


На правах рукописи

НГУЕН ТЪЕН ЧУНГ



**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА
ХАНОЯ (СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА ВЬЕТНАМ)**

*Специальность 25.00.08 – Инженерная геология,
мерзлотоведение и грунтоведение*

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

Санкт-Петербург - 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Дашко Регина Эдуардовна

Официальные оппоненты:

Шашкин Алексей Георгиевич - доктор геолого-минералогических наук, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Основания и фундаменты», профессор

Куриленко Виталий Владимирович - доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра экологической геологии, заведующий кафедрой

Ведущая организация:

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского».

Защита диссертации состоится 26 марта 2018 в 16 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.11 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2, ауд. 1171а

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 26 января 2018 г.

**УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета**



**ШИДЛОВСКАЯ
Анна Валерьевна**



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Сохранение старинных городов не только в Европе, но и в юго-восточной части азиатского континента в условиях интенсивного освоения подземного пространства для строительства транспортных сооружений, реконструкции и реставрации зданий, исчерпавших свой эксплуатационный ресурс, требует создания и развития комплексного инженерно-геологического мониторинга архитектурно-исторических памятников.

Ханой - столица Вьетнама, его экономический, торговый, культурный и туристический центр. В 2010 году ему исполнилось 1000 лет со дня основания. Большая часть г. Ханоя расположена на правом берегу реки Красной, в пределах которого размещаются основные архитектурно-исторические памятники: пагоды, храмы, музеи, театры и др. Как известно, в центре города находятся два архитектурно-исторических памятника, которые были включены в список объектов Всемирного культурного наследия под охраной ЮНЕСКО - Храм Литературы Ван Мьеу и Императорская цитадель Тханглонга. Исторический центр представляет собой зону плотной застройки, в пределах которой располагаются более 300 архитектурно-исторических памятников (рисунок 1), в том числе десятки из них испытывают серьезные разрушения под влиянием ряда природных и техногенных факторов, например, Ханойский Кафедральный собор (1882-1886 гг.), Ханойская Флаговая башня (1805-1812 гг.) и Доанмон ворота (1467 гг.-?).

В настоящее время отсутствует система комплексного мониторинга за негативными преобразованиями компонентов подземного пространства, позволяющая оценить безопасность его освоения и использования, а также длительную устойчивость старинных зданий, в том числе архитектурно-исторических памятников.

Цель работы. Разработка концепции и структуры комплексного инженерно-геологического мониторинга основных компонентов подземного пространства исторического центра Ханоя для последующей оценки и прогноза условий безаварийного функционирования зданий и сооружений различного назначения,

обеспечения их длительной устойчивости и сохранения архитектурно-исторического облика города.

Основные задачи исследований:

- Анализ особенностей инженерно-геологических и гидрогеологических условий исторического центра Ханоя.
- Разработка концепции и структуры комплексного инженерно-геологического мониторинга подземного пространства города на двух иерархических уровнях: локальном и объектном.
- Обоснование базовых положений организации локального и объектного мониторинга подземного пространства исторического центра города, а также значимых памятников.

Фактический материал и личный вклад автора

Автором работы выполнен анализ литературных источников, архивных данных и картографических материалов, посвященных истории основания и развития города Ханоя с 11-го века до настоящего времени и архитектурно-строительным характеристикам различных зданий и сооружений, в том числе трех архитектурно-исторических памятников. Выполнено изучение влияния различных природных и техногенных факторов на устойчивость вышеприведенных архитектурно-исторических памятников. Кроме того, был произведен инженерно-геологический, гидрогеологический анализ условий эксплуатации сооружений с учетом специфики контаминации подземных вод и грунтов исторического центра Ханоя для разработка алгоритма комплексного инженерно-геологического мониторинга архитектурно-исторических памятников. Даны концепция и содержание комплексного мониторинга подземного пространства на локальном и объектном уровнях, базирующегося на основе контроля и наблюдений за преобразованием его компонентов в системе: вмещающие грунты - подземные воды - микробиота - газы - несущие конструкции старинных зданий и сооружений, в том числе Ханойского Кафедрального собора, Ханойской Флаговой башни и Донмон ворота.

Основные методы исследований. В процессе выполнения работы использовались теоретические методы эволюции и техногенеза основных компонентов подземного пространства города Ханоя; научно-практические подходы для характеристики инженерно-геологических условий эксплуатации зданий и сооружений; методы оценки

биологической пораженности строительных материалов архитектурно-исторических памятников.

Научная новизна работы

- Прогнозирование безопасности функционирования архитектурно-исторических памятников в сложных инженерно-геологических условиях Ханоя и обеспечение их длительной устойчивости.

- Создание концепции и структуры комплексного инженерно-геологического мониторинга архитектурно-исторических памятников в историческом центре Ханоя.

Защищаемые положения

1. Особенности преобразования инженерно-геологических и гидрогеологических условий в процессе контаминации грунтов, грунтовых вод и изменения гидродинамического режима напорного водоносного горизонта при его использовании для водоснабжения служат основой для разработки алгоритма мониторинга подземного пространства Ханоя в его историческом центре.

2. Комплексный мониторинг подземного пространства исторического центра города представляет собой часть региональной системы наблюдений и контроля за природными и природно-техногенными процессами, определяющими безопасность эксплуатации и реконструкции архитектурно-исторических памятников города Ханой.

3. Преобразование основных компонентов подземного пространства в системе: вмещающие грунты - подземные воды - микробиота - газы - несущие конструкции старинных зданий и сооружений под воздействием природных и техногенных факторов формирует концепцию и содержание объектного мониторинга в пределах исторического центра Ханоя.

Практическая значимость

Разработка системы контроля за компонентами подземного пространства позволяет повысить на основе получаемых результатов безопасность его освоения и использования, а также проводить обоснование необходимости реконструкции и реставрации архитектурно-исторических памятников Ханоя, выбора устойчивых конструкционных материалов в условиях развития коррозионных процессов различной природы.

Достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, определяется выполненными теоретическими обобщениями и использованием результатов экспериментальных исследований различных авторов для оценки особенностей преобразования песчано-глинистых отложений, а также анализом характера и причин развития деформаций зданий и сооружений на территории исторического центра.

Апробация работы и публикации

По теме диссертационной работы опубликованы 3 статьи в изданиях, входящих в перечень Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 154 машинописных страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 136 наименований, содержит 32 рисунка, 16 таблиц, 32 фотографии.

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, заведующему кафедрой ГиИГ доц. Д.Л. Устюгову, доц. П.В. Котюкову, ассистентам кафедры: И.В. Алексееву, И.Ю. Ланге, Я.А. Лебедевой, аспирантам: В.А. Горской и Л.М. Зайдуллиной.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Особенности преобразования инженерно-геологических и гидрогеологических условий в процессе контаминации грунтов, грунтовых вод и изменения гидродинамического режима напорного водоносного горизонта при его использовании для водоснабжения служат основой для разработки алгоритма мониторинга подземного пространства Ханоя в его историческом центре.

Концепция мониторинга подземного пространства города Ханой базируется на контроле и наблюдении за преобразованием его компонентов в системе: вмещающие грунты - подземные воды - микробиота - газы - несущие конструкции старинных зданий и сооружений с учетом специфики контаминации подземных вод и грунтов.

Территория исторического центра Ханоя включает в себя 9 центральных районов: Бадинь, Хоанкем, Донгда, Хайбачынг, Тхансуан, Хоангмай, Лонгбьен, Тайхо, Каужай. Характерной особенностью строения подземного пространства города является наличие четвертичных отложений различного возраста, литологического состава, имеющих аллювиальное, озерное, озерно-болотное происхождение (свиты Хайхынг $lbIV^{1-2}hh_1$ и Тхайбинь $a,albIV^3tb$), которые относятся к слабым водонасыщенным грунтам с органическими остатками различной степени разложения. Их мощность изменяется в пределах от 1,0 м до 20 м, реже более 32 м, что определяет степень сложности инженерно-геологических условий Хайхынга и Тхайбина (рисунок 2). Основные показатели физико-механических свойств характерных типов приведены в таблицах 1-4 (свиты Тхайбинь в таблицах 1-2, Хайхынг - в таблицах 3-4), исходя из анализа которых можно провести оценку сложности освоения и использования подземного пространства исторического центра:

- присутствие органического вещества различной степени разложения (в некоторых зонах органическое вещество характеризуется полным разложением, в других – присутствуют остатки древесины и растительности) в свитах Тхайбинь и Хайхынг создает пространственную неоднородность и анизотропию строения, состояния и свойств грунтов этих свит;

- состав и показатели физико-механических свойств этих слоев зависят от содержания органических веществ, которое уменьшается с глубиной и соответственно снижаются влажность и показатели консистенции, а плотность частиц грунта с глубиной возрастает.

- параметры физико-механических свойств этих свит в 1,2 – 2,3 раза отклоняются от значений, регламентируемых Вьетнамским государственным строительным стандартом для оснований и фундаментов (ТСХД 245-2000): угол внутреннего трения $\varphi = 5-8^\circ$; коэффициент пористости $e = 1,1 - 1,5$ д.е.; удельное сцепление $C = 0,007 - 0,012$ МПа; расчетное сопротивление грунта $R_0 = 0,049 - 0,069$ МПа.

В пределах исторического центра зафиксировано наличие двух водоносных горизонтов: голоценовый и плейстоценовый (рисунок 3). Первый безнапорный голоценовый водоносный горизонт Qh (грунтовые воды) приурочен к современным аллювиальным пескам

($aIV^3tb_{1,2}$). Средняя мощность голоценового водоносного горизонта на территории составляет 14,0 м. Повсеместное распространение в городе имеет второй - плейстоценовый напорный водоносный комплекс Qp, где водовмещающими грунтами служат крупнообломочные образования (галька и гравий) и пески ($allc$; $a,apII-III^{hn}$ и $aIII^2yp_1$). Данный комплекс используется для водоснабжения города Ханой, он состоит из двух горизонтов, которые обозначаются как Qp² и Qp¹. Литологический состав первого из них Qp² в основном, представлен песками, супесями, песками с гравием, мощностью от 1,0 м до 55,7 м, литологический состав второго Qp¹, в основном состоит из гальки и гравия с песками, мощностью от 14,0 м до 45,0 м.

Следует иметь в виду, что изменение гидродинамических условий водоносных горизонтов влечет за собой варьирование напряженного состояния грунтовой толщи. Повышение уровней создает условия для роста порового давления и развития процессов пучения глинистых грунтов в котлованах. Так, например, за счет действия напорных вод наблюдался подъем дна строящегося котлована здания № 8 на ул. Чанкуангхаи. Снижение же уровня подземных вод в процессе их использования для водоснабжения приводит к существенному росту эффективных напряжений, что определяет уплотнение песчано-глинистых грунтов, деформацию земной поверхности и как следствие развитие дополнительных осадок построенных зданий и сооружений, особенно опасных для архитектурно-исторических памятников, которые исчерпали свой эксплуатационный ресурс.

В настоящее время подземное пространство, которое рассматривается как природный ресурс, используется в различных целях, в том числе: размещение транспортных сооружений (подземные пешеходные переходы, автомобильные тоннели, метрополитены, фундаменты глубокого заложения зданий и мостовых переходов); строительство и эксплуатация инженерных коммуникаций, в том числе канализационной, дренажно-ливневой, водопроводной, электрической, телефонной и др. При обеспечении безопасности использования подземного пространства необходимо проследивать изменение его компонентов: грунтов, подземных вод, газов, подземной микробиоты и конструкций под влиянием контаминации. Исторический центр Ханоя представляет типичную зону с высоким уровнем контаминации подземной среды за счет утечек из канализационной системы,

поступления промышленных стоков, дренажно-ливневых вод, а также жидкой фазы хозяйственно-бытовых свалок и кладбищ, что приводит к преобразованию состава и свойств вмещающих грунтов под воздействием физико-химических, химических и биохимических факторов.

Следует принимать во внимание, что контаминация подземных вод в Ханое изучается только с 90-х годов 20-го века. Большинство канализационных систем города построены в колониальный период и в настоящее время сеть водоотведения не справляется с возросшими объемами канализационных и ливневых стоков, а также промышленных вод. В некоторых центральных районах города отсутствуют системы водоотведения. В результате сточные воды сбрасываются в реки, озера в пределах исторического центра Ханоя без очистки (реки Толич, Сэт, Лю, Кимнью, озеро Ванчюнг, Жангво, Линькуанг, Тхьенкуанг и тд.), часть загрязненных вод попадает в подземную среду, способствуя изменению состава грунтовых вод. Согласно наблюдениям в водоемы и водотоки поступают десятки тысяч кубических метров сточных вод в сутки. Бессточные бассейны накопителей стоков следует рассматривать как постоянные источники загрязнения подземного пространства за счет инфильтрации жидкой фазы. Следует обратить внимание, что контаминация подземного пространства исторического центра города существенно определяется отсутствием регулярных кладбищ. Захоронения часто производились вблизи жилых районов населения. Например, кладбище Куанзен, находится в районе Тхансуан и насчитывает около 5000 могил, кладбище Лангха (район Донгда) более 1000 могил и кладбище, размещающееся вблизи пагоды Ланг, имеет тысячи могил и др. Территории длительных захоронений и старых кладбищ можно оценивать как весьма загрязненные зоны, прежде всего, грунтовых вод. Кроме того, подтопление таких зон при наводнениях также приводит к загрязнению поверхностных вод, ухудшению состояния водотоков за счет увеличения содержания органического вещества, соединений азота, серы, фосфора и др. Значительный вклад в загрязнение городской территории вносило функционирование бойни и других хозяйственно-бытовых служб. Такие загрязнения также способствуют повышению содержания органических и неорганических соединений и активизации микробиоты в подземной среде.

Необходимо подчеркнуть, что особенности эксплуатации подземных вод способствуют усилению контаминации плейстоценового водоносного комплекса Qp. В пределах изучаемой территории размещается восемнадцать водозаборов с суммарной мощностью добычи до 500000 м³/сутки (в 2010г.), что оставляет 1/3 потребляемого количества воды для водоснабжения Ханоя. Водоносный комплекс Qp тесно связан с поверхностными водами, голоценовым водоносным комплексом Qh через «гидрогеологические окна» и в зонах вдоль рек Красной и Дуонг. Длительная и интенсивная эксплуатация подземных вод Qp приводит к снижению напоров на десятки метров. Химический состав грунтовых вод определяется загрязнением за счет утечек из систем водоотведения. Анализ химического состава воды свидетельствует о выраженной анаэробной обстановке: достаточно высокое содержание восстановленных форм азота NH₄⁺ (30,64 мг/дм³) и частично восстановленных - нитритов NO₂⁻, а также двухвалентного железа. Величина окислительно-восстановительного потенциала Eh водоносных горизонтов варьирует от -20 до -150 мV (Фам Куи Нань, 2008) за счет окисления органического вещества, в результате происходит разрушение цементационных связей в песчано-глинистых грунтах и снижение их прочности. Необходимо отметить, что некоторые соли аммония рассматриваются как агрессивные по отношению к бетону за счет катионного обмена. Этот процесс сводится к замене кальция извести цемента в бетоне катионами аммония, в результате происходит существенное снижение прочности бетона. Следует отметить, что при определении NH₄⁺ в лабораторных условиях происходит их быстрое окисление и переход в форму нитратов NO₃⁻. Значение перманганатной окисляемости достигает 30,5 мгO₂/дм³ в 7,6 раза превышают значения, регламентируемые Вьетнамским государственным стандартом для питьевого качества подземных вод. Наличие агрессивной уголекислоты CO₂агрес. до 41,8 мг/дм³ способствует уголекислотной коррозии, переводящей малорастворимые карбонаты кальция и оксиды кальция в растворимые бикарбонаты. В то же время содержание нитратов ниже, чем нитритов. Следует также отметить, что определение pH в лабораторных условиях при таком составе воды дает завышенные значения. Определение pH *in situ* значительно ниже на 3,0 - 3,5 единицы. Таким образом, в реальных условиях pH будет достигать 4 - 3,5. Поллютанты грунтовых вод и

грунтов не только негативно изменяют состояние и физико-механические свойства грунтов, что способствует ухудшению несущей способности грунтов в основании, но и создают среду для развития биокоррозионных процессов строительных материалов подземных конструкций за счет деятельности микроорганизмов различных физиологических групп.

Формирование анаэробной обстановки в подземном пространстве при наличии природных и техногенных источников поступления органических соединений способствует процессу биохимического газообразования малорастворимых газов – метана, азота, водорода. Накопление в дисперсных грунтах таких газов вызывает появление газодинамического давления, что приводит к разуплотнению песчано-глинистых отложений и переходу песков в состояние пльвунов, в глинистых разностях наблюдается снижение прочности, возрастает интенсивность тиксотропных явлений.

Исследования показали, что на территории города Ханоя в водонасыщенных песчаных и супесчаных отложениях (аллювиальные, аллювиально-озерно-болотные и аллювиально-пролювиальные образования) возможно развитие фильтрационных деформаций. Известно, что эти отложения представляют значительную опасность при их использовании в качестве основания сооружения либо среды подземных коммуникаций и конструкций. Большинство озерно-болотных отложений имеют высокую степень подвижности и легко переходят в пльвунное состояние при их вскрытии. Одним из важных факторов перехода водонасыщенных песков в пльвунное состояние, кроме определенного гранулометрического состава, является жизнедеятельность микроорганизмов, повышение содержания микробной массы в водонасыщенных песках до 60 мкг/г и более переводит пески в состояние пльвунов.

Для обеспечения длительной устойчивости различных сооружений, в том числе архитектурно-исторических памятников необходимо создать систему мониторинга подземного пространства исторического центра Ханоя на локальном и объектном уровнях.

2. Комплексный мониторинг подземного пространства исторического центра города представляет собой часть региональной системы наблюдений и контроля за природными и природно-техногенными процессами, определяющими

безопасность эксплуатации и реконструкции архитектурно-исторических памятников города Ханой.

Исторический центр представляет собой зону плотной застройки, в пределах которой располагаются более 300 архитектурно-исторических памятников, десятки из них испытывают длительные, серьезные и неравномерные деформации под влиянием ряда природных и техногенных факторов, что способствует развитию трещин в их несущих конструкциях и коррозии строительных материалов.

Особенности структурно-тектонического строения территории Ханоя определяют сейсмичность рассматриваемого региона (рисунок 7). Интенсивность землетрясений может достигать 7-8 баллов по шкале MSK-64. Начиная с XIII в. и до 2002 г. на территории города было зафиксировано 155 землетрясений (из них 147 - в XX в.), в т.ч. два 7-8-балльных землетрясения (в 1278 г. и 1285 г.); три - 7-балльных и тридцать два - 6-балльных и одно - менее 6 баллов [Нгуен Динь Суен и др., 2006].

На основе инженерно-геологического районирования Ханоя в масштабе 1:25000, данных общего и детального сейсмомикрорайонирования, выполненного Нгуен Дык Манем (2010) выделены районы с существенно различными условиями и величиной сейсмической балльности. По результатам этих работ центральная часть города Ханоя была разделена на 2 района с различной балльностью: 8 и 9. Сильные землетрясения могут происходить с магнитудами $M = 6,2$ и $I = 8$ баллов и с глубиной их очагов 15 – 20 км, что связано с активностью глубинных разломов Виньнинь, Анзыонг и Шонгчай, проходящих в северо-западном и северо-восточном направлениях и пересекающих изучаемую территорию (см. рисунок 1).

Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности при снятии напоров водоносного комплекса Qr показали, что в 2013 г. оседание земной поверхности в пределах изучаемой территории превысило 10 см. В пределах территорий Бадинь и Хоанкьем оседание поверхности достигло 60 см; в зоне вокруг станций водоснабжения Нгокха района Бадинь величина деформаций опускания поверхности варьировала в пределах 60 - 90 см, что связано со значительной мощностью слабых грунтов, превышающей 10 м (рисунок 5). В результате проведенных исследований сделан вывод о том, что 60 – 95% от общей величины осадки земной поверхности составляют

деформации слоев слабых грунтов [Фи Хонг Тхинь, 2013]. Развитие неравномерных и длительных осадок ряда памятников и земной поверхности при добыче подземных вод в центре Ханоя тесно связано с территориями, в разрезе которых распространены слабые водонасыщенные грунты свит Хайхынг и Тхайбинь с содержащих органические остатки.

По данным наблюдений гидрометеорологического центра Ханоя с 1991 г. по 2013 г. количество годовых атмосферных осадков варьировало от 1015 до 2536 мм. Как известно, гидрологические особенности р. Красной связаны с количеством выпадающих осадков, предопределяющих развитие опасных процессов - подтопления и затопления, которые влияют на устойчивость сооружений, особенно в центральных районах города. Так например, в июле 2010 года было затоплено большинство площадей районов Бадинь, Хоанкем слоем воды 0,5 – 1 м, реже 1,5 – 1,7 м в течение 1 – 5 суток. В период дождливого сезона (с мая по октябрь) затопление территории определяет изменение состояния и физико-механических свойств грунтов оснований зданий и сооружений, а также их напряженно-деформированного состояния.

Развитие деформаций имеет принципиальное значение для устойчивости сооружений, в том числе архитектурно-исторических памятников, представляющих собой объекты культурного исторического, национального и мирового наследия, которые заслуживают особого внимания и требуют организации специализированного вида мониторинга, учитывающего специфику взаимодействия зданий с подземной средой в условиях интенсивного техногенеза. Следовательно, необходимо развивать структуру комплексного мониторинга преобразования основных компонентов подземного пространства в системе: вмещающие грунты - подземные воды - микробиота - газы - несущие конструкции старинных зданий и сооружений с учетом специфики контаминации подземных вод и грунтов, а также устанавливать их закономерности, которые позволят контролировать и предупреждать возникновение нежелательных экзогенных процессов.

Содержание инженерно-геологического локального мониторинга исторического центра города Ханоя включает наблюдения и контроль за состоянием и свойствами грунтов в зоне основания сооружений в

пределах изучаемой территории; изменения прочности грунтов под воздействием их напряженно-деформируемого состояния и контаминации в основании зданий и сооружений, а также изменение гидродинамического режима подземных вод с учетом их использования для водоснабжения; преобразования окислительно-восстановительной и кислотно-щелочной обстановки за счет контаминации грунтовых вод и грунтов; биохимической газогенерации, последствий затопления и подтопления территории.

На рисунке 6 в схематизированном виде приведена структура и содержание инженерно-геологического мониторинга экзогенных природных и природно-техногенных процессов в подземном пространстве центральной части Ханоя.



Рисунок 6 - Структура и содержание комплексного инженерно-геологического мониторинга исторического центра Ханоя

3. Преобразование основных компонентов подземного пространства в системе: вмещающие грунты - подземные воды - микробиота - газы - несущие конструкции старинных зданий и сооружений под воздействием природных и техногенных факторов формирует концепцию и содержание объектного мониторинга в пределах исторического центра Ханоя.

Принципы объектного мониторинга разработаны на примере трех архитектурно-исторических памятников Ханоя, имеющих особую культурную значимость для столицы и государства Вьетнам: Ханойской флаговой башни (1805-1812 гг.), Доанмон ворота (1467 гг.-?) и Ханойского Кафедрального собора (1882-1886 гг.).

Ханойская Флаговая башня является одним из символов города. Башня была построена в 1812 году во время последней феодальной династии (династия Нгуен) и в отличие от многих других зданий Ханоя, не была разрушена. Во времена французского господства над Вьетнамом (1885-1954 гг.), она использовалась для наблюдения за окрестностями и как точка сообщения между штаб-квартирой и отдаленными военными постами. Её высота составляет 33,4 метра, а вместе с национальным флагом более 40 метров. Эта красивая архитектурная достопримечательность представляет собой пирамиду с гранями, которая состоит из трех нижних этажей и собственно башни, построенных из кирпича. Высота первого, второго и третьего этажа составляет 3,1, 3,7 и 5,1 м. Восьмигранная башня высотой 21,5 м завершает надземную конструкцию архитектурно-исторического памятника.

Доанмон ворота Королевской цитадели Ханоя (1467 гг.-?) были построены в XV веке во время династии Ле (1428-1527 гг.) и реставрированы в период династии Нгуен (1802-1945) камнями и кирпичами «Во» в форме буквы «U». Суммарная площадь, занимаемая Доанмон составляет 3970 м², сооружение имеет три этажа высотой 15 м.

Ханойский Кафедральный собор построен на месте пагоды Бао Тхиен - буддийской святыни XI века. Новый храм открылся на Рождество 1886 года Римско-католической архиепархией Ханоя. Своей архитектурой напоминает собор Парижской Богоматери во Франции.

Необходимо подчеркнуть, что Флаговая башня, Доанмон ворота и Ханойский Кафедральный собор расположены на территории района Бадинь и Хоанкьем, расстояние между Башней и Доанмон воротами 120 м. В основании сооружений залегают слабые песчано-глинистые грунты свиты Хайхынг мощностью от 1 м до 10 м. Как отмечалось ранее, три памятника практически попадают в зону влияния депрессионной воронки, сформировавшейся при использовании подземных вод напорного водоносного горизонта Q_p. Следовательно, можно предполагать, что образование трещин в несущих конструкциях Флаговой Башни и Доанмон ворота формируются не только за счет неравномерных осадок сооружений

под действием давления, но и деформаций земной поверхности при снятии напоров и возрастании эффективных напряжений до 0,35 МПа (фото 1,2,3,4,5,6).







Визуальное обследование Кафедрального собора, Флаговой башни и Доанмон ворота свидетельствует о наличии характерных признаков разрушения материалов стен, что связано с различными причинами (физическими, химическими, биологическими). Наиболее заметной формой деструкции каменных материалов трех памятников, кроме образования трещин, является биообрастание поверхности стен в их нижней части, которые практически полностью покрыта биопленками различного состава. Они развиваются на кирпичной кладке и других материалах, где образуют сплошной покров черного и серого цвета за счет темноокрашенных микромицетов и бактерий. Очевидно, что развитие биообрастаний происходит постоянно, чему способствует влажный тропический климат, поступление органических веществ из окружающей среды, капиллярное движение влаги в стенах зданий в условиях высокого положения уровня загрязненных грунтовых вод и наличия многочисленных трещин в несущих конструкциях, способствующих более активному развитию коррозии различной природы. В результате взаимосвязанных процессов физико-химической и биологической коррозии поверхностный слой кирпичной кладки претерпел существенные изменения. Деструкции подвергаются и другие материалы: бетон, штукатурное покрытие, каменная кладка.

Поверхностный биологический налет (биопленки) покрывает большую часть поверхности кирпичных стен в нижней части Кафедрального собора Башни и Доанмон ворота. Налет достаточно плотный и местами отслаивается в виде целостной корочки, под которой заметна поврежденная (ослабленная) поверхность кирпича. Наиболее плотные черные биопленки формируются в местах движения влаги (хорошо видны потеки на кирпичной стене).

Расслоение и растрескивание поверхностных слоев кирпича усиливается в местах биологического поражения и скопления влаги. Повреждение кирпича особенно заметно при отслаивании поверхностных биопленок.

В настоящее время комплексный мониторинг состояния компонентов подземного пространства и их влияния на устойчивость и

безопасность функционирования сооружений, в том числе архитектурно-исторических памятников, не проводится.

	
Фото 1 - Образование трещин и биообрастаний на северном фасаде второго этажа Ханойской флаговой башни (Ханой-2016)	Фото 2 - Образование трещин и биообрастаний на восточном фасаде первого этажа Ханойской флаговой башни (Ханой-2016)
	
Фото 3 - Образование трещин в стенах и на купольном окне на юго-восточном фасаде Ханойского Кафедрального собора (Ханой-2016)	Фото 4 - Образование трещин в стенах, на купольном окне и биоплёнок различной плотности серо-черного цвета - фрагмент северо-западного фасада Ханойского Кафедрального собора (Ханой-2016)
	
Фото 5 - Образование трещин и биоплёнок различной плотности серо-черного цвета в стенах первого этажа Доанмон ворота (Ханой-2017)	Фото 6 - Образование трещин и биообрастаний на фасаде в стенах Доанмон ворота (Ханой-2017)

Обычно создание и проведение мониторинга ограничивается геодезическими наблюдениями за деформациями зданий, ценность которых обычно базируется на их возрасте, предназначении, необходимости их использования в будущем как культового, культурного либо архитектурного памятника (сооружения). При этом, не уделяется должного внимания разрезу основания здания, в том числе изменению

состояния и свойств грунтов во времени, варьированию гидродинамических условий водоносных горизонтов, их химическому составу и агрессивности вод по отношению к конкретным строительным материалам подземных конструкций исследуемых сооружений. Особенности динамики деформаций зданий должны быть увязаны с состоянием компонентов подземного пространства в зоне воздействия наблюдаемого объекта и изменением напряженно-деформированного состояния в его основании при варьировании уровней подземных вод, а также проявлениями газодинамического давления.

Соответственно, концепция объектного мониторинга сооружения должна базироваться на специфике взаимодействия, в нашем случае, архитектурно-исторического памятника с многокомпонентным подземным пространством, границы которого не ограничиваются зоной основания. Однако, если придерживаться традиционной трактовки понятия «основание сооружения», то его размеры будут определяться только изменением напряженного состояния грунтов за счет давления от сооружения при действии сжимающих напряжений σ_z на горизонтальных площадках. В реальных условиях при учете природных и техногенных факторов границы зоны основания значительно расширяются и при назначении содержательной части мониторинга и ее структуры необходимо предусмотреть изучение тех преобразований в подземной среде, которые предопределяют длительную устойчивость исследуемого сооружения при снижении несущей способности грунтов, интенсификации неравномерных осадок и, соответственно, развития трещинообразования в несущих конструкциях.

Следовательно, необходимо создать структуру объектного мониторинга, в которой анализируется влияние природных и техногенных факторов, воздействующих на возникновение и развитие деформаций изучаемых сооружений (см. рисунок 8). Как уже отмечалось ранее, рассматриваемые архитектурно-исторические памятники функционируют в районах развития слабых водонасыщенных песчано-глинистых грунтов, которые относятся к отложениям, характеризующимся квазипластичным состоянием и низкими модулями общей деформации, а также высокой степенью загрязненности грунтов. Кроме того, исследования показали, что в Ханое прослеживаются опасные экзогенные и эндогенные процессы и явления, негативно воздействующие на устойчивость сооружений, особенно тех, которые исчерпали свой эксплуатационный ресурс.



Рисунок 8 - Блок-диаграмма концепции, структуры и содержания объектного мониторинга некоторых архитектурно-исторических памятников Ханоя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Территория исторического центра Ханоя приурочена к зонам, в разрезе которых прослеживаются водонасыщенные песчано-глинистые отложения четвертичного возраста, рассматриваемые как среда активного развития экзогенных процессов: неравномерных осадок зданий и сооружений, проявления тиксотропных свойств глинистых грунтов, наличия плывунов и др. Современное состояние памятников, которые эксплуатируются в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях исторического центра предопределяет необходимость создания комплексного инженерно-геологического мониторинга на двух иерархических уровнях (локальный и объектный) для получения данных о причинах и динамике их деформации, составления обоснованных проектов реконструкции и реставрации памятников, а также обеспечения их длительной устойчивости с целью сохранения облика тысячелетней столицы.

2. Структура и содержание инженерно-геологического мониторинга на локальном уровне должны включать наблюдения за воздействием

природных и природно-техногенных процессов, которые определяют условия нормального функционирования исторического центра Ханоя. При этом, необходимо вести наблюдения за уровнем грунтовых вод и динамикой варьирования пьезометрической поверхности водоносного горизонта Q_p, используемого для водоснабжения Ханоя, изменением химического состава подземных вод, газопроявлением.

3. Комплексный инженерно-геологический мониторинг на объектном уровне должен обеспечить разработку мероприятий для предупреждения перехода зданий в предаварийное и аварийное состояние и сохранение архитектурно-исторических памятников. Следовательно, согласно содержанию объектного мониторинга необходимо анализировать влияние природных и техногенных факторов, определяющих возникновение и развитие деформаций сооружений, что должно включать систему наблюдений за изменением состояния и физико-механических свойств грунтов в основании зданий, особенностями трансформации окислительно-восстановительной и кислотно-щелочной обстановки для оценки агрессивности подземных вод по отношению к подземным конструкциям и грунтам, снижением уровня подземных вод водоносных горизонтов Q_h и Q_p для оценки роли этого процесса в развитии деформаций Башни, Кафедрального Собора и Доанмон ворот, биохимической газогенерации, характере и интенсивности проявления деформаций зданий и прилегающей к ним территории с использованием геодезических наблюдений, в том числе в системе 3D, неразрушающих контроль за состоянием кладки несущих конструкций соборов, характером роста раскрытия выявленных трещин и их динамики.

Список публикаций по теме диссертации

в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Дашко Р.Э, Нгуен Тьен Чунг. Инженерно-геологическое обоснование концепции и структуры комплексного мониторинга некоторых архитектурно-исторических памятников в Ханое. Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург -2017. -№ 4. С. 57-66.

2. Нгуен Тьен Чунг. Инженерно-геологические особенности четвертичных отложений и типизация грунтов города Ханой. Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург -2017. -№ 1. С. 43-50.

3. Нгуен Тьен Чунг. Инженерно-геологические процессы и явления в историческом центре Ханоя и их влияние на устойчивость некоторых архитектурно-исторических памятников. Естественные и технические науки. Москва -2017. № 2. С. 49-60.

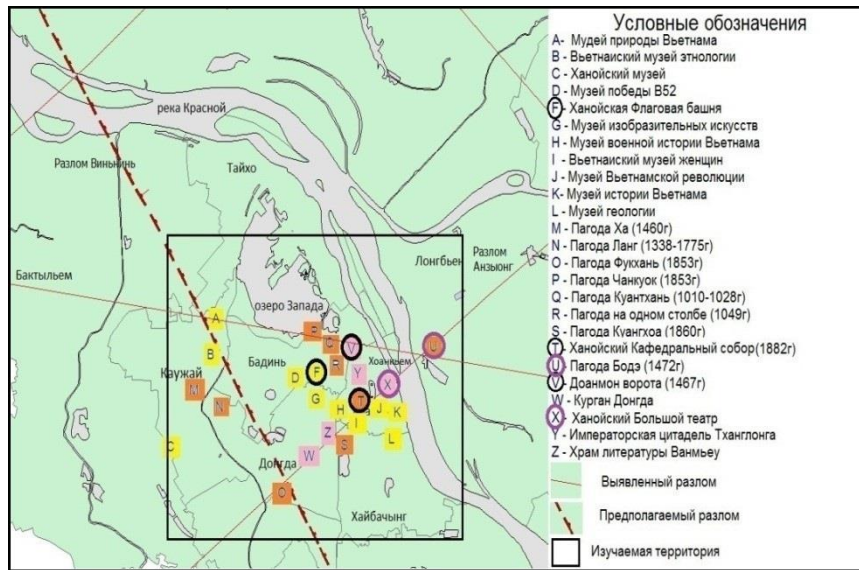


Рисунок 1 – Схематическая тектоническая карта Ханоя

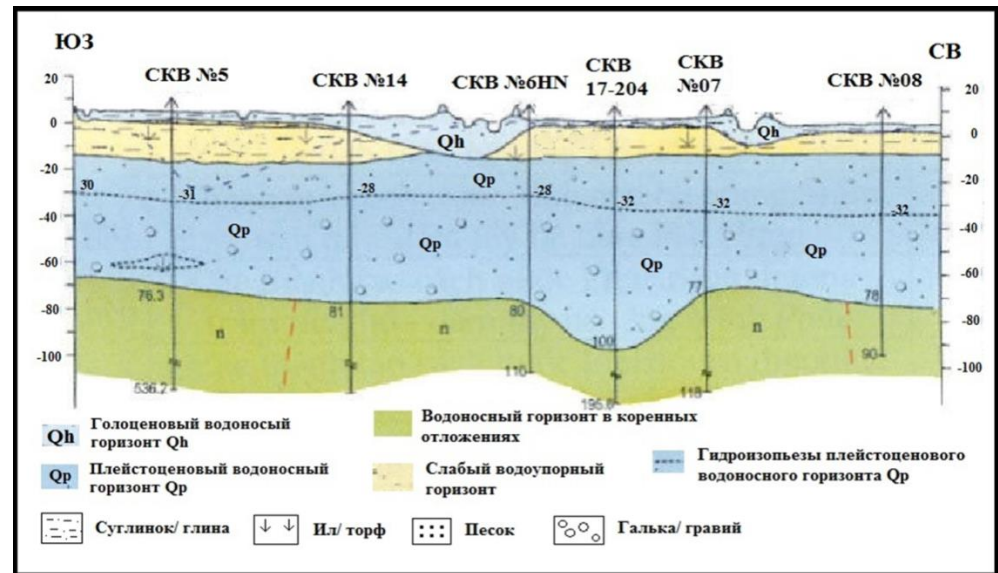


Рисунок 3 - Схематический гидрогеологический разрез территории Ханоя по линии II – II', (Нгуен Ван Дан, 2010 г.)

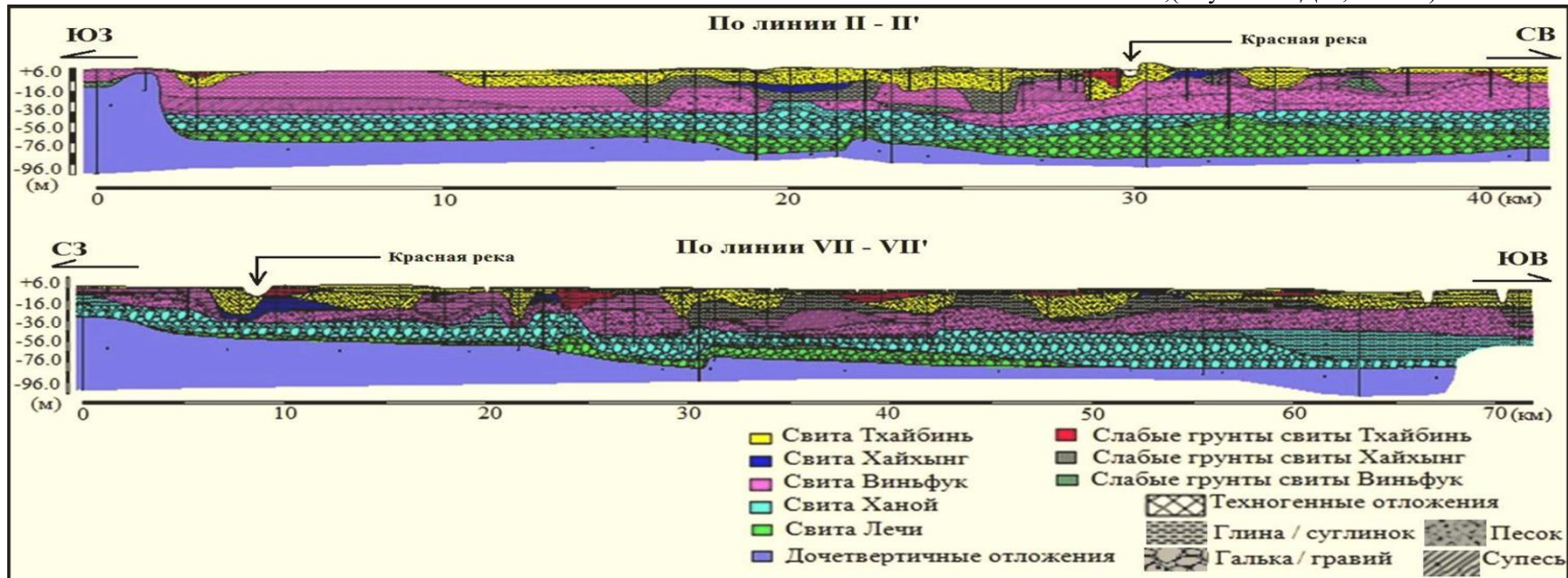


Рисунок 2 - Схематический инженерно-геологический разрез территории г.Ханоя [Бу Конг Нгы - 2007]

Таблица 1- Обобщенные показатели физико-механических свойств грунтов aIV^3tb_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	Коэффициент водонасыщения	д.е	S _r	0,99	-	-
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	МПа ⁻¹	M _{0-0,1}	1,325	0,05	0,37
			M _{0,1-0,2}	0,999	0,04	0,41
14	Модуль деформации	МПа	E _{0(0,1-0,2)}	1,6	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	49,1	-	-
16	Количество образцов	n		52		

Таблица 2- Обобщенные показатели физико-механических свойств грунтов alb,aIV^3tb_1

№	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	д.е	S _r	0,94	-	-
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	МПа ⁻¹	M _{0-0,1}	1,264	0,06	0,52
			M _{0,1-0,2}	0,703	0,03	0,40
14	Модуль деформации	МПа	E _{0(0,1-0,2)}	3,9	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	68,7	-	-
16	Коэффициент консолидации	см ² /сек. * 10 ⁻³	Cv _(0,05-0,1)	1,13	0,31	0,27
			Cv _(0,1-0,2)	0,98	0,35	0,36
17	Содержание органических веществ	%	OB	5,7	-	-
18	Количество образцов	n		385		

Таблица 3- Обобщенные показатели физико-механических свойств грунтов bIV^1-2hh_3

№	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	0,98	-	-
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	МПа ⁻¹	M _{0-0,1}	1,335	0,02	0,15
			M _{0,1-0,2}	0,785	0,01	0,12
14	Модуль деформации	МПа	E _{0(0,1-0,2)}	3,3	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	58,9	-	-
16	Коэффициент консолидации	см ² /сек. * 10 ⁻³	Cv _(0,05-0,1)	0,959	0,18	0,19
			Cv _(0,1-0,2)	0,927	0,22	0,24
17	Содержание органических веществ	%	OB	12,2	-	-
18	Количество образцов	n		27		

Таблица 4- Обобщенные показатели физико-механических свойств грунтов $lbIV^1-2hh_1$

№	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	д.е	S _r	0,94	-	-
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°39'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	8,9	-	-
13	Коэффициент сжимаемости	МПа ⁻¹	M _(0-0,1)	1,366	0,06	0,48
			M _(0,1-0,2)	0,999	0,05	0,48
14	Модуль деформации	МПа	E ₀₍₁₋₂₎	1,6	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R ₀	49,1	-	-
16	Коэффициент консолидации	см ² /сек. * 10 ⁻³	Cv _(0,05-0,1)	1,149	0,74	0,64
			Cv _(0,1-0,2)	1,022	0,68	0,67
17	Содержание органических веществ	%	OB	9,7	2,34	0,24
18	Количество образцов	n		628		

Где: X_n: нормативное значение, S: среднеквадратическое отклонение, V: коэффициент вариации.

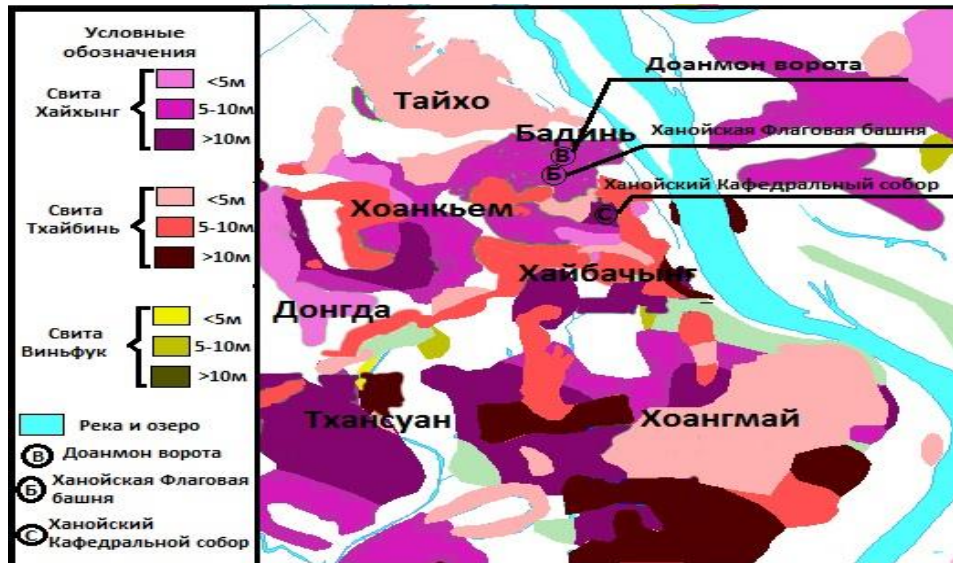


Рисунок 4 – Схематическая карта мощности и распространения слабых грунтов свиты Хайхынг и Тхайбинь (Фи Х.Т., 2013 г.)



Рисунок 5 - Карта оседания земной поверхности на территории г. Ханоя в результате использования подземных вод в 2013 г.

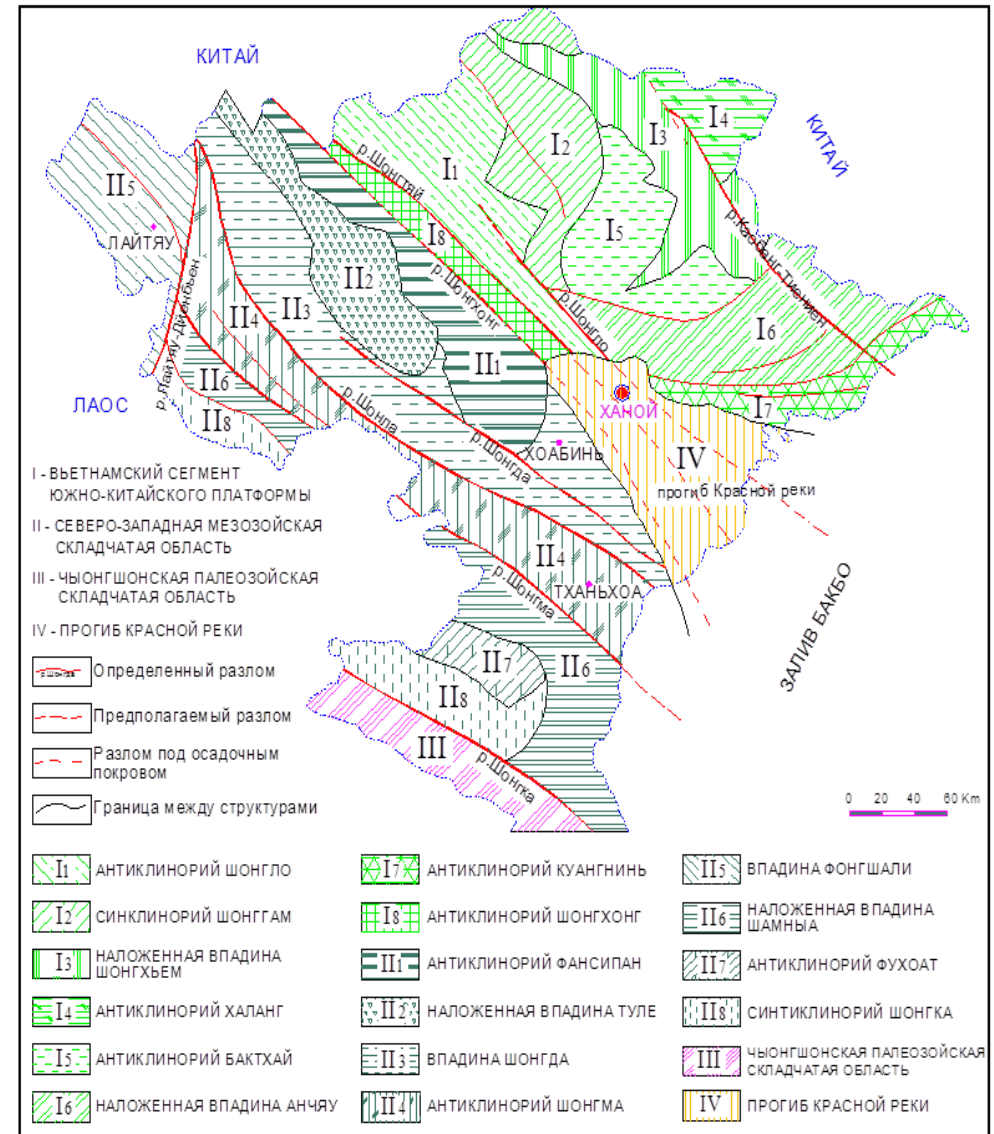


Рисунок 7 - Схема тектонического районирования территории Северного Вьетнама (по данным А.Е. Довжикова и др., 1965; Чан Ван Чи др., 1977; Нгуен Нгок Тху, 1987)

Таблица 5 – Химический состав грунтовых вод исторического центра Ханоя

Элементы анализа	Ед. изм.	Номера скважин									
		Qh - P12a	Qh - P33a	Qh - P34a	Qh - P42a	Qh - 80a	Qp - P12b	Qp - P33b	Qp - P34b	Qp - P42b	Qp - 80b
Na ⁺	мг/дм ³	45,6	9,7	38,7	41,3	35,1	59,9	20,8	52,9	57,7	48,6
NH ₄ ⁺	мг/дм ³	14,3	18,5	10,3	6,2	12,8	7,9	21,7	20,6	18,2	14,1
Ca ²⁺	мг/дм ³	41,5	40,0	40,4	36,4	31,1	80,5	95	61,0	58,3	45,2
Mg ²⁺	мг/дм ³	15,1	12,4	16,3	17,6	10,3	24,8	25,0	20,0	22,3	14,6
Fe ³⁺	мг/дм ³	-	0,4	-	1,5	4,2	6,7	0,5	2,3	8,4	11,8
Fe ²⁺	мг/дм ³	20,5	11,3	12,1	13,8	13,5	18,7	12,3	23,1	13,2	23,4
Cl ⁻	мг/дм ³	15,9	18,7	28,1	27,1	18,8	55,7	21,0	35,8	37,6	33,2
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	16,3	12,6	15,2	14,3	12,3	22,6	23,5	21,6	22,1	19,2
HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	207,4	369	436	517	413	104	220	280	283	236
NO ₂ ⁻	мг/дм ³	<0,1	<0,03	6,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,03	14,0	<0,1	<0,1
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	1,5	1,1	2,5	0,7	0,5	0,2	1,2	4,8	0,65	1,3
Перманганат-ная окисляемость	мгО ₂ /дм ³	12,2	11,2	11,6	16,2	19,2	-	-	-	-	-
СО ₂ агрес	мг/дм ³	-	-	-	-	-	41,8	-	-	-	-
Минерал-изация	мг/дм ³	256	340	370	383	325	652	780	521	523	457
pH	-	7,0	7,1	7,2	7,2	7,0	7,1	7,5	7,6	7,4	7,2
Общая жесткость	мг-экв/дм ³	3,4	2,5	3,3	2,6	3,4	6,2	7,0	6,0	5,8	5,6

Примечание: Qh - Голоценовый водоносный горизонт
Qp - Плейстоценовый водоносный горизонт