

На правах рукописи

НГУЕН ДЫК МАНЬ

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО
ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА ХАНОЯ (ВЬЕТНАМ)**

*Специальность 25.00.08 - Инженерная геология,
мерзлотведение
и грунтоведение*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2010

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Санкт-Петербургском государственном горном институте имени Г.В. Плеханова (техническом университете)

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Дашко Регина Эдуардовна

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Кнатько Василий Михайлович

кандидат геолого-минералогических наук, доцент

Пирогов Игорь Алексеевич

Ведущее предприятие – ЗАО «ЛЕНТИСИЗ»

Защита диссертации состоится 2 ноября 2010 г. в 14 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.11 при Санкт-Петербургском государственном горном институте имени Г.В. Плеханова (техническом университете) по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2, ауд. 4312.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного горного института.

Автореферат разослан 1 октября 2010 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета
к. г.-м. н.

А.В. ШИДЛОВСКАЯ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Проблема освоения и использования подземного пространства (ПП) имеет особое значение в столице Вьетнама – Ханое, которая функционирует в условиях неразвитой транспортной системы и экстенсивного расширения городской инфраструктуры. Строительство и эксплуатация подземных транспортных сооружений (метрополитенов, подземных переходов, автомобильных тоннелей и др.) должно осуществляться при условии сохранения исторического центра города, который насчитывает 11 веков своего существования, его архитектурных памятников, жилого фонда, действующих промышленных сооружений. В Ханое ведется строительство высотных зданий до 60 этажей. Как известно, возведение зданий повышенной этажности проводится при обязательном устройстве глубоких котлованов и освоении ПП на значительную глубину. Кроме того, разработаны проекты двух линий метрополитена, строительство которых начинается в конце 2010 г.

Следует учитывать, что в верхней части геологического разреза территории Ханоя залегают водонасыщенные песчано-глинистые отложения с органическими остатками, которые относятся к грунтам малой степени литификации. Это создает большие трудности в процессе ведения строительных работ и обеспечения эксплуатационной надежности наземных и подземных сооружений. Высокая степень сложности инженерно-геологических условий определяется также широким развитием экзогенных процессов на территории города и сейсмичностью региона с интенсивностью землетрясений до 9 баллов.

Большой вклад в изучение инженерно-геологических условий Ханоя в различные года внесли: А.Е. Довжиков, В.Д. Ломтадзе, Нгуен Тхань, Фан Нгок Фи, Фам Суан, Чан Минь, Фам Ван Ти, Нгуен Дык Дай, Нгуен Ху Фыонг и др.

Изучение закономерностей возникновения и динамики развития экзогенных и эндогенных процессов во Вьетнаме ведется непланово и носит случайный характер. Сейсмическое микрорайонирование (СМР) Ханоя в связи с освоением его ПП является насущной задачей, решение которой необходимо реализовать в самое ближайшее время. Результаты таких работ будут служить основой для оценки интенсивности проявления землетрясений при проектировании наземных и подземных сооружений в городе Ханое, а также для разработки мероприятий по обеспечению их устойчивости.

Цель работы. Комплексное изучение, анализ и оценка эндогенных и экзогенных процессов и явлений, определяющих безопасность освоения и использования подземного пространства Ханоя в сложных инженерно-геологических условиях при наличии мощной толщи слабых водонасыщенных песчано-глинистых грунтов.

Основные задачи исследований: 1) изучение особенностей формирования инженерно-геологических условий территории Ханоя с учетом анализа структурно-тектонической обстановки территории Северного Вьетнама, Ханойского прогиба и их влияния на безопасность освоения и использования ПП города; 2) характеристика и систематизация природных и природно-техногенных процессов экзогенного характера для оценки их воздействия на устойчивость наземных и подземных сооружений в условиях развития слабых песчано-глинистых грунтов; 3) анализ региональных сейсмических условий территории для оценки степени опасности освоения подземного пространства; 4) совершенствование инженерно-геологических принципов сейсмического микрорайонирования территории Ханоя.

Фактический материал и личный вклад автора.

Диссертационная работа подготовлена на основе многолетних инженерно-геологических, гидрогеологических и сейсмических исследований территории города Ханоя, региона Северного Вьетнама, проводимых Главным геологическим управлением Вьетнама, институтом Физики Земной коры Вьетнама, управлением менеджмента проектирования железных дорог в Ханое, Ханойским государственным горно-геологическим университетом и Ханойским государственным университетом транспортных коммуникаций, в котором автор работы принимал участие, начиная с 1997 года. Личный вклад автора: развитие научно-практических положений освоения ПП с учетом природных и техногенных факторов в сложных инженерно-геологических условиях города; установление закономерностей развития оползневых смещений береговой зоны р.Красной, фильтрационных деформаций в основании защитных дамб от наводнения, неравномерных осадок некоторых зданий и сооружений, деформаций земной поверхности при откачке подземных вод, а также систематизации прогнозируемых природных и природно-техногенных процессов при освоении и использовании ПП в Ханое; составление уточненной инженерно-геологической схемы

сейсмического микрорайонирования территории города с использованием разработанных автором положений.

Основные методы исследований. Теоретические исследования формирования и преобразования состава, состояния, физико-механических свойств песчано-глинистых пород, динамики развития природных и природно-техногенных геологических процессов; научно-практический анализ влияния специфики инженерно-геологической и гидродинамической, а также тектонической обстановки на условия освоения и использования ПП; экспериментальные методы, применяемые в инженерной геологии и гидрогеологии; методы сейсмического микрорайонирования на основе величин приращения сейсмической интенсивности; расчетные методы прогноза устойчивости откосных сооружений; применение компьютерных технологий для расчетов и обработки результатов исследований.

Научная новизна.

- Установлены особенности формирования состояния и физико-механических свойств песчано-глинистых пород с учетом истории геологического развития региона и инженерной деятельности человека.

- Для прогноза безопасности функционирования наземных и подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях Ханоя выполнена систематизация экзогенных геологических процессов и явлений.

- Для разработки стратегии мероприятий по обеспечению устойчивости сооружений и повышению безопасности освоения и использования ПП города предложены методические подходы для реализации инженерно-геологического районирования и уточнения степени сейсмической опасности по результатам сейсмического микрорайонирования территории города в масштабе 1:25000.

Защищаемые положения.

1. Степень сложности инженерно-геологических условий города должна определяться наличием мощной толщи слабых водонасыщенных песчано-глинистых отложений, развитием широкого спектра опасных экзогенных процессов под воздействием природных и техногенных факторов, а также высокой сейсмичностью территории.

2. Предупреждение и локализация развития экзогенных процессов при освоении и использовании подземного пространства Ханоя должны выполняться на основе их систематизации, учитывающей характер и интенсивность влияния природных и

техногенных факторов, которые определяют также выбор щадящих технологий производства работ в подземной среде для сохранения существующей застройки города.

3. Сейсмическое микрорайонирование Ханоя по изменению балльности его территории должно служить основой дифференцированного подхода для обеспечения безопасности освоения и использования подземного пространства города с помощью реализации капитальных либо превентивных мероприятий, адекватных сложности инженерно-геологических и инженерно-сейсмических условий.

Практическая значимость.

- Выполнена систематизация экзогенных процессов и явлений, позволяющая решать конкретные задачи по обеспечению устойчивости наземных и подземных сооружений с учетом природных и природно-техногенных факторов.
- Разработаны принципы сейсмического микрорайонирования с использованием критерия приращения балльности в зависимости от инженерно-геологических условий Ханоя.

Достоверность научных положений и выводов. В диссертационной работе использован большой объем теоретических обобщений по региональным проблемам инженерной геологии, полевых исследований и экспериментальных работ по изучению состава и физико-механических свойств песчано-глинистых пород, развитию экзогенных и эндогенных процессов, в том числе по изучению сейсмической опасности, которые проводились рядом организаций (Главное геологическое управление Вьетнама, институт Физики Земной коры Вьетнама, управление менеджмента проектирования железных дорог в Ханое, Ханойский государственный горно-геологический университет (ХГГиГУ), Государственный университет транспортных коммуникаций (ХГУТК) и др.). В основу диссертации положены результаты исследований, которые проводились с участием автора в рамках ряда хоздоговорных работ по проблемам инженерно-геологических изысканий и оценки инженерно-геологических условий строительства на территории города в течение 10 лет (1997-2006гг.).

Апробация работы и публикации. Основные положения, изложенные в диссертации, освещались на следующих научных конференциях: научная конференция молодых ученых ХГГиГУ (Ханой, 1997 г.); общегосударственный форум-конкурс молодых ученых «годовая

государственная премия VIFOTEC » (Ханой, 1997 г.; диплом за 3 место); научная и технологическая конференция ХГУТК (Ханой, 1998 г. и 2000 г.); научная и технологическая конференция ХГГиГУ (Ханой, 2006 г.). По теме диссертационной работы опубликовано 7 научных работ, 6 из них на вьетнамском языке, а также 1 статья в журнале «Инженерная геология», входящем в перечень, рекомендованный ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 257 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 195 наименований, содержит 68 рисунков, 41 таблицу, 16 фотографий.

Благодарности. Автор выражает глубокую и искреннюю признательность своему научному руководителю д.г.-м.н. проф. Р.Э. Дашко за постоянную помощь и внимание при подготовке диссертационной работы. Автор благодарит: заведующего кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии СПГГИ (ТУ) д.г.-м.н. проф. В.В. Антонова, к.г.-м.н. доц. Т.Н. Николаеву, к.г.-м.н. доц. Л.П. Норову, к.г.-м.н. О.Ю. Александрову, к.г.-м.н. П.В. Котюкова. Автор выражает благодарность за помощь в редактировании рукописи работы ст. преподавателю кафедры русского языка Т.М. Синельниковой.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Степень сложности инженерно-геологических условий города должна определяться наличием мощной толщи слабых водонасыщенных песчано-глинистых отложений, развитием широкого спектра опасных экзогенных процессов под воздействием природных и техногенных факторов, а также высокой сейсмичностью территории.

Большая часть территории 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 (Ван Дык Чьонг и др., 1993; Нгуен Динь Суен и др., 1985, 2003). 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.

Специфической особенностью разреза территории 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 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 – аллювиальные и аллювиально-пролювиальные (свита Ханой – $a,apII-III^{1}hn$) отложения сложены гальками, гравием и песками, местами суглинками и супесями, развитыми в верхней части разреза; поздний плейстоцен – аллювиальные, озерные и озерно-болотные отложения (свита Виньфук – $a,l,lbIII^{2}vp_{1,2,3}$), 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, морские и болотные отложения (свита Хайхынг – $lb,m,bIV^{1-2}hh_{1,2,3}$) 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 – $a,albIV^{3}tb_{1,2}$), 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 болотно-озерные образования свит Виньфук ($lbIII^{2}vp_3$), Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$) и Тхайбинь ($albIV^{3}tb_1$) – слабые песчано-глинистые грунты с органическими остатками. Широкое распространение водонасыщенных песчано-глинистых отложений с включением органики свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$) определяет высокую степень сложности инженерно-геологических условий рассматриваемой территории. Присутствие органического вещества с различной степенью разложения в слабых грунтах $lbIV^{1-2}hh_1$ создает пространственную неоднородность и анизотропию строения, состояния и свойств грунтов.

Толща слабых пород свиты Хайхынг имеет наиболее широкое распространение в районах Тыльем, Хоангмай, Тханьчи, Лонгбьен и Жалам, прерывистое – в центральной части города. На основе данных Нгуен Ху Фьонг и др. составлена схема распространения слабых водонасыщенных грунтов свиты Хайхынг на рассматриваемой территории (приложение 1). Мощность данной толщи изменяется в широких пределах от 0,1 – 3,0 м до 25,0 – 30,5 м в пределах города. В отдельных случаях значительные изменения мощности от 0 до 25 м могут встречаться в пределах строительной площадки.

Результаты выполненных исследований показывают, что содержание органики и степень ее разложения уменьшаются по глубине. Наличие торфов мощностью 0,3 – 1,7 м с естественной влажностью 85-140%, реже более 200%, с коэффициентом пористости от 1 до 4-5 повышает степень сложности инженерно-геологических условий территории Ханоя. Слабые грунты свиты Хайхынг $lbIV^{1-2}hh_1$ характеризуются низкими параметрами прочности: $\varphi = 2-11^\circ$, $C = 0,03-0,19$ кГс/см² – по результатам испытания в сдвижных приборах; $\varphi_u = 1^\circ-13^\circ$, $C_u = 0,03-0,23$ кГс/см² – в условиях трехосного сжатия; высокой сжимаемостью ($a_{1-2} = 0,047-0,298$ см²/кГс, реже 0,4 см²/кГс).

В пределах глубины освоения ПП Ханоя зафиксировано наличие двух поэтажно расположенных водоносных горизонтов. Повсеместное распространение в городе имеет плейстоценовый слабонапорный водоносный горизонт (qr), водовмещающими породами которого являются крупнообломочные образования (галька и гравий) и пески ($allc$, $a,apII-III^1hn$ и $aIII^2vp_1$).

Коэффициент водопроницаемости горизонта составляет от 50 до 2300 м²/сут, коэффициент фильтрации грунтов горизонта – от 20 до 68 м/сут. Отмечается широкое варьирование содержания железа $Fe^{2+}+Fe^{3+}$ от 0,09 до 37,13 мг/л. Крупнообломочные грунты и пески свит Ханой и Виньфук рассматриваются как важный несущий горизонт для свайных фундаментов в Ханое. В верхней части разреза современных аллювиальных отложений ($aIV^3tb_{1,2}$), представленных водонасыщенными песками, местами с гравием, прослеживается голоценовый водоносный горизонт (qh). Коэффициент водопроницаемости изменяется от 20 до 790 м²/сут, чаще – 200-400 м²/сут. Содержание общего железа в этом горизонте может достигать 60,0 мг/л. Положение статического уровня водоносного горизонта зависит от интенсивности атмосферных осадков и уровня воды в

р.Красной и изменяется в пределах 1 – 5 м в течение года. Для этих горизонтов характерно широкое варьирование величины рН и Eh. Для водоносного горизонта qр рН = 4,1-8,4 и Eh = -63 ÷ +140mВ, для горизонта qh рН = 4,0-8,6 и Eh = -88 ÷ +132mВ. Колебания величины рН и Eh таких водоносных горизонтов связаны с наличием органических соединений в разрезе, со степенью загрязнения грунтовых вод за счет утечек из канализационной системы и свалок хозяйственно-бытовых отходов, а также влияния атмосферных осадков, насыщенных кислородом. Содержание легкоокисляемой органики, определяемое по величине перманганатной окисляемости, имеет относительно невысокие значения: для горизонта qр – 5,3 мгО₂/л, qh – 4,0 мгО₂/л. Анаэробные условия в подземной среде, которые фиксируются по величине Eh, связаны с наличием в грунтовых водах трудноокисляемой органики техногенного генезиса и озерно-болотных отложений свиты Хайхынг (*lbIV¹⁻²hh₁*). Как известно, в условиях бескислородной среды происходит активная электрохимическая коррозия металлических конструкций. На некоторых участках города содержание NH₄⁺ в этих горизонтах может достигать до 193,6 мг/л (qh) и 75 мг/л (для qр), что свидетельствует о загрязнении грунтовых вод хозяйственно-бытовыми стоками.

Большая часть разреза четвертичных отложений мощностью до 120 м в пределах территории города – это водонасыщенные песчано-глинистые породы, в том числе грунты малой степени литификации, содержащие природную органику. Они рассматриваются как среда развития пльвунов, суффозионных процессов, тиксотропных явлений в глинистых грунтах, склоновых процессов (оползни, оплывания) на незакрепленных берегах рек и котлованов (табл. 1). Особо следует анализировать влияние озерно-болотных отложений *lbIV¹⁻²hh₁*, которые оказывают негативное воздействие на подстилающие водонасыщенные дисперсные грунты, обогащая их органическими коллоидами и микробиотой, а также продуктами ее метаболизма. В результате физико-химических, химических и биохимических процессов в подстилающих отложениях наблюдается развитие агрессивности подземной среды различной природы по отношению к конструкционным материалам, генерация малорастворимых и хорошо растворимых газов, влияющая на интенсификацию развития пльвунов.

Таблица 1 – Развитие экзогенных процессов в различных генетических типах песчано-глинистых отложений Ханоя.

| Геол. индекс | Генетические типы, их состав и показатели консистенции | Развитие процессов |
|--|--|--|
| <i>tH</i> (техногенные отложения) | Насыпные и намывные грунты – пески, суглинки и супеси с примесью отходов | Неравномерная сжимаемость, осадка земной поверхности, коррозия строительных материалов |
| <i>aIV³tb₂</i> | Суглинки, супеси, м/з и т/з водонасыщенные пески, местами с гравием; для суглинистых разностей $I_L = 0,48 - 0,82$ | Оползневые деформации, фильтрационные деформации, эрозия, разжижение |
| <i>albIV³tb₁</i> | Водонасыщенные суглинки с органическими остатками; $I_L = 0,75 - 1,26$ | Неравномерная сжимаемость, оползневые деформации, тиксотропия, наплыв пород в подземные выработки |
| <i>aIV³tb₁</i> | Суглинки, глины и супеси; $I_L = 0,21 - 0,85$ | Оползневые деформации, выдавливание пород дна котлованов |
| | М/з и с/з водонасыщенные пески, местами с супесями или гравием | Фильтрационные деформации, разжижение, водопритоки в котлованы, агрессивность подземных вод |
| <i>mIV¹⁻²hh₂</i> | Глины и суглинки; $I_L = 0,40 - 0,69$ | Выпор дна глубоких котлованов |
| <i>lbIV¹⁻²hh₁</i> | Водонасыщенные суглинки и глины с органическими остатками, торфы (0,3-1,7 м); $I_L = 0,75 - 1,95$ | Неравномерная сжимаемость, оползневые деформации, осадка земной поверхности при водопонижении, тиксотропия, наплыв пород |
| <i>lbIII²vp₃</i> | Суглинки и глины, местами с малым содержанием органики; $I_L = 0,58 - 1,08$ | Неравномерная сжимаемость, оползневые деформации, тиксотропия, наплыв пород |
| <i>a,III²vp_{1,2}</i> | Глины, суглинки и супеси; $I_L = 0,03 - 0,75$ | Оползневые деформации, выпор дна глубоких котлованов |
| <i>aIII²vp₁</i> | М/з, с/з и к/з водонасыщенные пески, местами с гравием, галькой или супесями | Фильтрационные деформации, водопритоки в котлованы |
| <i>a,apII-III¹hn</i> | Водонасыщенные галечно-гравийные отложения, местами к/з пески; $E_0 > 800 \text{ кГс/см}^2$ | Водопритоки в котлованы |
| <i>allc</i> | Водонасыщенные галечно-гравийные отложения, к/з и м/з пески с суглинками; $E_0 > 800 \text{ кГс/см}^2$ | Водопритоки в котлованы |

2. Предупреждение и локализация развития экзогенных процессов при освоении и использовании подземного пространства Ханоя должны выполняться на основе их систематизации, учитывающей характер и интенсивность влияния природных и техногенных факторов, которые определяют также выбор щадящих технологий производства работ в подземной среде для сохранения существующей застройки города.

Важное значение для развития ряда экзогенных процессов (затопление территорий, повышение уровня грунтовых вод, эрозия русел и берегов р.Красной, оползневые деформации береговой зоны реки, пльвуны, суффозия, неравномерные осадки сооружений, осадки земной поверхности при водопонижении и др.) имеет не только специфика инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории, но также климатических и гидрологических факторов. Кроме того, необходимо учитывать инженерную деятельность в пределах территории города.

Проблема обеспечения устойчивости действующих сооружений различного назначения и проектирование новых сооружений требует изучения и систематизации действующих и прогнозируемых экзогенных процессов, что позволит повысить безопасность строительства и эксплуатации сооружений.

Значительное количество годовых атмосферных осадков (1015 – 2536 мм), гидрологические особенности р. Красной определяют развитие весьма опасных процессов, влияющих на большую часть территории города за счет его подтопления и затопления.

На территории города широкое распространение имеют водонасыщенные песчаные породы свиты Тхайбинь ($aIV^3tb_{1,2}$), а также свиты Виньфук ($aIII^2vp_1$), коэффициент неоднородности гранулометрического состава которых изменяется в пределах 3 – 9,6, реже более 10, что при повышенных градиентах напора определяет развитие суффозионных процессов. В этих песках также отмечается проявление пльвунных свойств при низких коэффициентах неоднородности. Именно развитие фильтрационных деформаций в основании защитной дамбы от наводнений, построенной вдоль берега р.Красной на территории Ханоя, может приводить к её разрушению. Подобные явления (разрушение дамбы) наблюдались в течение ряда лет (1903, 1915, 1971 гг. и др.).

К настоящему времени объемы откачиваемых подземных вод с целью питьевого и промышленного водоснабжения города достигают 700000 м³/сут, в дальнейшем суточный расход воды увеличится до 950000 – 1050000 м³/сут к 2015 г. и до 1180000 – 1250000 м³/сут к 2020 г. Большая часть воды забирается из плейстоценового водоносного горизонта (qr). Непрерывный рост дебита водозаборных скважин вызывает образование депрессионных воронок с понижением уровня в ряде зон: от 13 м до 18 м (Тханьконг, Нгосильен, Донтхуй, Натывонг и др.); 18 – 32 м (Майзич, Нгокха, Хадинь, Тхыонгдинь, Танчьеу, ДайКим, Фапван и др.).

Снижение уровня подземных вод приводит к существенному росту эффективных напряжений, что определяет уплотнение слабых песчано-глинистых пород и деформации земной поверхности, а также развитие дополнительных осадок построенных зданий и подземных сооружений. Так, например, формирование обширной пьезометрической депрессии на площади до 250 кв. км (До Ван Бинь, 2006) с максимальным понижением уровня до 32 м за счет водозабора подземных вод привело к осадке земной поверхности.

На основании результатов наблюдений за осадками земной поверхности с 1988 г. по 1995 г. при водопонижении по 80 наблюдательным реперам на территории города выделены 3 зоны – Чан Минь и Нгуен Ван Дан. Первая, включающая участки от Нгатывонг до Вандьен, имеет скорость оседания земной поверхности более 20 мм/год; вторая – Хадонг, Хадинь, Каубьюу, Каумой, Фапван и от Тханьконг до Нгосильен оседает с скоростью 10 – 20 мм/год; на остальной территории города скорость осадки меньше 10 мм/год. На участках, расположенных вдоль р. Красной, величина оседания равно 0.

Максимальные величины оседаний существенно различаются в отдельных районах города. Так, например, на участках Хадинь – 133,4 мм (1988 – 2002 гг.), Фапван – 371,4 мм (1988 – 2002 гг.) и Тханьконг – 160,5-194,3 мм (1993 – 2001 гг.), что соответствует величине водопонижения до 17 м (1987-2002 гг.– Хадинь), до 16,7 м (1985-2002 гг. – Фапван) и до 14 м (1988-2002 гг. – Тханьконг). Величина оседания земной поверхности в большей степени зависит от мощности малолитифицированных сжимаемых озерно-болотных отложений свиты Хайхынг (*lbIV¹⁻²hh₁*). Так, например, мощность слабых грунтов *lbIV¹⁻²hh₁* варьирует от 6 м до 12 м на участке Хадинь, от 8 м до 18 м (Тханьконг) и 6 – 27 м (Фапван).

Длительные и неравномерные осадки характерны для зданий в 4 – 6 этажей, построенных в 70-80 гг. прошлого века на фундаментах неглубокого заложения, иногда на пирамидальных сваях (до 3,6 м) в жилых микрорайонах города, в которых широко развиты слабые водонасыщенные грунты с органическими остатками свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$). Величина осадок зданий варьировала от 100 до 400 мм, в отдельных случаях превышала 1200 мм. В качестве примера можно привести осадки пятиэтажных панельных зданий Е6 и Е7, построенных в 1976 г. и 1978 г. в жилом микрорайоне Куньмай, на пирамидальных сваях длиной до 3,6 м. Толща слабых водонасыщенных грунтов $lbIV^{1-2}hh_1$ залегает на глубинах от 5 до 7 м и имеет мощность 15 – 18 м. В 2001 г. осадки этих зданий составляли 1200-1350 мм. Подобная ситуация также была зафиксирована в жилых микрорайонах Жангво, Нгокхань, Танмай, Тханьконг и др. на территории Ханоя.

В периоды половодий и паводков скорость течения воды р. Красной может достигать от 1,6 до 2,3 м/с, местами 3 – 4 м/с. В результате воздействия речных вод происходила эрозия (подмыв) русла и берегов, нередко сложенных песками, супесями или суглинками свиты Тхайбинь ($aIV^3tb_{1,2}$). Кроме того, специфические особенности расположения высоких пойм и берегов р.Красной предопределяет возможность развития оползневых деформаций в береговой зоне, что зафиксировано в участках Нгоктху, Бодэ и др. Результаты расчетов показывают, что коэффициент общей устойчивости склона на участках Нгоктху и Бодэ изменяется от 0,8 до 1,9, что свидетельствует о различной степени устойчивости береговых склонов.

Наличие в верхней части разреза подземного пространства Ханоя слабых водонасыщенных песчано-глинистых отложений провоцирует рост сейсмической активности территории как естественной, так и наведенной. Эффект последней неоднократно отмечался при забивке свай, длительном воздействии динамических и вибрационных нагрузок от транспорта и работающего оборудования. Кроме того, широкое распространение водонасыщенных песчаных отложений свиты Тхайбинь ($aIV^3tb_{1,2}$), при неглубоком залегании уровня грунтовых вод (меньше 5 м) вдоль р. Красной, предопределяет возможность разжижения песков при сильных землетрясениях. Оценка опасности сейсмогенного разжижения песчаных грунтов показала, что при землетрясении с балльностью в 8 баллов разжижение может

происходить в водонасыщенных песчаных отложениях свиты Тхайбинь ($aIV^3tb_{1,2}$) в пределах территории Ханоя, в том числе вдоль р. Красной.

На основании результатов проведенных ранее исследований, а также анализа природных и техногенных факторов в условиях развития грунтов малой степени литификации, имеющих низкую прочность, изменения гидродинамических условий выполнена систематизация природных и природно-техногенных процессов и явлений. Выделены две группы процессов – эндогенные и экзогенные, при этом группа экзогенных процессов разделена на две подгруппы: наблюдаемые и прогнозируемые (приложение 2). Кроме того, составлена схема развития некоторых экзогенных процессов на рассматриваемой территории (см. приложение 1).

3. Сейсмическое микрорайонирование Ханоя по изменению балльности его территории должно служить основой дифференцированного подхода для обеспечения безопасности освоения и использования подземного пространства города с помощью реализации капитальных либо превентивных мероприятий, адекватных сложности инженерно-геологических и инженерно-сейсмических условий.

Согласно картам общего сейсмического районирования (ОСР) территории Вьетнама, а также детального сейсмического районирования (ДСР) Ханойского прогиба и его окрестностей, сейсмичность территории Ханоя соответствует 7 и 8 баллам шкалы MSK-64.

Результаты многочисленных исследований однозначно доказывают, что проявление сейсмической интенсивности на земной поверхности может меняться от +2 до -2 баллов в различных инженерно-геологических условиях. Причем наиболее опасными в сейсмическом отношении являются области распространения рыхлых обводненных отложений. Основными факторами изменения степени локальной сейсмической опасности являются: геолого-литологическое строение, геоморфологические и гидрогеологические условия, физико-механические и сейсмические свойства песчано-глинистых отложений, экзогенные геологические процессы. Из техногенных факторов особое значение имеет распространение и мощность насыпных грунтов и плотность застройки территорий.

Основой для сейсмического микрорайонирования (СМР) служит инженерно-геологическое районирование (ИГР) города Ханоя, которое выполнено по следующим принципам: выделение 3 зон с обозначениями I, II и III по особенностям рельефа, геолого-генетических типов отложений, состоянию и физико-механическим свойствам пород, наличию или отсутствию слабых отложений в разрезе и активности развития процессов и явлений.

Первая зона (I) занимает большую часть площади районов Донгань, Тыльем и центральной части города (приложение 3), в пределах которой отмечается плоский рельеф с абсолютными отметками поверхности от 6 – 7 м (Тыльем и Тайхо) до 10 – 12 м (Донгань), достаточно однородный разрез с наличием связных грунтов свиты Виньфук ($a, III^2 \nu p_{1,2}$) или Тхайвинь ($aIV^3 tb_1$) до 20 м в верхней части разреза, а также рыхлых отложений плейстоцена ($aIII^2 \nu p_1$; $a, apII-III^1 hn$) внизу, отсутствие слабых отложений, довольно однородное состояние и незначительный разброс показателей физико-механических свойств пород. Уровень грунтовых вод в этой зоне часто залегает на глубинах более 6 м и активность природных и природно-техногенных процессов и явлений в ограниченной мере оказывает влияние на строительство и устойчивость сооружений.

Во второй зоне (II) фиксируется неоднородный разрез, в котором прослеживаются чередующиеся толщи связных и рыхлых несвязных отложений свит Тхайбинь ($aIV^3 tb_1$) и Виньфук ($aIII^2 \nu p_1$) в верхней части разреза в условиях отсутствия слабых отложений. Эта зона преимущественно распространена в районах Жалам, Тханьчи и вдоль р. Красной (приложение 3), рельеф которых относительно плоский с абсолютными отметками поверхности 4-6 м (Жалам, Тханьчи), а вдоль р. Красной от 6-7 м до 10-12 м. Эта территория может затапливаться водой во время паводков. Глубина грунтовых вод нередко варьирует в пределах 2-5 м и развитие фильтрационных деформаций часто возникает в этой зоне.

В пределах третьей зоны (III) отмечается сложный разрез с наличием слабых отложений свит Хайхынг ($lbIV^{1-2} hh_1$), Тхайбинь ($albIV^3 tb_1$) или Виньфук ($lbIII^2 \nu p_3$) в верхней части разреза, который фиксируется в районах Тханьчи, Жалам, Тыльем и центральной части города. Рельеф этой зоны осложняется наличием прудов, озер и др. Абсолютные отметки поверхности 3 – 4 м (Жалам, Тханьчи). Уровень грунтовых вод часто залегает на глубине 2 – 4 м. В этой зоне

отмечается развитие длительных и неравномерных осадок зданий и сооружений, а также оседание земной поверхности при водопонижении.

На основании особенностей строения разреза, в котором наблюдается чередование связных и рыхлых несвязных образований и присутствие слабых отложений в верхней его части, в представленных зонах были выделены подзоны с соответствующим обозначением латинскими буквами (подзоны I-а, II-а, III-а и т.д.). Выделение районов в некоторых подзонах ИГР города было выполнено по мощности толщ глинистых или суглинистых пород $a, III^2vp_{1,2}$ и aIV^3tb_1 , расположенных в верхней части разреза подзон первой и второй зон (I, II), а также слабых отложений $albIV^3tb_1$, $lbIV^{1-2}hh_1$ и $lbIII^2vp_3$ в подзонах третьей зоны (III). На схеме ИГР города районы обозначаются арабскими цифрами (1,2,3,4) (приложение 3).

На интенсивность проявления землетрясений оказывают влияние инженерно-геологические, гидрогеологические и геоморфологические условия застройки. Для такой оценки проводят работы по сейсмомикрорайонированию (СМР) территорий. 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.

На основе ИГР в масштабе 1:25 000 (см. приложение 3), данных ОСР и ДСР выполнено СМР изучаемой территории. Оценка приращения сейсмической балльности проводится по формуле С.В. Медведева (метод акустических жесткостей):

$\Delta I = 1,67 \lg (\rho_0 V_0 / \rho_i V_i) + (e^{-0,04 h_i^2} - e^{-0,04 h_0^2})$, где $\rho_i V_i$ и $\rho_0 V_0$ – сейсмические жесткости исследуемого и эталонного грунтов; h_i и h_0 – глубина залегания грунтовых вод для исследуемого участка и для средних грунтовых условий («эталонные грунты» в равнинах - глинистые и суглинистые отложения голоцена) при проведении ОСР территории Вьетнама ($h_0 = 2-5$ м) (Нгуен Динь Суен и др., 1994, Нгуен Нгок Тху и др., 2004).

При проведении СМР территории города за средние грунтовые условия («эталонные грунты») с исходной интенсивностью землетрясения 8 баллов приняты грунты в районе I-с-1 схемы ИГР, в разрезе которого присутствуют глинистые и суглинистые отложения свиты Тхайбинь (aIV^3tb_1) в верхней его части. Для расчета приращения

балльности (ΔI) используются средние значения скоростей продольных и поперечных волн ($V_{p\text{ ср}} = 576,7$ см/с, $V_{s\text{ ср}} = 191,6$ см/с), плотности пород ($\rho_{\text{ср}} = 1,876$ г/см³) и глубины уровня грунтовых вод ($h_{\text{в}} = 5$ м).

На основании исследований по СМР были выделены на территории города Ханоя типовые инженерно-геологические условия и определены их сейсмические характеристики. Интенсивность приращения балльности выполнена по шкале MSK-64 (приложение 4).

На схеме СМР по инженерно-геологическим условиям территория города Ханоя была разделена на 4 района с различной балльностью: 7, 8, 8-9 и 9 (см. приложение 4). Район с 7 баллами приурочен к подзоне I-а схемы ИГР; данный район преимущественно находится в районе Донгань (северная часть города). Район в 8 баллов – в пределах большей части территории города Ханоя и его окрестностей, включает подзоны I-b, I-c, II-a, II-c, II-d, III-a и районы I-c-1, III-b-1, III-c-1, III-c-2 на схеме ИГР. Район с 8 – 9 баллами соответствует инженерно-геологическим районам I-c-2, II-a-2, III-b-2, III-c-3, III-c-4 и III-d-1. Район с 9 баллами – поймы, располагаемые вне защитных дамб р.Красной с небольшой глубиной уровня грунтовых вод, соответствуют подзоне II-b схемы ИГР города, а также участкам с большой мощностью слабых водонасыщенных грунтов с уровнем грунтовых вод 2 – 4 м (Тханьчи), которые соответствуют инженерно-геологическим районам III-d-2 и III-d-3.

Для определения уровня грунтовых вод рекомендуются использовать статистические данные, получаемые за несколько лет. Особое внимание следует обратить на участки, где развиты слабые водонасыщенные грунты и песчаные отложения с уровнем грунтовых вод 1 – 3 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной задачи – повышение безопасности освоения и использования ПП г. Ханоя в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях при развитии широкого спектра экзогенных процессов и явлений, а также высокой сейсмичности региона.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Широкое распространение слабых глинистых и суглинистых грунтов с органическими остатками свиты Хайхынг и водонасыщенных

тонко- и мелкозернистых пылеватых песков свиты Тхайбинь, нестабильность гидрогеологических условий, широкий спектр развития экзогенных процессов, а также сейсмичность региона предопределяют сложность освоения и использования подземного пространства города Ханоя.

2. Активность и особенности развития экзогенных процессов в ПП Ханоя определяется 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.

3. Инженерно-геологическое районирование города Ханоя в масштабе 1:25000 выполнено на основе учета особенностей рельефа, геолого-генетических типов отложений, состояния и физико-механических свойств пород, наличия или отсутствия слабых отложений в разрезе и активности развития процессов и явлений. На территории города выделены зоны с пригодными, относительно пригодными и ограниченно пригодными инженерно-геологическими условиями, в пределах которых произведена дифференциация территории на 11 подзон и 22 района.

4. Согласно картам ДСР Ханойского прогиба и его окрестностей сейсмичность территории Ханоя соответствует 7 и 8 баллам. Сложность инженерно-геологических условий города, в том числе наличие слабых грунтов и рыхлых песчаных водонасыщенных отложений в верхней части разреза, а также неглубокое залегание грунтовых вод предопределяют необходимость проведения сейсмического микрорайонирования Ханоя.

5. Сейсмическое микрорайонирование Ханоя выполнено с использованием данных по инженерно-геологическому зонированию территории города при условии приращения сейсмической балльности с учетом изменения акустической жесткости пород, а также принимая во влияние данные общего сейсмического и детального сейсмического районирования территории Вьетнама прогиба р. Красной.

Список основных публикаций по теме диссертации

1. Нгуен Дык М. Некоторые проблемы освоения и использования подземного пространства в сложных инженерно-геологических условиях города Ханоя/ М. Нгуен Дык, Р.Э. Дашко// Инженерная геология. –М.: июнь, 2010. с. 56-61.

2. Нгуен Дык М. Проблема безопасности освоения и использования подземного пространства города Ханоя и проблема геоэкологии/ М. Нгуен Дык, Л. Нгуен Нгок// Научный журнал «Транспорт и Коммуникации»// Государственный университет транспорта и коммуникаций. Ханой: № 29, март, 2010. с. 65 – 70. (на вьет. языке)

3. Нгуен Дык М. Влияние некоторых факторов на характеристики уплотнения грунтов при строительстве транспортных сооружений// Научный журнал «Транспорт и Коммуникации»// Государственный университет транспорта и коммуникаций. Ханой: № 12, ноябрь, 2005. с. 196 – 201. (на вьет. языке)

4. Нгуен Дык М. Установление отношения между пределами текучести мягких связных пород при использовании методов А. Казагранде и А.М. Васильева/ М. Нгуен Дык, Л. Нгуен Нгок// Научный журнал «Транспорт и Коммуникации»// Государственный университет транспорта и коммуникаций. Ханой: № 12, ноябрь, 2005. с. 68 – 74. (на вьет. языке)

5. Нгуен Дык М. Некоторые проблемы структурных связей и структурной прочности глинистых пород// Научный журнал «Транспорт и Коммуникации»// Государственный университет транспорта и коммуникаций. Ханой: № 11, 2005. с. 108 – 113. (на вьет. языке)

6. Нгуен Дык М. Некоторые задачи инженерной геологии при строительстве в Ханое// Сборник трудов ученых Государственного университета транспорта и коммуникаций. Ханой, 2000, с. 267-273. (на вьет. языке)

7. Нгуен Дык М. Применение программного обеспечения **MGE** для составления карт распространения слабых грунтов толщи Хайхынг и залегания кровли глинистой толщи Виньфук в городе Ханоя/ М. Нгуен Дык, Н.В. Нгуен Тхи// Материалы научной конференции студентов// Ханойский Горно-геологический институт. Ханой, 1997. 20 с. (на вьет. языке)