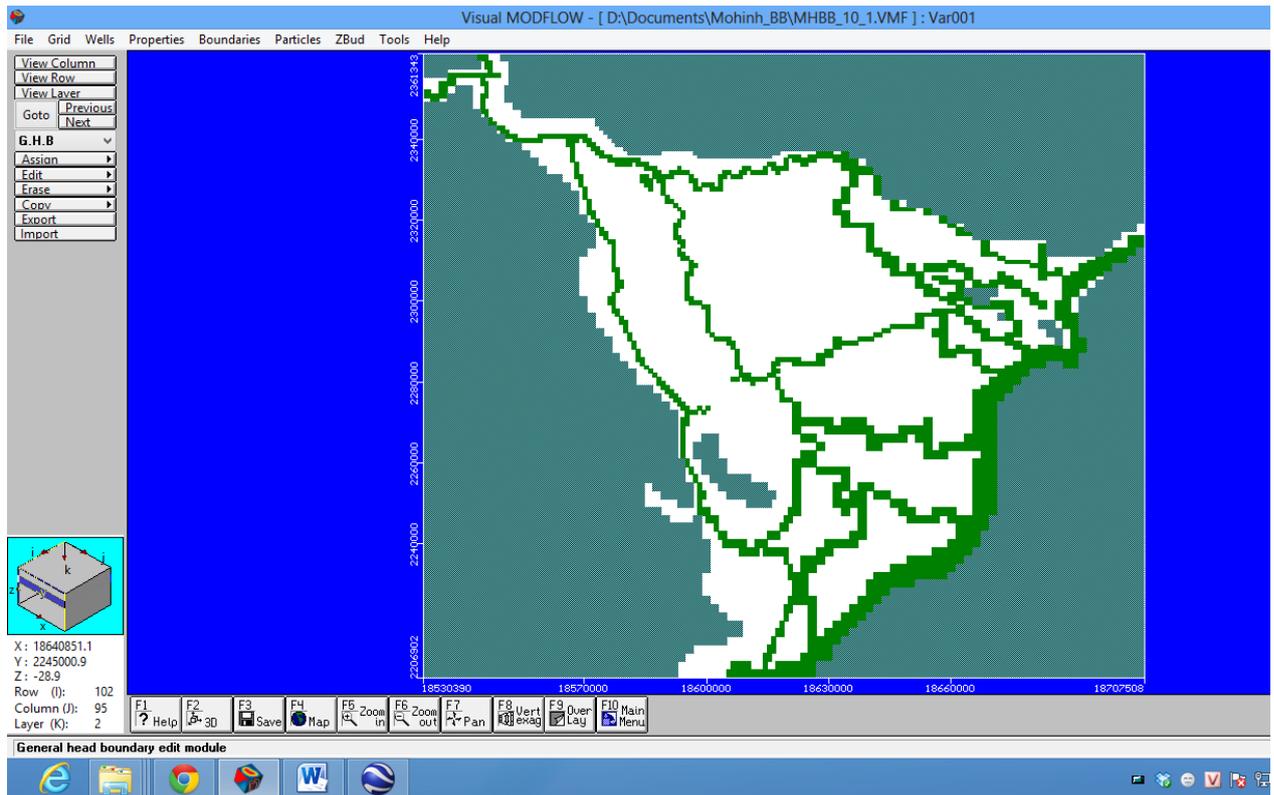
Внизу водоносных горизонтов, граничащих с коренными породами, считаются водонепроницаемыми горизонтами, поэтому также используется граничное условие II-ого типа ($Q = 0$).

Главная напорная граница в районе Северной дельты смоделирована и отображена на рис. 5.16.

5.2.1.4. Условия начального уровня подземных вод и система наблюдательных скважин для регулировки модели

Чтобы решить точно задачу регулировки в модели необходимо определить начальный уровень подземных вод и уровни подземных вод на станциях мониторинга. Данные уровня подземных вод, предоставленные моделей, будут использованы для сравнения с данных мониторинга за подземными водами, из которого модель будет регулирована.

В районе существует довольно совершенная система мониторинга за подземными водами. Этот район имеет наиболее полные данные мониторинга, начиная с 1995 г. Таким образом, за начальный момент принят январь 1995 г. и для регулировки модели исследованы последующие данные по декабрь 2010 г.



*Рисунок 5.16. Главная напорная граница в районе Северной дельты
(Чиеу Д.Х., Фам Б. К., Фи Х.Т., 2013)*

5.2.2.5. Разностная сетка модели

Район для учреждения модели имеет площадь 15.000 км², охватывающий всю площадь территории г. Ханоя и прилегающих районов. Расстояние разностной сетки модели следующим:

- Зона от южной части г. Ханоя до части северного Тханглонг, где сосредоточено извлечение подземных вод с крупным масштабом и подробно была исследована, то шаг разностных сеток составляет 250 x 250 м.

- В остальных зонах шаг разностных сеток составляет 500 x 250 м.

5.2.1.6. Результат регулировки модели

Задача регулировки модели (обратная задача) делится на 192 временных шага. Каждый временный шаг составляет 30 дней. Период для регулировки продлился с 01/1995 г. по 12/2010 г.

После обновления входных данных модели, мы провели решение задачи регулировки по двум этапам:

- Первый этап: решение задачи стабильной регулировки с целью предварительной проверки и регулировки гидрогеологических параметров и

граничных условий (в основном граничные условия, изменяющиеся мало по времени, в том числе значение проводимости в крае) модели. Решение задачи завершится при чем, что когда перепад между начальным фактическим уровнем подземных вод и уровнем подземных вод, полученным из модели, удовлетворился допустимой погрешности.

- Второй этап: решение задачи нестабильной регуляции с целью точной регуляции гидрогеологических параметров и граничных условий водоносных комплексов. Решение задачи завершится, когда перепад между фактическими уровнями подземных вод и уровнями подземных вод в станциях мониторинга, полученными из модели, удовлетворит допустимой погрешности.

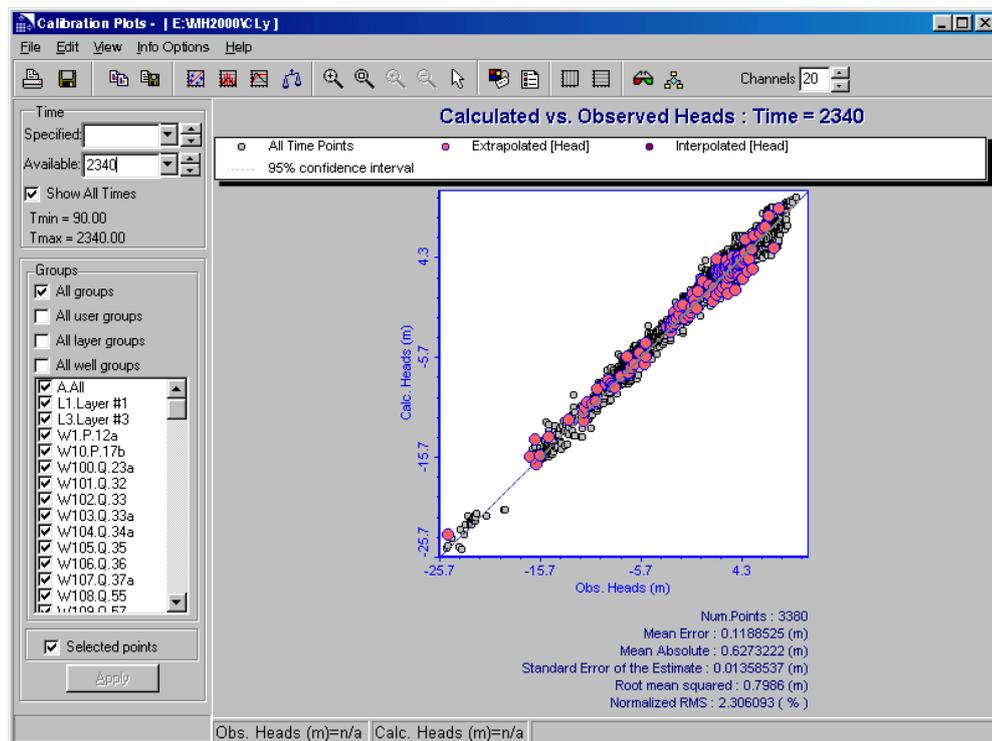


Рисунок 5.17. Сравнение расчетных и фактических уровней подземных вод (задача по нестабильной регуляции) (Чиеу Д.Х., Фам Б. К., Фи Х.Т., 2013)

Стандартная среднеквадратичная разница для всего процесса этой регуляции составляет 2,3%. Взаимоотношение между фактическим уровнем подземных вод (величина для проверки модели) и расчетным уровнем подземных вод в модели показано на рис. 5.17.

Вышеприведенные результаты показывают, что созданная модель соответствует фактическим условиям. Это доказывается, что можно использовать модель для прогноза уровня подземных вод в будущем в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя.

5.2.2. Результаты прогноза изменения уровня подземных вод на будущее в результате извлечения подземных вод

5.2.2.1. Основа прогноза

Согласно отчету планирования водоснабжения на территории города Ханоя до 2030 года и видение водоснабжения до 2050 года, составленному Компанией воды и среды Вьетнама [121], прогноз роста населения и ориентация планирования водоснабжения на территории г. Ханоя следующим образом:

* Прогноз роста населения

- По прогнозированию население города до 2030 г. будет около 9.140.000 человек, в том числе население, проживающее в городских районах, будет около 6.220.000 человек и в сельских районах будет около 2.920.000 человек.

- По прогнозированию население города до 2050 г. будет около 10.730.000 человек, в том числе население, проживающее в городских районах, будет около 7.510.000 человек и в сельских районах будет около 3.220.000 человек.

* Ориентация планирования водоснабжения

- Общая потребность в воде в Ханое в 2020 г. будет 1.557.800 м³/сутки; в 2030 г. – 2.359.000 м³/сутки; в 2050 г. – 3.155.100 м³/сутки. Ориентация планирования водоснабжения на территории г. Ханоя показана в таблице 5.6.

Таблица 5.6

Планирование дебита водоснабжения на территории г. Ханоя [121]

№	Станция водоснабжения	Дебит водоснабжения (м ³ /сутки)		
		2010 г. (*)	2020 г.	2030 г.
А Поверхностная вода				
1	Станция водоснабжения «река Да»	130.000	600.000	1.200.000
2	Станция водоснабжения «река Дуонг»	-	300.000	600.000
3	Станция водоснабжения «река Красная»	-	300.000	450.000
Сумма А		130.000	1.200.000	2.250.000
В Подземная вода				
1	Старая городская часть	592.933	400.000	285.000
2	Западная часть города	18.232	30.000	30.000
3	Восточная городская часть города	43.291	86.000	86.000
4	Северная часть города	47.908	74.000	74.000
5	Маленькие станции водоснабжения в сельских районах	83.460	240.000	250.000

№	Станция водоснабжения	Дебит водоснабжения (м ³ /сутки)		
		2010 г. (*)	2020 г.	2030 г.
Сумма В		785.824	830.000	725.000
Сумма А и В		915.824	2.030.000	2.975.000
Процент населения, снабжаемый водой из станций городского водоснабжения.		53	90	90

(*): данные фактического извлечения

Комментарии

* Состояние текущего водоснабжения

- Подземная вода в настоящее время является основным источником воды, использованной на территории г. Ханоя. Однако, уровень подземных вод в некоторых районах снижается сильно, поэтому извлечение подземных вод должно быть рассмотрено серьезно.

- Поверхностная вода является крупнейшим источником воды. Она может удовлетворить спрос на воду города Ханоя, но в настоящее время только станция водоснабжения «река Да» построена и эксплуатируется с низкой мощностью.

- Процент населения, снабжаемый водой из станций городского водоснабжения, составляет лишь 53%.

* План водоснабжения в будущем

- Усиление эксплуатации и использования поверхностной воды из рек Да, Дуонг и Красной.

- Рациональная регулировка дебит добычи подземных вод.

- Увеличение процентов населения, снабженного водой из городского водоснабжения, составит 90%.

5.2.2.2. Результаты прогноза изменения уровня подземных вод

На основе созданной модели выполнено прогнозирование уровня подземных вод в исследованном районе по варианту извлечения подземных вод в 2010 г.

Этот вариант рассчитывается на базе результатов тщательных изысканий подземных вод на территории г. Ханоя и общественных эксплуатационных скважин под управлением Ханойской чистой водной компании и на базе состоянии промышленных и частных скважин на территории г. Ханоя в 2010 г., который был утвержден Государственным советом по утверждению запасов полезных ископаемых.

Решение задач по прогнозированию уровня подземных вод по 2030 г. выполнилось на основе продолжения регулировочной задачи.

Карта уровня подземных вод плейстоценового комплекса Qp на территории г. Ханоя показаны в 2010 г. (рисунок 5.18), и 2015 г., 2020 г., 2025 г. и 2030 г. (рисунок 5.19).



Рисунок 5.18. Карта уровня подземных вод плейстоценового комплекса на территории г.

Ханоя в 2010 г. (Чиеу Д.Х., Фам Б. К., Фи Х.Т., 2013)



Рисунок 5.19. Карта уровня подземных вод плейстоценового комплекса на территории г. Ханоя в 2015-2030 г. (Чиеу Д.Х., Фам Б. К., Фи Х.Т., 2013)

Понижение уровня подземных вод плейстоценового комплекса на станциях водоснабжения приведено в таблице 5.7.

Таблица 5.7.

Прогнозные понижения уровня подземных вод плейстоценового комплекса по станциям водоснабжения в 2020 и 2030 гг.

П.п.	Станция водоснабжения	Эксплуатационный дебит, м ³ /сутки	Уровень подземных вод 2010 г., м	Уровень подземных вод 2020 г., м	Уровень подземных вод 2030 г., м
1	Каодинь	60.000	-0,8	-2,3	-3,7
2	Майзич	60.000	-23,9	-25,4	-26,4
3	Иенфу	90.000	-2,5	-3,8	-4,8
4	Нгошилиен	47.000	-14,9	-16,4	-17,4
5	Тыонгмай	20.000	-22,5	-23,5	-24,5
6	Льонгиен	50.000	-12,5	-13,3	-14,3
7	Намзы	60.000	-1,5	-2,5	-3,5
8	Фапван	21.000	-18,8	-21,3	-22,3
9	Хадинь	20.000	-29,5	-30,3	-31,2
10	Нгокха	32.000	-19,0	-20,5	-21,5
11	Тхыонгкат	60.000	0,9	-0,5	-2,1
12	Север. Тханглонг	37.000	-2,0	-3,1	-4,1
13	Хадонг	36.000	-10,4	-12,5	-14,5
14	Донгань	22.000	1,2	-0,3	-2,0
15	Шонтаи	20.000	4,5	4,8	5,4
16	Залам	36.000	0,5	-0,9	-2,3
17	Маленькие станции	31.000	-	-	-

5.3. Выводы

1. На территории г. Ханоя имеется два главных водоносных комплекса – плейстоценовый и голоценовый. В том числе плейстоценовый водоносный комплекс имеет большую мощность и широкое распространение. Большая часть воды забирается из этого комплекса.

2. В Ханое только водоносные комплексы в четвертичных отложениях изучены тщательно. Динамика подземных вод на территории подразделяется на три зоны: естественная, слабо нарушенная и нарушенная. В том числе зона нарушенной динамики подземных вод, располагающаяся в южной части реки Красной, сильно вялется извлечением подземных вод.

3. В настоящее время водоносные комплексы подземные Qh и Qr имеют относительно хорошее качество. Почти все показатели воды менее допустимых

пределов по Вьетнамскому стандарту. Однако, некоторые показатели воды такие, как железо, марганец, аммиак, нитрит, нитрат, KMnO_4 , цианид, мышьяк, кишечная палочка и колиподобная бактерия в некоторых местах превышают допустимые пределы в районах Ынгхоа, Данфыонг, Хадонг, Тханьоай, Тхыонгтин, Фусуен, Тылием и Тханьчи, Залам и Лонгбиен.

4. Эксплуатационными запасами подземных вод в Ханое является 8.362.000 м³/сутки. В настоящее время общая добыча подземных вод в Ханое составляет около 1.800.000 м³/сутки. Таким образом, подземные воды могут полностью удовлетворить спрос на воду в Ханое в ближайшие годы. Однако организация процесса добычи подземных вод выполняется нецелесообразно. В южных районах и центральной части города подземная вода забирается с большими масштабами. Извлечение подземных вод образовало депрессионную воронку с большой шириной и глубиной. Это является причиной явления оседания поверхности и увеличения вероятности загрязнения водоносных комплексов.

5. Увеличение добычи подземных вод, необоснованное расположение и необоснованная мощность добычи в станциях водоснабжения произвели степень влияния друг с другом (интерференцию) между скважинами в станциях водоснабжения и между станциями водоснабжения по всему городу более и более широко и интенсивно. В результате чего уровни подземных вод в центре станций водоснабжения и центральной части города более и более глубоко понижены. В настоящее время уровни подземных вод в станциях водоснабжения, расположенных далеко от реки Красной и глубоко в центральной части города, как Хадинь и Майзич снижены быстро и глубоко. Станции водоснабжения, расположенные вдоль Красной реки, как Намзы, Лыонгиен, Иенфу, Каодинь, Тхыонгкат и т.д. работают нормально из-за получения непосредственного ассигнования из Красной реки.

Всё-таки уровни подземных вод в станциях водоснабжения еще 10 метров выше, чем вершины водоносного комплекса Q_p – это главный водоносный комплекс для добычи подземных вод в Ханое. Это значит, что теоретически все еще позволяет снизить уровни подземных вод в станциях водоснабжения не десять метров.

Результаты постоянного мониторинга уровней подземных вод с 1988 г. по настоящее время (приложение 1) в городе Ханое показаны, что с 1988 г. по 2005 г., уровни подземных вод в городе Ханое были понижены сильно и непрерывно. Но с

2006 г. по настоящее время, уровни подземных вод имеют тенденцию стабильнее. Это значит, что режим и мощность добычи регулировались разумно.

6. По варианту извлечения подземных вод в 2010 г., в ближайшие годы уровень подземных вод на территории города не превысит допустимое ограничение. Но в станциях водоснабжения, находящихся далеко от Красной реки, как Майзич, Тьонгмай, Фапван, Нгокха, и особенно, станции водоснабжения Хадинь, уровень подземных вод еще будет продолжать понижать более глубоко, но немного. В 2030 г. понижение уровни подземных вод в Хадинь будет составлять 32,8 м; в Майзич – 28,5 м; в Тьонгмай – 26,5 м; в Нгокха – 24,0 м; в Фапван – 23,5 м; в Тханьконг – 20,5 м; в Нгошилиен – 20,0 м; в Лыонгиен – 19,0 м; в Залам – 7,0 м; в Донгань – 4,7 м. Этим также является одна из причин спада производительности скважин.

7. Сильное понижение уровня подземных вод на большой площади, в развивающейся части города, очень опасное и сопровождается увеличением риска оседания земной поверхности при снижении нейтрального напряжения в почве. Большой гидравлический наклон и напорный перепад создает благоприятные условия для распространения и вторжения загрязняющих веществ в водоносные комплексы. В некоторых зонах, водоносный комплекс Qh был разрушен и исчерпан. Таким образом, необходимо рассмотреть план извлечения подземных вод в этих районах.

ГЛАВА 6. ПРОГНОЗ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ Г. ХАНОЯ

6.1. Основные этапы прогнозирования оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод

Прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод представляется сложной геотехнической задачей, зависящей от различных факторов.

Для прогноза оседания земной поверхности необходимо проанализировать причины, механизмы и влияющие факторы, далее выбрать соответствующие методы для моделирования и прогноза оседания земной поверхности во времени.

Основные этапы процесса прогноза оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод следующие.

1. Собрать и проанализировать данные по геологии, гидрогеологии, свойствам грунтов, определяющие развитие этого процесса и наблюдаемым осадкам;
2. Определить теоретические основы прогноза оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод;
3. Выбрать методы для моделирования развития величин осадок;
4. Смоделировать развитие величин осадок во времени;
5. Проверить модели прогноза оседания земной поверхности;
6. Сделать прогноз оседания поверхности на ближайшие годы в связи с увеличивающимся водоотбором.

6.2. Моделирование развития величин осадок во времени и проверка моделей

Метод многофакторного корреляционного анализа (ММКА) и метод конечных элементов (МКЭ) применялись для моделирования развития величин осадок во времени в результате извлечения подземных вод на 10 станциях мониторинга за оседанием земной поверхности на территории г. Ханоя. Результаты проверки моделей используются для выбора оптимальных методов и моделей.

Результаты исследований по геологическим, гидрогеологическим, инженерно-геологическим условиям и данные мониторинга за оседаниями земной поверхности на 10 станциях, упомянутые в главах с 1 по 5, используются для построения и проверки моделей и прогноза оседания земной поверхности на территории г. Ханоя.

6.2.1. Метод многофакторного корреляционного анализа (ММКА)

ММКА применялся для построения функций деформации земной поверхности по времени (S_t) и среднегодовой скорости деформации земной поверхности (V_s) на 10 станциях мониторинга.

6.2.1.1. Тип грунтовых толщ без слабых грунтов

В геологическом разрезе на 3 станциях мониторинга за оседанием поверхности «Майзич», «Нгокха», и «Донгань» отсутствуют слабые грунты (Рисунок 6.1).

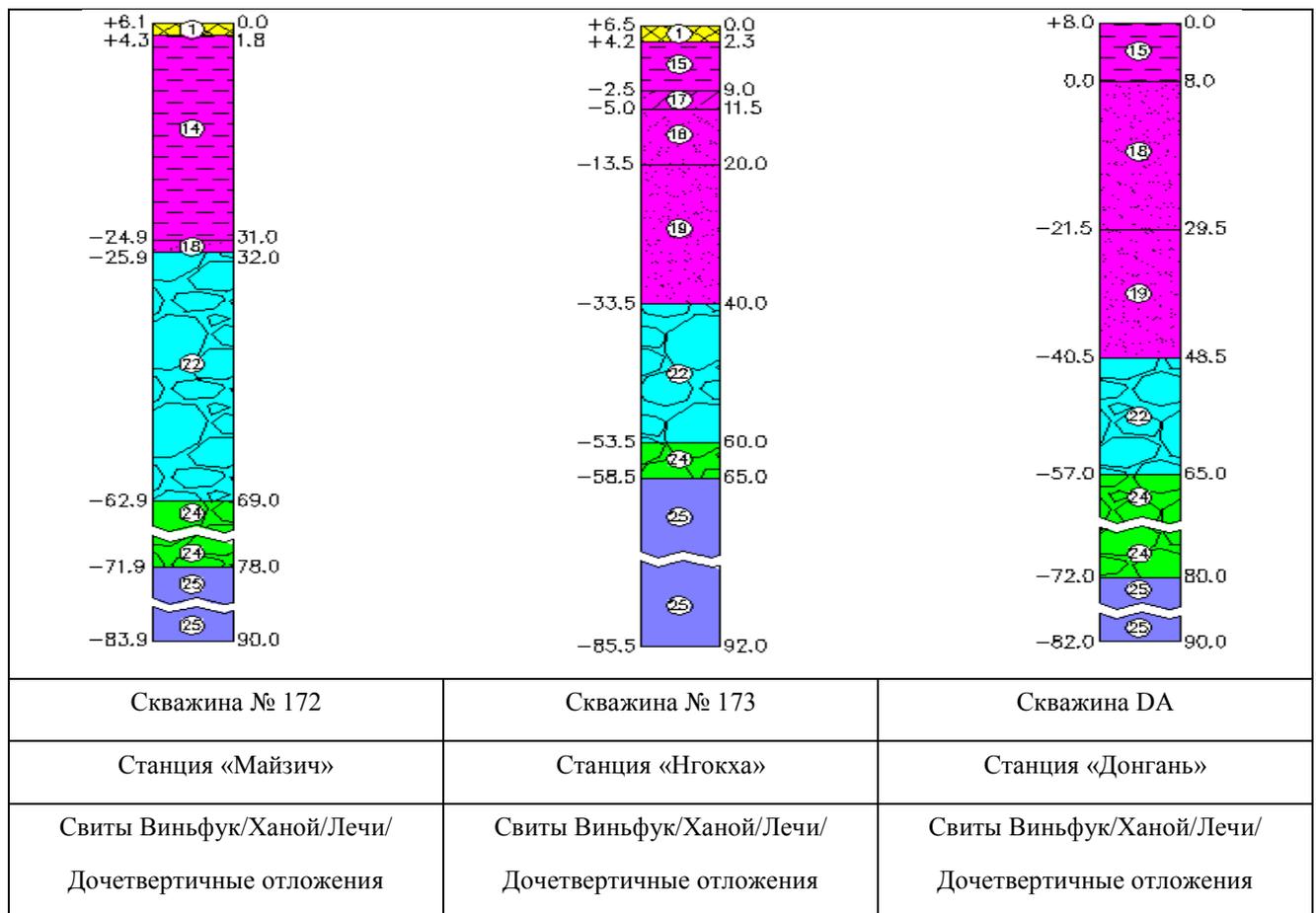


Рисунок 6.1. Геологический разрез на станциях «Майзич», «Нгокха», и «Донгань»

(Фи Х.Т., 2013)

- Исходными данными для построения функций V_s и S_t являются:

а) Слои грунта: средний коэффициент сжимаемости и средняя плотность природного грунта.

б) Данные мониторинга: глубина подземных вод, среднегодовая скорость деформации земной поверхности, деформация земной поверхности во времени.

Исходные данные для построения функций представлены в таблицах 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1

Исходные факторы для V_s [26, 97]

Станция мониторинга за осадками поверхности	Время t (год)	Глубина подземных вод Н (м)	Средняя скорость деформации V_s (мм/год)	Средний коэффициент сжимаемости m_{vm} ($10^{-3} \text{ м}^2/\text{кН}$)	Средняя плотность природного грунта ρ ($\text{г}/\text{см}^3$)
Майзич	1998	21,865	2,820	0,265	1,87
	1999	24,620	2,625	0,265	1,87
	2000	26,000	3,540	0,265	1,87
	2001	26,280	1,390	0,265	1,87
	2002	25,880	1,080	0,265	1,87
	2003	19,232	3,185	0,265	1,87
Нгокха	1994	21,087	1,763	0,306	1,90
	1995	21,702	1,510	0,306	1,90
	1996	21,840	1,216	0,306	1,90
	1997	22,375	1,047	0,306	1,90
	1998	22,580	0,773	0,306	1,90
	1999	20,890	0,382	0,306	1,90
	2000	22,990	1,700	0,306	1,90
	2001	23,420	0,720	0,306	1,90
	2002	23,850	1,495	0,306	1,90
2003	24,250	4,225	0,306	1,90	
Донгань	2003	4,670	3,499	0,275	1,92

- Построение целевой функции S_t

Из данных, представленных в табл. 6.1 и 6.2, целевая функция S_t построена по следующей схеме:

а) Выбор геотехнических факторов: время t, глубина подземных вод Н, средний коэффициент сжимаемости m_{vm} и средняя плотность природного грунта ρ в целевой функции S_t .

б) Коэффициенты парной корреляции между целевой функцией и параметрами, а также между факторами представлены в таблице 6.3.

Исходные факторы для S_t [26, 97]

Станция мониторинга за осадками поверхности	Время t (месяц)	Глубина подземных вод Н (м)	Деформация земной поверхности во времени S_t (мм)	Средний коэффициент сжимаемости m_{vm} ($10^{-3} \text{ м}^2/\text{кН}$)	Средняя плотность природного грунта ρ ($\text{г}/\text{см}^3$)
Майзич	1	21,710	2,120	0,265	1,87
	4	20,220	2,150	0,265	1,87
	8	21,730	2,930	0,265	1,87
	12	21,865	4,080	0,265	1,87
	16	21,450	5,360	0,265	1,87
	20	24,260	5,970	0,265	1,87
	24	24,620	6,705	0,265	1,87
	28	25,640	7,725	0,265	1,87
	32	25,580	8,450	0,265	1,87
	36	26,000	10,245	0,265	1,87
	40	26,120	10,625	0,265	1,87
	44	26,290	11,080	0,265	1,87
	48	26,280	11,635	0,265	1,87
	52	26,270	11,995	0,265	1,87
	56	26,000	12,280	0,265	1,87
	60	25,880	12,715	0,265	1,87
	64	26,590	13,535	0,265	1,87
	68	26,970	14,760	0,265	1,87
72	26,930	15,900	0,265	1,87	
Нгокха	1	21,740	1,200	0,306	1,90
	4	22,110	1,855	0,306	1,90
	8	21,406	1,840	0,306	1,90
	12	21,087	2,157	0,306	1,90
	16	21,950	3,020	0,306	1,90
	20	21,770	3,210	0,306	1,90
	24	21,702	3,667	0,306	1,90
	28	22,500	4,530	0,306	1,90
	32	22,155	4,635	0,306	1,90
	36	21,840	4,883	0,306	1,90
	40	22,670	5,170	0,306	1,90
	44	21,660	4,900	0,306	1,90
	48	22,375	5,390	0,306	1,90
	52	22,590	6,040	0,306	1,90
	56	22,180	6,065	0,306	1,90
	60	22,580	6,703	0,306	1,90
	64	22,780	7,090	0,306	1,90
	68	23,080	7,515	0,306	1,90
	72	23,150	8,205	0,306	1,90
	76	23,070	8,385	0,306	1,90
	80	22,990	8,785	0,306	1,90
	84	23,280	9,170	0,306	1,90
	88	22,600	9,075	0,306	1,90
	92	23,420	9,505	0,306	1,90
96	23,560	10,105	0,306	1,90	
100	23,570	10,455	0,306	1,90	
104	23,850	11,000	0,306	1,90	
108	24,090	11,395	0,306	1,90	
112	24,220	13,350	0,306	1,90	
116	24,250	15,225	0,306	1,90	
Донгань	1	4,180	0,685	0,275	1,92
	4	3,900	2,200	0,275	1,92
	8	4,200	1,315	0,275	1,92
	12	4,670	9,795	0,275	1,92

Коэффициенты парной корреляции между S_t , t , H , m_{vm} и ρ установленные по данным наблюдений

	S_t	t	H	m_{vm}	ρ
S_t	1,000	0,756	0,512	-0,186	-0,349
t	0,756	1,000	0,427	0,391	0,110
H	0,512	0,427	1,000	0,008	-0,640
m_{vm}	-0,186	0,391	0,008	1,000	0,742
ρ	-0,349	0,110	-0,640	0,742	1,000

в) Стандартизованные коэффициенты β_1 , β_2 , β_3 , β_4 являются корнями системы уравнений 6.1:

$$\begin{aligned}
 0,756 &= \beta_1 + 0,427\beta_2 + 0,391\beta_3 + 0,110\beta_4 \\
 0,512 &= 0,427\beta_1 + \beta_2 + 0,008\beta_3 - 0,640\beta_4 \\
 -0,186 &= 0,391\beta_1 + 0,008\beta_2 + \beta_3 + 0,742\beta_4 \\
 -0,349 &= 0,110\beta_1 - 0,640\beta_2 + 0,742\beta_3 + \beta_4
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

Решив систему уравнений 6.1, получаем: $\beta_1=0,658$; $\beta_2= 1,421$; $\beta_3 = -1,817$; $\beta_4= 1,836$.

з) Многомерный коэффициент корреляции R определяется по формуле 2.26, с результатом $R=0,960$. Значение $R=0,960$ свидетельствует о том, что геотехнические параметры, выбранные для участия в целевой функции, являются значимыми и адекватными.

д) Вес параметров времени t , глубины подземных вод H , среднего коэффициента сжимаемости m_{vm} и средней плотности природного грунта ρ в целевой функции, обозначенные соответственно g_1 , g_2 , g_3 , g_4 и определяемые по формуле 2.27, равны: $g_1=0,226$; $g_2=0,330$; $g_3=0,153$; $g_4=0,291$.

Таким образом, целевая функция S_t имеет вид:

$$S_t = 0,226 t' + 0,330 H' + 0,153 m_{vm}' + 0,291 \rho' \tag{6.2}$$

Деформация земной поверхности во времени S_t на этих трех станциях на ближайшие 17 лет рассчитывается по формуле 6.2 и сравнивается с результатами мониторинга (Рисунок 6.7). За начальное время для прогноза оседания был выбран 1965 год, когда было обнаружено значительное оседание поверхности.

Прогнозируемые деформации земной поверхности за время S_t на станциях мониторинга в 1,1 раз меньше действительных наблюдаемых деформаций земной поверхности.

- Построение целевой функции V_s

Из данных, представленных в таблицах 6.1 и 6.2, целевая функция V_s построена в следующей последовательности:

а) Выбор геотехнических факторов: глубина подземных вод H , средний коэффициент сжимаемости m_{vm} и средняя плотность природного грунта ρ в целевой функции V_s .

б) Парный коэффициент корреляции между целевой функцией и параметров в функции, а также парной коэффициент корреляции между параметрами определяются и представлены в таблице 6.4.

в. Стандартизованные коэффициенты $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ являются корнями системы уравнений 6.3:

$$\begin{aligned} -0,275 &= \beta_1 + 0,024\beta_2 - 0,555\beta_3 \\ -0,461 &= 0,024\beta_1 + \beta_2 + 0,786\beta_3 \\ -0,196 &= -0,555\beta_1 + 0,786\beta_2 + \beta_3 \end{aligned} \quad 6.3$$

Решив систему уравнений 6.3, получаем: $\beta_1 = -0,103$; $\beta_2 = -0,679$; $\beta_3 = 0,281$.

Таблица 6.4

Коэффициенты парной корреляции между V_s, H, m_{vm} и ρ по данным наблюдений

	V_s	H	m_{vm}	ρ
V_s	1,000	-0,275	-0,461	-0,196
H	-0,275	1,000	0,024	-0,555
m_{vm}	-0,461	0,024	1,000	0,786
ρ	-0,196	-0,555	0,786	1,000

г. Многомерный коэффициент корреляции R определяется по формуле 2.26, $R=0,535$. Значение $R=0,535$ свидетельствует о том, что связи между выбранными геотехническими факторами, наблюдаемыми факторами и целевой функцией V_s

нетесные. На основе настоящих данных наблюдений нельзя составить целевую функцию V_s .

6.2.1.2. Тип грунтовых толщ со слоями слабых грунтов

В геологическом разрезе на остальных 7 станциях мониторинга за осадками поверхности присутствуют слои слабых грунтов (Рисунок 6.2. и 6.3).

- Исходными данными для построения функций V_s и S_t являются:

а. Слои грунта: средний коэффициент сжимаемости, мощность слабых грунтов и средняя плотность природного грунта.

б. Данные мониторинга: глубина подземных вод, среднегодовая скорость деформации земной поверхности, деформация земной поверхности во времени.

Исходные данные для построения функций представлены в таблицах 6.5 и 6.6.

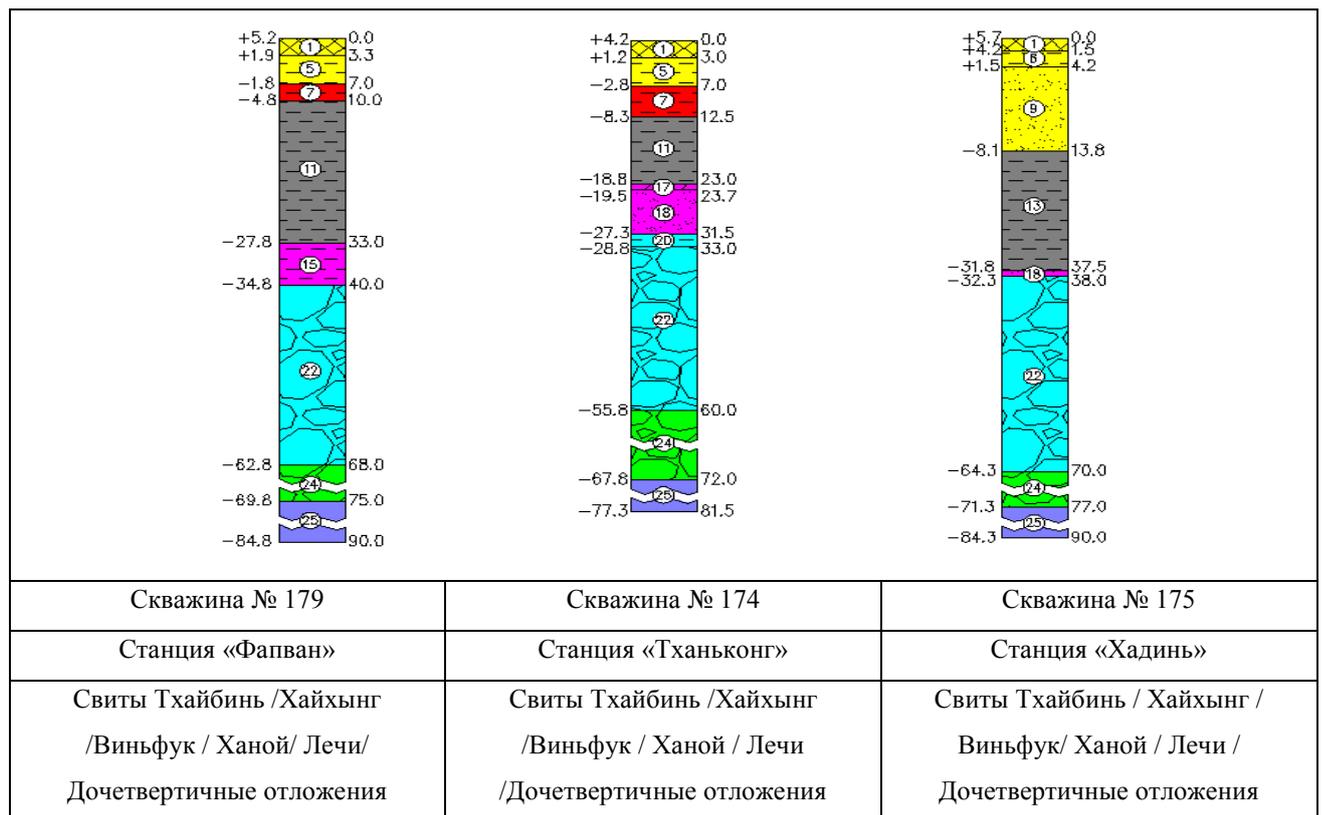


Рисунок 6.2. Геологический разрез на станциях «Фапван», «Тханьконг» и «Хадинь» (Фи, 2013)

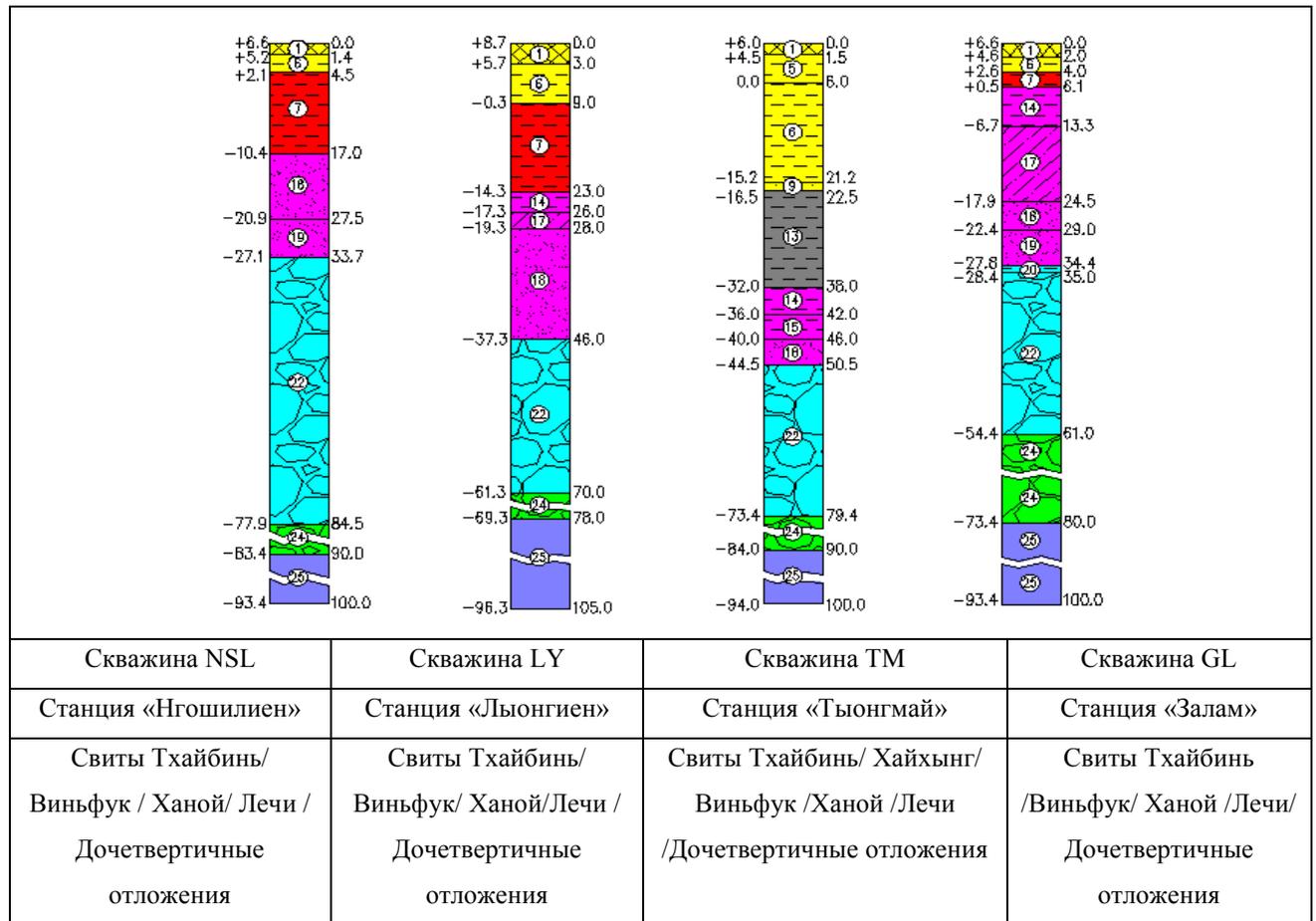


Рисунок 6.3. Геологический разрез на станциях «Нгозилиен», «Льонгиен», «Тьонгмай» и «Залам» (Фи Х.Т., 2013)

Таблица 6.5

Исходные факторы для V_s [26, 97]

Станция мониторинга за осадками поверхности	Время t (год)	Глубина подземных вод Н (м)	Средняя скорость деформации V_s (мм/год)	Средний коэффициент сжимаемости m_{vm} ($10^{-3} \text{ м}^2/\text{кН}$)	Мощность слабых грунтов В (м)	Средняя плотность природного грунта ρ ($\text{г}/\text{см}^3$)
Фапван	1996	17,957	28,952	0,642	26,0	1,80
	1997	18,010	21,198	0,642	26,0	1,80
	1998	20,205	23,070	0,642	26,0	1,80
	1999	20,005	19,908	0,642	26,0	1,80
	2000	20,947	19,245	0,642	26,0	1,80
	2001	19,232	15,019	0,642	26,0	1,80
	2002	20,997	18,283	0,642	26,0	1,80
Льонгиен	2000	19,123	26,785	0,530	14,0	1,79
	2001	18,893	13,257	0,530	14,0	1,79
	2002	19,203	11,055	0,530	14,0	1,79
	2003	20,593	14,300	0,530	14,0	1,79
Хадинь	1998	31,147	15,283	0,928	23,7	1,64
	1999	30,940	18,979	0,928	23,7	1,64
	2000	31,833	20,371	0,928	23,7	1,64
	2001	31,890	16,350	0,928	23,7	1,64
	2002	33,023	18,117	0,928	23,7	1,64
	2003	34,413	17,890	0,928	23,7	1,64

Станция мониторинга за осадками поверхности	Время t (год)	Глубина подземных вод Н (м)	Средняя скорость деформации V_s (мм/год)	Средний коэффициент сжимаемости m_{vm} ($10^{-3} \cdot 2/t \cdot H$)	Мощность слабых грунтов В (м)	Средняя плотность природного грунта ρ ($г/см^3$)
Нгошилиен	2003	20,570	27,019	0,622	12,5	1,75
Залам	2003	7,653	13,942	0,357	2,1	1,85
Тьонгмай	2003	27,697	13,662	0,550	15,5	1,79
Тханьконг	1997	14,300	35,790	0,673	16,0	1,77
	1998	15,370	37,057	0,673	16,0	1,77
	1999	15,615	39,458	0,673	16,0	1,77
	2000	16,583	43,168	0,673	16,0	1,77
	2001	16,637	38,824	0,673	16,0	1,77
	2002	17,650	35,163	0,673	16,0	1,77
	2003	18,713	32,810	0,673	16,0	1,77

Таблица 6.6

Исходные факторы для St [26, 97]

Станция мониторинга за осадками поверхности	Время t (месяц)	Глубина подземных вод Н (м)	Деформация земной поверхности по времени S_t (мм)	Средний коэффициент сжимаемости m_{vm} ($10^{-3} \cdot m^2/kH$)	Мощность слабых грунтов В (м)	Средняя плотность природного грунта ρ ($г/см^3$)	
Фапван	1	18,240	13,810	0,642	26,0	1,80	
	4	17,355	20,058	0,642	26,0	1,80	
	8	15,720	24,507	0,642	26,0	1,80	
	12	17,957	28,952	0,642	26,0	1,80	
	16	17,830	38,053	0,642	26,0	1,80	
	20	16,290	42,287	0,642	26,0	1,80	
	24	18,010	50,150	0,642	26,0	1,80	
	28	18,015	58,022	0,642	26,0	1,80	
	32	18,470	63,072	0,642	26,0	1,80	
	36	20,205	73,220	0,642	26,0	1,80	
	40	20,727	81,427	0,642	26,0	1,80	
	44	18,540	85,952	0,642	26,0	1,80	
	48	20,005	93,128	0,642	26,0	1,80	
	52	20,133	100,453	0,642	26,0	1,80	
	56	19,453	105,295	0,642	26,0	1,80	
	60	20,947	112,373	0,642	26,0	1,80	
	64	20,987	119,008	0,642	26,0	1,80	
	Фапван	68	19,133	121,472	0,642	26,0	1,80
72		19,323	127,392	0,642	26,0	1,80	
76		21,017	134,900	0,642	26,0	1,80	
80		19,360	138,965	0,642	26,0	1,80	
84		20,997	145,675	0,642	26,0	1,80	
88		20,197	149,948	0,642	26,0	1,80	
92		19,537	154,755	0,642	26,0	1,80	
96		22,803	163,318	0,642	26,0	1,80	
Льонгиен		1	18,633	11,792	0,530	14,0	1,79
		4	18,243	16,818	0,530	14,0	1,79
	8	15,487	18,863	0,530	14,0	1,79	
	12	19,123	26,785	0,530	14,0	1,79	
	16	19,303	33,585	0,530	14,0	1,79	
	20	15,363	33,177	0,530	14,0	1,79	
	24	18,893	40,042	0,530	14,0	1,79	
	28	19,333	45,785	0,530	14,0	1,79	
	32	14,750	45,440	0,530	14,0	1,79	

Станция мониторинга за осадками поверхности	Время t (месяц)	Глубина подземных вод Н (м)	Деформация земной поверхности по времени S_t (мм)	Средний коэффициент сжимаемости m_{vm} ($10^{-3} \text{ м}^2/\text{кН}$)	Мощность слабых грунтов В (м)	Средняя плотность природного грунта ρ ($\text{г}/\text{см}^3$)
Лыонгиен	36	19,203	51,097	0,530	14,0	1,79
	40	20,093	56,385	0,530	14,0	1,79
	44	17,700	58,615	0,530	14,0	1,79
	48	20,593	65,397	0,530	14,0	1,79
Хадинь	1	30,520	6,990	0,928	23,7	1,64
	4	30,675	11,642	0,928	23,7	1,64
	8	31,223	17,778	0,928	23,7	1,64
	12	31,147	24,723	0,928	23,7	1,64
	16	31,237	32,077	0,928	23,7	1,64
	20	30,690	37,078	0,928	23,7	1,64
	28	30,827	50,463	0,928	23,7	1,64
	32	31,297	57,067	0,928	23,7	1,64
	36	31,833	64,073	0,928	23,7	1,64
	40	31,533	70,827	0,928	23,7	1,64
	44	31,733	73,983	0,928	23,7	1,64
	48	31,890	80,423	0,928	23,7	1,64
	52	32,567	86,265	0,928	23,7	1,64
	56	33,123	92,777	0,928	23,7	1,64
	60	33,023	98,540	0,928	23,7	1,64
	64	33,533	104,167	0,928	23,7	1,64
68	34,077	110,547	0,928	23,7	1,64	
72	34,413	116,430	0,928	23,7	1,64	
Нгошилиен	1	19,290	11,118	0,622	12,5	1,75
	4	19,760	19,957	0,622	12,5	1,75
	8	18,843	29,660	0,622	12,5	1,75
	12	20,570	42,195	0,622	12,5	1,75
Залам	1	7,307	1,915	0,357	2,1	1,85
	4	7,410	9,148	0,357	2,1	1,85
	8	4,740	11,960	0,357	2,1	1,85
Тыонгмай	12	7,653	21,835	0,357	2,1	1,85
	1	25,040	0,975	0,550	15,5	1,79
	4	21,187	8,243	0,550	15,5	1,79
	8	25,900	15,060	0,550	15,5	1,79
Тханьконг	12	27,697	21,335	0,550	15,5	1,79
	1	14,277	2,853	0,673	16,0	1,77
	4	14,643	12,438	0,673	16,0	1,77
	8	13,920	24,438	0,673	16,0	1,77
	12	14,300	35,790	0,673	16,0	1,77
	20	14,495	59,100	0,673	16,0	1,77
	24	15,370	72,847	0,673	16,0	1,77
	28	15,907	86,150	0,673	16,0	1,77
	32	15,500	99,930	0,673	16,0	1,77
	36	15,615	112,305	0,673	16,0	1,77
	40	16,247	126,380	0,673	16,0	1,77
	44	16,120	141,590	0,673	16,0	1,77
	48	16,583	155,473	0,673	16,0	1,77
	52	17,027	169,987	0,673	16,0	1,77
	56	16,257	183,000	0,673	16,0	1,77
	60	16,637	194,297	0,673	16,0	1,77
68	16,800	218,000	0,673	16,0	1,77	
72	17,650	229,460	0,673	16,0	1,77	
76	18,083	243,953	0,673	16,0	1,77	
80	18,313	258,857	0,673	16,0	1,77	

- Построение целевой функции S_t

Из данных, представленных в таблицах 6.5 и 6.6, целевая функция S_t построена по следующей схеме:

а) Выбор геотехнических факторов: время t , глубина подземных вод H , средний коэффициент сжимаемости m_{vm} ; мощность слабых грунтов B ; и средняя плотность природного грунта ρ в целевой функции S_t .

б) Коэффициенты парной корреляции между целевой функцией и параметрами, а также между факторами представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.7

Коэффициенты парной корреляции между S_t , t , H , m_{vm} , B , и ρ , установленные по данным наблюдений

	S_t	t	H	m_{vm}	B	ρ
S_t	1,000	0,859	-0,127	-0,049	-0,068	0,160
t	0,859	1,000	0,105	0,020	0,200	0,085
H	-0,127	0,105	1,000	0,870	0,462	-0,902
m_{vm}	-0,049	0,020	0,870	1,000	0,431	-0,946
B	-0,068	0,200	0,462	0,431	1,000	-0,208
ρ	0,160	0,085	-0,902	-0,946	-0,208	1,000

в) Стандартизованные коэффициенты $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ являются корнями системы уравнений 6.4:

$$\begin{aligned}
 0,859 &= \beta_1 + 105\beta_2 + 0,020\beta_3 + 0,200\beta_4 + 0,085\beta_5 \\
 -0,127 &= 0,105\beta_1 + \beta_2 + 0,870\beta_3 + 0,462\beta_4 - 0,902\beta_5 \\
 -0,049 &= 0,020\beta_1 + 0,870\beta_2 + \beta_3 + 0,431\beta_4 - 0,946\beta_5 \\
 -0,068 &= 0,200\beta_1 + 0,462\beta_2 + 0,431\beta_3 + \beta_4 - 0,208\beta_5 \\
 0,160 &= 0,085\beta_1 - 0,902\beta_2 - 0,946\beta_3 - 0,208\beta_4 + \beta_5
 \end{aligned}
 \tag{6.4}$$

Решив систему уравнений 6.4, получаем: $\beta_1 = 0,789$; $\beta_2 = 0,213$; $\beta_3 = 1,776$; $\beta_4 = -0,712$; $\beta_5 = 1,817$.

з) Многомерный коэффициент корреляции R определяется по формуле 2.26, с результатом $R=0,951$. Значение $R=0,951$ свидетельствует о том, что геотехнические параметры, выбранные для участия в целевой функции, являются значимыми и адекватными.

д) Вес параметров времени t , глубины подземных вод H , среднего коэффициента сжимаемости m_{vm} , мощности слабых грунтов B , и средней плотности природного грунта ρ в целевой функции, обозначенные соответственно g_1, g_2, g_3, g_4, g_5 и

определяемые по формуле 2.27, равны: $g_1=0,559$; $g_2=0,024$; $g_3=0,077$; $g_4=0,043$; $g_5=0,257$.

Таким образом, целевая функция S_t имеет вид:

$$S_t = 0,599 t' + 0,024 H' + 0,077 m_{vm}' + 0,043 B' + 0,257 \rho' \quad 6.5$$

Деформация земной поверхности во времени S_t на этих семи станциях на ближайшие 17 лет рассчитывается по формуле 6.5 и сравнивается с результатами мониторинга (Рисунок 6.7). За начальное время прогноза выбран 1965 год, когда значительно увеличилась добыча подземных вод. Прогнозируемые деформации земной поверхности за время S_t на этих семи станциях в 1,1 раз меньше действительных наблюдаемых деформаций земной поверхности.

- Построение целевой функции V_s

Из данных, представленных в таблице 6.5 и 6.6, целевая функция V_s построена в следующей последовательности:

а) Выбор геотехнических факторов: глубина подземных вод H , средний коэффициент сжимаемости m_{vm} ; мощность слабых грунтов B ; и средняя плотность природного грунта ρ в целевой функции V_s .

б) Парный коэффициент корреляции между целевой функцией и параметров в функции, а также парной коэффициент корреляции между параметрами определяются и представлены в таблице 6.8.

Коэффициенты парной корреляции между V_s , H , m_{vm} , B , и ρ установленные по данным наблюдений

Таблица 6.8

	V_s	H	m_{vm}	B	ρ
V_s	1,000	-0,561	-0,130	-0,432	0,221
H	-0,561	1,000	0,850	0,463	-0,890
m_{vm}	-0,130	0,850	1,000	0,423	0,947
B	-0,432	0,463	0,423	1,000	-0,201
ρ	0,221	-0,890	0,947	-0,201	1,000

в) Стандартизованные коэффициенты β_1 , β_2 , β_3 , β_4 являются корнями системы уравнений 6.6:

$$\begin{aligned} -0,561 &= \beta_1 + 850\beta_2 + 0,463\beta_3 - 0,890\beta_4 \\ -0,130 &= 0,850\beta_1 + \beta_2 + 0,423\beta_3 + 0,947\beta_4 \\ -0,432 &= 0,463\beta_1 + 0,423\beta_2 + \beta_3 - 0,201\beta_4 \end{aligned} \quad 6.6$$

$$0,221 = -0,890\beta_1 + 0,947\beta_2 - 0,201\beta_3 + \beta_4$$

Решив систему уравнений 2.26 , получаем: $\beta_1 = -0,091$; $\beta_2 = -0,158$; $\beta_3 = -0,276$; $\beta_4 = 0,234$.

з) Многомерный коэффициент корреляции R определяется по формуле 2.27, $R=0,492$.

Значение $R=0,492$ свидетельствует о том, что связи между выбранными геотехническими факторами, наблюдаемыми факторами и целевой функцией V_s нетесные. На основе настоящих данных наблюдений нельзя составить целевую функцию V_s .

Детальные результаты прогноза деформации земной поверхности за время S_t на 10 станциях по ММКА показаны в таблице 6.12.

Комментарии:

- В сравнении с наблюдаемыми данными показали, что прогнозируемые деформации S_t по методу ММКА и наблюдаемые деформации неплохие соответствия друг с другом. Таким образом, ММКА является надежным методом и может быть использован для прогноза оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в Ханое.

- Значения многомерного коэффициента корреляции (R) свидетельствуют о том, что связи между выбранными геотехническими факторами, наблюдаемыми факторами и целевой функцией V_s нетесные. На основе настоящих данных наблюдений нельзя составить целевую функцию V_s . Причина этой проблемы может быть из-за короткого наблюдаемого времени.

6.2.2. Метод конечных элементов (МКЭ)

Для моделирования оседания земной поверхности на этих станциях мониторинга использовалась программа TZR, разработанная Ф.Х. Жао в 1997 г. при сочетании двухмерной модели движения подземных вод и модели одномерной консолидации на базе метода конечных элементов (МКЭ).

По МКЭ, слои грунтов разбиваются на узлы и линейные элементы. Применяется модель одномерной консолидации. На базе изменения нейтрального напряжения может быть вычислена деформация по времени каждого подслоя грунта (S_{it}).

Определение деформации земной поверхности по времени (S_t) на каждой станции мониторинга осуществляется следующим образом:

- Исходными данными для моделирования S_t являются:

а) Стратиграфия (глубина залегания слоев грунта).

б) Характеристики слоев грунта: плотность (γ), коэффициент консолидации (C_v), степень переуплотнения (OCR), коэффициент уплотнения (CR), коэффициент разуплотнения (RR).

В том числе:

$CR = C_c / (1 + e_0)$, где C_c – коэффициент компрессии, e_0 – коэффициент пористости.

$RR = C_r / (1 + e_0)$, где C_r – коэффициент рекомпрессии.

в) Расчетные значения понижения уровня подземных вод (УПВ) плейстоценового водоносного комплекса на ближайшие 20 лет в зависимости от добычи подземных вод.

Исходные данные для моделирования S_t представлены на рис. 5.18 – 5.19 и в Таблице 4.2.

- Шаги моделирования S_t :

а) Ввод данных: в текстовом редакторе / блокнот (Рисунок 6.4) через пробел данных по разрезу:

```

175_1.inp - Notepad
File Edit Format View Help
1st----- N, IW, NN, NELM, NR, P, S, CK, TL, THETA, HI, IFIX, IDFIX, ISTEP
 38 1 38 37 0 1.D20 1.D0 1.D0 38. 1.D+0 0. 2 0 10
2nd----- REDNFI( Reads NF(I), IF NR =/ 0)
3rd----- IF IFIX=/0 : (NO(I),VAL(I),I=1,IFIX)
 1 0.D0 38 207.D0
4th----- IF NDFIX=/0 : (ND(I),VALD(I),I=1,NDFIX)
5th----- NPRI, IPRO, NOD1, NOD2, NOD3, NOD4, NOD5
 10 1 2 7 10 13 20
6th----- (T1(I),I=1,ISTEP)
 26.D0
 30.D0
 35.D0
 40.D0
 45.D0
 48.D0
 50.D0
 55.D0
 60.D0
 65.D0
7th-----MESH DATA READ FROM READZY
      1      1.      2.
      37      37      38      5.2
8th-----NSOIL, (NS(I),I=1,NSOIL)
      5 1 4 14 37 38
9th-----GWT(M), Uww(10.0 kN/m3), TOPSGM(kPa)
      2.D0 10.D0 0.D0
10th----- (DEPTH(I), TH(I), Uw(I), OCR(I), CR(I), RR(I), I=1, N LAYER)
 1.      1.      18.2 15.9 0.08 0.02
 2.      1.      18.5 3.5 0.09 0.04
...
 38.     1.      19.4 0.4 0.03 0.01
11th----- (DLOAD(I), I=1, N LAYER)
 0.D0
...
 0.D0
Ln 35, Col 5

```

Рисунок 6.4. Фрагмент входного файла: 175_*.inp (для станции Хадинь)

- глубина расчета осадок (м) – 1-я строка;
- понижение УПВ (м) – 3 строка;
- период наблюдений 10, 20... лет – 5 и 6 строки;
- количество слоев и коэффициент консолидации слоев – 7 строка;
- глубина залегания слоев – 8 строка;
- мощность слоев и свойства грунтов: плотность, степень переуплотнения, коэффициент уплотнения и разуплотнения – 9 и 10 строки;
- количество узлов (через 1 м) – 11 строка.

б) Запуск TZP.exe (Рисунок 6.5)

```

C:\E:\phan luan an lam tu thang 10 nam 2012\chuong 5 - tinh toan lun\МКА...
INPUT FILE : 175_1.inp
OUTPUT FILE : 1.text
CHECK INPUT DATA (Y/N?) :
STEP K=      1  NSTEP= 26000  TIME=  26.00
STEP K=      2  NSTEP=  4000  TIME=  30.00
STEP K=      3  NSTEP=  5000  TIME=  35.00
STEP K=      4  NSTEP=  5000  TIME=  40.00
STEP K=      5  NSTEP=  5000  TIME=  45.00
STEP K=      6  NSTEP=  3000  TIME=  48.00
STEP K=      7  NSTEP=  2000  TIME=  50.00
STEP K=      8  NSTEP=  5000  TIME=  55.00
STEP K=      9  NSTEP=  5000  TIME=  60.00
STEP K=     10  NSTEP=  5000  TIME=  65.00
RECHARGING AT TIME K1= 10
CONSOLIDATION ANALYSIS (Y/N?) : y
CUM./INCRE. CONSOL. ANALYSIS (Y/N?) : y

```

Рисунок 6.5. Фрагмент запуска TZP.exe (для станции Хадинь)

в) Открываем «Output File»: в тестовом редакторе (Рисунок 6.6).

Где:

- А – общая деформация;
- В – нейтральные напряжения;
- С – изменение гидростатического давления;
- Д – изменение эффективных напряжений;
- Е – детали расчета консолидации.

```

1.text - Notepad
File Edit Format View Help
(A) TOTAL SETTLEMENT = SETTLEMENT-REBOUND :
=====> TIMES OF PUMPING/RECHARGING
TIME SET 35.
26.00 0.5873 0.4995
.....
65.00 0.7368 0.7368
(B) DEFICIT OF PORE PRESSURE :
=====> TIMES OF PUMPING/RECHARGING
DEPTH 26.
0.5 0.0
.....
37.5 207.0
(C) CHANGED HYDROSTATIC PRESSURES :
=====> TIMES OF PUMPING/RECHARGING
DEPTH HYDROS 26.
0.5 -10.0 -10.0
.....
37.5 360.0 153.0
(D) CHANGED EFFECTIVE STRESS :
=====> TIMES OF PUMPING/RECHARGING
DEPTH PMAX0 ESIGM0 26.
0.5 144.7 9.1 9.1
.....
37.5 110.2 275.4 482.4
(E) DETAIL CONSOLIDATION ANALYSIS :
INCREMENTAL SETTLEMENTS/REBOUNDS :
DEPTH T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10
0.50 0.0000
.....
37.50 0.0153
CUM. SETT./REBOUND OF THE ENTIRE PROFILE:
DEPTH T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10
0.50 0.5873
.....
37.50 0.0153
CUMMULATIVE SETT./REBOUND FOR SOIL TYPE: 1
C-SET T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10
SOIL: 1 0.000
SOIL: 2 0.002
SOIL: 3 0.003
SOIL: 4 0.567
SOIL: 5 0.015
SUM : 0.5873
PERC-% T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10
SOIL: 1 0.00
SOIL: 2 0.32
SOIL: 3 0.53
SOIL: 4 96.55
SOIL: 5 2.60
Ln 34, Col 2

```

Рисунок 6.6. Фрагмент файла результатов: *.text (для станции Хадинь)

з) Оценка результатов в MS Excel (Таблица 6.9)

Таблица 6.9

Расчетные значения осадки каждого слоя и оседания земной поверхности на станции Хадинь на ближайшие 17 лет в зависимости от добычи подземных вод

Время (год)	1991	1995	2000	2005	2010	2013	2015	2020	2025	2030	∞
Осадка 1-ого слоя (м)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Осадка 2-ого слоя (м)	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Осадка 3-ого слоя (м)	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05
Осадка 4-ого слоя (м)	0,57	0,62	0,71	0,79	0,82	0,84	0,85	0,87	0,89	0,90	1,04
Осадка 5-ого слоя (м)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Величина оседания земной поверхности (м)	0,59	0,65	0,74	0,83	0,86	0,88	0,89	0,92	0,94	0,97	1,13

- Моделирование S_t на станциях мониторинга:

Расположение станций мониторинга показано на рис. 1.10.

1) Станция Лыонгиен:

Исходные данные для моделирования S_t представлены в рис. 5.18, 5.19, таблице 4.2.

Таблица 6.10

Расчетные значения понижения уровня подземных вод по данным станции Лыонгиен на ближайшие 17 лет в зависимости от добычи подземных вод

Год	1965	1991	1995	2000	2005	2010	2013	2015	2020	2025	2030
Снижение уровня подземных вод, м	0	12,0	13,0	15,1	16,8	17,2	17,4	17,7	18,0	18,5	19,0

Слои глинистых грунтов были разбиты на 28 узла и 27 линейных элемента (1 элемент на 1 м). Результаты моделирования показаны на рисунке 6.7. Отметим, что для станции Лыонгиен в качестве точки отсчета был принят 1965 год, когда извлечение подземных вод увеличилось значительно.

Выполненное моделирование оседания поверхности вследствие извлечения подземных вод показало, что 68% от общей величины осадки составляет сжатие 7-ого слоя (суглинок с органическими остатками, текучепластичный – текучий). Сравнение расчетных данных с данными натурных наблюдений (рис. 6.7) показало, что прогнозируемые деформации S_t по методу МКЭ и наблюдаемые деформации на станции Лыонгиен неплохо соответствия друг с другом. Деформация земной поверхности в Лыонгиен в 2013 г. составляет 65% от общей деформации.

2) Станция Хадинь:

Исходные данные для моделирования S_t представлены на рис. 5.18, 5.19, таблице 4.2.

Таблица 6.11

Расчетные значения понижения уровня подземных вод по данным станции Хадинь на ближайшие 17 лет в зависимости от добычи подземных вод

Год	1965	1991	1995	2000	2005	2010	2013	2015	2020	2025	2030
Снижение уровня подземных вод, м	0	20,7	22,9	27,2	31,0	31,2	31,5	31,8	32,0	32,5	32,8

На станции Хадинь ввод водозабора был осуществлен в 1965 г., снижение уровня грунтовых вод в настоящее время составило 32 м. Слои глинистых грунтов были разбиты на 38 узла и 37 линейных элемента (1 элемент на 1 м). Отметим, что

для станции Хадинь в качестве точки отсчета был принят 1965 год, когда извлечение подземных вод увеличилось значительно. Результаты моделирования показаны на рисунке 6.7.

Сжатие 13-ого слоя (суглинистый ил с органическими остатками) составляет 95% от общей величины осадки (таблица 6.9). Сравнение расчетных данных с данными натурных наблюдений показало, что прогнозируемые деформации S_t по методу МКЭ и наблюдаемые деформации на станции Хадинь неплохо соответствия друг с другом. Деформация земной поверхности в Хадинь в 2013 г. составляет 78 % от общей деформации.

Результаты моделирования S_t на 10 станциях мониторинга показаны на рис. 6.7 и в таблице 6.12.

Комментарий: в сравнении с наблюдаемыми данными показали, что прогнозируемые деформации S_t по методу МКЭ и наблюдаемые деформации неплохо соответствия друг с другом. Таким образом, МКЭ является надежным методом и может быть использован для прогноза оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в Ханое.

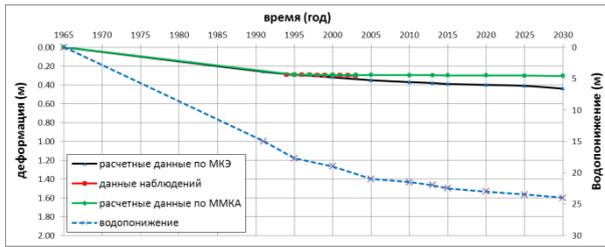
6.2.3. Сравнение между ММКА и МКЭ

Результаты прогноза S_t на 10 станциях мониторинга по ММКА и МКЭ показаны в таблице 6.12.

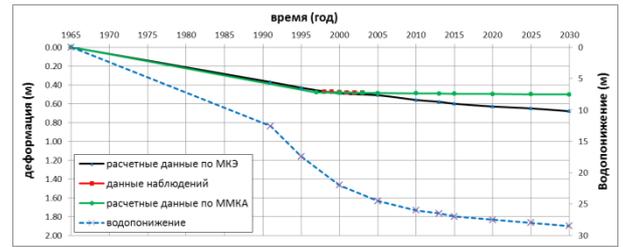
Результаты прогноза показали, что:

- На прошлые лет результаты прогноза S_t по 2 методам неплохо соответствия друг с другом.

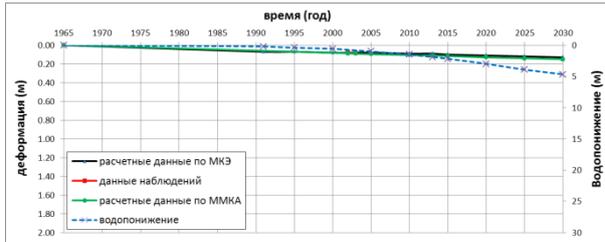
- На ближайшие лет результаты прогноза S_t по ММКА в средних 20 – 30 % больше, чем результаты прогноза S_t по МКЭ, особенно в станциях мониторинга Тханьконг, Нгошилиен и Залам. Причина этого различия может быть из-за короткого наблюдаемого времени и маленького количества станций мониторинга.



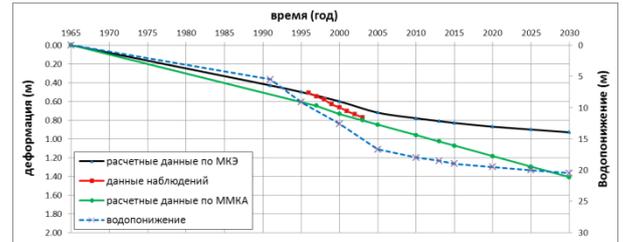
Нгокха



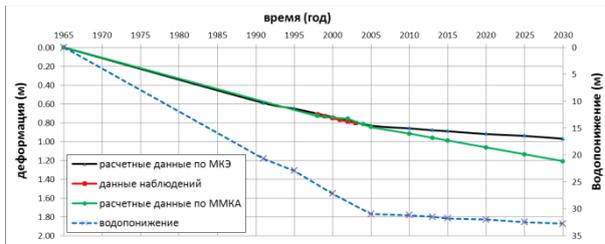
Майзич



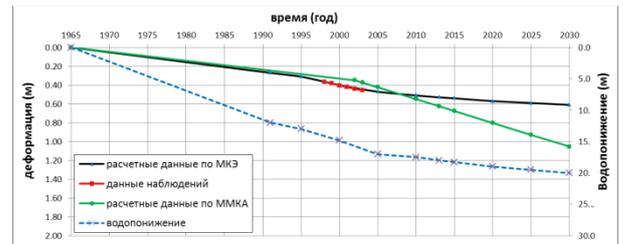
Донгань



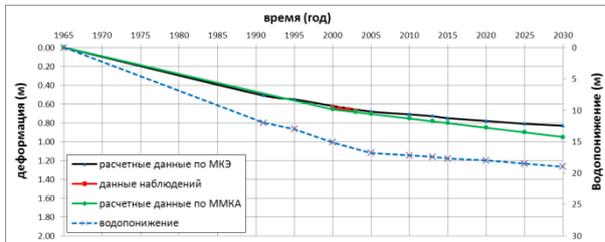
Тханьконг



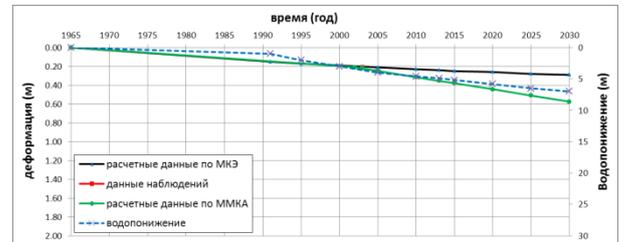
Хадинь



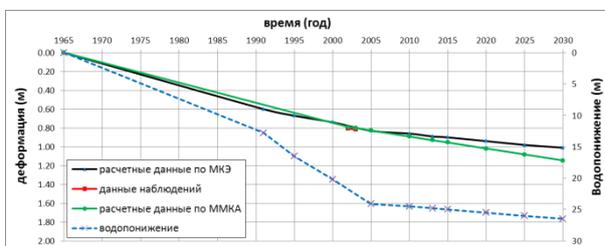
Нгошилиен



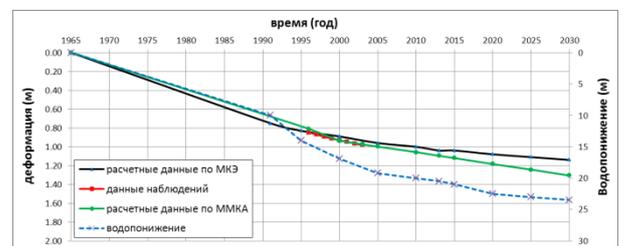
Лыонгиен



Залам



Тьонгмай



Фапван

Рисунок 6.7. Оседание земной поверхности по времени в связи с добычей подземных вод (Фи Х.Т., 2013)

Сравнение между ММКА и МКЭ при прогнозе оседания земной поверхности на 10 станциях на ближайшие 17 лет в зависимости от добычи подземных вод

Величина оседания земной поверхности (м)	Время (год)	1965	2005	2010	2013	2015	2020	2025	2030
		ММКА	0,00	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50
МКЭ	0,00	0,51	0,56	0,58	0,60	0,63	0,65	0,68	
ММКА	0,00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	
МКЭ	0,00	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,44	
ММКА	0,00	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	
МКЭ	0,00	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	
ММКА	0,00	1,00	1,06	1,10	1,12	1,18	1,24	1,30	
МКЭ	0,00	0,96	1,00	1,04	1,04	1,08	1,11	1,14	
ММКА	0,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,81	0,83	0,95	
МКЭ	0,00	0,68	0,71	0,73	0,75	0,78	0,81	0,83	
ММКА	0,00	0,85	0,96	1,03	1,07	1,18	1,30	1,41	
МКЭ	0,00	0,72	0,78	0,81	0,83	0,87	0,90	0,93	
ММКА	0,00	0,85	0,92	0,96	0,99	1,06	1,14	1,21	
МКЭ	0,00	0,83	0,86	0,88	0,89	0,92	0,94	0,97	
ММКА	0,00	0,42	0,55	0,62	0,68	0,80	0,93	1,06	
МКЭ	0,00	0,47	0,51	0,53	0,54	0,57	0,59	0,61	
ММКА	0,00	0,25	0,31	0,35	0,38	0,44	0,51	0,58	
МКЭ	0,00	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	
ММКА	0,00	0,83	0,89	0,93	0,96	1,02	1,08	1,15	
МКЭ	0,00	0,83	0,86	0,89	0,90	0,94	0,98	1,01	

6.3. Прогноз оседания поверхности на ближайшие годы в связи с извлечением подземных вод на территории г. Ханоя

6.3.1. Выбор точек для расчета оседания земной поверхности

Девяносто два (92) точки были выбраны для расчета оседания земной поверхности. Эти точки расположены в зонах, которых уровень водоносного комплекса Q_p понижается из-за извлечения подземных вод, и принадлежит различным типам грунтовых толщ. Выбранные пункты обеспечили составление прогнозных карт оседания земной поверхности г. Ханоя в результате извлечения подземных вод полно и точно.

Расположения для расчета оседания показаны на рис. 6.8.



Рис. 6.8. Пункты для расчета оседания на карте уровня подземных вод плейстоценового комплекса на территории г. Ханоя в 2030 г. (Фи Х.Т., 2013)

6.3.2. Результаты прогноза оседания земной поверхности

Оседание в выбранных точках рассчиталось по МКЭ. Результаты прогноза оседания показаны в таблице 6.14 и на прогнозных картах оседания земной поверхности г. Ханоя в результате извлечения подземных вод в 2013, 2020, и 2030 г. (рис. 6.9).

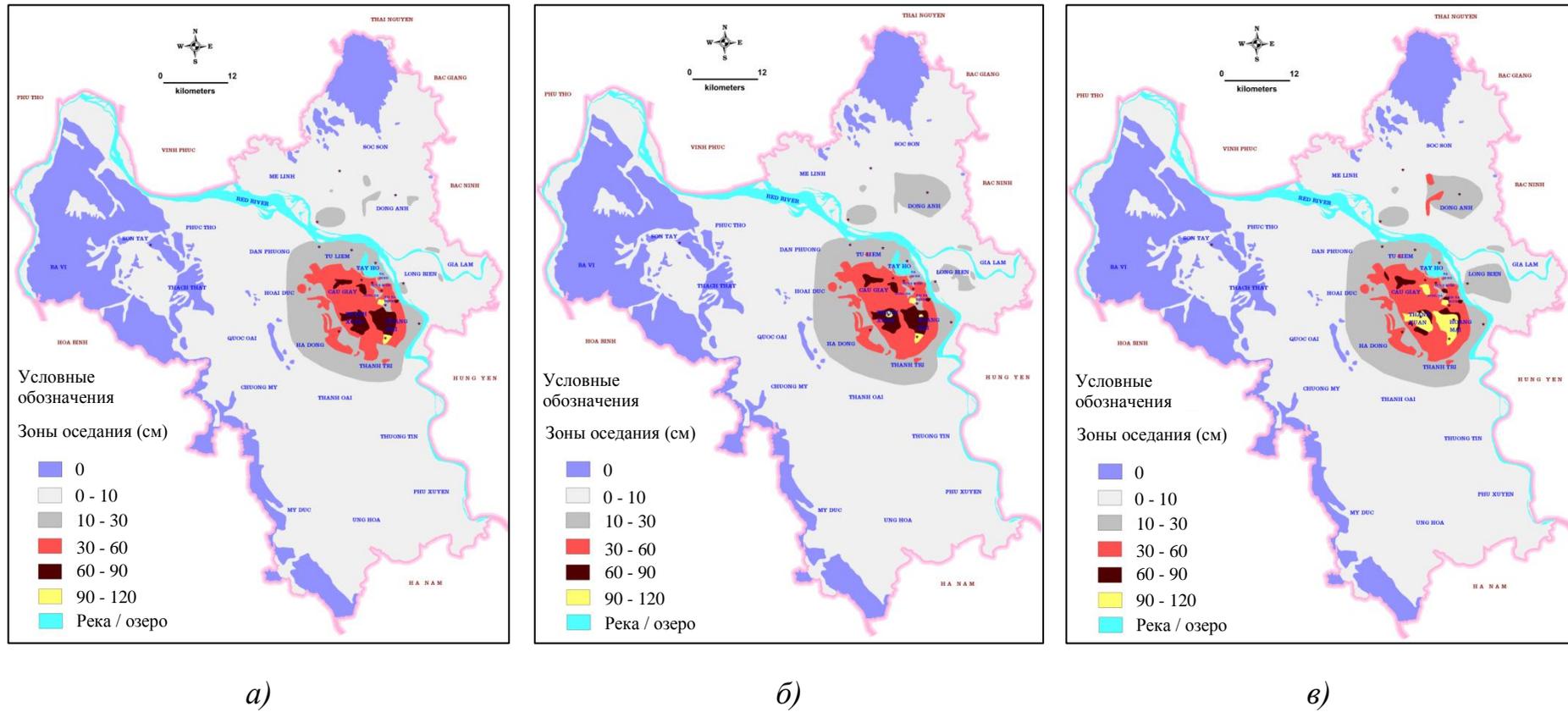


Рисунок 6.9. Прогнозные карты оседания земной поверхности на территории г. Ханоя в результате извлечения подземных вод в (а) - 2013 г. (б) - 2020 г.; (в) - 2030 г. (Фи Х.Т., 2013)

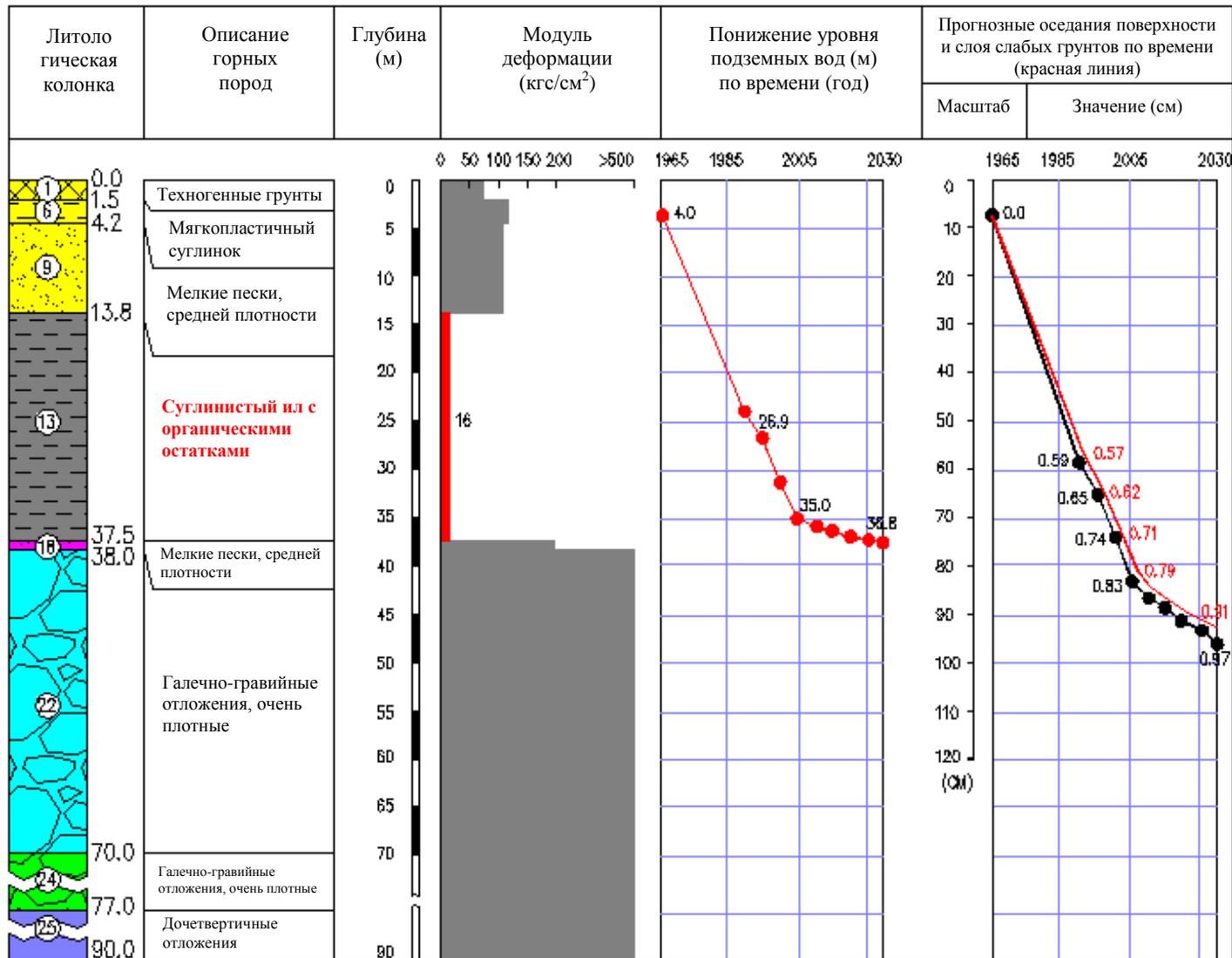


Рисунок 6.10. График зависимости между оседанием поверхности и величиной откачиваемой воды на станции мониторинга Хадинь (Фи Х.Т., 2013). В том числе: черная линия – оседание поверхности; красная линия – оседание слоя слабых грунтов № 13

6.3.3. Анализ результатов прогноза оседания земной поверхности

Результаты прогноза показали что:

В 2013 г. оседание земной поверхности во всей площади депрессионной воронки палеогенового водоносного комплекса Qр составило более 10 см. В том числе в большей части районов Тханьсуан, Хоангмай, Хайбачынг и в части площади районов Донгда, Хоанкием, Бадинь, Таихо, Каузаи, Тылием и Тханьчи оседание поверхности составило более 30 см; в зонах вокруг станций водоснабжения Майзич, Фапван, Тыонгмай, Хадинь, Лыонгиен и микрорайона Тханьконг оседание поверхности составило 60 – 90 см. Значительные оседания произошли в зоне вокруг станции водоснабжения Бачкхоа оседание поверхности достигло 94 см; и в зоне вокруг станции водоснабжения Фапван – 104 см. Эта зона находится в центральной части г. Ханоя, является центром воронки снижения уровня подземных вод водоносного комплекса Qр. Большая площадь центральной части г. Ханоя принадлежит к типам грунтовых толщ I.2.c и I.2.b с мощностью слабых грунтов больше 5 м. В центре депрессионной воронки величина оседания составляет более 60 см. Эта зона охватывает территорию водозаборов, здесь распространены грунтовые толщи типа I.2.c, с мощностью слабых грунтов больше 10 м.

В периферийных зонах депрессионной воронки оседание поверхности составляет от 10 до 30 см, хотя в некоторых микрорайонах Лонгбиен, Тханьчи, Хадонг, Хоайдык в разрезе присутствуют слои слабых грунтов с мощностью больше 5 м.

В районах, которые не находятся в зоне депрессионной воронки, таких как Фусуен, Ынгхоа, Мидык, Тхыонгтин, Чыонгми, Куокоаи, Тханьоаи, Хоайдык, Данфыонг, Фуктхо, Мелинь, Донгань, Шокшон, Залам, Лонгбиен прогнозируемое оседание поверхности составляет, лишь от 0 до 10 см, хотя во многих районах также присутствуют слои слабых грунтов.

На большой площади районов Тылием, Таихо, Бадинь, Хоанкием, Хайбачынг, Хоангмай, Тханьчи, Лонгбиен, Донгань, Мелинь, находящейся вдоль берегов Красной реки и реки Дуонг, с типами грунтовых толщ I.1 и I.2.a (без слабых грунтов или с мощностью слабых грунтов меньше 5 м), оседание поверхности составило 10 до 29 см, в среднем 12 см.

В зонах, сложенных с поверхности дочетвертичными отложениями, таких как Шокшон, Бави, Шонтаи, Тхачтхат, и окраинные зоны на юго-западной части г. Ханоя, оседания поверхности в результате извлечения подземных вод не произойдет.

Величина оседания поверхности из-за добычи подземных вод на территории г. Ханоя с 2006 года до настоящего времени составляет от 1 до 10 см, в среднем 4 см, что несколько меньше, чем в предыдущие годы.

В сравнении с 2013 г. установлено следующее.

- К 2020 г. площадь с величиной оседания поверхности от 10 до 30 см будет расширяться, особенно в зонах вокруг станций водоснабжения Донгань и Залам. Площадь с величиной оседания поверхности от 30 до 60 см будет расширяться на небольшой площади в зонах вокруг станций водоснабжения Маизич, Хадинь и Фапван. Площадь с величиной оседания поверхности от 60 до 90 см не будет расширяться. Площадь с величиной оседания поверхности от 90 до 120 см будет расширяться на небольшой площади в зонах вокруг станций водоснабжения Хадинь и Тьонгмай.

- К 2030 г. площадь с величиной оседания поверхности от 10 до 30 см будет продолжать расширяться в зонах вокруг станции водоснабжения Залам. Площадь с величиной оседания поверхности от 30 до 60 см будет продолжать расширяться на небольшой площади в зонах вокруг станции водоснабжения Донгань, где существуют слабые грунты. Площадь с величиной оседания поверхности от 60 до 90 см будет продолжать расширяться на небольшой площади в зоне вокруг станций водоснабжения Маизич, Нгошилиен, Бачкхоа и Хадинь. Площадь с величиной оседания поверхности от 90 до 120 см будет продолжать расширяться на большой площади в зонах вокруг станций водоснабжения Хадинь, Тьонгмай, Фапван и микрорайоне Тханьконг. В этих зонах существуют слои слабых грунтов с мощностью больше 10 м.

- К 2020 г. и 2030 г. площадь зон оседания поверхности будет расширяться, но величина оседания поверхности будет увеличиваться незначительно, только от 1 до 15 см, в среднем 6 см. Скорость оседания значительно снизится. Величина оседания во многих разрезах будет достигать 60 – 80% от общего оседания.

6.4. Выводы

1. Механизм оседания земной поверхности в связи с извлечением подземных вод заключается в преобразовании нейтрального напряжения в эффективное напряжение, вызванного понижением уровня подземных вод в процессе добычи подземных вод. Это приводит к уплотнению горных пород, слагающих его основание и формированию оседания поверхности.

2. Изменение гидродинамических характеристик подземных вод, фильтрационные характеристики горных пород и условия дренажа, преобразование нейтрального напряжения в эффективное напряжение, уплотнение горных пород и формирование оседания поверхности, в основном, зависят от гидрогеологических и инженерно-геологических характеристик территории. Среди них, самыми важными факторами являются количество водоносных комплексов, положение уровня подземных вод, количество слоев грунтов в геологическом разрезе, особенно количество и мощность слоев слабых грунтов, их сжимаемость и проницаемость. Они определяют процесс фильтрации воды в горных породах и процесс оседания поверхности. Кроме того, многие другие факторы также влияют на процесс оседания поверхности.

3. Оседание земной поверхности является результатом механических процессов, в их числе процессы фильтрационной консолидации и возможной ползучести слабых грунтов, связанных с изменением гидродинамических условий водоносного комплекса из-за извлечения подземных вод. Таким образом, теоретической основой исследования оседания земной поверхности является теория фильтрационной консолидации и теория гидродинамики подземных вод.

4. Прогноз деформаций земной поверхности по времени S_t на станциях мониторинга за осадками поверхности, выполненный с помощью МКЭ и ММКА, дал результаты относительно близкие к фактическим данным мониторинга. Таким образом, МКЭ и ММКА являются надежными методами и могут быть использованы для прогноза оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в Ханое. Сравнение результатов, полученных этими двумя методами, между собой показали, что на ближайшие годы результаты прогноза S_t по ММКА в среднем на 20 – 30 % больше, чем результаты прогноза S_t по МКЭ. Причина этого отклонения может быть связана с коротким временем наблюдений и маленького количества станций

мониторинга. Поэтому ММКА был использован для прогноза оседания по 10 станциям мониторинга, МКЭ использовался, чтобы прогнозировать оседание во всех выбранных точках расчета.

5. Результаты прогноза показали что:

- В 2013 г. на большей площади центральной части г. Ханоя оседание поверхности составило самую большую величины, от 30 до 104 см. В этой зоне существует воронка снижения уровни подземных вод водоносного комплекса Qp; и большая часть ее площади принадлежит типам грунтовых толщ I.2.c и I.2.b с мощностью слабых грунтов больше 5 м. Самая большая величина оседания (от 70 до 104 см) наблюдается в центре депрессионной воронки, охватывающем территорию вокруг станций водоснабжения Хадинь, Фапван, Тьонгмай, Бачкхоа. Там существует слабые грунты с мощностью больше 10 м. В зонах окраин и наружной части депрессионной воронки оседание поверхности имеет маленькую величину, лишь от 0 до 30 см, хотя в разрезе некоторых микрорайонов существуют слои слабых грунтов с мощностью больше 5 м. В зонах вдоль рек Красной и Дуонг оседание поверхности также составило маленькую величину, лишь от 10 до 29 см. В зонах, сложенных с поверхности дочетвертичными отложениями, оседания поверхности в результате извлечения подземных вод не произойдет.

- Величина оседания поверхности из-за добычи подземных вод на территории г. Ханоя с 2006 года до настоящего времени составляет от 1 до 10 см, в среднем 4 см, что несколько меньше, чем в предыдущие годы.

- В сравнении с 2013 г. показано, что к 2020 г. и 2030 г. площадь зон оседания поверхности будет продолжать расширяться, но величина оседания поверхности будет увеличиваться немного, только от 1 до 15 см, в среднем 6 см. Скорость оседания значительно снизится. Величина оседания во многих разрезах будет достигать 60 – 80% от общего оседания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен анализ и прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя. Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Специфической особенностью геологического разреза территории г. Ханоя является наличие мощной толщи четвертичных отложений различного генезиса и возраста (от плейстоцена до позднего голоцена), характеризующихся различным гранулометрическим составом – от галечников до тяжелых глин. В верхней части разреза существует 5 слоев слабых песчано-глинистых грунтов. Они широко распространены в центральном и южном районах города. В том числе толща слабых грунтов свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$) имеет наибольшую мощность, широкое распространение и высокую сжимаемость, что определяет высокую степень сложности инженерно-геологических условий рассматриваемой территории.

2. В пределах глубины градостроительного освоения Ханоя зафиксировано наличие двух водоносных комплексов. Повсеместное распространение в городе имеет плейстоценовый слабонапорный водоносный комплекс (Qp), водовмещающими породами которого являются крупнообломочные образования (галька и гравий) и пески ($aIlc$, $a,apII-III^1hn$ и $aIII^2vp_1$).

3. В городе действуют три основные формы водозабора подземных вод: общественные, промышленных предприятий и частные. Большая часть воды забирается из плейстоценового водоносного комплекса.

4. Извлечение подземных вод в г. Старом Ханое непрерывно увеличивается от 15.000 м³/сутки (1905 г.), 145.000 м³/сутки (1965 г.); 455.000 м³/сутки (1995 г.) до 628.000 м³/сутки (2005 г. – 2010 г.). Увеличение добычи подземных вод, необоснованное расположение и мощность добычи на станциях водоснабжения способствовали образованию большой депрессионной воронки в центральной части г. Ханоя, и вызвали оседание земной поверхности, сопровождающееся деформациями и разрушениями зданий и жилых домов и загрязнением водоносных комплексов.

Результаты постоянного мониторинга уровней подземных вод с 1988 г. указывают, что с 1988 г. по 2005 г. уровни подземных вод в городе значительно и непрерывно понижались. Но с 2006 г. положение уровней подземных вод стабилизировалось. Это значит, что режим и мощность добычи на станциях

водоснабжения стали более разумно регулироваться. В 2010 г. максимальные снижения уровней подземных вод зафиксированы 26,0 м в Майзич и 31,2 м в Хадинь.

5. Город Ханой расположен на сложной природной территории. Широкое распространение слабых пылевато-глинистых грунтов в верхней части разреза, неглубокое залегание грунтовых вод и интенсивное извлечение подземных вод определяют появление оседания земной поверхности для территории.

Результаты мониторинга и прогноза оседания показали, что в 2013 г. на большей площади центральной части г. Ханоя оседание поверхности составило от 30 до 104 см. Максимальная величина оседания от 70 до 104 см наблюдается в центре депрессионной воронки, охватывает территорию вокруг станций водоснабжения Хадинь, Фапван, Тьонгмай, Бачкхоа и Тханьконг. Там существуют слабые грунты с мощностью больше 10 м. В этих зонах, 60 – 95% от общей величины осадки составляет сжатие слоев слабых грунтов. В других районах г. Ханоя оседание поверхности составило маленькую величину, только 0 – 30 см, хотя в разрезе многих микрорайонов существуют слабые грунты.

Оседание поверхности из-за добычи подземных вод на территории г. Ханоя с 2006 г. по 2013 г. уже не увеличивается так сильно, как в прошлые годы, только от 1 до 10 см, в среднем 4 см.

6. Главными причинами оседания земной поверхности на территории г. Ханоя являются извлечение подземных вод, присутствие слабых грунтов в геологическом разрезе, нагрузки от сооружений и техногенных грунтов.

7. Механизм оседания земной поверхности в связи с извлечением подземных вод является преобразованием нейтрального напряжения в эффективное напряжение, вызванным понижением уровня подземных вод в процессе добычи подземных вод. Оседание поверхности является результатом механических процессов, в том числе фильтрационной консолидации и возможной ползучести слабых грунтов, связанных с изменением гидродинамических условий водоносного комплекса из-за извлечения подземных вод. Таким образом, теоретической основой исследования оседания земной поверхности является теория фильтрационной консолидации и теория динамики подземных вод.

8. Прогноз понижения уровней подземных вод на территории г. Ханоя выполнялся с помощью программы Visual MODFLOW v.4.2. По варианту извлечения

подземных вод в 2010 г., в ближайшие годы уровень подземных вод на территории города не будет превышать допустимое ограничение. Но, на станциях водоснабжения, находящихся далеко от Красной реки, как Майзич, Тьонгмай, Фапван, Нгокха, и особенно, Хадинь, уровень подземных вод еще будет продолжать снижаться. В 2020 г. величина понижения уровня подземных вод будет составлять 27,5 м в Майзич и 32,0 м в Хадинь. В 2030 г. величина понижения уровня подземных вод будет составлять 28,5 м в Майзич и 32,8 м – в Хадинь.

9. В связи с исследованием оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод, грунтовые толщи территории г. Ханоя типизированы на 4 класса, 6 типов и 9 видов. В том числе типы I.2.b, I.2.c, II.2.b и II.2.c с мощностью слабых грунтов более 5 м и широким распространением определяют значительную величину оседания земной поверхности при большем водопонижении и необходимость особого внимания при исследовании оседания земной поверхности.

10. Результаты прогноза оседания земной поверхности по МКЭ показали, что к 2020 г. и 2030 г. площадь зон оседания поверхности будет продолжать расширяться, но величина оседания поверхности будет увеличиваться незначительно от 1 до 15 см, в среднем 6 см. Скорость оседания значительно будет снижаться. Величина оседания во многих сечениях будет достигать 60 – 80% от общего оседания.

11. Эксплуатационные запасы подземных вод в Ханое составляют 8.362.000 м³/сутки. Общая потребность в воде по всему городу Ханое будет 2.359.000 м³/сутки в 2030 году. Таким образом, подземные воды могут полностью удовлетворить спрос на воду в Ханое в ближайшие годы.

Рекомендации

1. Для смягчения отрицательного влияния оседания земной поверхности следует предпринять некоторые меры:

- Прекратить или снизить мощность добычи на станциях водоснабжения Хадинь, Майзич, Тьонгмай, Нгокха, Фапван, Бачкхоа, Мавзолей президента Хошиминь и Нгошилиен. Мощность добычи на этих станциях необходимо пересмотреть.

- Строить новые станции водоснабжения в менее опасных зонах. На базе результатов прогноза оседания земной поверхности, типизации грунтовых толщ (Фи

Х.Т., 2013) и схемы зонирования модуля подземного стока на территории г. Ханоя (Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов Северного региона Вьетнама, 2011) новые станции водоснабжения могут быть построены в зонах, которые показаны на схеме зонирования потенциальной добычи подземных вод (рисунок 6.11). В их числе зона вдоль рек Красной и Дуонг является самой благоприятной для добычи подземных вод. В этой зоне существуют «гидрогеологические окна». Подземные воды постоянно пополняются водой из рек Красной и Дуонг.

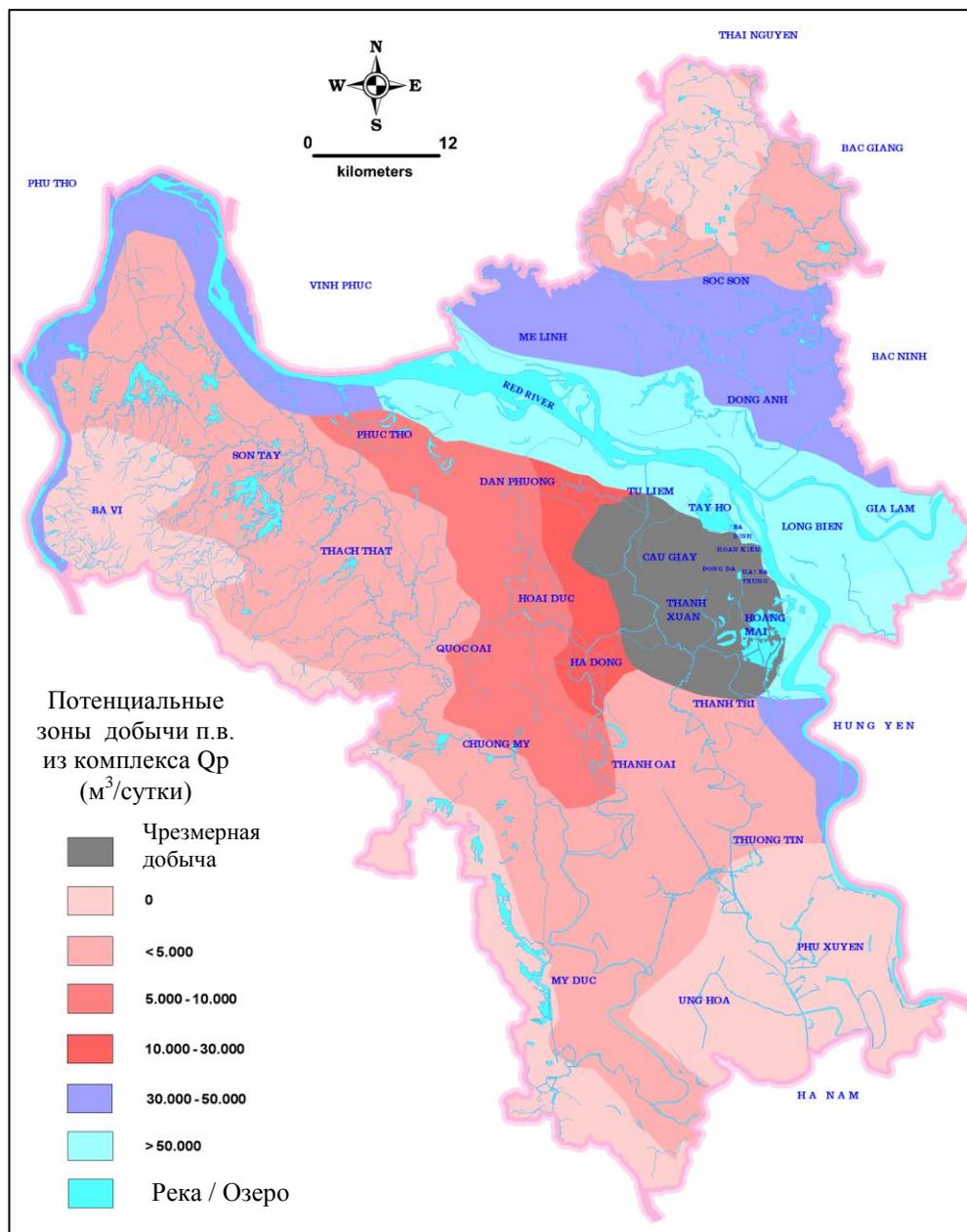


Рисунок 6.11. Схема зонирования потенциальной добычи подземных вод комплекса Q_r (КПИВРСРВ, с дополнениями Фи Х.Т., 2013)

- Использовать максимально мощность станции поверхностного водоснабжения «река Да».

2. Нельзя строить станции поверхностного водоснабжения из рек Красной и Дуонг из-за плохого качества и загрязнения воды.

3. Необходимо построить другие станции для проведения мониторинга за оседанием поверхности на территории г. Ханоя, чтобы дополнить данные мониторинга для своевременного и точного предупреждения оседания поверхности.

4. Оседание поверхности в результате извлечения подземных вод необходимо учитывать при планировании городского строительства и проектировании сооружений.

Ограничения выполненных исследований

1. При прогнозе оседания не рассматривались изменения характеристик горных пород во времени, влияние содержания органических веществ и ползучести слабых грунтов, нагрузки от сооружений из-за отсутствия информации о сооружениях, данных мониторинга и испытаний.

2. В расчетах прогнозного оседания поверхности не рассматривалось влияние уровня подземных вод голоценового водоносного комплекса из-за сложных гидрогеологических условий территории.

3. Малое количество расчетных точек оседания поверхности в южной и западной части города связано с отсутствием данных мониторинга за уровнями подземных вод в этих зонах.

4. За начальное время понижения уровней подземных вод принят 1965 г. Расчеты за период 1965-1988 гг. приблизительные, из-за отсутствия данных мониторинга за уровнями подземных вод, однако, его необходимо учитывать в расчетах, т.к. время влияет на скорость консолидации горных пород, и, следовательно, на общее оседание поверхности.

5. Прогноз оседания проводился без учета суффозионного выноса частиц грунта из массива при осушении, нагрузок от сооружений и насыпных грунтов, поэтому реальные оседания поверхности могут превышать расчетные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Источники на русском языке

1. Бондарик, Г. К. Методика инженерно-геологических исследований: учебное пособие / Г. К. Бондарик. – М.: Недра, 1986. – 333 с.
2. География Вьетнама [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ханой/10\(9\)2013](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ханой/10(9)2013).
3. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. Издание официальное. – М.: Стандартинформ, 2013. – 42 с.
4. Грунтоведение: учебное пособие / под ред. В. Т. Трофимова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 1024 с.
5. Дашко, Р. Э. Механика грунтов в инженерно-геологической практике: учебное пособие / Р. Э. Дашко, А. А. Каган. – М.: Недра, 1977. – 237 с.
6. Золотарев, Г. С. Инженерная геодинамика: учебное пособие / Г. С. Золотарев. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 328 с.
7. Ипатов, П. П. Практикум по расчетам оснований зданий и сооружений: учебное пособие / П. П. Ипатов, Л. А. Строкова, А. А. Краевский. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 105 с.
8. Ипатов, П. П. Региональная инженерная геология: учебное пособие / П. П. Ипатов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 138 с.
9. Карта Вьетнама [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.map-vietnam.ru/tour.html/16\(9\)2013](http://www.map-vietnam.ru/tour.html/16(9)2013).
10. Кныш С. К. Общая геология: учебное пособие / С. К. Кныш. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 165 с.
11. Ле, В. З. Новые решения проблемы сейсмичности Вьетнама: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / Ле Ван Зунг. – М., 2011. – 24 с.
12. Ломтадзе, В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород: учебное пособие / В. Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1990. – 311 с.
13. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология: учебное пособие / В. Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1984. – 511 с.
14. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология: учебное пособие / В. Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1978. – 496 с.
15. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика: учебное пособие / В. Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.

16. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебное пособие / под ред. проф. С. Б. Ухова. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 527 с.
17. Нгуен, Д. М. Инженерно-геологическое обеспечение освоения подземного пространства г. Ханоя (Вьетнам): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / Нгуен Дык Мань. – СПб., 2010. – 24 с.
18. Нгуен, Х. Д. Формирование и ресурсы подземных вод четвертичных отложений равнины Бакбо (СРВ) и перспективы их использования: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / Нгуен Хонг Дык. – Баку, 1984. – 24 с.
19. Ольховатенко, В. Е. Геоэкологическая оценка и прогноз осадок грунтовых толщ при длительном водопонижении на оползнеопасной территории Лагерного сада г. Томска: монография / В. Е. Ольховатенко, Н. А. Чернышова, А. А. Краевский. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. – 124 с.
20. Плотников, Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод: учебное пособие / Н. И. Плотников. – М.: Недра, 1973. – 296 с.
21. Строкова, Л. А. Грунтоведение. Лабораторный практикум: учебное пособие / Л. А. Строкова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 74 с.
22. Савицкая, Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учебное пособие / Г. В. Савицкая. – Минск: ООО «Новое знание», 2000. – 688 с.
23. Строкова, Л. А. Инженерные сооружения: учебное пособие / Л. А. Строкова. – Томск: Изд-во ТПУ, 1999. – 104 с.
24. Сергеев, Е. М. Инженерная геология: учебное пособие / Е. М. Сергеев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. – 248 с.
25. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы: учебное пособие / под ред. Е. М. Сергеева. – М.: Недра, 1985. – 288 с.
26. Фи, Х. Т. Прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в городе Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Известия ТПУ. – 2013. – № 1. – Том 323. – С. 161-167.
27. Фи, Х. Т. Причины оседания земной поверхности в Ханое / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 12. – С. 30-33.
28. Фи, Х. Т. Оценка и прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в городе Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова, Нгуен Нгок Минь // Инженерная геология. – 2012. – № 2. – С. 46-53.
29. Фи, Х. Т. Опасные геологические процессы на территории г. Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Вестник ТГУ. – 2011. – № 349. – С. 200-204.
30. Храм литературы (храм Конфуция) (Van Mieu) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tourister.ru/world/asia/vietnam/city/ha_noi/placeofinterest

/3584/ 16(9)2013.

31. Цытович, Н. А. Механика грунтов: учебное пособие / Н. А. Цытович. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1983. – 288 с.
32. Шварцев, С. Л. Общая гидрогеология: учебное пособие / С. Л. Шварцев. – М.: Недра, 1996. – 423 с.
33. Яровой, Ю. И. Прогноз деформаций земной поверхности и защита городской застройки при строительстве метрополитенов на Урале / Ю. И. Яровой. – Екатеринбург: УрГАПС, 1999. – 258 с.
34. Ярг, Л. А. Инженерная геология Северного Вьетнама: учебное пособие / Л. А. Ярг, Л. А. Молоков. – М.: Изд-во МГРИ, 1981. – 118 с.

Источники на английском языке

35. Akira, K. Hydrogeological framework for potential groundwater resources in the whole Red River Delta, Vietnam / Akira Kawamura, Duong Du Bui, Thanh Ngoc Tong, Hideo Amaguchi, Naoko Nakagawa // BALWOIS. – 2010. – 9 p.
36. Ammar, A. Causes of land subsidence in the Kingdom of Saudi Arabia / Ammar Amin, Khalid Bankher // Kluwer Academic Publishers. – 1997. – № 16. – P. 57-63.
37. Bell, F. G. Basic environmental and engineering geology: reference book / F. G. Bell. – London: CRC Press, 2007. – 174 p.
38. Chai, J. C. 1D analysis of land subsidence in Shanghai / J. C. Chain, S. L. Shen, H. H. Zhu, X. L. Zhang // International Association of Lowland Technology (IALT). – 2005. – № 1. – Volume 7. – P. 33-41.
39. Craig, R. F. Craig's soil mechanics: reference book / R. F. Craig. – London: Spon Press, 2004. – 459 p.
40. Duong, T. T. Land subsidence hazard due to karst in Vietnam and mitigation measures / Duong Thi Toan, Vu Cao Minh, Doan Van Tuyen // Proceedings of the international symposium Hanoi geoengineering 2010. Hanoi: Vietnam National University, 2010. – P. 267-273.
41. Duong, T. T. Hanoi land subsidence with reference to development of a proper monitoring network: master thesis in Engineering geology / Duong Thi Toan. – Bangkok, 2005. – 124 p.
42. David, M. P. Finite element analysis in geotechnical engineering. Theory: reference book / David M. Potts, Lidija Zdravkovic. – London: Thomas Telford, 1999. – 458 p.
43. Fischer, A. R. Soil aquifer treatment as a tool for sustainable groundwater use in Hanoi (Vietnam) / Fischer A.R., Stefan C., Silabetzschky K., Werner P., Hoc B // Journal of Environmental Protection. – 2011. – № 2. – P. 882-887.

44. Feng, Q. Land subsidence induced by groundwater extraction and building damage level assessment – a case study of Datum, China / Feng Qi-yan et al // Journal of China University of Mining and Technology. – 2008. – № 18. – P. 556-560.
45. Frans, B. J. Land subsidence / Frans B.J. Barends, Frits J.J. Brouwer, Frans H. Schroder // Proceedings of the fifth international symposium on land subsidence. – London: IAHS Press, 1995. – 92 p.
46. Giuseppe, G. Finite element analysis of land subsidence above depleted reservoirs with pore pressure gradient and total stress formulations / Giuseppe Gambolati et al // International Journal for Numre. Anal. Meth. Geomech. – 2001. – № 25. – P. 307-327.
47. Golodkovskaya, G. A. Engineering Geological mapping in conjunction with protection of the geological environment / G. A. Golodkovskaya // Engineering Geology. – 1979. – № 19. – P. 348-350.
48. Hu, R. L. Review on current status and challenging issues of land subsidence in China / R. L. Hu, Z. Q. Yue, L. C. Wang, S. J. Wang // Engineering Geology. – 2004. – № 76. – P. 65-77.
49. Hiroshi, P. S. GPS-measured land subsidence in Ojiya city, Niigata prefecture, Japan / P. S. Hiroshi, A. Kaoru, O. Ootaki // Engineering Geology. – 2003. – № 67. – P. 379-390.
50. Hasanuddin, Z. A. Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its geodetic monitoring system / Hasanuddin Z. Abidin et al // Kluwer Academic Publishers (the Netherlands). – 2001. – № 23. – P. 365-387.
51. Holzer, T. L. Land subsidence caused by groundwater withdrawal in urban areas / Holzer Thomas L., Johnson A. Ivan // Geo. Journal. – 1985. – № 11. – Volume 3. – P. 245-255.
52. Jiang, L. A nonlinear elastic solution for 1-D subsidence due to aquifer storage and recovery applications / Jiang Li // Hydrogeology Journal. – 2003. – № 11. – P. 646-658.
53. Joseph, F. P. Guidebook to studies of land subsidence due to groundwater withdrawal: guidebook / Joseph F. Poland. – Michigan: Book Crafters, 1984. – 340 p.
54. Kynigalaki, M. Digital engineering geological map of the Athens prefecture area and related database management system / Kynigalaki M. et al. // Proceedings of the 12th international congress. – 2010. – № 3. – P. 1619-1626.
55. Kaveh, K. Land subsidence modeling due to ground water drainage using “WTAQ” software / Kaveh Kumarci, Arash Ziaie, Arash Kyiomarsi // WSEAS Transactions on environment and development. – 2008. – № 6. – Volume 4. – P. 503-512.
56. Katarina, W. Management of urban water resources in Hanoi, Vietnam: master thesis / Katarina Wnukowska. – Stockholm, 2004. – 79 p.

57. Le, M. N. The first peak ground motion attenuation relationships for North of Vietnam / Le Minh Nguyen, Ting-Li Lin, Yih-Min Wu, Bor-Shouh Huang, Chien-Hsin Chang, Win-Gee Huang, Tu Son Le, Quoc Cuong Nguyen, Van Toan Dinh // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2012. – № 43. – P. 241-253.
58. Le, T. P. Q. Fonctionnement biogéochimique du Fleuve Rouge (Nord-Vietnam): Bilan et modélisation: PhD. thesis in Geosciences and Natural resources / Le Thi Phuong Quynh. – Paris, 2005. – 196 p.
59. Laura, C. Eustacy and land subsidence in the Venice Lagon at the beginning of the new millennium / Laura Carbognin, Pietro Teatini, Luigi Tosi // *Journal of Marine Systems*. – 2004. – № 51. – P. 345-353.
60. Laura, C. Overview of the activity of the UNESCO - IHP working group IV project M-3.5 (C) on land subsidence / Laura Carbognin. – Paris: International hydrological programme - Division of water sciences - UNESCO, 2003. – 26 p.
61. Lason, K. J. Prediction of optimal safe ground water yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman city area, California, using a calibrated numerical simulation model / Lason K.J., H. Basagaoglu, M.A. Marino // *Journal of Hydrology*. – 2001. – № 242. – P. 79-102.
62. Muniram, B. Mechanics of land subsidence due to groundwater pumping / Muniram Budhu, Ibrahim Bahadir Adiyaman // *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. – 2010. – № 34. – P. 1459-1478.
63. Murthy, V. N. S. Geotechnical engineering. Principles and practices of soil mechanics and foundation engineering: reference book / V. N. S. Murthy. – New York: Marcel Dekker, Inc., 2002. – 1056 p.
64. Michael, B. Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: A human health threat / Michael Berg et al // *Environmental Science & Technology*. – 2001. – № 13. – Volume 35. – P. 2621-2626.
65. Nguyen, N. M. Review and analysis Hanoi land subsidence monitoring data: master thesis in Engineering geology / Nguyen Ngoc Minh. – Bangkok, 2008. – 142 p.
66. Nilson, G. Visual MODFLOW version 2.00: guidebook / Nilson Guiguer, Thomas Franz. – Toronto: Waterloo Hydrogeologic Software, 1996. – 231 p.
67. Nguyen, Q. T. Land subsidence due to groundwater withdrawal in Hanoi, Vietnam / Nguyen Q. Tung, Donald C. Helm // *IAHS Publisher*. – 1995. – № 234. – P. 55-60.
68. Phi, H. T. Prediction of land subsidence caused by groundwater exploitation in Hanoi, Vietnam, using multifactorial correlation analysis / Phi Hong Thinh, Strokova L.A // *Journal of Sciences in Cold and Arid Regions*. – 2013. – Volume 5. – (Issue 5). – № 1. – P. 0644-0653. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.scar.ac.cn/hhkxen/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2013520&flag=1

69. Phien-wej, N. Land subsidence in Bangkok, Thailand / N. Phien-wej, Pham Huy Giao // *Engineering Geology*. – 2006. – № 82. – P. 187-201.
70. Pham, H. G. Preliminary assessment of Hanoi land subsidence with reference to groundwater development / Pham Huy Giao, E. Ovasainen // *International Association of Lowland Technology (IALT)*. – 2000. – № 2. – Volume 2. – P. 17-29.
71. Phien-wej, N. Field experiment of artificial recharge through a well with reference to land subsidence control / N. Phien-wej, Pham Huy Giao // *Engineering Geology*. – 1998. – № 50. – P. 187-201.
72. Rolf, L. Consolidation of soft soils: reference book / Rolf Larsson. – Linköping: Swedish geotechnical institute, 1986. – 182 p.
73. Robert, D. H. An introduction to geotechnical engineering: reference book / Robert D. Holtz, William D. Kovacs. – New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1981. – 752 p.
74. Sahu, P. Threat of land subsidence in and around Kolkata city and east Kolkata wetlands, west Bengal, India / P. Sahu, P. K. Sikdar // *J. Earth Syst. Sci.* – 2011. – № 3. – P. 435-446.
75. Seismic hazard of the territory of Vietnam [Electronic resource]. – Access mode: [http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/kimata/jica/duong_job.pdf/08\(11\)2005](http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/kimata/jica/duong_job.pdf/08(11)2005).
76. Sun, H. Land subsidence due to groundwater withdrawal: potential damage of subsidence and sea level rise in southern New Jersey, USA / H. Sun, D. Grandstaff, R. Shagam // *Environmental Geology*. – 1999. – № 37. – Volume 4. – P. 290-296.
77. Trinh, M. T. Modelling subsidence in the Hanoi city area, Vietnam / Trinh Minh Thu, Delwyn G. Fredlund // *Can. Geotech.* – 2000. – № 37. – P. 621-637.
78. Van, D. M. J. L. Modelling of the effect of a sea-level rise and land subsidence on the evolution of the groundwater density in the subsoil of the northern part of the Netherlands / Van Der Meij J.L., B. Minnema // *Journal of Hydrology*. – 1999. – № 226. – P. 152-166.
79. Wang, G. Y. Long-term land subsidence and strata compression in Changzhou, China / Wang G.Y. et al // *Engineering Geology*. – 2009. – № 104. – P. 109-118.

Источники и фондовые материалы на вьетнамском языке

80. Буй, Х. М. Инструкция использования Mapinfo Professional Version 7.0: монография / Буи Хыу Мань. – Ханой: Изд-во «Наука и Техника», 2007. – 393 с.
81. Буй, Д. Х. Особенности ползучести слабых водонасыщенных грунтов свиты Хайхынг в Ханое, применение результатов исследования при расчете осадки: дис. ... канд. геол.-минер. наук / Буй Дык Хай. – Ханой, 2003. – 136 с.

82. Ву, В. Ф. Ханой: геология, геоморфология и природные ресурсы: монография / Ву Ван Фаи. – Ханой: Ханойское издательство, 2011. – 280 с.
83. Вьонг, В. Т. Городское районирование при планировании многоэтажных зданий с точки зрения инженерной геологии / Вьонг Ван Тхань, Нгуен Ван Та, Чан Мань Льеу // Вьетнамский журнал «Строительство». – 2005. – № 4. – С. 34-36.
84. Ву Н. К. Общая гидрогеология: учебное пособие / Ву Нгок Ки, Нгуен Тхьонг Хунг, Тон Ши Кинь, Нгуен Ким Нгок. – Ханой: Изд-во университетов и профессиональных школ, 1985. – 214 с.
85. Город Ханой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vi.wikipedia.org/wiki/Hà_Nội/ 10(9)2013.
86. Гидравлическая связь между подземными водами и Красной рекой: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель доцент, канд. геол.-минер. наук Фам Куи Ньан. – Ханой: Изд-во Ханойского государственного горно-геологического университета, 2008. – 57 с.
87. Дорога Тханьньен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://images.search.yahoo.com/search/images?_adv_prop=image&va=đường+thanh+niên/ 16(9)2013.
88. Данг Х. О. Динамика подземных вод: учебное пособие / Данг Хьу Он. – Ханой: Изд-во Ханойского государственного горно-геологического университета, 2003. – 293 с.
89. Данг Х. О. Гидрогеологические расчеты: учебное пособие / Данг Хьу Он. – Ханой: Изд-во Ханойского государственного горно-геологического университета, 2003. – 430 с.
90. Данг В. Б. Четвертичная геология – тектоника и современные тектонические движения Вьетнама: учебное пособие / Данг Ван Бат. – Ханой: Изд-во Ханойского государственного горно-геологического университета, 1998. – 110 с.
91. Жилые здания «Чунгхоа – Ньанчинь» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vinaconex.com.vn/?id=592/> 16(9)2013.
92. Жилые здания «Донгтау» серьезно осели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dantri.com.vn/su-kien/khu-chung-cu-dong-tau-sut-lun-nghiem-trong-473349.htm> / 16(4)2011.
93. Здание «Keangnam Hanoi Landmark Tower» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vi.wikipedia.org/wiki/Keangnam_Hanoi_Landmark_Tower/ 16(9)2013.
94. Зоан, Д. Л. История эволюции голоценовых отложений дельты Красной реки: дис. ... канд. геол.-минер. наук / Зоан Динь Лам. – Ханой, 2002. – 122 с.
95. Интенсивное извлечение подземных вод на территории г. Ханой [Электронный

- ресурс]. – Режим доступа: <http://vietbao.vn/Khoa-hoc/Tui-nuoc-ngam-Ha-Noi-bi-choc-ngay-cang-nat/70008287/188/> 10(10)2011.
96. Исследование технологий автоматического мониторинга за изменением характеристик и динамики подземных вод с целью предупреждения и уменьшения опасных геологических процессов: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель канд. геол.-минер. наук Нгуен Куок Тхань и **Фи Хонг Тхинь**. – Ханой: Изд-во Вьетнамского института геологических наук, 2012. – 154 с.
97. Исследование оседания земной поверхности в связи с изменением уровня грунтовых вод в городе Ханое: отчет о научно-исследовательской работе / Ханойский институт строительных технологий (НИВТ). – Ханой: Изд-во НИВТ, 2004. – 125 с.
98. Исследование и прогноз оседания земной поверхности в результате изменения инженерно-геологических и гидрологических условий в районе Тханьчи при извлечении подземных вод: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель доцент, канд. геол.-минер. наук Нгуиен Ху Фьонг. – Ханой: Изд-во Ханойского государственного горно-геологического университета, 2004. – 230 с.
99. Исследование, разведка и оценка геологической среды бассейна реки Тич для планирования и рационального использования региона: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель канд. геол.-минер. наук Чан Ван Ты. – Ханой: Изд-во Вьетнамского института геологических наук, 2002. – 258 с.
100. Исследование инженерно-геологических условий для технико-экономического обоснования проекта строительства подземных транспортных сооружений в городе Ханое: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель проф. доктор геол.-минер. наук Фам Ван Ти. – Ханой: Изд-во Ханойского департамента технологических наук и среды, 1998. – 42 с.
101. Карта районирования оседания земной поверхности в городе Ханое на основе результатов мониторинга // Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов Северного региона Вьетнама (КПИВРСРВ). / КПИВРСРВ. – Ханой: Изд-во «КПИВРСРВ», 1995. – 1 лист.
102. Ле, Ч. Т. Методы исследований инженерной геологии: учебное пособие / Ле Чонг Тханг. – Ханой: Изд-во Ханойского государственного горно-геологического университета, 2003. – 117 с.
103. Ле, Ч. Т. Анализ деформации сооружений из-за понижения уровня подземных вод в городе Ханое / Ле Чонг Тханг // Материалы научной конференции. Ханой: Изд-во Ханойского государственного горно-геологического университета, 1996. – С. 50-52.

104. Ле, Ч. Т. Исследование слабых грунтов на территории г. Ханоя и оценка способности использования их в строительстве: дис. ... канд. геол.-минер. наук / Ле Чонг Тханг. – Ханой, 1995. – 124 с.
105. Национальный технический стандарт по качеству подземных вод QCVN – 09:2008/BTNMT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.scribd.com/doc/41409725/QCVN-09-2008-Chat-Luong-Nuoc-Ngam-Thay-the-TCVN-5944-1995/> 16(9)2013.
106. Нгуен, Т. Т. Т. Исследование изменения химического состава подземных вод четвертичных отложений г. Ханой: дис. ... канд. геол.-минер. наук / Нгуен Тхи Тхань Тхуи. – Ханой, 2010. – 116 с.
107. Нгуен, Т. Н. Изучение консолидации слабых водонасыщенных грунтов свиты Тхайбинь в городе Ханое для прогноза осадки сооружений: магистерская диссертация / Нгуен Тхи Ну. – Ханой, 2005. – 98 с.
108. Нгуен, В. Ф. Характеристики прочности на сдвиг слабых водонасыщенных грунтов свиты Хайхынг на территории г. Ханоя: магистерская диссертация / Нгуен Ван Фонг. – Ханой, 2004. – 85 с.
109. Нгуен, В. Т. Инженерно-геологические характеристики органических отложений нижней пачки свиты Хайхынг в городе Ханое и прогноз изменения их свойств под воздействием хозяйственной деятельности и строительства для рационального использования земельных ресурсов: дис. ... канд. геол.-минер. наук / Нгуен Вьет Тинь. – Ханой, 2000. – 119 с.
110. Нгуен, К. К. Мероприятия для минимизации оседания земной поверхности и загрязнения грунтовых вод в городе Ханое / Нгуен Ким Кыонг // Вьетнамский журнал «Геология». – 1995. – № 228. – С. 11-21.
111. Нгуен, Ч. И. Прогноз появления новейших тектонических трещин в г. Ханое / Нгуен Чонг Ием // Вьетнамский журнал «Геология». – 1991. – № 202. – С. 17-19.
112. Озеро Чукбач [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://images.search.yahoo.com/search/images?_adv_prop=image&va=hồ+trúc+bạch/ 16(9)2013.
113. Одноопорная пагода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vi.wikipedia.org/wiki/Chùa_Một_Cột/ 16(9)2013.
114. Оценка запасов подземных вод по станциям общественного водозабора на территории города Старого Ханоя: отчет проекта / Ханойская компания чистой воды (ХКЧВ). – Ханой: Изд-во «ХКЧВ», 2009. – 84 с.
115. Оценка оседания земной поверхности и деформации сооружений в связи с природной и экономической деятельностью в районе Хадонг и прилегающих районов: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель канд.

- геол.-минер. наук Чан Ван Ты. – Ханой: Изд-во Вьетнамского института геологических наук, 2009. – 211 с.
116. Оценка оседания земной поверхности на территории Старого Ханоя: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель доцент, канд. геол.-минер. наук Фам Куи Ньан. – Ханой: Ханойского государственного горно-геологического университета, 2008. – 101 с.
117. Оценка инженерно-геологических характеристик слоев слабых грунтов и инженерно-геологическое районирование южной и юго-восточной части провинции Хатаи для социально-экономического развития: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель канд. геол.-минер. наук Чан Ван Ты. – Ханой: Изд-во Вьетнамского института геологических наук, 2006. – 147 с.
118. Оценка запасов подземных вод в микрорайоне Ханойского государственного конференц-центра: отчет / Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов Северного региона Вьетнама (КПИВРСРВ). – Ханой: Изд-во «КПИВРСРВ», 2006. – 62 с.
119. Оценка грунтовых ресурсов для строительства в городе Ханое: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель проф. доктор геол.-минер. наук Фам Ван Ти. – Ханой: Изд-во Ханойского департамента технологических наук и среды, 1999. – 57 с.
120. Оценка оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на станциях мониторинга за оседаниями земной поверхности: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель доцент, канд. геол.-минер. наук Нгуиен Ба Ке. – Ханой: Изд-во Института науки и технологии строительства, 1999. – 38 с.
121. Планирование водоснабжения на территории города Ханоя до 2030 года и видение водоснабжения до 2050 года. Отчет проекта / Компания воды и среды Вьетнама (КВСВ). – Ханой: Изд-во «КВСВ», 2012. – 228 с.
122. Проект строительства моста Нхаттан: отчет об инженерно-геологических изысканиях / Компания строительного проектирования и консультанта Чыонгфат (КСПКТ) и **Фи Хонг Тхинь**. – Ханой: Изд-во КСПКТ, 2012. – 400 с.
123. Проект строительства нового жилого поселка Тантаидо: отчет об инженерно-геологических изысканиях / Ханойский государственный горно-геологический университет (ХГГГУ). – Ханой: Изд-во ХГГГУ, 2010. – 300 с.
124. Проект городской железнодорожной дистанции в городе Ханое (Нхон – Ханойский железнодорожный вокзал): отчет об инженерно-геологических изысканиях / ООО «Изыскания и строительство». – Ханой: Изд-во ООО «Изыскания и строительство», 2010. – 500 с.

125. Проект строительства шоссе Хоалак - Хоабинь: об инженерно-геологических изысканиях / Корпорация транспортного проектирования и консалтинга (TEDI). – Ханой: Изд-во TEDI, 2010. – 1000 с.
126. Проект строительства дороги в южной части провинции Хатаи: об инженерно-геологических изысканиях / Корпорация транспортного проектирования и консалтинга (TEDI). – Ханой: Изд-во TEDI, 2009. – 500 с.
127. Проект строительства нового жилпоселка Анхынг района Хадонг в городе Ханое: отчет об инженерно-геологических изысканиях / Ханойский государственный горно-геологический университет (ХГГГУ). – Ханой: Изд-во ХГГГУ, 2009. – 200 с.
128. Проект строительства дороги Доса - Коаншон в провинции Хатаи: отчет об инженерно-геологических изысканиях / Корпорация транспортного проектирования и консалтинга (TEDI). – Ханой: Изд-во TEDI, 2008. – 500 с.
129. Проект удлинения дороги для экономического и социального развития северной и южной части провинции Хатаи: отчет об инженерно-геологических изысканиях / ООО «Хунта Намкьонг». – Ханой: Изд-во ООО «Хунта Намкьонг», 2008. – 1500 с.
130. Проект строительства моста Тханьчи: отчет об инженерно-геологических изысканиях / Корпорация транспортного проектирования и консультанта (TEDI). – Ханой: Изд-во TEDI, 2005. – 1000 с.
131. Проект строительства оброчной дороги №4 в городе Ханое: отчет об инженерно-геологических изысканиях / Корпорация транспортного проектирования и консультанта (TEDI). – Ханой: Изд-во TEDI, 2003. – 720 с.
132. Проект инвестирования для расширения и совершенствования шоссе Ланг - Хоалак: отчет об инженерно-геологических изысканиях / Корпорация транспортного проектирования и консультанта (TEDI) и **Фи Хонг Тхинь**. – Ханой: Изд-во TEDI, 2003. – 2500 с.
133. Проект детальной разведки подземных вод на территории города Ханоя: отчет / Чан Минь и др. – Ханой: Изд-во Вьетнамского института геологических наук, 1993. – 226 с.
134. Результаты расследования и определения причин просадки грунта в карстовом микрорайоне Летхань района Мидык (Ханой): отчет о научно-исследовательской работе / Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов Северного региона Вьетнама (КПИВРСРВ). – Ханой: Изд-во «КПИВРСРВ», 2011. – 52 с.
135. Результаты мониторинга за изменением уровней подземных вод в Северной дельте Вьетнама – период 2006-2011: годовые отчеты / Конфедерация

- планирования и исследования водных ресурсов Северного региона Вьетнама (КПИВРСРВ). – Ханой: Изд-во «КПИВРСРВ», 2011. – 26 с.
136. Результаты мониторинга за изменением уровней подземных вод в Северной дельте Вьетнама – период 2001-2005: годовые отчеты / Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов Северного региона Вьетнама (КПИВРСРВ). – Ханой: Изд-во «КПИВРСРВ», 2005. – 159 с.
137. Результаты расшифровки аэрофотоснимков г. Ханой: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель доцент, канд. канд. геол.-минер. наук Ха Ван Хай. – Ханой: Изд-во Ханойского государственного горно-геологического университета, 2004. – 55 с.
138. Результаты составления гидрогеологической и инженерно-геологической карт территории города Ханоя масштаба 1:50.000. Физико-механические свойства грунтов: Отчет / Чан Минь, Фам Тьонг Ви. – Ханой: Изд-во геологического бюро Вьетнама, 1993. – 88 с.
139. Составление базы данных водных ресурсов на территории Нового Ханоя – второй этап: отчет о научно-исследовательской работе / Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов Северного региона Вьетнама (КПИВРСРВ). – Ханой: Изд-во «КПИВРСРВ», 2011. – 187 с.
140. Сбор, проверка старых данных, дополнительное исследование для составления карт слабых грунтов г. Ханоя: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель доцент, канд. геол.-минер. наук Нгуиен Ху Фьонг. – Ханой: Изд-во Ханойского государственного горно-геологического университета, 2004. – 261 с.
141. Тонг, Н. Т. Динамика подземных вод четвертичных отложений региона равнины Бакбо: дис. ... канд. геол.-минер. наук / Тонг Нгок Тхань. – Ханой, 2007. – 155 с.
142. Тхием, К. Т. Механизм оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод в промышленной зоне Хиепбиньфыок района Тхудык города Хошиминь / Тхием Куок Туан, Хуинь Нгок Шанг, Чан Ле Тхе Зиен // Вьетнамский журнал «Наука и техника». – 2007. – № 6. Том 10. – С. 79-83.
143. ТСХД 226 : 1999. Испытание стандартного зондирования. Использование и издательское оформление. – Ханой: Изд-во «Строительство», 1999. – 17 с.
144. ТСХД 74 : 1987. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Статистический анализ результатов лабораторных испытаний. Использование и издательское оформление. – Ханой: Изд-во «Строительство», 1987. – 19 с.
145. ТСХД 45 – 78. Стандарты проектирования фундаментов, зданий и сооружений. Использование и издательское оформление. – Ханой: Изд-во «Строительство», 1979. – 154 с.

146. Фам, Т. Х. И. Оседание земной поверхности из-за добычи подземных вод в больших городах / Фам Тхи Хай Иен // Вьетнамский журнал «Морская наука и техника». – 2010. – № 23. – С. 93-96.
147. Ханойская компания чистой воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://hawacom.vn/?p=1235/28\(01\)2012](http://hawacom.vn/?p=1235/28(01)2012).
148. Ха, В. Х. Некоторые новые открытия о современной тектонической активности в городе Ханое и его окрестностях / Ха Ван Хай // Вьетнамский журнал «Геология». – 2007. – № 299. – С. 42-49.
149. Чан, В. Т. Инженерно-геологические характеристики основания дамбы Красной реки в городе Ханое и связанные геологические риски / Чан Ван Ты, Дао Минь Дык, Чан Линь Лан // Вьетнамский журнал «Наука о Земле». – 2011. – № 33. – С. 480-492.
150. Чыонг, К. Х. Оценка природных условий и природных ресурсов для устойчивого развития города Ханоя / Чыонг Куанг Хай, Чан Тхань Ха // Материалы международной научной конференции по случаю 1000-летию Тханглонга. Ханой: Ханойское издательство, 2010. – С. 1049-1062.
151. Чан, М. Л. Геотехнические опасности в г. Ханое и научные основы для решения минимизации этих опасностей / Чан Мань Льеу // Материалы международной научной конференции по случаю 1000-летию Тханглонга. Ханой: Ханойское издательство, 2010. – С. 1134-1145.
152. Чан, Т. Б. Исследование изменения физико-механических свойств голоценовых отложений свиты Тхайбинь под действием динамической нагрузки: дис. ... канд. геол.-минер. наук / Чан Тхыонг Бинь. – Ханой, 2009. – 156 с.
153. Чан, В. Х. Районирование территории города Ханоя по устойчивости геологической среды / Чан Ван Хоанг, Буй Тхи Бао Ань // Вьетнамский журнал «Геология». – 2005. – № 290. – С. 45-47.
154. Чан, В. В. Справочник для инженеров-геотехников: справочник / Чан Ван Вьет. – Ханой: Изд-во строительства, 2004. – 531 с.
155. Чан, В. Х. Связь между оседанием земной поверхности из-за добычи подземных вод и инженерно-геологическими свойствами рыхлых отложений в г. Ханое / Чан Ван Хоанг, Буй Тхи Бао Ань // Вьетнамский журнал «Геология». – 2000. – № 261. – С. 43-48.
156. 22-TCN 260 – 2000 Процесс инженерно-геологических изыскательских работ гидротехнических сооружений. Использование и издательское оформление. – Ханой: Изд-во Вьетнамского министерства транспорта, 2000. – 49 с.

Прогнозные понижения уровня подземных вод плейстоценового водоносного комплекса

Номер пункта расчета	Тип грунтовых толщ	Абсолютная отметка пункта Z (м)	Координаты по VN2000-105-6d		Понижение уровня подземных вод плейстоценового водоносного комплекса Qp (м)									
					Год									
			X (м)	Y (м)	1991	1995	2000	2005	2010	2013	2015	2020	2025	2030
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
43	I.2.c	5,0	578731	2317491	0,5	1,0	2,4	2,5	4,0	4,3	4,5	5,0	5,5	6,0
45	I.1	11,5	590053	2325999	4,0	4,6	4,9	5,9	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
97	III.1	6,0	592718	2339442	1,0	2,4	3,5	4,5	5,0	5,2	5,5	5,8	6,1	6,5
109	III.1	8,1	579357	2340555	0,4	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
112	I.1	7,9	578644	2335119	3,7	4,2	4,9	5,5	5,9	6,2	6,4	7,0	7,5	8,0
116	III.2.c	9,5	584710	2342109	1,0	1,5	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3	3,5	3,7	4,0
136	I.1	3,7	573464	2316623	0,2	0,6	1,0	1,4	1,7	1,9	2,1	3,0	3,5	4,0
MD	III.1	6,1	579665	2327175	12,6	17,4	22,0	24,5	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5
NH	III.1	6,5	585171	2326870	15,0	17,7	19,0	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0
TC	I.2.b	4,2	583933	2325314	5,5	9,1	12,6	16,7	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5
HD	I.2.c	5,7	583120	2321659	20,7	22,9	27,2	31,0	31,2	31,5	31,8	32,0	32,5	32,8
NSL	I.2.b	6,6	586930	2325061	12,0	12,3	14,8	17,0	17,5	18,0	18,3	19,0	19,5	20,0
GL	I.2.a	6,6	596596	2327265	1,0	2,0	3,0	4,0	4,6	4,9	5,2	5,8	6,5	7,0
LY	I.2.b	8,7	589813	2323372	12,0	13,0	15,1	16,8	17,2	17,4	17,7	18,0	18,5	19,0
DA	III.1	8,0	590002	2336412	0,2	0,4	0,6	1,0	1,5	1,9	2,2	3,0	3,9	4,7

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TM	I.2.c	6,0	588593	2320684	12,8	16,5	20,2	24,1	24,5	24,8	25,0	25,5	26,0	26,5
PV	I.2.c	5,2	588354	2314272	10,0	14,0	16,9	19,2	20,0	20,5	21,0	22,5	23,0	23,5
189	I.2.b	6,6	586532	2325525	11,0	13,0	15,0	16,6	17,6	18,0	18,3	19,0	19,5	20,0
194	I.2.b	6,5	589157	2324668	6,8	7,4	8,6	11,2	11,5	11,7	11,9	12,5	12,7	13,0
200	I.2.b	6,7	583547	2324093	8,3	9,6	12,0	16,5	18,7	19,2	20,2	20,8	21,2	21,7
201	I.1	7,2	580471	2327992	13,2	17,5	19,6	20,9	23,0	23,1	23,3	23,5	23,8	24,0
203	I.1	7,1	592121	2328818	0,0	0,5	0,9	2,7	3,5	3,8	4,1	4,5	4,8	5,4
204	I.1	4,3	593200	2326818	0,5	1,0	1,5	2,4	3,0	3,5	3,8	4,2	4,5	5,0
205	III.1	7,0	581958	2328228	9,0	12,9	15,0	18,0	19,0	19,5	20,0	20,7	21,4	22,0
208	I.1	6,0	578830	2327450	8,9	11,4	13,2	16,3	19,5	19,8	20,0	20,5	21,2	22,0
210	I.1	11,6	587978	2327796	8,4	9,2	9,2	9,4	9,6	9,8	10,0	10,4	10,7	11,0
212	I.1	4,8	583858	2317746	5,7	6,4	8,6	11,2	12,6	12,8	13,0	13,7	14,4	15,0
213	III.1	6,6	582843	2326760	9,8	12,4	14,5	16,6	19,2	19,5	19,7	20,3	20,7	21,2
214	I.1	7,2	586417	2324384	12,3	13,1	14,6	15,7	16,5	16,8	17,1	17,7	18,5	19,0
215	I.1	7,8	586861	2326038	9,3	9,6	11,2	13,8	14,0	14,4	14,7	15,3	16,1	17,0
216	I.1	9,0	589259	2325835	2,0	2,2	2,5	3,7	5,0	5,3	5,7	6,2	6,6	7,0
219	I.2.c	5,2	589317	2323599	10,3	10,5	14,4	15,1	15,2	15,5	15,7	16,4	16,9	17,5
220	I.1	10,5	589988	2323644	4,2	6,3	6,9	7,2	7,8	8,0	8,3	8,5	8,7	9,0
221	I.2.c	5,4	587700	2323273	7,0	8,1	11,0	14,0	15,0	15,5	15,9	16,8	18,2	19,0
222	I.1	5,7	588731	2323194	6,9	7,2	9,0	9,6	11,5	12,4	12,8	13,8	14,5	15,0

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
226	I.2.a	7,8	583744	2327700	10,2	11,9	13,6	16,2	16,7	17,5	18,8	19,5	20,2	21,0
227	I.2.c	5,7	577583	2322824	2,2	3,3	4,5	6,9	8,9	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5
229	I.1	10,5	593342	2321465	1,5	2,4	3,8	5,5	6,0	6,3	7,0	7,5	8,0	8,5
230	III.1	8,2	582671	2332259	1,8	2,0	2,8	4,0	4,1	4,5	4,8	5,5	6,2	7,0
231	I.1	10,4	591231	2324848	3,3	3,4	4,1	6,5	6,7	6,9	7,0	7,2	7,4	7,8
232	I.1	6,5	581067	2324618	6,0	8,0	10,0	14,5	19,0	20,3	20,7	21,6	22,3	23,0
234	I.1	4,8	588541	2311280	0,6	0,8	1,1	2,4	3,0	3,3	3,5	4,0	4,4	4,8
235	I.1	8,9	576430	2332752	1,0	1,6	2,1	3,5	4,0	4,3	4,7	5,4	6,3	7,0
243	I.2.b	6,0	585099	2325305	8,7	9,2	11,5	13,0	16,0	16,5	17,0	17,5	18,5	19,5
256	I.1	6,0	583369	2327787	8,4	10,4	12,9	15,4	18,0	18,4	18,7	19,2	19,5	20,0
257	I.2.b	6,0	581327	2327635	9,5	18,0	19,5	21,5	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0
259	I.2.a	5,0	583031	2324437	8,4	9,7	12,0	16,3	17,3	17,5	17,8	18,1	19,2	20,0
261	I.2.b	5,1	585528	2323397	8,2	9,3	11,8	15,2	17,5	17,8	18,0	18,5	19,0	20,0
269	I.2.b	5,9	587258	2323841	8,2	8,8	10,0	13,6	16,0	16,5	16,9	18,0	18,9	19,6
276	I.2.b	5,4	588073	2324493	5,7	6,3	7,5	9,1	10,5	11,0	11,3	12,0	12,7	13,6
297	I.2.b	5,8	587924	2325124	6,0	7,0	9,0	11,0	12,0	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0
304	I.2.c	5,8	587993	2325640	7,1	7,3	8,9	10,5	11,5	12,0	12,5	13,5	14,3	15,0
306	I.2.c	4,6	589143	2318271	8,2	10,1	11,9	14,4	15,5	16,0	16,5	17,5	18,5	19,5
322	I.2.c	5,4	586452	2321439	9,6	11,9	15,7	18,0	20,0	20,5	20,8	21,2	21,5	22,0
344	I.2.b	5,5	590848	2327534	0,4	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7	2,0	3,5	4,3	5,0

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
347	I.2.a	7,2	594051	2330678	0,5	1,0	2,0	2,6	3,0	3,3	3,6	4,1	4,6	5,0
358	I.1	9,2	586274	2329746	2,2	2,6	3,0	7,0	7,7	8,1	8,5	9,0	9,5	10,0
379	I.1	5,4	583771	2323019	8,2	9,4	12,0	16,3	18,3	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0
396	III.2.c	10,6	584458	2338885	0,2	0,5	0,9	1,9	3,0	3,3	3,5	4,0	4,5	5,0
401	I.1	7,1	594968	2331391	0,1	0,2	0,5	1,2	2,1	2,5	2,9	3,5	4,0	4,5
411	I.2.b	3,9	597210	2323324	0,1	0,2	0,6	1,4	1,8	2,2	2,4	2,8	3,2	3,5
417	I.2.c	4,9	594993	2326256	0,1	0,3	0,6	1,6	2,0	2,3	2,5	3,0	3,5	4,0
434	III.1	10,0	585155	2345685	0,5	1,0	1,3	2,2	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	4,0
472	I.2.a	3,9	588699	2312194	0,0	0,2	0,7	1,3	1,5	2,5	2,8	3,1	3,6	4,0
474	I.2.b	6,0	584377	2318587	6,3	7,0	9,2	12,6	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0
478	I.1	5,6	584240	2321619	20,6	24,0	26,4	29,9	30,6	30,8	31,0	31,3	31,6	32,0
489	I.2.a	7,1	589947	2314977	1,1	1,2	2,0	3,5	4,0	4,3	4,5	5,0	5,5	6,0
493	I.2.c	4,3	584864	2316752	4,6	5,3	7,5	10,9	12,0	12,4	12,7	13,5	14,3	15,0
496	I.1	5,0	590631	2313574	0,7	0,7	1,6	2,0	2,3	2,5	2,8	3,2	3,4	3,6
504	I.2.a	5,5	589780	2316379	2,0	2,2	4,0	5,5	7,0	7,3	7,5	8,0	8,2	8,5
513	I.2.a	5,8	579865	2324955	8,6	8,7	10,5	18,0	19,5	19,8	20,5	21,5	22,3	23,0
517	I.1	5,2	581107	2323431	7,6	8,3	11,2	16,3	18,0	18,4	18,6	18,8	19,3	20,0
524	I.2.b	6,0	577870	2327838	9,4	11,6	13,6	16,9	19,0	19,5	19,8	21,0	22,0	23,0
553	I.2.c	10,1	581261	2321270	8,6	10,0	14,9	18,5	20,2	21,0	21,3	22,1	23,1	24,0
560	I.1	6,8	580189	2330472	2,8	3,9	5,7	8,7	12,0	12,2	12,6	13,0	13,3	13,6

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
562	III.1	6,9	581656	2329880	4,7	6,4	8,2	9,8	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0
563	I.2.c	6,8	584375	2320948	21,0	24,0	27,6	30,1	30,8	31,0	31,2	31,7	32,5	33,0
564	I.2.b	3,4	577352	2323873	2,2	3,2	4,5	7,5	9,5	10,2	10,5	11,0	11,5	12,0
576	I.2.c	7,2	580769	2326695	10,0	18,0	19,5	21,9	23,0	23,3	23,6	24,0	24,5	25,0
599	I.2.b	7,9	572718	2329850	0,5	1,3	2,6	5,4	6,0	6,3	6,6	7,1	7,6	8,0
612	I.1	9,3	571992	2323189	0,2	0,5	1,0	1,8	3,0	3,3	3,5	4,0	4,5	5,0
654	I.2.a	8,9	583626	2326458	11,0	13,6	15,6	18,8	20,5	20,8	21,0	21,3	21,7	22,0
660	I.2.b	5,7	575374	2318753	0,5	1,2	2,0	2,5	3,0	3,3	3,5	4,0	4,5	5,0
684	I.2.c	6,0	580705	2319207	5,0	5,5	7,5	10,2	12,4	13,0	13,5	14,5	15,0	16,5
692	I.2.b	5,0	582270	2325658	7,8	7,9	9,7	15,0	18,0	19,0	20,0	20,8	21,2	22,0
707	I.2.c	5,9	574231	2325542	0,0	0,3	0,6	1,4	2,0	2,4	2,7	3,0	3,3	3,5
711	I.2.b	7,0	578758	2326043	11,1	12,8	14,3	16,9	18,0	18,5	18,8	19,7	20,4	21,0
4	I.1	11,7	553095	2338207	0,0	0,0	1,3	2,0	2,2	2,2	-	-	-	-
25	I.1	10,9	563193	2334882	0,3	0,7	1,1	2,1	2,3	2,4	-	-	-	-
137	I.1	4,3	571478	2319518	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	-	-	-	-
253	I.2.a	5,3	580788	2327116	10,0	18,0	19,5	21,9	23,0	23,3	23,6	24,0	24,5	25,0
576	I.1	6,1	580984	2327089	9,8	17,8	19,3	21,7	22,8	23,1	23,4	23,8	24,3	24,8

Продолжение приложения 2

1	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
212	0,17	0,18	0,21	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31	0,33	0,34	0,05	0,70
213	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,34	0,03	0,41
214	0,14	0,15	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,05	0,53
215	0,11	0,12	0,13	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,25	0,06	0,38
216	0,24	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,03	0,68
219	0,38	0,40	0,48	0,51	0,53	0,54	0,55	0,58	0,61	0,63	0,09	1,10
220	0,05	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,02	0,36
221	0,77	0,79	0,85	0,90	0,93	0,94	0,95	0,97	1,00	1,02	0,08	1,37
222	0,18	0,19	0,23	0,25	0,29	0,31	0,31	0,34	0,35	0,37	0,06	0,62
226	0,23	0,25	0,27	0,30	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,04	0,54
227	0,32	0,34	0,35	0,39	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,04	1,00
229	0,08	0,09	0,11	0,13	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,02	0,31
230	0,07	0,07	0,09	0,11	0,11	0,12	0,12	0,14	0,15	0,16	0,04	0,44
231	0,13	0,14	0,16	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,02	0,53
232	0,20	0,22	0,25	0,34	0,37	0,38	0,39	0,42	0,44	0,46	0,08	0,70
234	0,22	0,23	0,23	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30	0,03	0,87
235	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15	0,05	0,44
243	0,19	0,21	0,25	0,28	0,34	0,35	0,36	0,39	0,41	0,44	0,09	0,79
256	0,25	0,30	0,39	0,46	0,53	0,55	0,56	0,58	0,60	0,61	0,06	0,78
257	0,18	0,33	0,37	0,42	0,45	0,47	0,48	0,50	0,51	0,53	0,06	0,56
259	0,11	0,14	0,18	0,25	0,28	0,30	0,31	0,33	0,36	0,38	0,08	0,49
261	0,22	0,23	0,27	0,32	0,35	0,36	0,37	0,39	0,41	0,43	0,07	0,75
269	0,29	0,31	0,34	0,42	0,47	0,49	0,51	0,55	0,58	0,61	0,12	0,95
276	0,14	0,15	0,17	0,20	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,05	0,31
297	0,21	0,23	0,27	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,41	0,43	0,07	0,77
304	0,19	0,20	0,24	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,39	0,41	0,09	0,71
306	0,26	0,31	0,37	0,43	0,46	0,48	0,49	0,52	0,54	0,57	0,09	0,72
322	0,49	0,56	0,66	0,75	0,82	0,85	0,87	0,90	0,93	0,96	0,11	1,54
344	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08	0,09	0,06	0,22
347	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,02	0,20
358	0,11	0,12	0,14	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,04	0,49
379	0,06	0,07	0,09	0,13	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,01	0,21
396	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29	0,30	0,31	0,32	0,34	0,35	0,05	1,04

Продолжение приложения 2

1	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
401	0,10	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,04	0,59
411	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,03	0,41
417	0,02	0,02	0,03	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,04	0,38
434	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,10
472	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,02	0,43
474	0,56	0,58	0,60	0,65	0,68	0,69	0,70	0,71	0,73	0,74	0,05	1,33
478	0,50	0,53	0,58	0,63	0,66	0,67	0,68	0,69	0,71	0,72	0,05	0,85
489	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,03	0,32
493	0,18	0,20	0,26	0,34	0,36	0,38	0,39	0,40	0,42	0,44	0,06	0,57
496	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,10
504	0,13	0,13	0,18	0,22	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,03	0,48
513	0,16	0,17	0,19	0,28	0,30	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,08	0,72
517	0,19	0,20	0,25	0,32	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,04	0,55
524	0,28	0,32	0,37	0,43	0,48	0,50	0,51	0,55	0,58	0,61	0,11	0,86
553	0,46	0,50	0,60	0,68	0,74	0,77	0,79	0,83	0,87	0,92	0,15	1,50
560	0,29	0,31	0,35	0,40	0,46	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52	0,05	0,92
562	0,10	0,12	0,15	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,04	0,49
563	0,46	0,52	0,61	0,67	0,72	0,75	0,77	0,81	0,86	0,90	0,15	1,32
564	0,22	0,25	0,29	0,37	0,42	0,44	0,46	0,47	0,49	0,51	0,07	0,95
576	0,33	0,52	0,59	0,68	0,73	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,08	0,92
599	0,19	0,20	0,22	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30	0,03	0,90
612	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,02	0,28
654	0,21	0,26	0,31	0,38	0,42	0,44	0,45	0,46	0,48	0,49	0,05	0,61
660	0,01	0,03	0,06	0,08	0,10	0,12	0,12	0,14	0,16	0,18	0,06	0,43
684	0,22	0,23	0,27	0,32	0,37	0,38	0,40	0,43	0,44	0,48	0,10	0,79
692	0,15	0,16	0,19	0,29	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,07	0,46
707	0,22	0,23	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,04	1,12
711	0,31	0,35	0,39	0,44	0,48	0,49	0,50	0,53	0,56	0,59	0,10	0,91
4	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,05	-	-	-	-	-	-
25	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-
137	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	-	-	-	-	-	-
253	0,17	0,29	0,31	0,35	0,37	0,37	0,38	0,39	0,40	0,40	0,03	0,41
576	0,16	0,27	0,30	0,33	0,35	0,36	0,36	0,37	0,38	0,38	0,02	0,39