

На правах рукописи

Фи Хонг Тхинь

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

Специальность 25.00.08 – инженерная геология,
мерзлотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2014

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Национального исследовательского Томского политехнического университета (ТПУ)

Научный руководитель **Строкова Людмила Александровна,**
доктор геолого-минералогических наук, доцент,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет

Официальные оппоненты: **Шестернев Дмитрий Михайлович,**
доктор технических наук, профессор, заведующий
лабораторией ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И.
Мельникова СО РАН

Козырева Елена Александровна,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
заведующий лабораторией ФГБУН Институт земной коры
СО РАН

Ведущая организация: Национальный исследовательский
Иркутский государственный технический университет

Защита состоится «08» апреля 2014 года в 9 часов на заседании диссертационного совета Д 003.022.01, созданного на базе ФГБУН Институт земной коры СО РАН, по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ИНЦ СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью организации, просим направлять по указанному адресу ученому секретарю совета Галине Александровне Карнауховой, Тел. (3952) 42-71-82, e-mail: karnauh@crust.irk.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 003.022.01, доктор
географических наук

Г.А. Карнаухова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 зданий и 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.

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.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций подтверждена теоретическими выкладками, совпадением численных результатов с решениями, полученными аналитически и результатами натуральных 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); I практической конференции «Геотехнический мониторинг и мониторинг развития опасных геологических процессов» (Москва, сентябрь 2013); научных семинарах кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии 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 коммуникаций.

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.

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 и 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 добычи 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.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ 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.

На территории г. Ханоя широко развиты геологические формации с возрастом от протерозоя до кайнозоя. Геологические формации дочетвертичного возраста распространены, в основном, в горных и холмистых местностях районов Шокшон, Бави, Шонтаи, Мидык и т.д. Четвертичные отложения мощностью до 90 м распространены в Ханое повсеместно.

В разрезе четвертичных отложений выделяют пять свит, различающихся по возрасту и генезису, гранулометрическим составом – от галечников до тяжелых глин: раннеплейстоценовую свиту *Лэчи (allc)* мощностью 2,5 – 24,5 м, глубиной залегания 45,0 – 80,0 м, сложенную аллювиальными грунтами, представленными гальками, гравием, линзами песков, супесей или суглинков; средне-позднеплейстоценовую свиту *Ханой (a,apII-III¹hn)* мощностью 2,5 – 34,0 м,

сложенную аллювиальными и аллювиально-пролювиальными грунтами, представленными гальками, гравием и песками, местами суглинками и супесями, развитыми в верхней части разреза; позднеплейстоценовую свиту *Виньфук* ($a, alb, amIII^2vp_{1,2,3}$) мощностью 6,2 – 38,0 м, представленную аллювиальными, аллювиально-озерно-болотными и аллювиально-морскими отложениями - песками в нижней части разреза и суглинками и глинами в верхней (местами также прослеживаются суглинки с органическими остатками); ранне-среднеголоценовую свиту *Хайхынг* ($lb, m, ambIV^{1-2}hh_{1,2,3}$) мощностью 1,0 – 43,0 м, состоящую из озерно-болотных, морских и аллювиально-болотно-морских отложений, относящихся к специфическим слабым водонасыщенным грунтам и представленных суглинками и глинами с органическими остатками в основании разреза, постепенно сменяющимися морскими глинами синего цвета; позднеголоценовую свиту *Тхайбинь* ($a, albIV^3tb_{1,2}$) мощностью 0,5 – 26,5 м, представленную аллювиальными и аллювиально-озерно-болотными отложениями, имеющими широкое распространение и характеризующимися постепенным переходом от песков к супесям и суглинкам, местами с включениями органических остатков.

Для изучения условий распространения и залегания водоносных горизонтов, а также зон развития слабых грунтов в 2013 г. автором построено 8 инженерно-геологических и гидрогеологических разрезов по данным 173 скважин глубиной от 11 до 280 метров (рис. 1 и 2). На основе результатов лабораторных испытаний 4536 образцов грунта по скважинам автор составил таблицу нормативных значений физико-механических свойств грунтов (табл. 1).

По возрасту, генезису и физико-механическим свойствам четвертичные отложения территории разделены на 24 слоя. В верхней части разреза прослеживаются аллювиально-озерно-болотные отложения свиты *Виньфук* $albIII^2vp_2$ (слой 16), озерно-болотные и аллювиально-болотно-морские отложения свиты *Хайхынг* $lb, ambIV^{1-2}hh_{1,3}$ (слои 13 и 11) и аллювиально-озерно-болотные отложения свиты *Тхайбинь* $albIV^3tb_1$ (слои 2 и 7) – текучепластичные и текучие суглинки с органическими остатками – **слабые грунты** с низкой несущей способностью и высокой сжимаемостью ($R_0 < 100$ кПа и $E_{0(1-2)} < 5$ МПа соответственно). Их мощность изменяется от 0,2 м до 43,0 м; глубина залегания изменяется от 0 м до 37,8 м. Они широко распространены в центральной части и южных районах города (рис. 3 и 4).

Общественное извлечение подземных вод на территории г. Ханоя началось в 1905 г. и непрерывно увеличивается от 15 тыс. м³/сут. (1905 г.), 145 (1965 г.), 250 (1985 г.), 455 (1995 г.) до 628 тыс. м³/сут. (2005 – 2010 гг.) в Старом Ханое. В г. Ханое действуют 19 крупных общественных предприятий (станций водоснабжения), занимающихся обеспечением населения водой. Большая часть воды забирается из плейстоценового водоносного комплекса.

Результаты мониторинга уровней подземных вод показали, что добыча подземных вод привела к образованию крупных депрессионных воронок в районах общественных водозаборов центральной части Ханоя. В 2010 г. зафиксированы максимальные водопонижения 26,0 м в Майзич и 31,2 м в Хадинь (рис. 5, табл. 2).

Таблица 1

Обобщенные показатели состава и свойств четвертичных отложений
территории Ханоя (Фи Х.Т., 2013)

№ слоя	Природная влажность W , %	Плотность грунта ρ , г/см ³	Коэффициент пористости, e	Число пластичности I_p , %	Показатель текучести I_L , отн. ед.	Угол внутреннего трения грунта φ , град., мин.	Удельное сцепление c , кПа	Модуль деформации $E_{0(1-2)}$, МПа	Расчетное противление R_0 , кПа	Содержание органических веществ O , %	Количество образцов	Название грунта
2	55,8	1,64	1,470	16,9	1,12	5°33'	7,0	1,6	49,1	-	52	Суглинок
3	32,6	1,79	1,000	15,6	0,58	10°32'	16,2	6,8	117,7	-	29	Суглинок
4	-	-	-	-	-	25°57'	-	7,1	100,0	-	16	Песок
5	32,8	1,85	0,945	19,0	0,35	10°43'	28,7	10,9	166,8	-	87	Глина
6	29,1	1,89	0,844	14,3	0,37	12°51'	26,3	11,4	166,8	-	733	Суглинок
7	42,6	1,72	1,205	14,8	0,89	7°10'	11,8	3,9	68,7	5,7	385	Суглинок
8	31,6	1,82	0,931	9,7	0,78	12°50'	14,4	7,5	107,9	-	249	Суглинок
9	-	-	-	-	-	27°29'	-	10,5	127,5	-	545	Песок
10	34,3	1,74	1,053	12,1	0,73	10°44'	15,8	5,3	107,9	-	89	Суглинок
11	40,1	1,76	1,133	15,6	0,96	6°35'	9,4	3,3	58,9	12,2	27	Суглинок
12	35,1	1,80	1,034	18,6	0,47	10°22'	23,7	8,7	137,3	5,3	163	Глина
13	53,3	1,61	1,476	15,9	1,26	5°39'	8,9	1,6	49,1	9,7	628	Суглинок
14	30,6	1,87	0,900	18,5	0,25	12°50'	30,2	14,9	176,6	-	196	Глина
15	26,6	1,92	0,780	13,9	0,28	14°01'	29,8	14,5	206,0	-	608	Суглинок
16	36,4	1,76	1,069	12,8	0,88	10°40'	11,8	4,8	88,3	8,0	54	Суглинок
17	26,0	1,85	0,825	7,5	0,77	15°30'	14,2	11,3	137,3	-	167	Суглинок
18	-	-	-	-	-	33°39'	-	19,4	284,5	-	195	Песок
19	-	-	-	-	-	36°04'	-	29,5	363,0	-	215	Песок
20	27,3	1,84	0,861	10,8	0,59	9°45'	17,9	6,9	117,7	-	08	Суглинок
21	-	-	-	-	-	-	-	12,2	176,6	-	10	Суглинок
22	-	-	-	-	-	-	-	>50	>490	-	80	Гравий/ Галька
23	-	-	-	-	-	-	-	15–20	>196	-	-	Супесь
24	-	-	-	-	-	-	-	>50	>490	-	-	Гравий/ Галька

С 1988 по 1995 годы на территории г. Ханоя функционировали 32 станции мониторинга за оседанием земной поверхности, которые позволяли контролировать только общее оседание земной поверхности, а не осадку каждого слоя грунта, участвующего в оседании. С 1994 по 2003 гг. была построена новая сеть мониторинга из 10 станций. Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности показали, что почти вся внутренняя площадь г. Ханоя подверглась оседанию с разными скоростями осадки, зависящими от инженерно-геологических условий и характеристик понижения подземных вод. Анализ данных по 10 станциям мониторинга указывает на связь оседания земной поверхности с извлечением подземных вод. На станциях с наличием слоев слабых грунтов большой мощности и высокой скоростью понижения подземных вод скорость оседания высокая (табл. 2).

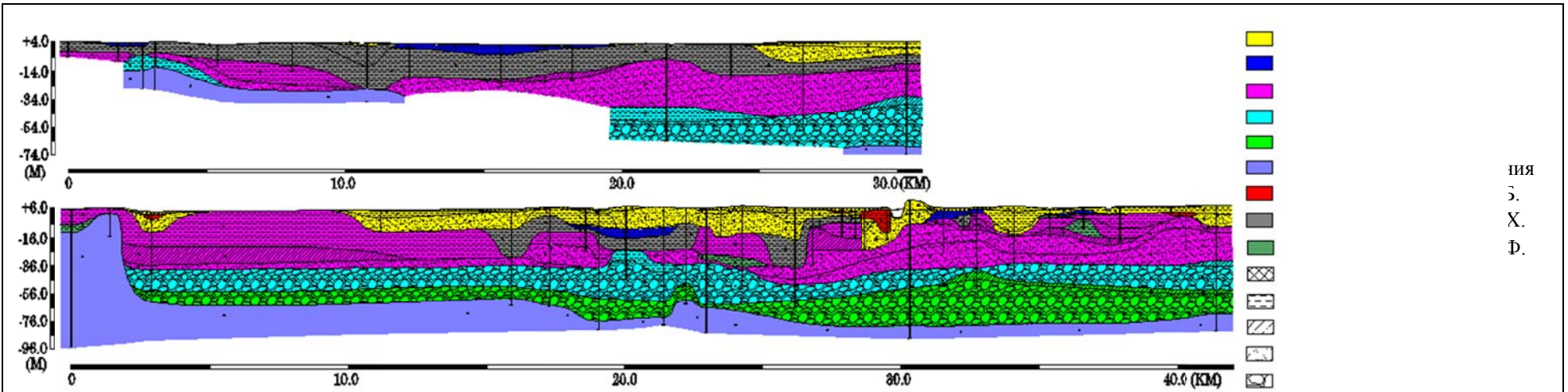


Рисунок 1. Инженерно-геологические разрезы I-I' и II-II' (Фи Х.Т., 2013)

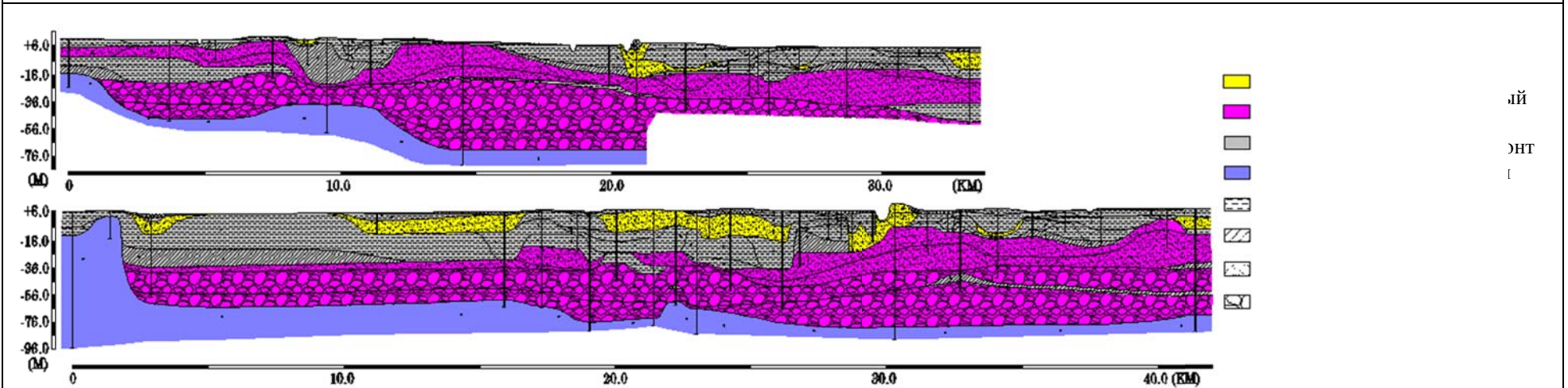


Рисунок 2. Гидрогеологические разрезы VIII-VIII' и II-II' (Фи Х.Т., 2013)

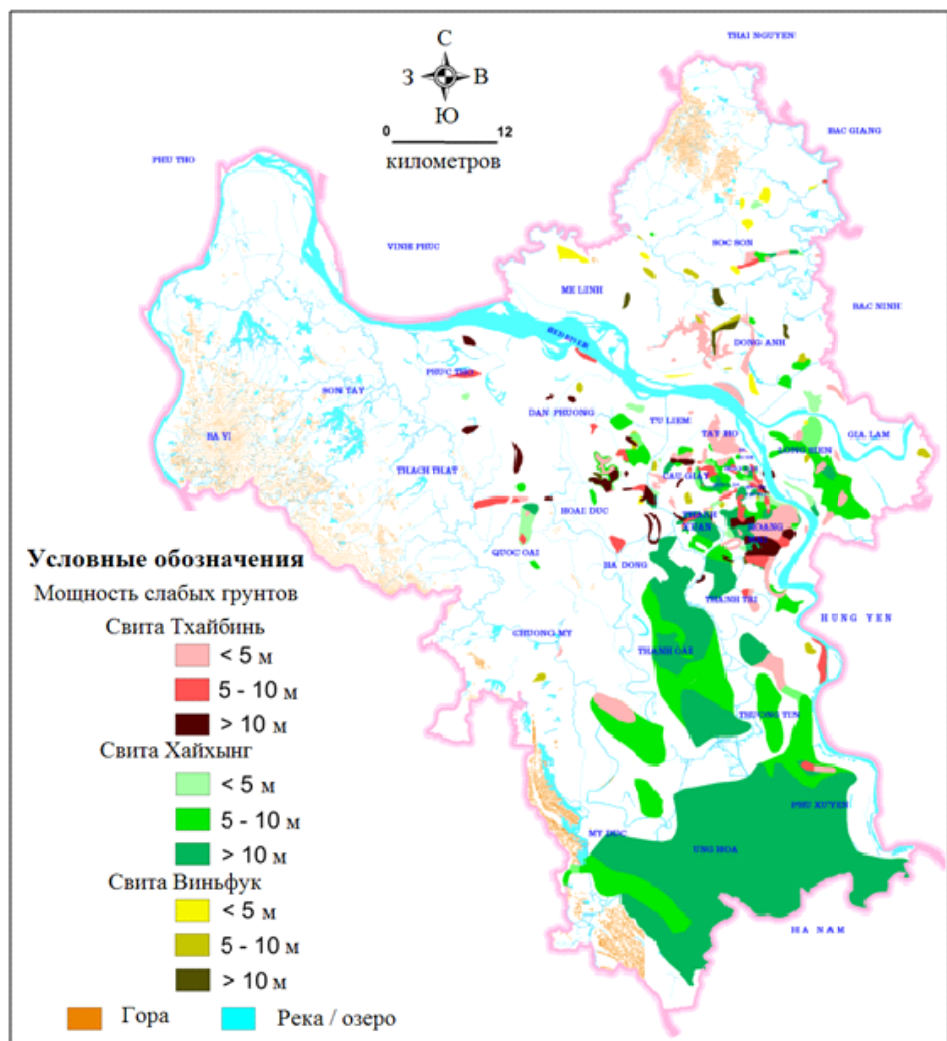


Рисунок 3. Карта мощности и распространения слабых грунтов на территории Ханоя (5 слоев слабых грунтов), составленная Фи Х.Т. в 2013 г. Масштаб 1: 50 000

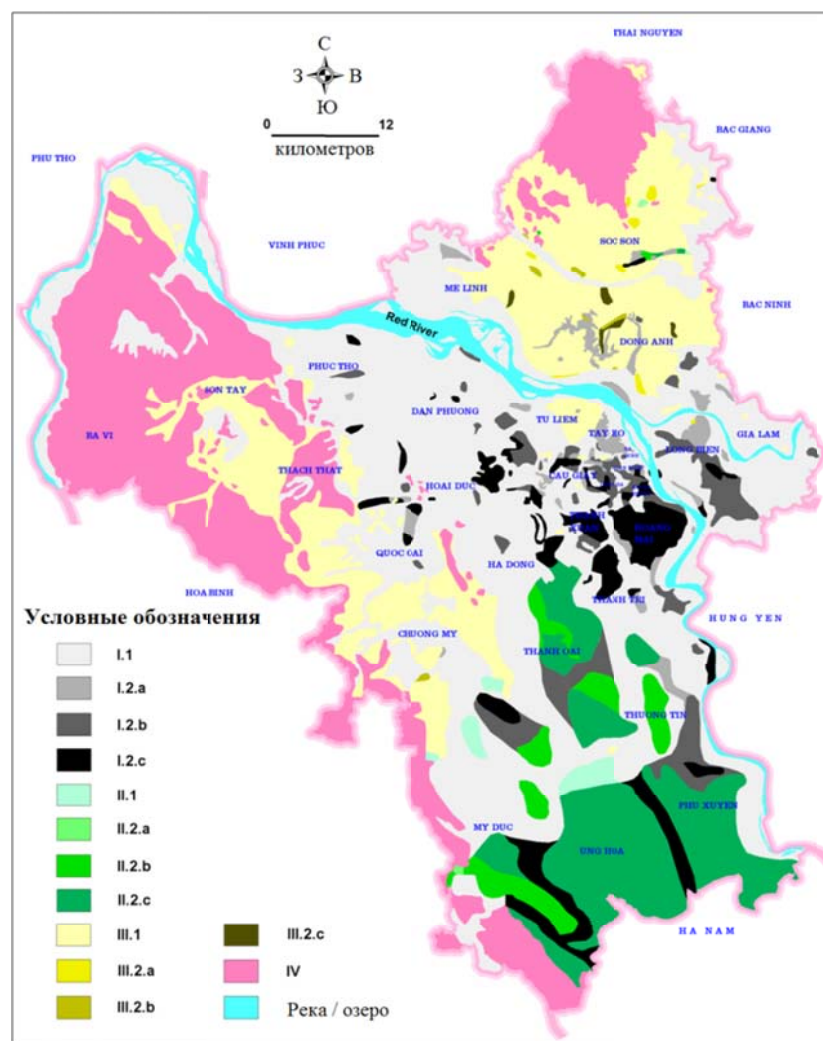


Рисунок 4. Карта типизации грунтовых толщ территории г. Ханоя в связи с исследованием оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод, составленная Фи Х.Т. в 2013 г. Масштаб 1: 50 000

Данные мониторинга за оседанием земной поверхности на территории г. Ханоя

№	Станция мониторинга	Время наблюдений	Мощность слабых грунтов (м)	Уровень подземных вод в 2004 г. (м)	Понижение уровней п.в. (м)	Средняя 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	Льонгиен	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	Тьонгмай	2003-2004	15,5	28,11	3,07	1,54	36,85	18,43

Разрушения 200 четырех – пятиэтажных жилых домов и зданий на фундаментах неглубокого заложения в центральной части г. Ханоя произошли, в основном, в период с 1985 по 1995 гг., в период интенсификации добычи подземных вод.

Согласно результатам исследования Ч.В. Ты в 2009 г. оседание поверхности из-за нагрузки от системы двух – пятиэтажных зданий на плитных фундаментах по линии инженерно-геологического разреза длиной 4 км в районе Хадонг составляет 15 – 35 см.

Результаты исследования связи между оседанием земной поверхности и мощностью насыпных отложений, выполненные автором, показали, что оседание поверхности из-за нагрузки от насыпных грунтов с мощностью 2,0 м составляет 6 см; с мощностью 5,5 м – 11 см; с мощностью 10,0 м – 26 см.

Таким образом, 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.

ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ 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.

Под *грунтовой толщей*, по В.Т. Трофимову, понимается толща горных пород, находящихся в зоне активного воздействия инженерного сооружения. 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 показали, что величина оседания земной поверхности в большей степени зависит от мощности слабых грунтов: Значительную долю 68 – 94 % от общей величины осадки в 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.

Обобщение имеющихся данных, позволило автору составить карты мощности и распространения слабых грунтов г. Ханоя (рис. 3). 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.

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. Ниже этой глубины воздействие извлечения подземных вод на величину оседания земной поверхности незначительное.

Автором в 2013 г. была составлена карта типизации грунтовых толщ Ханоя в масштабе 1:50 000 (рис. 4) на основе геологической карты территории города того же масштаба, построенной Н.К. Тоан и опубликованной Ханойским издательством в 2011 году, и стратиграфических данных по 691 скважине.

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 присутствия (2) слабых грунтов, обозначается арабскими цифрами после класса. Вид выделяется по мощности слабых грунтов, обозначается латинской буквой.

С использованием этих принципов грунтовые толщи территории Ханоя были разделены на 4 класса, 6 типов и 9 видов.

- 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.

Результаты типизации грунтовых толщ изучаемой территории показали, что типы слабых грунтов широко распространены в центральной части и южных районах города. Распространение типов грунтовых толщ с наличием слабых грунтов мощностью больше 5 м предопределяет значительную величину оседания земной поверхности при большом водопонижении и необходимость особого внимания к ним при исследовании осадок.

ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ 3. Методико-технологической основой прогноза развития процесса оседания поверхности во времени является сочетание методов (МКЭ и ММКА), 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.

Оседание земной поверхности является результатом механических процессов, в их числе процессов 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.

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 понижение. 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 плейстоценового комплекса 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.

В качестве примера на рисунке 6 приведена прогнозная карта уровня подземных вод плейстоценового водоносного комплекса для 2030 г.

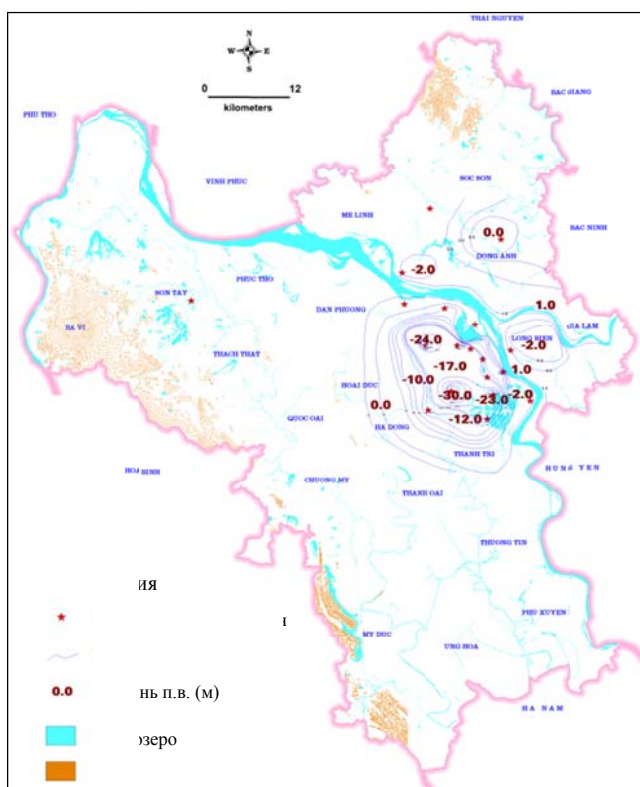


Рисунок 5. Карта уровня подземных вод плейстоценового комплекса на территории г. Ханоя в 2010 г. (Чиеу Д.Х., Фам Б.К., Фи Х.Т., 2013)



Рисунок 6. Прогнозная карта уровня подземных вод плейстоценового комплекса на территории г. Ханоя в 2030 г. (Чиеу Д.Х., Фам Б.К., Фи Х.Т., 2013)

Моделирование развития величины оседания поверхности во времени выполнялось с помощью многофакторного корреляционного анализа (ММКА) и метода конечных элементов (МКЭ). ММКА позволил количественно 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 деформации земной поверхности во времени (S_t) в результате извлечения подземных вод. По МКЭ, слои грунтов разбиваются на узлы и линейные элементы; применяется модель одномерной консолидации; по изменению нейтрального напряжения может быть вычислена деформация во времени каждого подслоя грунта (S_{it}).

Прогноз оседания земной поверхности во времени S_t на станциях мониторинга за оседанием поверхности, выполненный с помощью обоих методов дал результаты относительно близкие к фактическим данным мониторинга. Сравнение результатов, полученных этими двумя методами, между собой показало, 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 малого количества станций мониторинга. Поэтому ММКА был

использован для прогноза оседания по 10 станциям мониторинга, МКЭ использовался для прогноза оседания в 92 точках расчета.

Результаты прогноза показали что:

- В 2013 г. на большей площади центральной части г. Ханоя оседание поверхности составит самую большую величину, от 30 до 104 см. Самая большая величина оседания (от 70 до 104 см) наблюдается в центре депрессионной воронки, охватывающей территорию вокруг станций водоснабжения Хадинь, Фапван, Тьонгмай, Бачкхоа. Там присутствуют слабые грунты с мощностью больше 10 м. В зонах окраин и наружной части депрессионной воронки оседание поверхности имеет небольшую величину, лишь от 0 до 30 см, хотя в разрезе некоторых микрорайонов существуют слои слабых грунтов с мощностью больше 5 м. В зонах, сложенных с поверхности дочетвертичными отложениями, оседание поверхности в результате извлечения подземных вод не произойдет.

- 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 незначительно, только на 1 – 15 см, в среднем 6 см. Скорость оседания значительно снизится. Величина оседания во многих разрезах будет достигать 60 – 80% от полного оседания.

Результаты прогноза оседания поверхности показаны на прогнозных картах оседания земной поверхности на территории г. Ханоя в результате извлечения подземных вод в 2013 г., 2020 г., и 2030 г. (рис. 7).

РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для уменьшения 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. 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.

- 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.

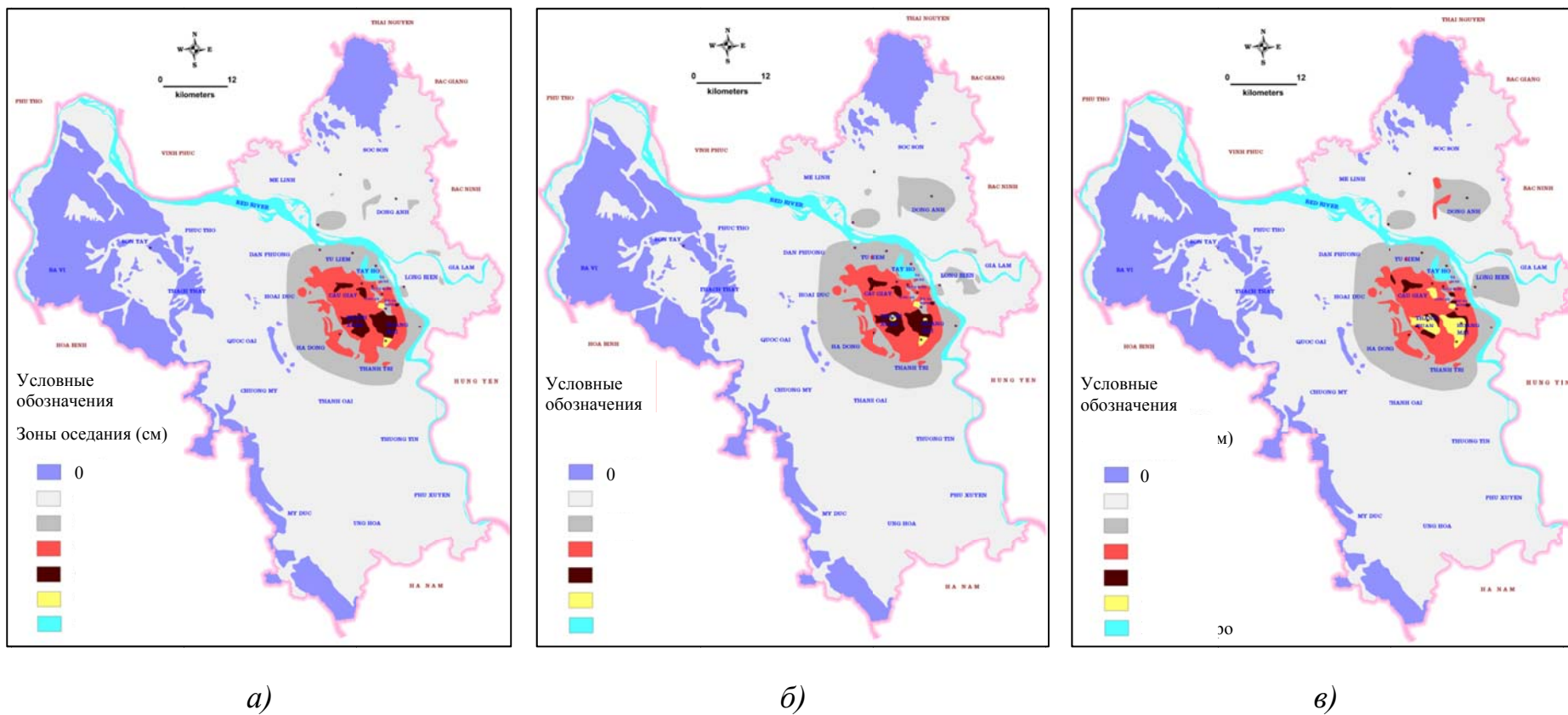


Рисунок 7. Прогнозные карты оседания земной поверхности на территории г. Ханоя в результате извлечения подземных вод по годам (а) – 2013 г. (б) – 2020 г.; (в) – 2030 г. (Фи Х.Т., 2013)

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 степень 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проанализированы 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.

Выполнена типизация грунтовых толщ территории г. Ханоя, составлены инженерно-геологические и гидрогеологические разрезы, карты мощности и распространения слабых грунтов и карта типизации грунтовых толщ территории г. Ханоя. По результатам исследования грунтовые толщи территории г. Ханоя разделены 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 больше 5 м предопределяют значительную величину оседания земной поверхности при большом водопонижении.

Выполнено моделирование развития оседания поверхности во времени в результате извлечения подземных вод с помощью МКЭ. Результаты оценки также показали, что сжатие слоев слабых грунтов составляет более 60% от

величины осадки. Составлены прогнозные карты оседания земной поверхности г. Ханоя в результате извлечения подземных вод на 2013 г., 2020 г. и 2030 г. с учетом карт уровней подземных вод в эти годы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

ВАК публикации:

1. Фи, Х. Т. Опасные геологические процессы на территории г. Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – № 349. – С. 200-204.

2. 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. 52-59.

3. Фи, Х. Т. Причины оседания земной поверхности в г. Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 12. – С. 30-34.

4. Фи, Х. Т. Прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в городе Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – № 1. – Том 323. – С.161-167.

5. Фи, Х. Т. Анализ первоначальных результатов работы системы автоматического мониторинга осадков земной поверхности и изменений уровня и характеристик подземных вод на территории г. Ханоя (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Нгуен Куок Тхань // Инженерные изыскания. 10-11/2013. – С. 28-37.

6. Фи, Х. Т. Оценка и прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в городе Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Геоэкология, Инженерная геология, Гидрогеология, Геокриология. – 2014. – № 1. – С. 38-47. (принята в печать).

За рубежом:

1. Phi, H. T. Prediction of land subsidence caused by groundwater exploitation in Hanoi, Vietnam, using multifactorial correlation analysis / Phi Hong Thinh, L. A. Strokovna // Sciences in Cold and Arid Regions. – 2013. – № 5. – Volume 5. – P. 0644-0653. (на Английском языке)

2. Phi, H. T. Sand compaction piles in soft soils improvement / Nguyen Chau Lan, Phi Hong Thinh // Vietnam Geotechnical Journal. – 2009. – № 1. – Volume 13. – P. 38-44. (на Вьетнамском языке)

Материалы конференции:

1. Фи, Х. Т. Проблемы проектирования зданий и сооружений на территории г. Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Материалы Российской конференции с международным участием «Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях». – Уфа: Изд-во ГУП института «БашНИИстрой». – 2012. – С. 151-156.

2. Фи, Х. Т. Оценка и прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в городе Ханой (Вьетнам) // Проблемы геологии и

освоения недр: Труды XVI Междунар. симпозиума им. М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2012. – С. 509-511.

3. Фи, Х. Т. Прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в городе Ханой (Вьетнам) с помощью TZR программы на базе МКЭ / Фи Хонг Тхинь // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении». – Новочеркасск: Изд-во НПИ. – 2012. – С. 159-165.

4. Фи, Х. Т. Анализ и прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Иркутск: Географ. – 2012. – С. 143-146.

5. Фи, Х. Т. Моделирование оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханой с помощью метода конечных элементов / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. – Томск: Изд-во НТЛ. – 2012. – С. 85-88.

6. Фи, Х. Т. Моделирование оседания земной поверхности в результате добычи подземных вод на территории г. Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Научно-технический журнал. – Санкт-Петербург: Изд-во Института Геореконструкции. – 2012. – № 14. – С. 300-304.

7. Фи, Х. Т. Использование метода многофакторного корреляционного анализа для прогноза оседания земной поверхности в городе Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVII Междунар. симп. им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2013. – С. 480-482.

8. Фи, Х. Т. Моделирование оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя (Вьетнам) с помощью методов конечных элементов и многофакторного корреляционного анализа / Фи Хонг Тхинь // Сборник материалов II Всероссийского симп. с междунар. участием. – Иркутск: Изд-во Института земной коры СО РАН. – 2013. – С.138-143.

Подписано к печати: 24.01.2014. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. 1,0. Уч.-изд.л.0,90.

Заказ 21-14. Тираж 120 экз.

Национальный исследовательский
Томский политехнический университет


Система менеджмента качества

Издательство Томского политехнического университета

сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO
9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru

