Министерство образования и науки Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

Нгуен Тьен Чунг

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

Специальность: 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор Дашко Регина Эдуардовна

Санкт-Петербург - 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕГОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О ХАНОЕ И ЕГО РАЗВИТИЯ Б	
ВРЕМЕНИ	
1.1 История основания и развития Ханоя	8
1.2 Характеристика наиболее значимых архитектурно-исторических памятник Ханоя и их состояние	
1.2.1 Характеристика сооружений духовно-религиозных архитектур	11
1.2.2 Характеристика сооружений военно-оборонных и архитектурно-исторических памятников.	17
1.2.3 Характеристика некоторых зданий французских архитекторов в Ханое	19
1.3 Основные этапы освоения и использования подземного пространства Ханоя	22
1.3.1. Водопроводные коммуникации и водозаборные скважины	23
1.3.2 Дренажно-ливневая канализация	24
1.3.3 Инженерные сети	25
1.3.4 Особенности развития транспортной инфраструктуры	25
1.3.5 Общая характеристика особенностей освоения подземного пространств Ханое	ва
Выводы по главе 1	29
ГЛАВА 2 ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИ	
ХАНОЯ И ЕГО ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА	30
2.1 Структурно-тектоническая обстановка и её значение для оценки	
интенсивности эндогенных процессов	30
2.2 Специфика геолого-литологического разреза и гидрогеологических услови Ханоя	
2.2.1 Особенности геолого-литологического разреза Ханоя	39
2.2.2 Особенности гидрогеологических условий Ханоя	47
2.3 Анализ состава, состояния и физико-механических свойств грунтов в разрезе подземного пространства Ханоя	58
2.4 Инженерно-геологические процессы и явления в историческом центре Ханоя	72
2.4.1 Затопление и подтопление территорий города в период муссонных дождей.	73
2.4.2 Осадка земной поверхности при понижении уровня подземных вод с целью водоснабжения Ханоя	75

Выводы	по гла	ве 2		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • •		•••••	81
ГЛАВА	3	СТРУ	КТУРА	И	CC	ДЕРЖАНИЕ	КНИ	кенерно-
ГЕОЛОГ	ичес	кого	монит	ГОРИН	ΙΓА	ИСТОРИЧЕ	ского	ЦЕНТРА
ханоя	•••••			•••••	• • • • • • • • •			84
						жание инжене		
	-			_		ического режи иных сооруже		
	_					ств грунтов в з		
3.4 Мон	иторин	г приро,	дно-техно	генных	проц	ессов	•••••	100
3.4.1 N	Лонитс	ринг оп	олзневых	процес	сов	•••••	•••••	100
3.4.2 N	Лонитс	ринг ос	едания зем	иной по	верхі	ности	•••••	103
Выводы	по гла	ве 3		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • •		•••••	106
ГЛАВА 4	PA3P	АБОТЬ	ка стру	КТУРІ	ЫИ	СОДЕРЖАН	ия объ	ЕКТНОГО
монито	РИНІ	A AP	хитект	УРНО-	-ИСТ	ОРИЧЕСКИ	х пам.	ятников
ханоя	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	107
						ы и содержани иятников		
	_					едования Хан		112
			1 2			ания Ханойско ханглонга		
				-		ологического		
Выводы	по гла	ве 4	•••••	•••••	•••••		•••••	138
ЗАКЛЮЧ	ЕНИВ	Z	•••••	•••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		•••••	140
СПИСОК	литі	ЕРАТУІ	РЫ	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • •		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	144

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. 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 которой 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 ЮНЕСКО - Храм литературы (Ванмьеу) и Императорская цитадель Тханглонга. Исторический центр представляет собой зону плотной застройки, в пределах которой располагаются более 300 архитектурно-исторических памятников, 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 в Ханое 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 инженерногеологического 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 инженерногеологического 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 архитектурно-исторических памятников.

Фактический материал и личный вклад автора. Автором научной работы выполнен анализ литературных источников, архивных данных И картографических материалов, посвященных истории основания и развития города Ханоя с XI-го века до настоящего времени и архитектурно-строительным характеристикам различных зданий и сооружений, TOM архитектурно-исторических памятников. Изучено влияние различных природных и техногенных факторов на устойчивость приведенных выше архитектурноисторических памятников. Кроме того, был произведен инженерно-геологический и гидрогеологический анализ условий эксплуатации сооружений с учетом специфики контаминации подземных вод и грунтов исторического центра Ханоя для разработки алгоритма комплексного инженерно-геологического мониторинга архитектурно-исторических памятников. Предложены 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 Доанмон ворот.

Основные методы исследований. В процессе выполнения научной 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 архитектурноисторических 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 позволит повысить на основе полученных 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.

Автор выражает глубокую и искреннюю признательность научному руководителю д. г.-м. н. проф. Р.Э. Дашко за постоянную помощь и внимание при подготовке диссертационной работы, заведующему кафедрой Г и ИГ, доц. Д.Л. Устюгову, доц. П.В. Котюкову, ассистентам кафедры И.В. Алексееву и И.Ю. Ланге, Я.А. Лебедевой, аспирантам В.А. Горской и Л.М. Зайдуллиной.

ГЛАВА 1 ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О ХАНОЕ И ЕГО РАЗВИТИЯ ВО ВРЕМЕНИ

1.1 История основания и развития Ханоя

Ханой - столица Вьетнама, его экономический, торговый, культурный и туристический центр. История города насчитывает более тысячи лет и в 2010 году ему исполнилось 1000 лет со дня основания. Ханой располагается в центре дельты Красной реки, окруженной старыми известными культурными областями и экономическими зонами. О Ханое, его культуре и истории имеется много легенд, наполненных духом вьетнамской нации.

В III веке до нашей эры на территории современного Ханоя уже существовало поселение. Начиная с 208 года до н.э., после победы над китайскими завоевателями Тан и Тхук король Вьетнама Ан Зыонг Выонг взошел на престол, назвал Вьетнам страной Ау Лак (раннее название Вьетнама) и основал её столицу Колоа (ныне Ханой) вместо бывшей столицы Фонг Чау королевства Хунг. Столица Колоа (Ханой) стала центром политики, экономики и культуры страны [92, 96, 99, 101].

С тех пор прошло еще много веков под гнетом Китая, Ханой тогда назывался Дайла. Ханой полностью освободился от китайского гнёта в 938 году. В 1009 году Ли Конг Уан короновался в Хоалы и начал династию Поздние Ли (1009-1225). В 1010 году король Ли Конг Уан (он же — Ли Тхай То) перенёс столицу из Хоалы в провинцию Ниньбинь, в крепость Дайла, которая находилась на месте нынешнего Ханоя. В своём указе Его Величество написал: «Крепость Дайла находится между небом и землёй. Она похожа на вьющегося дракона и сидящего тигра. Эта крепость охраняется со всех четырёх сторон, смотрит на реку и опирается на горы. В этом просторном краю с ровным рельефом, где всегда царит тепло и свет, люди никогда не будут страдать, а наоборот — будут жить весёлой и зажиточной жизнью [90, 92, 102, 119]. На всей вьетнамской земле нельзя найти лучшего места для торговли. На этом месте будет построен красивейший город, который войдёт в историю нашего народа». Согласно легенде, осенью этого года король Ли Конг

Уан увидел взлетающего дракона в небе над крепостью Дайла, откуда и появилось название «Тханглонг». Люди до сих пор не перестают хвалить его за мудрое решение перенести столицу в то место, где по рекам можно добраться в горы и к морю, а также легко поплыть на север и юг. Именно густое сплетение речной системы послужило развитию транспорта, что и поспособствовало интенсивному развитию города. Молодой город Тханглонг, расположенный в самом центре дельты реки Красной с плодородной почвой, практически сразу превратился в политический и религиозный центр. Здесь собрались величайшие люди со всех концов страны, которые вместе построили красивый и богатый город. Позже, в годы правления Поздних Ле город стал называться Донгкинь или Донгдо (Восточная столица), и начал активно развиваться. Ханоем («место между рек») город стал в 1831 году по приказу императора Минь Манга. До 1810 года императоры жили в Ханойской цитадели, а затем столица была перенесена в город Хюэ. В 1873 году он был оккупирован Францией и стал столицей всего Индокитайского Союза (иное название – Французский Индокитай), и французы перестроили его. Ханой полностью освободился от французского колониального гнёта в 1954 году и стал столицей Демократической Республики Вьетнам, и немного позже – Социалистической Республики Вьетнам.

В периоды правления всех феодальных династий столица была торговым, культурным и образовательным центром всего Вьетнама. В городе создана и развивается передовая культура национального своеобразия; наследуются ценности, эстетика, историко-культурное богатство народа; сохраняются и реставрируются историко-культурные памятники и достопримечательности страны. Столица Вьетнама расположилась посреди живописного природного ландшафта: реки и озера, холмы и пруды, леса и цветы придают этому месту неповторимую красоту и привлекательность. Это древний экономический, культурный, торговый и туристический центр страны, в настоящее время - большой, современный, постоянно растущий город, крупнейший политико-

административный центр, центр просвещения, международного общения. Ханой назван ЮНЕСКО "городом мира".

В процессе развития страны Ханой непрерывно меняется в сторону современного, цивилизованного и счастливого города. Одним из важнейших событий в истории города стало принятие Национальным собранием СРВ «О корректировке административных границ Ханоя», которая официально вступила в силу с 1 августа 2008 года. К Ханою отошли ранее относящийся к провинции Виньфук уезд Мэлинь, небольшая часть провинции Хоабинь и полностью провинция Хатэй. Площадь нынешнего города превышает 3300 квадратных километров, что в 3,5 раза больше, чем раньше. Расширение Ханоя позволяет обеспечить устойчивое развитие краткосрочной и долгосрочной перспективах. Выступая на встрече с местными руководителями, посвящённой плану развития Ханоя до 2030 году и в перспективе до 2050 года, премьер-министр Вьетнама Нгуен Тан Зунг подчеркнул: «Столица площадью более 3 тысяч квадратных километров – это очень большая столица. Наша идея заключается в том, чтобы обеспечить необходимый земельный фонд для дальнейшего развития города. Согласно разработанному плану, нужно принимать действенные меры для развития экономики и культуры. Расширение территории Ханоя – это большой шаг на пути к превращению его в столицу современного, цивилизованного, индустриального и модернизированного государства».

В Ханое насчитывается более тысячи архитектурно-исторических памятников. Например, пагоды - 549, общинные дома - 551, храмы - 258. Охраняется государством 386 памятников, в том числе 196 пагод и 190 общинных домов и храмов [88, 90, 93, 96].

Пагоды, храмы и общинные дома - основные охраняемые объекты символизируют духовную жизнь вьетнамских граждан. Особо выделяются: самая старая пагода Чан Куок (Национальная защита), пагода на одной колонне, храм Бачма, пагода Куантхань, Ванмьеу - Куоктызам (Национальный университет), 36

древних улиц со старыми зданиями, символизирующими возраст Тханглонга - Ханоя, каждая из которых дышит историей. Общая площадь озер, которые разбросаны по всему городу, достигает 10 га. Самые большие: Западное озеро, озеро Возвращенного Меча, озеро Семи Мау (мау - единица измерения площади, равная 3600 м²) [88, 90, 102, 112].

1.2 Характеристика наиболее значимых архитектурно-исторических памятников Ханоя и их состояние

Архитектурно-исторические и культовые здания сосредоточены в центре Ханоя. В настоящее время памятники Ханоя разделяют на 2 группы:

- первая группа это сооружения, несущие особенности традиционной архитектуры Вьетнама, включая духовно-религиозные и военно-оборонные строения;
- вторая группа это сооружения, несущие особенности французской архитектуры, включая соборы, мосты, торговые центры, особняки, вокзалы и др.

1.2.1 Характеристика сооружений духовно-религиозных архитектур

В конце II и начале III веков появились архитектура буддизма (пагоды) и архитектура конфуцианства и даосизма (храмы). Эти культовые сооружения возводились в небольшом количестве из местных материалов и отличались простыми формами. Согласно исследованиям, выполненным во Вьетнаме, эти культовые архитектурные и дворцовые сооружения за долгое время претерпели небольшие изменения в форме и структуре - несущий остов из дерева и черепичная крыша. В бедных районах некоторые культовые сооружения были покрыты соломой. Постепенно, по мере развития и повышения экономического уровня в период независимости Вьетнама от Китая, такие сооружения увеличивались в размерах, были богаче украшены, чем раньше [93, 96, 102, 112, 117, 119].

На современном этапе развития культовые комплексы играют важную роль не только в духовной жизни, но и в истории и культуре общества, так как эти комплексы раньше использовалась многофункционально. Сначала они были

местом, где совершались религиозные ритуалы. Затем они проникали в жизнь Вьетов вместе с традиционной народной верой в духов и стали местами, где жители собирались на различные праздники, в том числе и на Новый год. Кроме того, жители использовали культовые здания, как общинные дома, где принимались важные решение. Во время войн культовые здания были местом, где заседал штаб сопротивления.

Комплекс пагоды. Состав, структура и особенности расположения комплексов пагод зависят от их природной, либо урбанизированной среды. Гене-ральные планы приведены на рисунках 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 [102, 103, 112, 117, 119].

Состав и структура элементов пагод зависят от их размеров. Если комплекс имел большой масштаб, тогда в его состав входило больше элементов, сооружений, чем в комплекс маленького масштаба. Кроме того, состав и структура комплекса зависели от места расположения и площади земли, на которой его строили. При этом, состав и структура комплекса также зависели от жанра культового сооружения (храм, пагода). Каждый жанр заключает в себе много типов расположений, например, комплексы расположены в форме буквы «Т», буквы «Н» или в виде трех параллельных линий «=»; еще более крупные - в виде положенной боком буквы «Н» внутри квадрата. Этот вид чаще всего использовался в планировке пагоды.

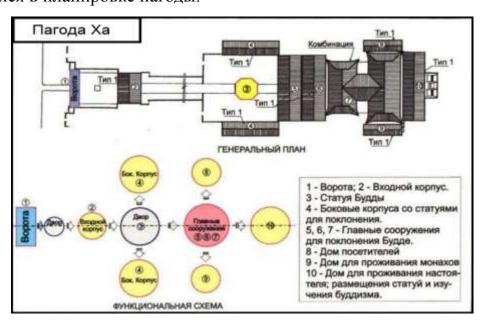


Рисунок 1.1 - Схема пагоды «Ха», г. Ханой

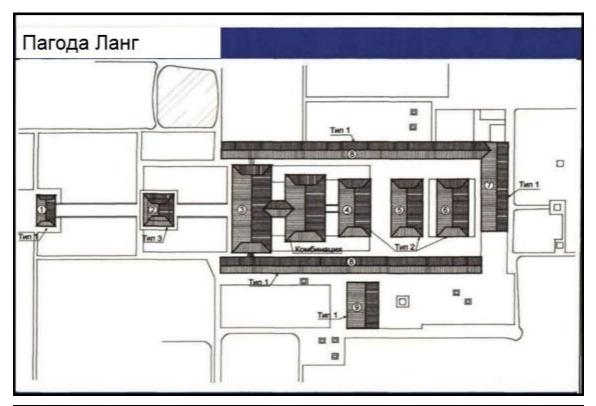




Рисунок 1.2 - Схема пагоды «Ланг», г. Ханой

В состав входят: ворота, дворы, дома, коридоры. Они соединялись вместе и становились комплексом в следующем порядке: сначала шли большие ворота или

колокольни с функцией ворот (внизу - ворота, наверху расположен колокол). Следом находился большой двор с коридорами вокруг (или со стенами вокруг). После двора располагался большой дом для буддийских праздников. За домом находился маленький двор и центр комплекса с тремя домами. [102, 103, 119]

В центре первого дома ставили жертвенник, слева и справа от которого располагались статуи Будды. Этот дом служил для поклонения Будде.

Во втором доме, где ставили большую ритуальную пиалу, обычно совершались ежедневные монашеские моления.

В третьем доме от цоколя до потолка ступенями располагалось множество статуй Будды. Это - символ духовного роста в буддизме.

Кроме того, в комплексе мог быть ещё один дом, где ставили статую Будды, и где паломники ожидали день празднования. Последним строением комплекса был дом, в котором проживало монашество.

Храмовый комплекс. Планировка храма имела свои особенности, если храм большой, то, как правило, расположение было следующее: центральный зал, одну половину которого занимает алтарь, где верующие могут молиться, а вторую - зал трех сокровищ с алтарями Будд. По обеим сторонам центрального зала - открытые коридоры. На заднем дворе расположен храм, где молятся основателю религиозной секты или данного храма. Обычно архитектурный облик храма похож на пагоду. Но функции их различны. Внутри храма часто присутствуют декоративные элементы, покрытые лаком и золотом, что не существовало в пагоде (рисунок 1.3) [104, 112, 117, 119].

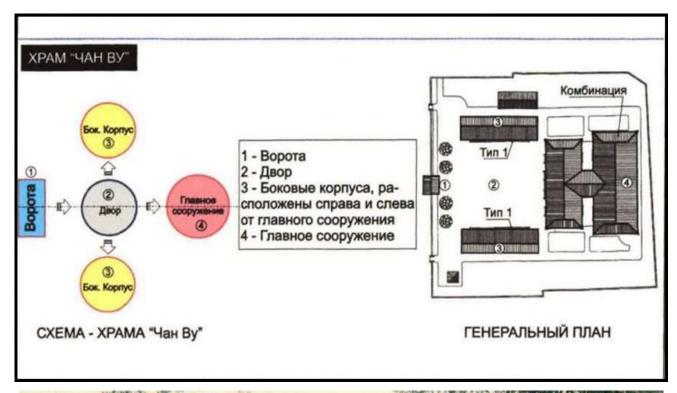




Рисунок 1.3 - Схема и рисунок храма «Чанву», г. Ханой

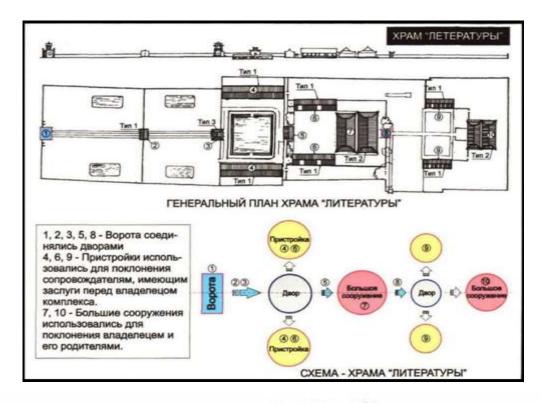




Рисунок 1.4 - Схема и фото Храма литературы (Ванмьеу), г. Ханой

Между объектами культовых комплексов (ворота, главные сооружения, подсобные сооружения) имелись дополнительные пространства: дороги, сады, дворы, деревья, озера, ручьи, водопады. Все объекты располагали по принципу

искусства выбора места, чтобы создать генеральный план, который обеспечивал симметричное, строгое и спокойное пространство перед сооружениями культового комплекса.

В одном комплексе могло существовать несколько главных сооружений, которые располагались по одной оси «север-юг». С двух сторон, справа и слева от каждого главного сооружения, часто ставили два дополнительных сооружения. Они выполнили функции, в зависимости от размера и назначения главного сооружения. Например, в общинном доме Динь два эти сооружения служили местом, где собирался народ в праздник Нового года. А могли быть храмом или мавзолеем для поклонения людям, которые имели много заслуг перед господином (самому господину поклонялись в главном сооружении). Комплекс мог разделяться на отдельные части, которые соединялись вместе маленькими воротами, вокруг комплекса строили стены.

Комплексы пагод обычно строили в местности с красивыми природными пейзажами. При этом пагоды должны были быть не слишком удалены от населенного пункта.

Место для строительства храма выбирали в соответствии с жизнеописанием персонажа, которому будут поклоняться в этом храме [93, 104].

1.2.2 Характеристика сооружений военно-оборонных и архитектурно-исторических памятников.

Военно-оборонные сооружения отражают воинскую степень, тактический замысел, социальную структуру, экономические условия и архитектурностроительный талант в феодальных династиях. Такие архитектурные сооружения имеют разнообразные формы: квадрат, прямоугольник, многоугольник, круг, звезду и т.д. Обычно они разделяются на две разные части, являющиеся внутренним и внешним замками. В зависимости от их значения и характера, меняется тип архитектурных решений. В случае цитадели имеются три или более частей. Внешним замком Дайла - Ханой (Делатхань) является самая удаленная цитадель Тханглонга, a во внутреннем замке располагаются дворцы,

административные центры, резиденция короля и его двор. Казармы и жилищные постройки населения размещаются на участке внешнего замка.

Благодаря старым военно-оборонным памятникам, можно оценить талант архитекторов рассматривая строителей, облицовку защитных стен, фундаментов, каменные строения феодальных цитаделей. Декоративное искусство представлено в виде каменных скульптур, глазурованной плитки и черепицы. Эти сооружения не только памятники, но и наследие исторических периодов столицы Ханоя и Вьетнама [106, 112, 117, 119].

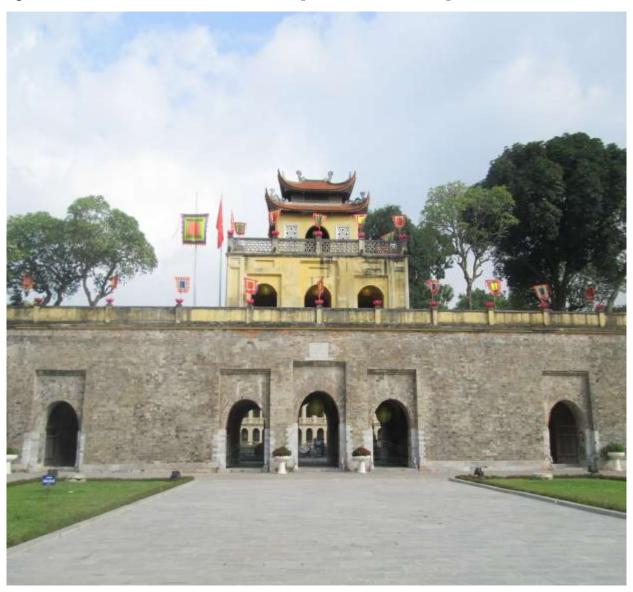


Фото 1.1 - Доанмон ворота цитадели Тханглонга – Ханоя



Фото 1.2 - Ханойская флаговая башня

1.2.3 Характеристика некоторых зданий французских архитекторов в Ханое

Туристы, прибывшие в Ханой, не могут не посетить архитектурные сооружения, возведённые в конце XIX-го - начале XX-го веков. Построенные французами в Ханое дома гармонично сочетаются с окружающим пространством, что придаёт городу неповторимую красоту, которую нельзя встретить в других местах не только Юго-Восточной Азии, но и во всей Азии. Одним из самых знаменитых сооружений, возведённых во время французского колониализма, является мост Лонгбьен, соединяющий берега Красной реки. Этот мост был спроектирован знаменитым архитектором Густавом Эйфелем и построен в 1903 году. Первоначально его назвали в честь генерал-губернатора Индокитайского Союза Поля Думера. Сейчас мост Лонгбьен считается одним из культурных символов Ханоя. В центре города также сохранилось большое количество зданий, построенных французами: резиденция генерал-губернатора (ныне резиденция президента Вьетнама), бывший департамент верховного резидента (ныне дом для правительственных гостей), Банк Индокитая (ныне Госбанк Вьетнама), музей имени Луиса Финота (ныне Исторический музей Вьетнама), здание суда (ныне

здание Верховного народного суда) и др. [117]. Каждое сооружение красиво посвоему. По словам архитектора Хоанг Дао Киня, которого особенно впечатляет французская архитектура в Ханое, французы привезли с собой во Вьетнам совсем другой стиль архитектуры, включая и городскую планировку.

В стране впервые появились вокзалы, почта, соборы, театры, музеи, отели, скверы и фонтаны. Хоанг Дао Кинь отметил: «Французы действительно модернизировали Ханой, превратив его в современный город. Сегодняшний Ханой - это вьетнамский город с элементами французской архитектуры конца XIX-го - начала XX-го веков. Французы возвели сооружения, устойчивые к тропическому климату и гармонично сочетающиеся с вьетнамской традиционной архитектурой».



Фото 1.3 - Дом для правительственных гостей

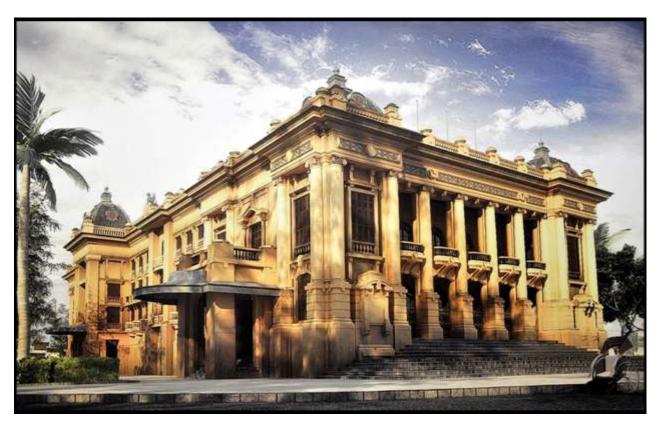


Фото 1.4 - Ханойский оперный театр

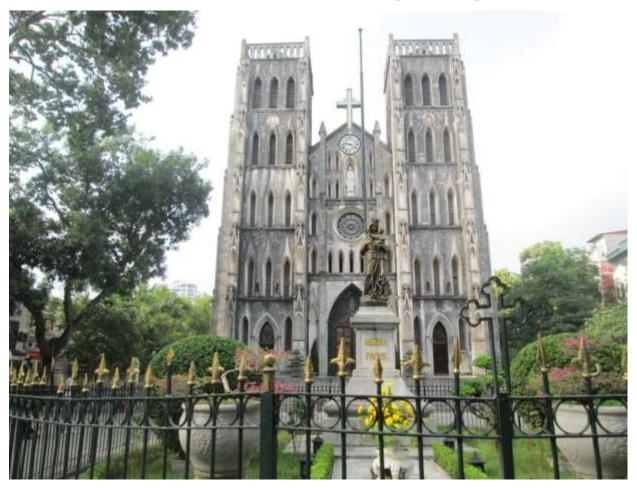


Фото 1.5 - Ханойский кафедральный собор

1.3 Основные этапы освоения и использования подземного пространства Ханоя

Проблема освоения и использования подземного пространства мегаполисов становится актуальной мировой проблемой с конца XIX века. В Ханое французские специалисты начали создавать проекты освоения и использования подземного пространства с 1900 года. Можно отметить, что подземное пространство использовалось практически на всем протяжении истории города Ханоя.

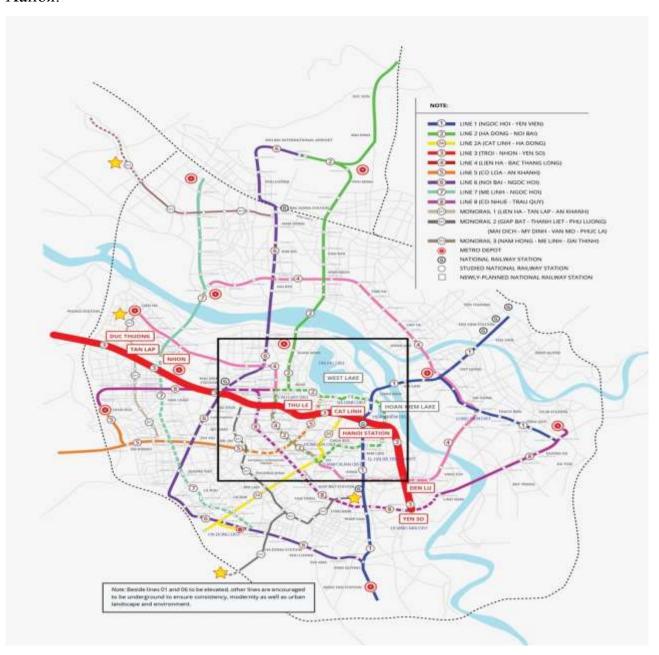


Рисунок 1.5 - Схема расположения проекта городского железнодорожного метрополитена Ханоя до 2030г.

В настоящее время подземное пространство города Ханоя используется в различных целях: сооружения инженерной инфраструктуры города - канализация, трубопроводы для водоснабжения/водоотведения, газо- и теплоснаб-жения, электроснабжение, инженерные коммуникации, волоконно-оптические сети; подземные транспортные сооружения включают автомобильные тоннели городских железных дорог (метро), подземные тоннели для пешеходных переходов, станции, терминалы, парковки и другие сооружения, обслуживающие (многофункциональный трафик; подземные общественные сооружения подземный комплекс) включают в себя культурные (кинотеатры, выставки), спортивные, коммерческие, служебные, офисные здания, которые сочетаются с автостоянками и станциями метро; подземные конструкции строительных гражданских и промышленных сооружений с глубоким и неглубоким заложением фундаментов и различными зонами оснований; строительство и эксплуатация подземных хранилищ отходов производства cразличной глубиной захоронения; эксплуатация подземных сооружений специального назначения (наблюдательные скважины и водозаборные скважины). Следует также отметить, что по генеральному плану развития города до 2030 г. в Ханое предполагается строительство 8 трасс городского железнодорожного метрополитена, состоящего из наземных и подземных участков. В настоящее время разрабатываются и инвестируются японским и французским правительствами линии $N^{\circ}2$ и $N^{\circ}3$ (рис 1.5).

1.3.1. Водопроводные коммуникации и водозаборные скважины

Первый общественный водозабор г. Ханоя был построен в 1905 г. с мощностью 15.000 м³/сутки. В начале 1950-х годов мощность добычи подземных вод составляла 25.000 м³/сутки, в 1960-х и 1970-х годах суточное потребление воды города Ханоя увеличилось, соответственно, численность новых водозаборных предприятий и скважин тоже возросла. Общая мощность добычи подземных вод увеличилась до 150.000 - 170.000 м³/сутки. С 1986 г. по настоящее время наблюдается интенсивное расширение урбанизации столицы, что привело к

увеличению ее спроса на чистую воду. Мощность добычи подземных вод непрерывно возрастала с 250.000 м^3 /сутки в 1985 году до 628.000 м^3 /сутки в 2010 году [54].

С 1900 по 1930 гг. было построено 55 км водопроводных коммуникаций диаметром 40 - 50 мм, размещавшиеся в центральной зоне Ханоя. Водопроводная сеть в период с 1931 по 1954 гг. была расширена до 85 км. В 1989 г. протяженность водопроводных коммуникаций достигла 302 км. Динамика строительства водопроводных коммуникаций с 1993 по 2010 гг. приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Протяженность водопроводных коммуникаций (1993 - 2010 гг.) (по данным Доан Тхэ Тыонг и Чан Мань Льеу, 2007 г.)

Диаметр,	Протяже	Всего			
диаметр,	1002 1005				
171171	1993-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010	
63-110	50	58	41	41	190
160	35	35	30	30	130
225	2,23	2,4	3,55	2,3	10,48
300-315	8,78	4,4	7,44	1,5	22,12
400	11,0	1,3	4,35	-	16,65
600	12,28	10,82	4,28	2,1	29,48
800	-	9,0	6,48	-	15,48
1000	-	3,0	3,0	4,38	10,38
Всего	119,29	123,92	100,10	81,28	424,59

1.3.2 Дренажно-ливневая канализация

По данным компании Ханойской дренажно-ливневой канализации в настоящее время компания управляет системой суммарной длиной 685 км, со средней плотностью 65 м канализации на один гектар, что составляет 65% от общей протяженности улиц. Во многих центральных районах города отсутствует дренажная система. Фактическая дренажная способность системы Ханоя рассчитана на количество осадков менее 50 мм/сутки.

Кроме того, быстрый рост урбанизации города и уменьшение количества водохранилищ и каналов привели к серьезному затоплению улиц в центральной части столицы.

1.3.3 Инженерные сети.

Ханой имеет 3 трансформаторные станции потенциалом 220 кВ, 11 станций – 110 кВ и 35 станций - 10 - 35 кВ. В настоящее время многие трассы прокладки электрических кабелей проходят вдоль городских дорог. Для этого по намеченной трассе копают траншею глубиной от 0,5 до 1,0 м.

До декабря 1954 года в городе Ханое существовал только один телефонный коммутатор, обеспечивающий связью 800 абонентов. К апрелю 1991 г. был достроен новый электронный коммутатор объемом 17000 номеров. Сейчас в центральной части города имеется около 50 км телефонного кабеля, размещенного вдоль городских дорог на небольшой глубине (0,5-0,8 м).

Согласно результатам обследования, проведенного Департаментом транспорта Ханоя в 2015 году, только 12% от общей протяженности кабелей телефонно-телекоммуникационной системы и системы электроснабжения города уложено на глубине до 1,5 м.

По плану развития городской инфраструктуры до 2020 года будет прокладываться подземный телефонно-телекоммуникационный кабель на 243 улицах в 12 центральных районах общей протяженностью 234550 м.

1.3.4 Особенности развития транспортной инфраструктуры

Строительство и развитие инфраструктуры Ханоя были зафиксированы с конца XIX века французскими инженерами. С 1899 по 1943 гг. было построено четыре трамвайных линии общей протяженностью 32 км.

В 1883 году общая протяженность дорог составляла 45 км, до конца 1905 года она была увеличена до 81 км, при этом дороги были очень узкие, а в качестве покрытие использовался щебень. В 1938 году в Ханое было заасфальтировано 114 км дорог. Сегодня общая протяженность городских дорог составляет 179 км, что отражатся на движение транспорта в городе, средняя скорость передвижения автомобилей достигает в среднем 25 км/час. Следует сказать, что транспортная сеть в Ханое перегружена, а число автомобилей и мотоциклов ежегодно растет, примерно, на 8%. В настоящее время население Ханоя составляет 7,5 млн. человек.

Для решения проблем дорожных пробок в городе необходимо ускорить расширение использования подземного пространства, особенно, когда будет полностью исчерпан наземный ресурс.

В настоящее время в городе построены два автомобильных тоннеля (подземный путепровод) под транспортной развязкой Кимльен (2009 г.) и на проспекте Чанзуйхынг (2006 г.); построены подземные пешеходные переходы под транспортной развязкой Нгатышо (2006 г.) и под Третьим транспортным кольцом.

В марте 2007 года по распоряжению Правительства Ханоя была утверждена концепция освоения подземного пространства и основные направления развития подземной урбанизации до 2020 года. В настоящее время город строит систему городского метрополитена с 8 линиями, две из которых были построены в 2010 году (линии №2 и №3). Согласно существующему проекту метрополитена участок линии №3 протяженностью около 4 км из общих 12,5 км был проложен в подземной выработке на глубине 20,0 м. Протяженность подземных выработок глубиной до 25,0 м для линии №2 метрополитена составляет 13,5 км, а общая протяженность трассы - 17,2 км. Кроме того, в Ханое реализуется строительство подземных транспортных развязок, подземных пешеходных переходов, мостовых переходов с использованием фундаментов глубокого заложения, многоэтажных подземных гаражей и стоянок и др.

1.3.5 Общая характеристика особенностей освоения подземного пространства в Xaнoe.

В объемах освоения подземного строительства Ханой пока отстает от многих крупных городов других стран на юго-востоке Азии. Более чем 60% канализационных и дренажно-ливневых коммуникаций в центральной части города имеют срок службы более 50 лет. Во многих застроенных районах города отмечается нехватка подземных инженерных коммуникаций. В центральной части города большинство водопроводной, канализационной и дренажно-ливневой коммуникаций перегружено. Технологии в области ведения подземного строительства отстают от других стран мира. Как уже отмечалось ранее,

многочисленные сооружения возводятся на сваях длиной от 30 до 50 м, что также предполагает необходимость изучения геологического разреза подземного пространства Ханоя до глубин, превышающих 50 м.

Необходимо также подчеркнуть, что плотность транспортных линий в Ханое значительно меньше, чем в крупных городах других стран на юго-востоке Азии. Как известно, развитие цивилизации сопровождается постоянным расширением инфраструктуры и ростом народонаселения, что неизбежно ведет к сокращению неосвоенных городских территорий и изысканию новых мест для размещения производственных, социальных и иных объектов человеческой деятельности. Опыт проектирования и строительства в мегаполисах свидетельствует о том, что решение широкого социально-экономических, архитектурнокруга планировочных и экологических задач неотделимо не только от рационального использования наземных городских территорий, но и от планомерного и комплексного освоения подземного пространства городов, где целесообразно размещать сооружения различного назначения. С другой стороны, высокая плотность населения и действие различных техногенных факторов в городах значительное увеличение стоимости вызывает ресурсов, нагрузки окружающую среду, удорожание жизни, повышение заболеваемости населения, а также множество других неблагоприятных последствий.

Одним из путей решения данной проблемы является освоение городского подземного пространства в гражданских целях, позволяющее переместить под землю ряд жизненно необходимых населению объектов, разгрузить земную поверхность и сделать ее более комфортной для людей.

Подземное пространство Ханоя является средой, создаваемой человеком в процессе организации подземного строительства с целью решения неотложных проблем и развития города в будущем.

В таблице 1.2 приведены в хронологическом порядке некоторые типы подземных сооружений Ханоя, а также геолого-генетические виды вмещающих их грунтов.

Таблица 1.2 – История освоения и использования подземного пространства в городе Ханое (по данным Доан Тхэ Тыонг и Чан Мань Льеу, 2007 г.)

Год строительства	Тип сооружения	Техническая характеристика	Глубина заложения	Вмещающие грунты
1900 – 1930	Водопроводные коммуникации	55 км, чугунные трубы, d = 40-50 мм.	0,5 — 1,0 м	Техногенные отложения (tH) , отложения a , a lb IV^3tb_1
1931 – 1954	Водопроводные коммуникации	30 км, чугунные трубы, d = 40-200 мм	0,5 — 1,0 м	Техногенные отложения, отложения a,albIV3tb1
1954 – 1989	Водопроводные коммуникации	217 км, чугунные и железобетонные трубы, d $= 40-800$ мм	0,5 — 1,5 м	Техногенные отложения, отложения a, alb IV^3 tb ₁
1993 – 2010	Водопроводные коммуникации	104,6 км, чугунные и железобетонные трубы, d = 225-1000 мм	1,0 – 3,0 м	Техногенные отложения, отложения a , a , b 1 V 3 t 1 t 1 t 1 t 2 t 1 t 2 t 2 t 1 t 2
1890 – 1905	Канализационные и дренажно- ливневые коммуникации	25 км, железобетонные или кирпичные кладки коммуникаций, $d = 300-500$ мм, или сечение $(0,5-0,6 \times 0,5-0,7)$ м2	0,5 — 1,0 м	Tехногенные отложения, отложения a,albIV ³ tb ₁
1905 – 1939	Канализационные и дренажно- ливневые коммуникации	50 км, железобетонные или кирпичные кладки коммуникаций, $d = 300-500$ мм, или сечение $(0,5-1,0 \times 0,5-1,2)$ м2	0,5 — 1,5 м	Техногенные отложения, отложения a,albIV 3 tb $_1$
1954 – 2006	Канализационные и дренажно- ливневые коммуникации	125 км, железобетонные или кирпичные кладки коммуникаций, $d=400\text{-}1000$ мм, или сечение (1,0-1,5 х 1,0-1,5) м2	0,5 – 1,5 м	Техногенные отложения, отложения a,albIV3tb1, реже mIV $^{1-2}$ hh $_2$ или a,lIII 2 vp $_{1,2}$
1980 – 2009	Электрические и телефонно- телекоммуникационные сети	Протяженность более 600 км кабелей в городе	0,3 – 1,0 м	Техногенные отложения, отложения $albIV^3tb_1$
2000 – 2009	Подземные переходы, автомобильные тоннели	Железобетонные обделки	Подошвы до 8 м	Отложения aIV^3tb_1
1995 – 2009	Подземные этажи зданий	Железобетонные обделки	Самая большая глубина 22м (5 этажей)	Отложения a,albIV 3 tb $_1$, m,lbIV $^{1-2}$ hh $_{1,2}$ и a,lIII 2 vp $_{1,2}$
В настоящее время	2 проекта метрополитена (наземные и подземные части)	Железобетонные обделки	До 30 м	Отложения a , $albIV^3tb_1$, m , $lbIV^{1-2}hh_{1,2}$ и a , l , $lbIII^2vp_{1,2,3}$

<u>Примечание:</u> a,albIV 3tb_1 – песчано-глинистые отложения свиты Тхайбинь; m,lbIV $^{1-2}hh_{1,2}$ – глинистые отложения свиты Хайхынг; a,l,lbIII $^2vp_{1,2,3}$ –песчано-глинистые отложения свиты Виньфук.

Выводы

- 1. Ханой стал столицей Вьетнама во время династии Лу Конг Уан в XI веке. История основания и развития города насчитывает более тысячи лет. На территории исторического центра Ханоя расположено много известных архитектурно-исторических памятников, в том числе два памятника, которые были включены в список объектов Всемирного культурного наследия ЮНЕСКО Храм литературы (Ванмьеу) и Императорская цитадель Тханглонга (Доанмон ворота).
- 2. Подземное пространство Ханоя практически использовалось при развитии инфраструктуры города. Охарактеризовано состояние инженерных особенности развития транспортной системы, строительство автомобильных тоннелей и метрополитена. Дана характеристика основных типов фундаментов зданий, включая высотных, которые используются в настоящее время в Ханое. безопасности Для обеспечения освоения И использования подземного пространства города Ханоя необходимо обращать внимание на сложные инженерно-геологические и гидрогеологические условия, достоверность прогнозов развития и/или активизации геологических процессов под действием природно-техногенных факторов.
- 3. Состояние ряда архитектурно-исторических памятников таких, как Ханойский кафедральный собор, Ханойская флаговая башня и Доанмон ворота можно охарактеризовать как предаварийное, что определяется наличием слабых песчано-глинистых грунтов, высокой коррозионной способностью подземной среды по отношению к материалам подземных несущих конструкций. Для получения закономерности развития осадки сооружений, оценки её неравномерности в зависимости от состояния грунтов и подземных вод в основании сооружений, опасных природно-техногенных процессов, влияющих на длительную устойчивость памятников, необходимо организовать комплексный инженерно-геологический мониторинг.

ГЛАВА 2 ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ХАНОЯ И ЕГО ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

2.1 Структурно-тектоническая обстановка и её значение для оценки интенсивности эндогенных процессов

Структурно-тектонические условия региона имеют принципиальное значение длительной устойчивости сооружений Ханоя, включая при изучении архитектурно-исторические памятники. Территория Ханоя находится в центре прогиба Красной реки (ранее назывался Ханойский прогиб) на севере Вьетнама. Это один из кайнозойских прогибов Вьетнама, приуроченный к чрезвычайно сложному тектоническому узлу, где приходят в соприкосновение друг с другом, находятся разные по возрасту, степени метаморфизма пород и характеру магматизма. На севере прогиб перекрывает южную часть Китайской плиты, а на юге и юго-западе – фанерозойский Вьетнамо-Лаосский подвижный пояс, относящийся к Индокитайской плите [9, 26, 51, 54, 126].

Геологическое строение Северного Вьетнама, в частности прогиб Красной реки и равнина Бакбо (Северная равнина) изучались многими исследователями как зарубежными, так и отечественными. До сих пор документы по тектонике прогиба Красной реки разноречивы, так как геологические формации этого прогиба расположены на глубине более 5000 м. В структурном плане территории Северного Вьетнама выделяется структурный узел разнородных тектонических элементов. Его структуры примыкают, с одной стороны, к юго-восточной части Евразийской литосферной плиты, а с другой - входят в состав Индо-Австралийской и Тихоокеанской плит. Таким образом, рассматриваемая территория пережила разные тектонические режимы в различные времена. Схема тектонического районирования, составленная А.В. Довжиковым и др., Чан Ван Чи и др. и Нгуен Нгок Тху, широко используется в настоящее время (рисунок 2.1).

На этой схеме тектонического районирования выделены четыре части: Вьетнамский сегмент Южно-Китайской платформы, Северо-западная мезозойская складчатая область, палеозойская Чыонгшонская складчатая область и прогиб

Красной реки (Ханойский прогиб, Ханойская рифтогенная впадина Ханой-Виньбакбо) (см. рисунок 1.7).

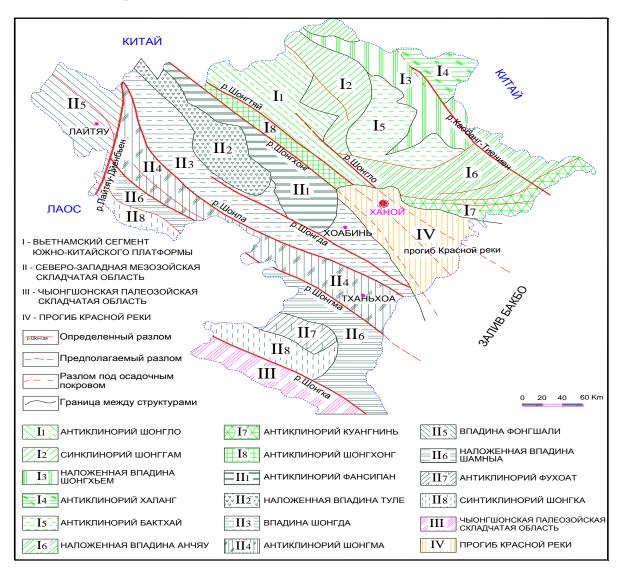


Рисунок 2.1- Схема тектонического районирования территории Северного Вьетнама (по данным А.Е. Довжикова и др., 1965 г.; Чан Ван Чи и др., 1977 г.; Нгуен Нгок Тху, 1987 г.)

В кайнозойский период Ханойский участок опустился из-за активного прогиба района Красной реки в новом цикле. Результатом этого процесса стало формирование различных по возрасту отложений, которые перекрывают кайнозойские породы. Кайнозойские отложения повсеместно развиты в прогибе Красной реки и представлены терригенными толщами прибрежно-морского и аллювиального типов. Их мощность меняется в больших пределах, от нескольких метров в бортовых частях до 6 - 7 км в центральной погруженной части прогиба.

Породы имеют моноклинальное погружение до 1 - 1,5 км в пределах бортовых частей, а в центральной — они смяты в пологие складки с углом падения крыльев до $20-30^{\circ}$, выклинивающиеся в направлении к бортовым частям.

С начала четвертичного периода в пределах прогиба реки Красной в связи процессом рифтообразования в зоне и на шельфе изливались огромные объемы базальтов. Начиная с верхнего плиоцена, скорость поднятия увеличилась более чем в 10 раз по сравнению с миоценом и первой половиной плиоцена [52, 127]. После этого интенсивного поднятия рассматриваемая территория испытывала несколько чередующихся погружений и поднятий, что привело к образованию различного типа четвертичных отложений.

Поднятия и частые излияния лавы продолжаются и по настоящее время, однако они сместились в район шельфа. Свидетельством этих процессов служит непрерывное расширение территории равнины в сторону моря (80 – 100 м/год на юго-востоке равнины Бакбо), а также землетрясения.

В истории Ханоя были зафиксированы сильные землетрясения, которые полностью разрушили дворцы и храмы. Например, в 1076 году дворец Каньнгуен рухнул при землетрясении, в 1285 году произошло землетрясение, которое вызывало оползни в горах, привело к появлению трещин на дневной поверхности и разрушило пагоду Баотхьен. Исследование связи эпицентров землетрясений с активными геолого-тектоническими структурами позволило выделить некоторые главные сейсмотектонические зоны на территории Северного Вьетнама, что отражено в работах Нгуен Нгок Тху, Нгуен Дык Дай, Нгуен Динь Суен и др. [52, 81, 126, 128]. Так были выделены сейсмотектоническая зона рек Ма-Шонла, сейсмотектоническая зона рек Ка-Раонау, сейсмотектоническая зона рек Красной-Чяй, сейсмотектоническая зона уезда Донгчьеу, сейсмотектоническая зона реки Да, сейсмотектоническая зона Каобанг-Тьениен, сейсмотектоническая зона реки Ло. Необходимо подчеркнуть, сильным что под влиянием находится сейсмотектоническая Красной-Чяй, которой зона рек на отмечаются

землетрясения с максимальной магнитудой $M_{\text{макс}}$ = 6,2. Это вторая по величине сейсмичность в Северном Вьетнаме.

В сейсмогенерирующую зону рек Красной-Чяй входят антиклинорий в северной части и Ханойский прогиб (прогиб реки Красной) в юго-восточной ее части. Данная зона совпадает с шовной зоной реки Красной. Здесь известны два семи- и восьмибалльных землетрясения в 1278 и 1285 гг. в районе Ханоя [52, 97, 126, 128, 129]. Кроме того, в ее пределах произошло несколько семибалльных землетрясений, два из них - землетрясения в Лукиен в 1953 и 1954 гг. Конфигурация их первых изосейст и площадь распространения позволяют определить глубину очагов этих землетрясений, равную, соответственно, 14 и 16 км [52, 81, 97].

Изучение сейсмотектоники 30НЫ рек Красной-Чяй показало, что землетрясения в ней тесно связаны с тектоническими условиями. Зона рек Красной-Чяй вовлечена в геосинклинальный режим и проявляет свою активность с рифея или протерозоя. В ней происходили контрастные дифференцированные движения как по горизонтальному, так и по вертикальному направлениям. Во время мезозойской складчатости в зоне, главным образом, преобладает сбрососдвиговый характер движений (Нгуен Динь Кат, 1983; Ван Дык Тыонг и др., 1993). Амплитуды горизонтального смещения составляют 50 км, а вертикального - 7 – 15 км по разломам рек Красной и Чяй [52, 128]. Как и для разлома реки Ма сдвиговый характер движений блоков земной коры по разломам рек Красной и Чяй является предпосылкой высокой сейсмичности на территории Северного Вьетнама, в том числе и региона Ханоя. Однако по амплитудам смещений и мощности ее активного слоя последняя уступает зоне рек Ма-Шонла по проявленной сейсмичности. Зона рек Красной-Чяй продолжает свою активную тектоническую деятельность и в неотектонический этап ее развития. С палеогена ее юго-восточная часть (Ханойский прогиб) начала опускаться. За палеогенчетвертичное время здесь накопилась значительная толща терригенноконтинентальных осадков общей мощностью до 6-7 км, реже более 7 км.

В настоящее время интенсивные тектонические движения этой зоны по глубинным разломам продолжаются. В ее пределах широко развиты речные террасы, современное трещинообразование, молодые поднятия и разрывные нарушения в четвертичных отложениях. Некоторые геологи и тектонисты утверждают, что прогиб реки Красной находится сейчас в рифтогенезной стадии [51, 52, 128]. Все это, по их словам, представляет собой угрозу возникновения землетрясения сильного данном регионе. Судя ПО проявленной сейсмоактивности и геотектоническим предпосылкам генезиса землетрясений, зону рек Красной-Тяй можно отнести к высокосейсмичной, хотя по некоторым сейсмотектоническим характеристикам она уступает зоне реки Ма.

В результате геофизических, геологических работ и поисково-структурного бурения, проводящихся с 1962 года, появилось несколько публикаций, посвященных геологическому строению прогиба реки Красной (Ханойский прогиб) [52]. По этим данным была составлена схема основных тектонических разломов и глубин подошвы неоген-палеогеновых отложений данной территории (рисунок 2.2), согласно которой территория прогиба реки Красной разделена на три структурно-тектонических зоны:

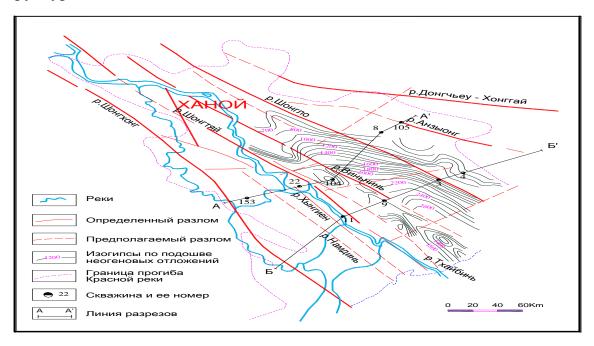


Рисунок 2.2 — Схема основных тектонических разломов и глубин подошвы неогеновых отложений прогиба реки Красной (по данным Ву Динь Чинь, 1977 г.; К.В. Гладкому, 1981 г.; Нгуен Мань Тхыонг, 1985 г.)

- 1) Юго-западный борт, заключенный между разломом Шонгчяй (река Чяй) и границей распространения неогеновых отложений прогиба на западе;
- 2) центральная погруженная часть, в которой находится Ханойская область, заключенная между разломами рек Чяй и Ло;
- 3) северо-восточный борт, ограничивающийся разломом Шонгло и границей распространения неогеновых отложений на северо-востоке.

Юго-западный борт (юго-западная тектоническая зона) характеризуется неглубоким залеганием докембрийского кристаллического фундамента, который выходит на поверхность около реки Чяй и города Намдинь. Локальные прогибы выполнены маломощными отложениями мезозоя и кайнозоя. Преобладает северозападное простирание структур. Общность тектонического плана и сходство формационного состава мезозойских отложений (в частности, присутствие в их разрезе основных вулканитов) сближает его с северо-западной мезозойской складчатой областью.

Центральная погруженная часть прогиба, где располагается историческая часть территории Ханоя, отделена от его северо-восточного и юго-западного бортов системой разломов: на юго-западе - разлом реки Чяй, а на северо-востоке разлом реки Ло. Результаты геофизических и буровых работ позволили разделить центральную часть на две подзоны: Хоантяу – Тьенхай и Ханой – Донгкуан [9, 52, 126, 127, 128, 129]. Границей между ними является разлом Виньнинь (см. рисунок 2.3). Для первой из них характерно широкое развитие пликативных и дизъюнктивных погружений в неогеновой толще. В её пределах установлены чередующиеся друг с другом локальные структуры второго порядка: своды и синклинали. Первые из них имеют пологое падение крыльев, ширину 5-10 км, длину 18-20 км и амплитуду поднятия 200-250 м, а вторые – единственные две отрицательные структуры в этой подзоне – имеют, примерно, такие же размеры и 250 м. По тем же данным, внутри этой подзоны амплитуду погружения выделяется ряд локальных разломов – продольных и поперечных. В пределах подзоны Ханой – Донгкуан выделены две крупные структуры: уступ на северозападе подзоны, заключенный между разломами рек Чай и Виньнинь с амплитудой поднятия 250 м и крупная отрицательная структура Донгкуан типа грабена длиной 50-60 км и шириной до 16-20 км. Породы неогеновой толщи в этой подзоне смяты, в основном, в пологие складки, выкликивающиеся в направлении погружения неогенового основания (6-7 км). Наблюдаемая асимметрия складок объясняется тем, что раздвижение земной коры возможно проходит в юго-западном направлении быстрее, чем в северо-восточном [9, 52].

борт (северо-восточная Северо-восточный тектоническая глубоким залеганием характеризуется более докембрийского фундамента, перекрытого мощным комплексом палеозойских отложений. На поверхности последних широко развиты мезозойские породы, лишь в его южной части они местами отсутствуют, и палеозойские породы выходят на поверхность. Преобладает широтное или северо-восточное простирание пород. структурному плану и формационному составу палеозойской толщи северовосточный борт сходен с восточной частью вьетнамского сегмента Южно-Китайской платформы, а его мезозойские отложения практически идентичны породам мезозойской впадины Антяу (центральная часть вьетнамского сегмента Южно-Китайской платформы).

На рисунке 2.2 показано, что в пределах прогиба реки Красной выделен ряд крупных разломов северо-западного простирания: реки Красной, реки Чяй, реки Ло, уезда Донгчьеу; сопровождающие их более мелкие разломы: Виньнинь, Намдинь, Хайхынг, Тхайбинь, Анзыонг, а также некоторые поперечные разломы северо-восточного простирания — Тхиань, Дыклонг и др. Эти разломы разделяют прогиб реки Красной на ряд поднятых и погруженных блоков и играют важную роль в формировании последних на уровне их потенциальной сейсмичности. Существование крупных глубинных разломов считается важной основой не только для изучения сейсмичности прогиба реки Красной, но и по отношению к оценке их опасности для длительной устойчивости сооружений различного назначения тысячелетней столицы. В таблице 2.1 приведены некоторые

характеристики сейсмогенных зон по возможности возникновения сильных землетрясений в городе и его окрестностях.

Таблица 2.1 – Основные параметры сейсмогенных зон, соответствующие возможным землетрясениям в городе Ханое и его окрестностях (по данным Нгуен Динь Суен и др., 1994 г., 2003 г. и 2006 г.)

Сейсмогенные	Максимальная	Глубина	Балльность в	Балльность в
	магнитуда,	заложения очага,	эпицентре, I _o	Ханое, І
ЗОНЫ	M_{make}	$h_{\text{\tiny MИH}}(\kappa M)$	(баллов)	(баллов)
Разлом реки	6,2	17	o	o
Красной	0,2	1 /	8	o
Разлом реки Чяй	6,2	17	8	8
Разлом реки Ло	5,5	12	7	6-7
Разлом Виньнинь	5,5	13	7	7
Разлом Донгчьеу	6,0	25	7	6
Разлом реки Да	5,5	13	7	5

^{*}Примечание: Балльность землетрясений определена по MSK-64

Особенности структурно-тектонического строения территории Ханоя определяют сейсмичность рассматриваемого региона. Интенсивность землетрясений может достигать 7-8 баллов по шкале МЅК-64. Начиная с ХІІІ в. и до 2002 года на территории города было зафиксировано 155 землетрясений (из них 147 - в ХХ веке), в том числе два - 7 – 8- балльных землетрясения (в 1278 и 1285 годах), три - 7-балльных, тридцать два - 6-балльных и одно – менее 6 баллов [52, 97, 126, 128, 129]. Более того, на территории Северного Вьетнама, где находится Ханой, отмечается повышение балльности территории до 8 и более.

На основе инженерно-геологического районирования Ханоя в масштабе 1:25000, данных общего и детального сейсмомикрорайонирования, выполненного Нгуен Дык Манем, выделены районы с существенно различными условиями и величиной сейсмической балльности [55, 56]. 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 М = 6,2 и I = 8 баллов и с глубиной их очагов от 15 – 20 км, что связано с активностью глубинных разломов Шонгло и Шонгчай, проходящих в северозападном и северо-восточном направлении и пересекающих изучаемую территорию (рисунок 2.3).

Наличие в верхней части разреза центральных районов Бадинь и Хоанкем, в пределах которых расположены изучаемые памятники, 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 вибрационных нагрузок от транспорта и работающего оборудования. Кроме того, распространение водонасыщенных песчаных отложений Тхайбинь вдоль реки Красной предопределяет возможность разжижения песков при сильных землетрясениях. Следовательно, необходимо обратить внимание на устойчивость зданий и сооружений, расположенных вблизи этих зон. Несколько архитектурно-исторических сооружений находится зоне повышенной сейсмической активности: Ханойская флаговая башня (F), Ханойский кафедральный собор (T), Доанмон ворота (V) (см. рисунок 2.3).

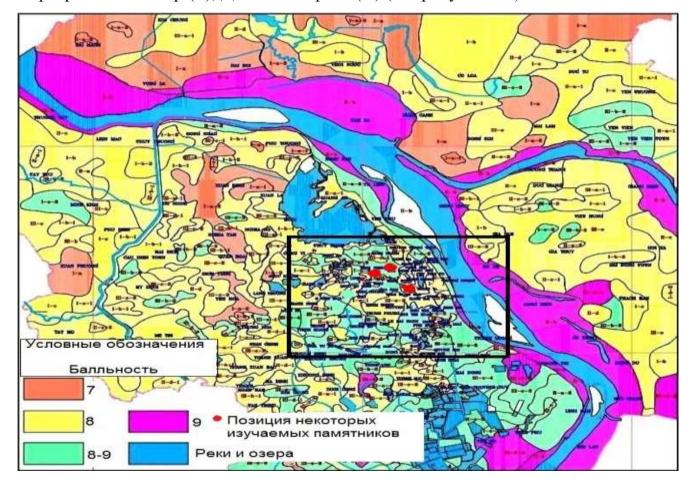


Рисунок 2.3 — Расположение изучаемых памятников на схеме сейсмического микрорайонирования территории города Ханоя и его окрестностей (масштаб 1: 25 000)

2.2 Специфика геолого-литологического разреза и гидрогеологических условий Ханоя

2.2.1 Особенности геолого-литологического разреза Ханоя

В пределах территории Ханойской области коренные породы, занимающие около 100 квадратных километров ее площади, выходят на поверхность в северной части Ханоя (в уезде Шокшон) [55, 94,127, 130]. На остальной площади Ханойской области, в том числе исторического центра Ханоя, распространены отложения различного возраста: триасового, юрского, мелового и неогенового, завершают разрез четвертичные образования различного генезиса и литологического состава.

Докембрийские кристаллические образования фундамента протерозойского возраста (PR) на данной территории залегают на большой глубине. Они вскрыты гидрогеологическими скважинами на западном участке района Донгань и представлены метаморфическими породами свиты Шонгтяй — кварцевыми гнейсами, кварцитами, мраморами и др. Вскрытая мощность более 83,5 м. Общая мощность этой свиты достигает более 1000 м [94, 130].

Дочетвертичные образования мезозойского возраста в пределах территории Ханойской области включают свиты Хонланг (T_2kl), Нахуат (T_2nk), Хакой ($J_{1-2}hc$), Тамдао ($J-K_1td$) и Виньбао (N_2vb).

Породы свиты Хонланг (T_2kl) выходят на поверхность в горной части северного и северо-западного района Шокшон. Они представлены терригенными осадочными породами с переслаиванием тонких линз эффузивных пород [94, 127, 130]. Общая мощность свиты составляет около 750 м.

Непосредственно на породах свиты Хонланг (T_2kl) залегает осадочная толща свиты Нахуат (T_2nk), присутствие которой отмечается на северных и северозападных участках района Шокшон, в горах Дэн, Ванг, Чанчим и др. Нижняя подсвита Нахуат (T_2nk_1) характеризуется наличием песчаников, алевролитов и аргиллитов с ритмичным строением. Цвет терригенных отложений жёлто-серый и светло-розовый, иногда с фиолетово-серыми и коричнево-серыми оттенками.

Верхняя подсвита (T_2nk_2) — песчаники с переслаиванием глин и алевролитов. Общая мощность свиты Нахуат достигает 940 м [127, 130].

В пределах территории Ханойской области породы свиты Хакой ($J_{1-2}hc$) выходят на поверхность на небольшой площади на участках Кимань, Танзан и Хьенлыонг района Шокшон. Породы свиты Хакой представлены гравелитами, грубо- и крупнозернистыми песчаниками и алевролитами с переслаиванием тонких слоев глин общей мощностью более 100 м.

Породы свиты Тамдао (J- K_1td) выходят на поверхность лишь на небольших площадях (примерно на 1 кв. км) на участках Намкыонг и Хьенлыонг района Шокшон [127, 130]. Они представлены темно-серыми порфировыми риолитами и риодацитами, иногда в них присутствует пирит.

В пределах Ханойской области породы свиты Виньбао (N_2vb) вскрыты скважинами в южной и юго-восточной частях района Донгань, залегают нередко на глубинах более 77 м, а на участке Каузьен — более 40 м. Породы свиты Виньбао представлены конгломератами, гравелитами и толщей переслаивания песчаников и алевролитов, имеют серую окраску. Мощность этих отложений 270-350 м. Породы свиты Виньбао сформировались в результате аккумуляции осадочного материала в прибрежно-морском регионе в плиоценовое время [9, 52, 127].

Четвертичные отложения развиты на площади около 800 квадратных километров территории Ханойской области, в том числе в пределах территории города Ханоя [127]. Они характеризуются разным составом: от галечников до глинистых пород различного генезиса. Среди них выделяют аллювиальные (а), аллювиально-пролювиальные (ар), морские (m), озерные (l), озерно-болотные (lb) отложения и др. Положение инженерно-геологических, гидрогеологических разрезов и скважин показано на рисунке 2.4. Время формирования четвертичных отложений - ранний плейстоцен - поздний голоцен. Необходимо также подчеркнуть, что четвертичные отложения относятся к основным породам, изучаемым в целях проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений на территории города Ханоя и его окрестностей.

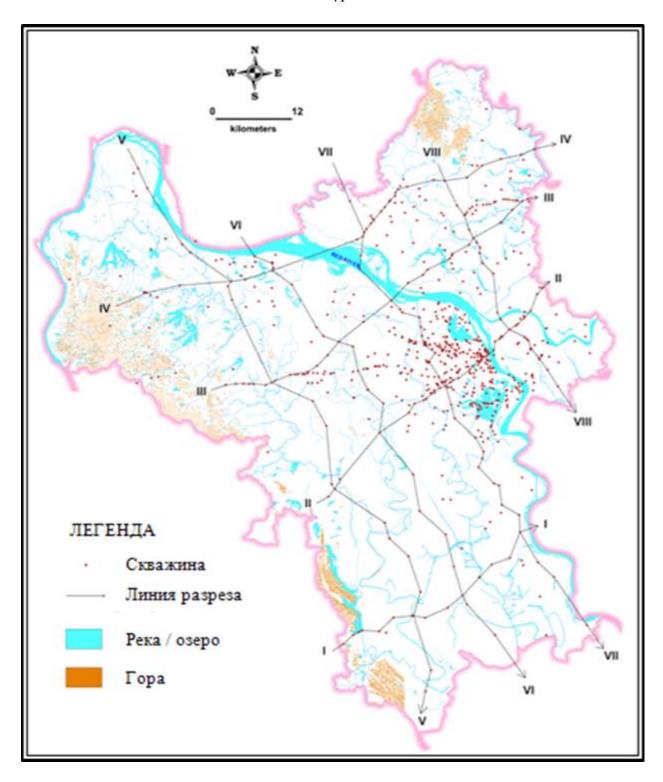


Рисунок 2.4 - Расположение скважин и линий инженерно-геологических и гидрогеологических разрезов на территории г. Ханоя

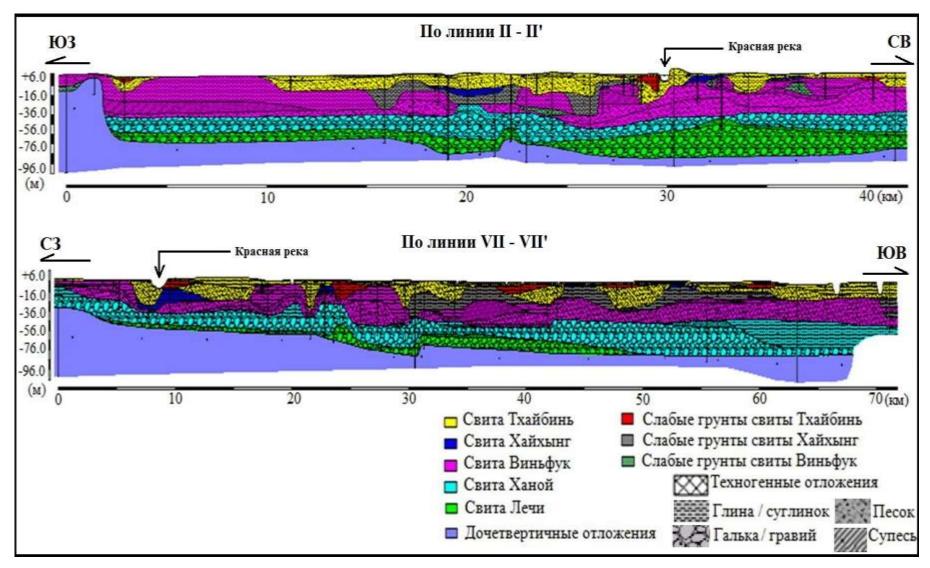


Рисунок 2.5 - Геологический разрез четвертичных отложений на территории города Ханоя по различным линиям (Hryeн Xи Фыонг и др.)

Результаты недавних геологических исследований показали, что в четвертичном периоде рассматриваемой территории произошло 5 циклов формирования различных отложений. Соответственно выделено 5 свит: Лэчи (aIlc), Ханой ($a,apII-III^1hn$), Виньфук ($a,l,lbIII^2vp_{1,2,3}$), Хайхынг ($lb,m,bIV^{1-2}hh_{1,2,3}$) и Тхайбинь ($a,alb,aIV^3tb_{1,2}$) (рисунок 2.5). Общая мощность этих отложений на территории города может достигать 120 м и до 213 м - на территории Северной равнины Вьетнама [127].

Отложения свиты Лэчи (allc) представляет собой аллювиальные образования раннего плейстоцена, которые не выходят на дневную поверхность. Они широко распространены на западе, юге, юго-востоке и в центральной рассматриваемой территории. Глубина залегания кровли этой свиты варьируется от 45 м до 70 м, ее подошва несогласно залегает на плиоценовых отложениях свиты Виньбао. Общая мощность свиты составляет 25 – 30 м. Снизу-вверх отложения свиты Лэчи разделены на две части (толщи). Нижняя толща представлена преимущественно галькой, гравием, средне- и мелкозернистыми песками с прослоями и линзами супеси, серого и буро-серого цвета мощностью до 25 м, верхняя – суглинками и супесями, иногда с включениями песков, жёлтосерыми и чёрно-серыми, мощностью 0.2 - 4.5 м.

К свите Ханой отнесены породы, которые сформировались в период среднего - начала позднего плейстоцена. По генезису они классифицируются как $(a,ap \coprod - \coprod^{1} hn),$ аллювиальные аллювиально-пролювиальные образования распространенные Ханойской области. повсеместно на территории поверхность они выходят в пределах участков Вэлинь, Миньчи, Миньфу, Фулинь, Хонгки района Шокшон (на севере города). На изучаемой территории свита Ханой перекрыта четвертичными отложениями более позднего возраста – от позднеплейстоценового до современного. Мощность свиты Ханой в пределах рассматриваемой территории может достигать 34 м.

В районах Донгань, Тыльем, Жалам, Тханьчи и городских районах Ханоя кровля пород свиты Ханой залегает на глубине от 35 м до 69 м [127]. В разрезе

свиты Ханой перечисленных районов выделяют два типа отложений: первый – представлен галькой, гравием, грубозернистыми песками, иногда с включениями пылеватых песков, мощностью 17 – 30 м, желто-серой окраски; второй – супеси, тяжелые суглинки, иногда с включениями глины, желто-серого и желтого цвета, мощностью 2- 4 м.

 $(a,l,lbIII^2vp_{1,2,3})$ Позднеплейстоценовые Виньфук отложения свиты повсеместно распространены на изучаемой территории и выходят на поверхность на больших площадях в районе Донгань, а также на участках Конхуэ, Суандинь (района Тыльем), Нгьеадо (района Каужай) и др. Для них характерны пестрый цвет в верхней части толщи. Пёстроцветность верхней ее части и латеризованная поверхность указывают на то, что породы поднимались выше уровня воды и долго находились на суше ПОД воздействием процессов химического выветривания.

В районе Донгань верхняя часть свиты Виньфук обнажается в северной части долин рек Красной и Дуонг. В районах Таухо и Тыльем отложения этой свиты выходят на поверхность в западной части озера Западного, или они залегают на глубине 5 — 10 м (район Каужай). В центральной части города и в районах Тханьчи и Жалам свита Виньфук полностью покрыта более молодыми отложениями. В южном направлении наблюдается погружение кровли отложений свиты Виньфук. Подземный рельеф ее кровли неровный с эрозионными ложбинами находится на различных глубинах: от 6 до 10 м в центре города, 10 — 17 м в северной части района Тханьчи и более 20 м в южной его части [23, 116, 127]. Общая мощность отложений этой свиты изменяется в широких пределах, от 10 до 40 м.

В разрезе свиты Виньфук выделяют следующие генетические типы пород. Аллювиальные отложения ($a III^2 v p_1$) широко распространены на рассматриваемой территории. Снизу вверх по разрезу выделяют нижнюю толщу, залегающую несогласно на аллювиальных отложениях свиты Ханой ($a,apII-III^1 hn$). Она представлена гравием, мелкозернистыми гальками и песками с включениями

пылеватых разностей, желто-серого цвета, мощностью 3-15 м. Выше залегает толща желтых, буро-серых супесей, суглинков или глин с песками, иногда с прослоями и линзами гравия или песков, с косоугольной слоистой текстурой, мощностью 3-7 м.

Озерные отложения (III^2vp_2) представлены преимущественно бело-серыми каолинитовыми глинами или суглинками желтого и серого, иногда тёмно-серого цветов. По площади и глубине распространения озерные отложения имеют однородно состав и свойство. Их общая мощность составляет от 2 до 10 м.

Озерно-болотные отложения ($lb III^2 v p_3$) мощностью 1–8 м представлены темными глинами, темно-бурыми суглинками, торфами, иногда с линзами гравия и песка, реже органическими грунтами.

К плейстоценовым аллювиальным и аллювиально-пролювиальным отложениям свит Лэчи, Ханой и Виньфук приурочен водообильный водоносный горизонт плейстоцена (Qp), который используется для водоснабжения города и его окрестностей.

Необходимо подчеркнуть, что отложения свит Виньфук и Ханой играют большую роль в строительстве на территории города Ханоя. С 70-х годов прошлого века они используются в качестве несущего слоя для зданий и сооружений с фундаментами неглубокого заложения в пределах зон их выхода на дневную поверхность. В большинстве случаев эти отложения служат несущим слоем для свайных фундаментов на участках, где они перекрыты более поздними образованиями.

В ранне- и среднеголоценовом периоде на изучаемой территории формировались озерно-болотные, морские и болотные отложения. В 1978 году Хоанг Нгок Ки объединил их в свиту Хайхынг (lb,m,bIV $^{1-2}hh_{1,2,3}$). Озерно-болотные отложения (lbIV $^{1-2}hh_1$) имеют локальное распространение на рассматриваемой территории, залегают непосредственно на пестрой неровной выветренной поверхности отложений свиты Виньфук и полностью перекрываются более молодыми отложениями. Породы представлены суглинками и глинами серого и тёмно-

серого цветов с включениями органических (растительных) остатков, иногда в них встречается торф, приуроченный к верхней части разреза. Мощность этих отложений варьирует в широких пределах, от 2 до 6 м, реже до 25м. Торфяные образования свиты Хайхынг имеют небольшую мощность 0.2 - 0.5 м, местами 0.5- 1 м. Торф состоит из листьев, обрывков и ветвей малой степени разложенности, обладает повышенной зольностью (12-15%). Торфы распространены в югозападной, восточной, юго-восточной и южной частях города, и на локальных участках центральной части города. Морские отложения $(mIV^{1-2}hh_2)$ довольно широко развиты на территории Ханоя в районах: Тыльем, Жалам, Тханьчи, а также в южных и юго-восточных частях города. В центральной части города они распространены на отдельных участках. Морские отложения представлены суглинками с голубовато-серой окраской, отличаются глинами, иногда однородным составом и массивной текстурой, общей мощностью 0,5 - 4 м. Они перекрываются отложениями свиты Тхайбинь. Болотные отложения $(bIV^{1-2}hh_3)$ распространены на небольших участках в поселке Лохэ (район Донгань – пригород Ханоя) и выходят на поверхность шириной 100 – 200 м, длиной около 1 км. Породы представлены суглинками с песками и торфом (0,2 - 1,0 м), мощностью 0,5 - 2,0 м.

Необходимо также подчеркнуть, что в верхней части разреза территории города залегают перечисленные слабые водонасыщенные отложения голоцена с органическими остатками свиты Хайхынг, которые относятся к грунтам малой степени литификации, что создает большие трудности в процессе ведения строительных работ и обеспечения эксплуатационной надежности сооружений.

Современные отложения свиты Тхайбинь (a,alb, $aIV^3tb_{1,2}$) повсеместно распространены на территории города Ханоя, в пределах районов Тыльем, Тханьчи, Жалам и центральной части города, а также локально развиты в пределах района Донгань. Общая мощность свиты может достигать 46 м. Отложения свиты Тхайбинь разделены на две подсвиты.

- 1. Нижняя подсвита представлена аллювиальными и аллювиально-озерноболотными отложениями $(a,albIV^3tb_1)$, которые распространены во внутренней части системы оградительных дамб рек Красной и Дуонг общей мощностью 20 – 35 м. Породы обнажаются преимущественно на поверхности в районах Тыльем, Донгань, Жалам, центральной части и простираются в южном и юго-западном направлении, то есть занимают всю территорию города. В местах, где они залегают непосредственно на озерно-болотных отложениях или морских отложениях средне-нижнего голоцена (свита Хайхынг), их общая мощность небольшая – 2-5 м. На участках, где они прослеживаются на озерных или аллювиальных отложениях верхнего плейстоцена, их мощность возрастает до 20 м, местами более. Отмечается закономерность изменения крупности фракций зерна аллювиальных отложений по разрезу: в нижней части преобладают серые, серо-бурые средне-, мелко- и тонкозернистые пески, иногда с включениями гравия и растительных остатков, мощностью от 1 до 8 м, реже 10 – 15 м; в верхней части- суглинки, супеси, иногда глины, серого и тёмно-серого цветов, мощностью 3 – 18 м, реже 26 м [127]. Аллювиально-озерно-болотные отложения свиты Тхайбинь $(alb IV^3 tb_1)$ распространены на локальных участках, представлены суглинками, глинами или супесями, иногда с включениями песка и органических остатков мощностью от 1 - 3 м, местами более.
- 2. Верхняя подсвита сложена аллювиальными отложениями ($a\text{IV}^3tb_2$), залегающими вне системы защитных дамб рек Красной, Дуонг и др. Они относятся к отложениям русла и поймы рек. Общая их мощность достигает 15 м. Отложения этой подсвиты подразделены на две части: нижняя представлена бурыми, серо-желтыми песками, с включениями пылеватых песков и глин, иногда гравием, мощностью 3 10 м; верхняя часть светло-коричневые суглинки и супеси, иногда с обломками пресноводных раковин мощностью от 2 до 5 м.

2.2.2 Особенности гидрогеологических условий Ханоя.

Подземное пространство территории города Ханоя характеризуется сложными гидрогеологическими условиями, а именно наличием четырех

поэтажно расположенных водоносных горизонтов: горизонт грунтовых вод в техногенных отложениях; голоценовый (Qh), плейстоценовый (Qp) и водоносный горизонты в коренных отложениях. Особо следует выделить водоносные горизонты Qh и Qp (рисунок 2.6), которые определяют развитие фильтрационных деформаций, оказывают агрессивное воздействие на строительные материалы, определяют водопритоки в котлованы и подземные выработки и др.

Гидродинамический водоносных режим горизонтов определяется природными и техногенными факторами. Среди техногенных факторов значение приобретает изменение интенсивности эксплуатации водоносных горизонтов для различных целей, активизация процессов подтопления территории города при водопроводящих Трансформация И водоотводящих систем. гидрохимического режима водоносных горизонтов, особенно горизонта грунтовых вод определяется наличием поверхностных и приповерхностных источников загрязнения.

Существенное влияние на гидродинамический и гидрохимический режимы водоносных комплексов оказывает использование подземного пространства города Ханоя, что было отражено в работах Буй Хок, Нгуен Ван Лам, Нгуен Тыонг Вй, Нгуен Хи Фыонг, Фам Ван Ти, Ле Чонг Тханг и др., посвященных классификации режимообразующих факторов, в том числе действующих в процессе строительства и эксплуатации сооружений, а также деформациям земной поверхности за счет понижения уровня подземных вод.

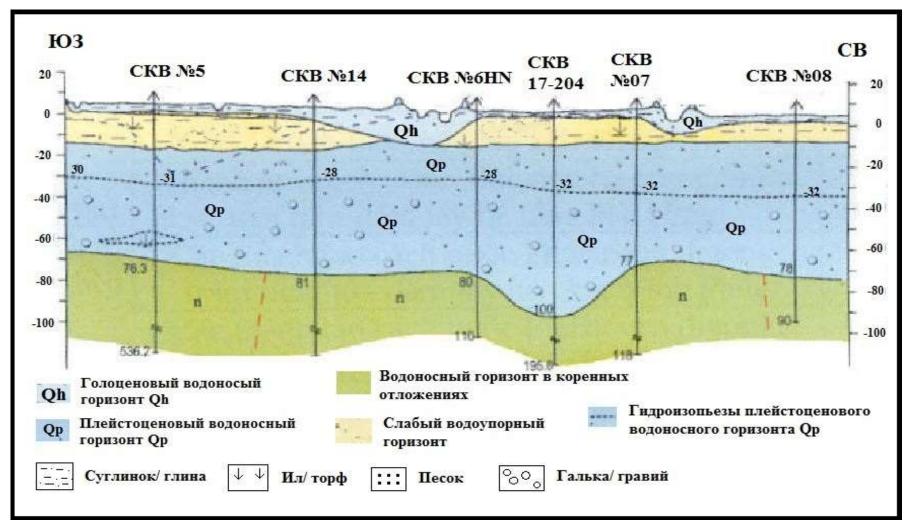


Рисунок 2.6 - Гидрогеологический разрез (Нгуен Ван Дан, 2010 г.)

Водоносный комплекс голоцена (Qh) имеет развитие в районах южной части долины реки Красной и отсутствует в северных районах города. Водовмещающими грунтами служат супеси, средне-, тонко- и мелкозернистые пески, иногда с включениями мелкого гравия и дресвы (свита Тхайбинь $aIV^3tb_{1,2}$). С поверхности отложения перекрываются глинами и суглинками свиты Тхайбинь $(a, alb IV^3 tb_1)$. Вдоль рек Красной и Дуонг они часто выходят на поверхность или развиты на дне рек. Мощность отложений горизонта изменяется в широких пределах от 1-9 м до 15-20 м, реже до 30 м. Мощность и глубина залегания отложений горизонта Qh имеют тенденцию постепенного увеличения в южном направлении. На рисунке 2.7 показаны распространение и глубины подошвы водовмещающих пород этого горизонта. Водообильность имеет изменчивый характер. Коэффициент водопроницаемости составляет от 20 до 790 м²/сутки, чаще $200 - 400 \text{ м}^2$ /сутки. Удельный дебит водозаборных скважин изменяется от 1до 20,8 л/с. В основном воды этого горизонта безнапорные, реже локальные напорные. Положение статического уровня водоносного горизонта зависит от обшего атмосферных количества осадков. Гидродинамический режим водоносного горизонта Qh четко соотносится с изменением уровня реки Красной (рисунок 2.8). Кроме того, этот горизонт Qh гидравлически связан с водоносным горизонтом плейстоцена (Qp) через «гидрогеологические окна» [74, 125]. Тип горизонта Oh - чаще гидрокарбонатный-кальциево-натриевый гидрокарбонатный-натриево-кальциевый. С 1995 по 2010 гг. уровень подземных вод снижается ежегодно в среднем на 3,0 м. Гидродинамическая характеристика водоносного горизонта Qh зависит от годовых атмосферных осадков и уровня воды реки Красной. Минимальный уровень воды отмечается в марте (сухой сезон), а максимальный - в августе, совпадает с подъемом уровня воды реки Красной. Амплитуда колебания уровня грунтовых вод зависит от расслоения до реки Красной: по мере удаления от реки наблюдается снижение величины амплитуды. Из-за небольшого запаса воды, наряду с высоким уровнем загрязнения, водоносный горизонт Qh играет незначительно роль для водоснабжения.

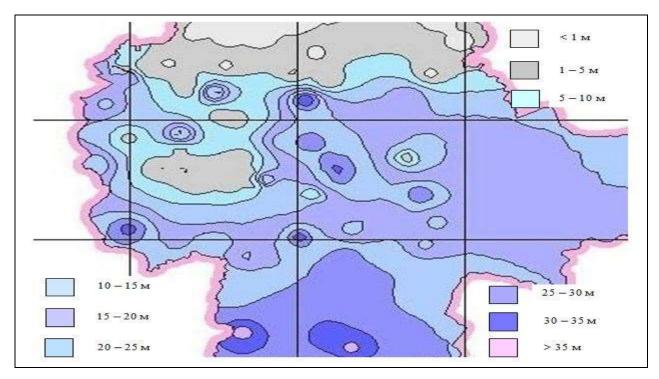


Рисунок 2.7 – Схема распространения и глубины подошвы голоценового водоносного горизонта (Qh) в городе Ханое и его окрестностях (по данным До Ван Бинь, 2007 г.)

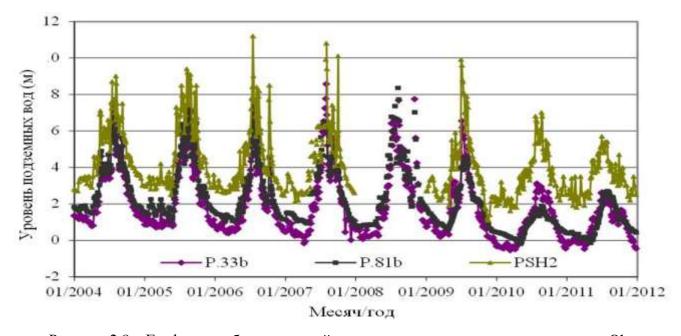


Рисунок 2.8 – График колебания уровней подземных вод водоносного комплекса Qh в скважинах P8b, P33b и уровня реки Красной PSH2 [133]

Повсеместное распространение в городе имеют плейстоценовые аллювиальные и аллювиально-пролювиальные отложения (свит Лэчи - aIlc, Ханой - a,apII-

 $\mathrm{III}^1 hn$ и Виньфук - $a\mathrm{III}^2 vp_1$), представленные водонасыщенными крупнообломочными образованиями (галькой и гравием), песками. К этим отложениям напорный водоносный комплекс плейстоцена приурочен (Qp), который используется для водоснабжения города Ханоя. Напорный водоносный горизонт (Qp) состоит из двух горизонтов, которые обозначаются, как Qp^2 и Qp^1 . Литологический состав первого водоносного комплекса (Qp²) в основном представлен песками, супесями, песками с гравием, мощностью от 1,0 м до 55,7 м. Литологический состав второго водоносного комплекса (Qp^1) в основном состоит из гальки и гравия с песками и гравия с песками, мощностью от 14,0 м до 45,0 м. Основным источником питания водоносного горизонта является река Красная и атмосферные осадки (рисунок 2.9). Мощность водоносного горизонта колеблется от 10 до 31 м в северной и от 35 до 70 м в южной частях города. Водоносный комплекс Ор имеет величину напора от 9 до 23 м и высокую водообильность [56, 77, 94, 127]. Коэффициент водопроводимости грунтов составляет от 50 до 2300 м²/сутки, коэффициент фильтрации грунтов горизонта – от 20 до 68 м/сутки. Удельный дебит водозаборных скважин изменяется от 1 до 40 л/с.

Недалеко от рек Красной и Дуонг гидродинамический режим водоносного комплекса плейстоцена (Qp) четко совпадает с изменением уровня воды в реке (рисунок 2.9, 2.10). Воды обладают относительно хорошим качеством. Химический состав вод — бикарбонатный кальциевый-натриевый. Общая минерализация не превышает 750 мг/дм³. Гидродинамическая характеристика зоны вдоль реки Красной водоносного горизонта Qp в значительной мере зависит от горизонта Qh и уровня воды реки Красной, но в центральном и южном районах реки Красной колебание уровня воды находится под влиянием интенсивного отбора воды для водоснабжения. Амплитуда колебания уровня воды составляет 3.8-8.14 м в год.

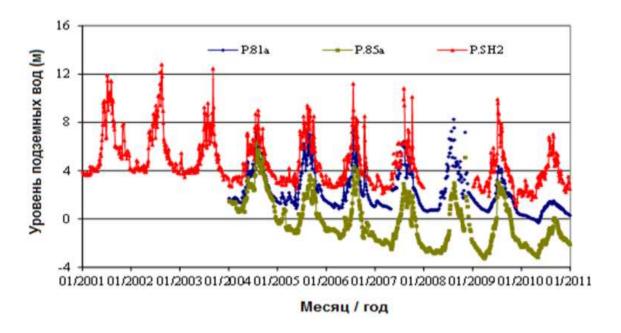


Рисунок 2.9 – График колебания уровней подземных вод водоносного комплекса Qp в скважинах P81a, P85a и уровня реки Красной PSH2 [133]

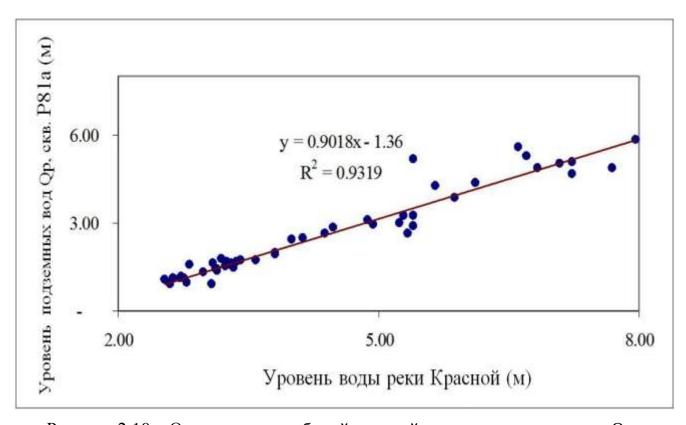


Рисунок 2.10 – Отношение колебаний уровней подземных горизонтов Qp (скв.Р81a) и реки Красной

Контаминация грунтовых вод в Ханое начала изучаться только с 90-х годов XX века. Ханой имеет плотную речную, озерную систему со средней плотностью 0,7 ÷ 1 км/км². Большинство канализационных систем города построено 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. Согласно наблюдениям в водоемы и водотоки поступаются десятки тысяч кубических метров сточных вод в сутки. Бессточные бассейны накопителей стоков можно рассматривать как постоянные источники загрязнения грунтовых вод.

За счет нисходящего перетекания грунтовых вод в зонах эрозий русла и берегов реки Красной, а также в зонах тектонических разломов существует реальная возможность загрязнения нижележащих водоносных горизонтов при условии, что зеркало грунтовых вод расположено выше их пьезометрической поверхности.

Необходимо подчеркнуть, что влияние на развитие экзогенных процессов и устойчивость сооружений двух мощных водоносных горизонтов будет проявляться в двух аспектах: гидрохимическом и гидродинамическом. Особенность эксплуатации подземных вод способствует интенсификации загрязнения, контаминации исторического центра города. В основном источнике водоснабжения - плейстоценовом водоносном комплексе Qp - отдельный учет в пределах изучаемой территории имеют восемнадцать водозаборов с суммарной мощностью добычи до 500000 м³/сутки в 2016 году, что оставляет выше 1/3 потребного количества воды для водоснабжения Ханоя. Водоносный комплекс Ор тесно связан с поверхностными водами, голоценовым водоносным комплексом Qh через «гидрогеологические окна» и зонами вдоль рек Красной и Дуонг. Длительная и интенсивная эксплуатация подземных вод комплекса Ор приводит к снижению напоров и перетеканию загрязненных грунтов, а также речных вод в водоносный горизонт, используемый для водоснабжения на комплексные горизонты Qp на глубине десятков метров. Трансформация соединений железа влечет за собой деградацию структурных связей за счет растворения и выноса цементирующих веществ, диспергацию грунтов, повышение их гидрофильности, уменьшение фильтрационной способности, что переводит эти грунты в категорию более слабых и деформируемых, а также медленно консолидирующихся.

Химический состав подземных вод выражает характерные загрязнения, определяемые высоким содержанием NH_4^+ , Cl^- , величиной ХПК и двухвалентного железа (таблица 2.2). Результаты анализа показали, что содержание ионов NO_2^- и NO_3^- намного меньше, чем содержание NH_4^+ , а количество двухвалентного железа значительно превышает содержание трёхвалентного железа, что свидетельствует о выраженной анаэробной обстановке. Величина Еh водоносных горизонтов в пределах изучаемой территории изменяется от -20 до -150 mV. Содержание HCO_3^- таких горизонтов колеблется в широких пределах - $103-517 \text{ мг/дм}^3$, а CO_2 в некоторых местах центра города достигает $48-108 \text{ мг/дм}^3$, то есть местами развита активная углекислая коррозия бетонов и цементных растворов. Кислые воды агрессивны по отношению к стальным конструкциям.

Создание анаэробной обстановки в подземном пространстве за счет природных и техногенных источников поступления органических соединений способствует процессу биохимического газообразования малорастворимых газов - метана [79, 80]. Накопление в дисперсных грунтах малорастворимых газов приводит к появлению газодинамического давления, что вызывает разуплотнение песчаноглинистых отложений, способствуя переходу песков в состояние плывунов, а в глинистых разностях – их значительному разуплотнению, снижению прочности, возрастанию тиксотропных явлений и изменению НДС.

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 приводит к развитию биокоррозионных процессов строительных материалов подземных конструкций за счет микроорганизмов различных физиологических групп.

В настоящее время в Ханое для водоснабжения используются в основном водоносные горизонты нижнего и верхнего плейстоцена (Qp). Объем добычи под-

земных вод Ханоя достигает 900000 м³/сутки, что приводит к образованию мощной депрессионной воронки в водоносном горизонте. В результате мониторинга оседания земной поверхности была зафиксирована неравномерность развития деформаций.

Понижение пьезометрической поверхности водоносного комплекса Qp приводит к оседанию земной поверхности. Результаты мониторинга за оседанием поверхности выявили неравномерность скорости оседания в районе Бадинь, на участке Тханьконг зафиксирована самая высокая скорость оседания, достигающая 41,4 мм/год.

Ta	Таблица 2.2 – Химический состав грунтовых вод исторического центра Ханоя										
Элементы	Ед. изм.		Номера скважин								
анализа	Ед. изм.	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
\mathbf{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
HCO3.	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
Перманганатная окисляемость	$M\Gamma O_2/д M^3$	12,2	11,2	11,6	16,2	19,2	-	-	-	-	-
СО₂агрес	мг∕дм³	-	-	-	-	-	41,8	-	-	-	-
Минерализация	мг/дм ³	256	340	370	383	325	652	780	521	523	457
рН	-	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

2.3 Анализ состава, состояния и физико-механических свойств грунтов в разрезе подземного пространства Ханоя

Одним из наиболее опасных инженерно-геологических процессов на территории Ханоя является оседание дневной поверхности при снижении напоров подземных вод, приуроченных к отложениям четвертичного возраста и используемых для водоснабжения столицы [73, 74].

В связи с этим целью данной работы является разработка классификации грунтов наряду с раскрытием такого понятия как «слабые грунты», для которых характерны свои инженерно-геологические особенности.

В практике инженерной геологии, геотехники и механики грунтов широко используется понятие «слабый грунт». Известно, что во Вьетнаме для раскрытия указанного понятия действует несколько стандартов, регламентирующих классификацию слабых грунтов. Так, по мнению доцента Нгуен Хи Фыонг, к слабым грунтам относятся сильносжимаемые отложения, характеризующиеся низкой несущей способностью при использовании их в качестве основания сооружений типового строительства. Как известно, в настоящее время расчеты оснований сооружений выполняются по двум группам предельных состояний, а именно, по деформациям (второе предельное состояние) и несущей способности (первое предельное состояние) [74, 73, 123]. Если грунт, рассматриваемый в качестве основания для ответственных сооружений различного назначения, по физико-механическим показателям не соответствует требованиям вышеуказанных двух групп предельных состояний, то он относится к слабым грунтам. По мнению автора Нгуен Хи Фыонг, в качестве основных показателей, которые позволят раскрыть определение «слабые грунты» и создать их классификацию, могут быть использованы модуль деформации (E_0) и расчетное сопротивление (R_0) грунтов. В связи с этим к слабым грунтам будут относиться отложения, характеризующиеся следующими значениями указанных показателей: расчетное сопротивление R_0 менее 100 кПа, а модуль общей деформации грунта Е₀ будет составлять менее 5 МПа. При рассмотрении слабых грунтов в качестве основания для средне- и высокоэтажных зданий использование фундаментов неглубокого заложения должно быть запрещено. Помимо этого, такие грунты не могут служить несущим слоем для свайных фундаментов, поскольку легко изменяют своё состояние и физико-механические свойства, как под действием динамических нагрузок, так и при длительной контаминации подземной среды соединениями различной природы.

К слабым грунтам обычно относятся: сапропели, торф, заторфованные грунты, глинистые отложения (глины, суглинки, супеси) в текучем или текучепластичном состоянии с молекулярным типом структурных связей.

Слабые грунты характеризуются следующими показателями:

- малой степенью литификации;
- •низкой прочностью структурных связей;
- содержанием органических остатков;
- высокой пористостью ($n \ge 50\%$) и коэффициентом пористости (e > 1);
- •низкой прочностью: величиной удельного сцепления Си менее 15 кПа и углом внутреннего трения ϕ меньше 10° ;
- ullet высоким коэффициентом компрессионной сжимаемости m > 1 МПа $^{-1}$ и низким модулем деформации $E_0 < 5$ МПа;
- •низкими значениями коэффициента консолидации Cv, что предполагает длительные сроки протекания указанного процесса;
 - наличием реологических свойств.

На основании выполненных инженерно-геологических исследований территории города Ханой в качестве первичной единицы рассмотрения разреза было предложено понятие «слой». В каждом слое количество образцов с одинаковым гранулометрическим составом должно достигать 80-90%; оставшиеся случаи включают в себя грунты, гранулометрический состав которых отличается от общей массы.

Самым важным отличием слоев грунта является степень их сжимаемости и несущая способность, для количественного описания которых используется модуль деформации E_0 и расчетное сопротивление грунтов R_0 (табл. 2.3).

В соответствии с данными таблицы 2.3, четвертичные отложения на территории города Ханой могут быть разделены на свиты, пачки и слои грунта [57, 73, 123].

Четвертичные отложения в разрезе территории Ханоя разделены на 24 слоя (таблица 2.4). Для Ханоя разработана специальная классификация грунтов как основание для сооружений различного назначения по предложенным показателям R_0 и E_0 .

Слои нумеруются 1, 2, 3, 4, 5 и т.д. и описываются различными параметрами: название, состав, строение, цвет, состояние, символ для оценки условий строительства сооружений на таких грунтах.

Таблица 2.3 - Классификация грунтов по степени сжимаемости и несущей способности для типового строительства

Название грунта и его символ	Нормативное значение R ₀ и
	E_0
Слабый грунт – A_1	R ₀ ≤ 50 кПа
(с низкой несущей способностью и очень сильносжимаемый)	$E_0 \le 2 M\Pi a$
Относительно слабый грунт – А2	$50 < R_0 < 100$ кПа
(с относительной низкой несущей способностью и	$2 < E_0 \le 5 \text{ M}\Pi a$
сильносжимаемый)	
Относительно обыкновенный грунт – B ₁	$R_0 = 100 - 150 \text{ к}\Pi a$
(с несколько повышенной несущей способностью и	$E_0 = 5 - 10 \text{ M}\Pi a$
сжимаемостью)	
Устойчивый грунт – B_2	$R_0 = 150 - 200 \ \kappa \Pi a$
(с повышенной несущей способностью и относительно	$E_0 = 10 - 15 \text{ M}\Pi a$
слабосжимаемый)	
Достаточно устойчивый грунт – С	$R_0 = 200 - 300 \ \kappa \Pi a$
(с повышенной несущей способностью и средней	$E_0 = 15 - 20 \text{ M}\Pi a$
сжимаемостью)	
Устойчивый грунт – D	$R_0 = 300 - 500 \ \kappa \Pi a$
(с хорошей несущей способностью и пониженной	$E_0 = 20 - 50 \text{ M}\Pi a$
сжимаемостью)	
Грунт с повышенной устойчивостью – Е	R ₀ ≥ 500 кПа
(с малой сжимаемостью)	$E_0 > 50 \text{ M}\Pi a$

- I. Техногенные отложения (tH)
- Слой 1: Насыпные и намывные грунты пески, суглинки и супеси с примесью отходов как органического, так и неорганического происхождения.
 - II. Верхняя пачка свиты Тхайбинь (aIV³tb₂ ⁿ)
- Слой 2: Суглинистый илоподобный грунт дна озер и прудов с предельно малой степенью литификации A_1 .
- Слой 3: Суглинок малой степени литификации, перемешанный с супесями, коричневый, розовато-коричневый, мягкопластичный B_1 .
- Слой 4: Мелко- и тонкозернистый водонасыщенный песок, местами с гравием, буровато-серый, рыхлого сложения B_1 .
 - III. Нижняя пачка свиты Тхайбинь (alb,aIV^3tb_1)
- Слой 5: Глина желтовато-серая, туго и мягкопластичной консистенции B₂.
- Слой 6: Суглинок желтовато-серый, коричневый, туго и мягкопластичной консистенции B_2 .
- Слой 7: Водонасыщенный суглинок с органическими остатками, серокоричневый, текучепластичный текучий A_2 .
- Слой 8: Суглинок, переслаивающейся с супесями и песками, серокоричневый, мягкопластичный текучепластичный B_1 .
- Слой 9: Мелко- и тонкозернистые водонасыщенные пески, зеленоватосерые, средней плотности — B_2 .
- Слой 10: Суглинок, переслаивающейся с супесями и местами с песками, серо-коричневый, мягкопластичный B_1 .
 - IV. Верхняя пачка свиты Хайхынг (ambIV $^{1-2}hh_3$)
- Слой 11: Водонасышенный суглинок с органическими остатками, темносерый, текучепластичный текучий A_2 .
 - V. Средняя пачка свиты Хайхынг $(mIV^{1-2}hh_2)$
 - Слой 12: Глина, зеленовато-серая, тугопластичная мягкопластичная B_1 .
 - VI. Нижняя пачка свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_I$)

Слой 13: Суглинистый илоподобный грунт предельно малой степени литификации с органическими остатками, темно-серый — A_1 .

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

Слой 14: Глина светло-серая, желтовато-серая, тугопластичная – В2.

Слой 15: Суглинок коричневый, желтый, красный, полутвердый – тугопластичный – С.

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

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

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

Слой 17: Супесь (суглинок), переслаивающаяся с суглинками или песками, желтовато-серая, пластичная — B_2 .

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

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

X. Свита Ханой (a,apII-III 1hn)

Слой 20: Суглинок с включением органических остатков, серо-коричневый, мягкопластичный — B_1 .

Слой 21: Супесь с включениями гравия, серая, пластичная – В2.

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

XI. Свита Лечи (aIlc)

Слой 23: Супесь, местами с гравием, серая, коричная, пластичная -С.

Слой 24: Галечно-гравийные отложения, мелко- и крупнозернистые с суглинками, коричневато-серые, желтовато-серые, очень плотные – Е.

Таблица 2.4 - Обобщенные физико-механические свойства четвертичных отложений на территории г. Ханоя [123]

Слой	W	ρ	ρ_{s}	e	S_{r}	I_p	I_{L}	φ	c	M _{0,1-0,2}	$E_{0\ (0,1-0,2)}$	R_0	Cv (0,1-0,2)	OB	Группа	Название грунта
	%	г/см ³	г/см ³	-	-	%	1	град.	кПа	МПа ⁻¹	МПа	кПа	10 ⁻³ см ² / сек	%		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	55,8	1,64	2,60	1,470	0,99	16,9	1,12	5°33′	7,0	0,999	1,6	49,1	-	-	A1	Суглинок
3	32,6	1,79	2,70	1,000	0,88	15,6	0,58	10°32′	16,2	0,408	6,8	117,7	-	-	B1	Суглинок
4	-	-	-	-	-	-	-	25°57′	-	-	7,1	100,0	-	-	B1	Песок
5	32,8	1,85	2,71	0,945	0,94	19,0	0,35	10°43′	28,7	0,357	10,9	166,8	0,419	-	B2	Глина
6	29,1	1,89	2,70	0,844	0,93	14,3	0,37	12°51′	26,3	0,306	11,4	166,8	0,646	-	B2	Суглинок
7	42,6	1,72	2,66	1,205	0,94	14,8	0,89	7°10′	11,8	0,703	3,9	68,7	0,987	5,7	A2	Суглинок
8	31,6	1,82	2,67	0,931	0,90	9,7	0,78	12°50′	14,4	0,398	7,5	107,9	0,641	-	B1	Суглинок
9	-	-	-	-	-	-	-	27°29′	-	-	10,5	127,5	-	-	B2	Песок
10	34,3	1,74	2,66	1,053	0,87	12,1	0,73	10°44′	15,8	0,489	5,3	107,9	0,885	-	B1	Суглинок
11	40,1	1,76	2,68	1,133	0,95	15,6	0,96	6°35′	9,4	0,785	3,3	58,9	0,927	12,2	A2	Суглинок
12	35,1	1,80	2,71	1,034	0,92	18,6	0,47	10°22′	23,7	0,418	8,7	137,3	0,483	5,3	B1	Глина
13	53,3	1,61	2,60	1,476	0,94	15,9	1,26	5°39′	8,9	0,999	1,6	49,1	1,022	9,7	A1	Суглинок
14	30,6	1,87	2,72	0,900	0,92	18,5	0,25	12°50′	30,2	0,265	14,9	176,6	0,670	-	B2	Глина
15	26,6	1,92	2,70	0,780	0,92	13,9	0,28	14°01′	29,8	0,275	14,5	206,0	0,617	-	С	Суглинок
16	36,4	1,76	2,67	1,069	0,91	12,8	0,88	10°40′	11,8	0,540	4,8	88,3	0,847	8,0	A2	Суглинок
17	26,0	1,85	2,68	0,825	0,84	7,5	0,77	15°30′	14,2	0,326	11,3	137,3	0,555	-	B2	Суглинок
18	-	-	-	-	-	-	-	33°39′	-	-	19,4	284,5	-	-	С	Песок
19	-	-	-	-	-	-	-	36°04′	-	-	29,5	363,0	-	-	D	Песок
20	27,3	1,84	2,69	0,861	0,85	10,8	0,59	9°45′	17,9	0,51	6,9	117,7	0,826	-	B1	Суглинок

Продолжение таблицы 2.4

21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,2	176,6	-	-	B2	Суглинок
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>50	>490	-	-	Е	Песок
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15-20	>196	-	-	С	Суглинок
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>50	>490	-	-	Е	Песок
TK1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5-10	100-150	-	-	B1	Песок
TK2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5-10	100-150	-	-	B1	Песок
TK3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5-10	100-150	-	-	B1	Глина

где: W — естественная влажность; ρ — плотность грунта; ρ_S — плотность частиц грунта; е — коэффициент пористости; S_r — степень влажности; I_P — число пластичности; I_L — показатель текучести; ϕ — угол внутреннего трения; с — удельное сцепление; $m_{0,1-0,2}$ — коэффициент сжимаемости; $E_{o(0,1-0,2)}$ — модуль деформации; R_0 — расчетное сопротивление грунта; OB — содержание органических веществ; $C_{v(0,1-0,2)}$ — коэффициент консолидации.

В пределах центральной части Ханоя (включают центральные районы: Хайбачынг, Донгда, Бадинь, Хоанкьем, Тханьсуан, Тайхо, Хоангмай и Лонгбьен) в разрезе выделены четыре слоя слабых грунтов свит Тхайбинь и Хайхынг. Основные показатели физико-механических свойств этих слоев приведены в таблицах 2.5 - 2.8:

Слой 2 - данный слой представляет собой современные осадочные отложения прудов, озер, древних рек; состоит из суглинистого ила, серого, темносерого, с органическими остатками. Данный слой имеет незначительное распространение, в основном, в центральной части города. Грунты слоя 2 распространены в виде прерывающейся полосы в направление Хоанкием -Хайбачынг – Хоангмай, а также в виде небольших зон в микрорайонах Майдинь и Кимлу района Шокшон, Кимчунг района Донгань, Суандинь района Тылием, Зичвонг и Куанхоа района Каузаи, Катлинь и Лангха, Куоктызам района Донгда, Тхачбан района Лонгбиен, Ваннян района Фусуен. Мощность слоя изменяется: от 0,8 до 5,8, максимальная мощность этих отложений отмечается в района Хоанкьем. на небольшой глубине Слой 2 залегает под техногенными отложениями либо выходит на дневную поверхность. На максимальной глубине – 9,8 м слой 2 был встречен в микрорайоне Хангчонг района Хоанкьем. Физикомеханические свойства грунтов слоя 2 приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 2 [123]

No	Поморожани арайотра груштар	Енини	Символ	В	еличина	*
110	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Xn	S	V
1	Естественная влажность	%	W	55,8	18,03	0,32
2	Плотность грунта	Γ/cm^3	ρ	1,64	0,12	0,08
3	Плотность частиц грунта	Γ/cm^3	$ ho_{ m s}$	2,60	0,12	0,04
4	Коэффициент пористости	-	e	1,470	1	-
5	Пористость	%	n	59,5	1	-
6	Коэффициент водонасыщения	д.е	S_{r}	0,99	1	-
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	1	-
10	Показатель текучести	-	I_{L}	1,12	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	5°33'	-	-

Прос	должение таблицы 2.5						
12	Удельное сцепление	кПа	c	7,0	-	-	
12	Vondahamana anggarangan	МПа ⁻¹	$M_{0-0,1}$	1,325	0,05	0,37	
13	13 Коэффициент сжимаемости		$M_{0,1-0,2}$	0,999	0,04	0,41	
14	Модуль деформации	МПа	$E_{o(0,1-0,2)}$	1,6	-	-	
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R_0	49,1	-	-	
16	Количество образцов]	n	52			

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

Слой 7: Слой распространен в долине реки Красной. В южной части реки Красной, слой 7 распространен в центральных районах в виде прерывных полос по направлению северо-запад - юго-восток, начиная от районов Таихо, Каузаи до районов Хайбачынг, Хоангмай и закачивается на уезде Тханьчи. Слой 7 также встречается в виде локальных зон в разных микрорайонах, например, вдоль магистрали Ланг-Хоалак уезда Куокоай, местечке Фунг уезда Данфыонг, общине Анхань уезда Хоайдык и общине Таимо, Суанфыонг, Ванкань района Тылием, в уездах Фуктхо, Данфыонг, Тхачтхат, Чыонгми, Тханьоай, Куокоай, Тханьчи, Тхыонгтин. В уездах Мидык, Юнгхоа и Фксуен слой 7 практически не встречается. Глубина залегания слоя обычно 5,0 м, на максимальной глубине 20,0 м слой встречен на улице Лакчунг района Хайбатчынг. В деревне Фунгтхыонга уезда Фуктхо или на улице Ньянчинь района Тханьсуан он появляется на земной поверхности. Его мощность изменяется значительно от 0,4 м (в районе Куокоай) до 31,9 м (в деревне Анкхань уезда Хоайдыка), средняя 8,0 м. Мощность слоя снижается с запада до востока. Физико-механические свойства слоя 2 представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 7 [123]

№	Помодолжани оройотра груштор	Енини	Символ	Величина*			
745	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Xn	S	V	
1	Естественная влажность	%	W	42,6	12,11	0,28	
2	Плотность грунта	Γ/cm^3	ρ	1,72	0,12	0,07	
3	Плотность частиц грунта	Γ/cm^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	$S_{\rm r}$	0,94	-	-	

Про	одолжение таблицы 2.6					
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
13	Коэффициент сжимаемости	IVIIIa	$M_{0,1-0,2}$	0,703	0,03	0,40
14	Модуль деформации	МПа	$E_{o(0,1-0,2)}$	3,9	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R_0	68,7	-	-
16	Коэффициент консолидации	cм ² /ceк.	Cv _{(0,05-}	1,13	0,31	0,27
10	коэффициент консолидации	*10 ⁻³	Cv _{(0,1-}	0,98	0,35	0,36
17	Содержание органических веществ	%	OB	5,7	-	-
18	Количество образцов	n	1		385	

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

Слой 11 - распространен в южной части города в виде небольших участков в деревне Фунгтхыонг уезда Фуктхо, местечке Куокоай уезда Куокоай, деревне Анхань уезда Хоайдык, деревне Таимо уезда Тылием, кварталах Нгокхань, Виньфук, Куантхань района Бадинь, кварталах Лангтхыонг, улице Нгатышо района Донгда, квартале Бачхоа района Хайбачынг, квартале Хоанглиет района Хоангмай, деревне Нгухиеп уезда Тханьчи, деревне Тыниен уезда Тхыонгтин, деревнях Ванньан, Минькыонг, Куангланг уезда Фусуен, деревне Хоаса района Юнгхоа, квартале Фуклой района Лонгбиен. Данный слой встречается на глубине, в среднем 14,7 м, максимальная — глубина залегания 33,0 м в районе Хоайдык, минимальная — 3,0 м в районе Юнгхоа. Средняя мощность слоя составляет 7,9 м, максимальная — 23,0 м в районе Тханьчи, минимальная — 1,1 м в районе Хадонг. Физико-механические свойства слоя 11 представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7- Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 11 [123]

Ma	П	Е	C	Вел	іичина	*
$N_{\underline{0}}$	Показатели свойства грунтов	Единица	Символ	Xn	S	V
1	Естественная влажность	%	W	40,1	8,14	0,20
2	Плотность грунта	Γ/cm^3	ρ	1,76	0,10	0,06
3	Плотность частиц грунта	Γ/cm^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	-	${ m I_L}$	0,96	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	6°35'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	9,4	-	-
13	V одффиционт одимодиости	MΠa ⁻¹	$M_{0-0,1}$	1,335	0,02	0,15
13	Коэффициент сжимаемости	IVIIIa	$M_{0,1-0,2}$	0,785	0,01	0,12
14	Модуль деформации	МПа	$E_{o(0,1-0,2)}$	3,3	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R_0	58,9	-	-
16	Коэффициент консолидации	см ² /сек. *10 ⁻³	Cv _{(0,05-}	0,959	0,18	0,19
		10	$Cv_{(0,1-0,2)}$	0,927	0,22	0,24
17	Содержание органических веществ	%	ОВ	12,2	-	-
18	Количество образцов	r	1		27	

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

Слой 13 - распространен довольно широко в центральной части и южных районах города. В северных и западных районах города, данный слой распространен локально. В южной части города, слой 13 имеет площадное распространение в районах Тылием, Таихо, Бадинь, Хоанкием, Донгда, Тханьсуан, Хайбачынг, Хоангмай, Тханьчи, Хадонг, Тханьоай, Тхыонгтин, Мидык, Унгхоа и Фусуен, в уездах Фуктхо, Данфыонг, Хоайдык и Куокоай. В северной части города этот слой вскрывается в районах Лонгбиен и Залам в виде большой полосы, которая прослеживается, начиная от Тхыонгтхань до Донгзы.

Кроме того, в северной части города, слой имеет локально распространен в районах Лонгбиен, Залам, Донгань, Тханьсуан, Донгсуан, Кимлу, Шокшон.

Мощности слоя отмечается резкое изменение от 43,0 м в районе Хоангмай до 0,5 м в Тхыонгтхань района Лонгбиен, средняя 10,6 м.

Слой 13 встречается на глубинах от 0,3 м в деревне Хоптиен уезда Мидык до 37,5 м в квартале Тыонгмай района Хоангмай. Физико-механические свойства слоя 13 представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Обобщенные показатели физико-механических свойств слоя 13 [123]

Mo	Поморожани орожотро примеро	Единиц	Cumpar	Ве	еличина	*
№	Показатели свойства грунтов	a	Символ	Xn	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	$ ho_{ m s}$	2,60	0,16	0,06
4	Коэффициент пористости	-	e	1,476	-	-
5	Пористость	%	n	59,6	-	-
6	Степень влажности	д.е	$S_{\rm r}$	0,94	-	_
7	Предел текучести	%	\mathbf{W}_{L}	49,1	14,08	0,29
8	Предел раскатывания	%	W_{P}	33,2	11,96	0,36
9	Число пластичности	%	${ m I_p}$	15,9	-	-
10	Показатель текучести	-	$ m I_L$	1,26	-	-
11	Угол внутреннего трения	градус	φ	5°39'	-	-
12	Удельное сцепление	кПа	c	8,9	-	-
13	Vondamment extraction	МПа ⁻¹	$M_{(0-0,1)}$	1,366	0,06	0,48
13	Коэффициент сжимаемости	IVIIIa	$M_{(0,1-0,2)}$	0,999	0,05	0,48
14	Модуль деформации	МПа	Eo ₍₁₋₂₎	1,6	-	-
15	Расчетное сопротивление грунта	кПа	R_0	49,1	-	-
16	Voodstrugger vougosturen	см ² /сек.	$Cv_{(0,05-0,1)}$	1,149	0,74	0,64
10	Коэффициент консолидации	*10 ⁻³	Cv _(0,1,0-2,)	1,022	0,68	0,67
17	Содержание органических	%	OB	9,7	2,34	0,24
	веществ	,,,	OB		,	5,2 1
18	Количество образцов		n	* 7	628	

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

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 (рисунок 2.11- 2.13) [55].

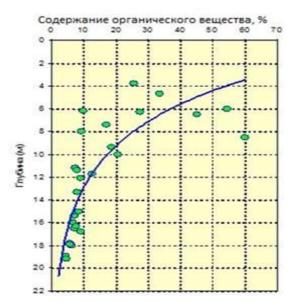


Рисунок 2.11 - Изменение содержания органики по глубине в толще слабых водонасыщенных грунтов свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$)

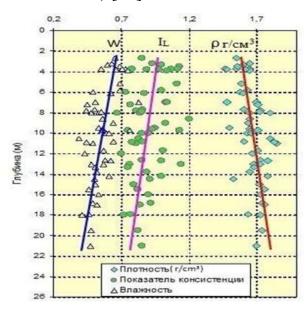


Рисунок 2.12 - Изменение плотности (ρ), показателя консистенции (I_L) и влажности (W) слабых водонасыщенных грунтов свиты Хайхынг ($IbIV^{1-2}hh_1$) по глубине

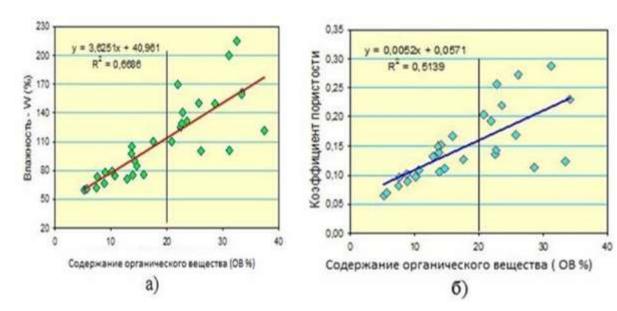


Рисунок 2.13 - Изменение влажности и коэффициента пористости от содержания органического вещества

Исходя из анализа данных таблиц 2.5 - 2.8, можно отметить следующие инженерно-геологические особенности свит Тхайбинь и Хайхынг:

- слабые грунты свит Тхайбинь и Хайхынг широко распространены в центральной части и южных районах города, их мощность и распространение, а также физико-механические свойства имеют сложные закономерности взаимосвязи по глубине и по площади;
- присутствие органического вещества с различной степенью разложения в слабых грунтах свит Тхайбинь и Хайхынг создает пространственную неоднородность и анизотропию строения, состояния и физико-механических свойств грунтов;
- состав и показатели физико-механических свойств этих слоев изменяются с глубиной, что связано с содержанием органических веществ, при этом плотность и плотность частиц грунта имеет тенденцию к росту, а влажность и показатели консистенции снижаются.

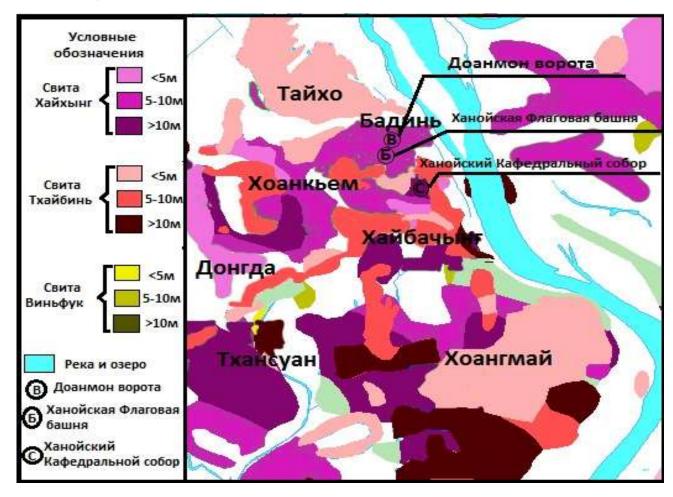


Рисунок 2.14 - Карта мощности и распространения слабых грунтов свиты Тхайбинь и Хайхынг [Фи Х.Т., 2013 г.] Масштаб 1: 50000

2.4 Инженерно-геологические процессы и явления в историческом центре Ханоя

Исторический центр Ханоя, как отмечалось выше, находится в пределах территории со сложными природными условиями, в том числе климатическими, гидрологическими, структурно-тектоническими, инженерно-геологическими и гидрогеологическими.

На основе проведенных исследований и выполненного анализа можно выделить основные факторы, предопределяющие развитие наиболее опасных экзогенных процессов.

•Климатический и гидрологический факторы

Город Ханой расположен в зоне муссонного и тропического климата, с резко выраженной разницей по величине атмосферных осадков: дождливый период (с мая по октябрь) и сухой сезон (с ноября по февраль), что определяет гидрологический режим реки Красной.

•Развитие песчано-глинистых водонасыщенных отложений малой степени литификации, которые относятся к категории слабых

Широкое распространение озерно-болотных отложений с органическими остатками свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$) сопровождается развитием оползневых деформаций на склонах и откосах, а также большими и неравномерными осадками зданий и сооружений и др.

•Влияние подземных вод

В разрезе исторического центра города выделены и охарактеризованы: безнапорный водоносный горизонт голоцена (Qh) и водоносный напорный комплекс плейстоцена (Qp), который включает два водоносных горизонта Qp^1 и Qp^2 .

Инженерная деятельность человека

Загрязнение подземных вод и грунтов происходит за счет утечек из канализационной системы, поступления промышленных стоков, дренажноливневых вод, а также из свалок хозяйственно-бытового мусора и промышленных

отходов, что способствует повышению содержания органических и неорганических соединений и активизации микробиоты в подземной среде города. Кроме того, чрезмерное извлечение подземных вод для водоснабжения привезло к неравномерному оседанию земной поверхности, влияющему на устойчивость наземных сооружений.

2.4.1 Затопление и подтопление территорий города в период муссонных дождей.

Как уже отмечалось выше, климат Ханоя делится на два сезона: дождливый и сухой. В сезон дождей количество атмосферных осадков составляет в среднем 80 – 90% от годовой их суммы [130, 135, 138]. В течение дождливых сезонов уровень воды реки Красной за оградительными дамбами часто повышается, нередко выше отметок поверхности земли в пределах города на 4 - 6 м (рисунок 2.5). Когда уровень воды во время паводка реки Красной превышет отметку +12 м, на второстепенных (низких) дамбах, появляется угроза наводнения территорий районов (населенных пунктов), находящихся на высоких поймах вне главных защитных дамб города – Тыльем, Тайхо, Хоанкьем, Хайбачынг, Хоангмай, Лонгбьен, Жалам, также некоторые участки района Тханьчи, нередко затапливаются (фото 2.1, 2.2, 2.3, 2.4). Глубина воды составляет 1,0-2,0 м на поймах и 0,2-0,4 м в районе Тханьчи [23, 135]. Масштабы наводнения зависят от продолжительности паводков в верховьях рек Красной, Ло и Да, а также от количества атмосферных осадков в бассейне реки Красной.

В пределах территории города Ханоя выпадает большое количество атмосферных осадков, которое колеблется от 1015 мм до 2536 мм, в среднем - 1564 мм (по данным наблюдения с 1991 г. по 2007 гг.). При сильных дождях большая часть центральных районов Тханьсуан, Хоангмай, Хоанкьем и Лонгбьен затапливаются за 3-5 часов, иногда за сутки, реже 4-5 суток, слоем воды 0,5-0,8 м, местами 1,0-1,5 м.

31 октября 2008 года с 1 часа 30 минут до 16 часов выпало осадков в количестве 340 мм в зоне Ланг, 492 мм – Хадонг, 515 мм – Донгбонг, дождь

продолжался до 10 часов 3 ноября, при этом общее количество атмосферных осадков составило 545,1 мм в зоне Ланг, 817,2 мм — Хадонг, 965,5 мм — Чаукуй (гидрометеорологический центр Ханоя, 2008 г.). В результате были зафиксированы различные по величине площади затопления, которые наблюдались на более чем 200 участках города.



Ул. Делатхань (31 октября 2008 г.)



Автомобильный тоннель Кимльен (16 июня 2009 г.)



Ул. Лангха (25 мая 2016 г.)



Ул. Дайковьет (25 мая 2016 г.)

Фото 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 – Затопление исторического центра Ханой в дождливый период

Затопление территории исторического центра города при интенсивных дождях сопровождается ухудшением свойств грунтов в основании сооружений, чему способствует плохое состояние дренажно-ливневых систем. Как правило, затопление в дождливые сезоны вызывает большие трудности при устройстве строительных котлованов и эксплуатации подземных сооружений, и, соответственно, требует применения специальных мер защиты.

Как показано выше, в пределах рассматриваемой территории специфика инженерно-геологического разреза четвертичных отложений вдоль реки Красной связана с наличием линз свиты Тхайбинь ($aIV^3tb_{1,2}$) и Виньфук ($aIII^2vp_1$). Такие линзы отмечаются также в русле реки Красной. Они образуют гидрогеологические окна, через которые реализуется дополнительное питание водоносных горизонтов из реки Красной.

Повышение уровня подземных вод тесно связано с подъемом уровня воды реки Красной (рисунок 2.8, 2.9). Чаще всего повышение уровня подземных вод выше отметки земной поверхности фиксируется на участках: Тхыонгкат, Льенмас, Хоангса (района Тыльем), а также в полосовых зонах вдоль берегов реки Красной в районах Лонгбьен и Тайхо. В результате подъема уровня грунтовых вод формируется подтопление территорий некоторых участков в районе Тханьчи.

Затопление и подтопление территории определяют изменение состояния и физико-механических свойств грунтов оснований, в том числе и архитектурно-исторических памятников, а также изменение их напряженно-деформированного состояния, что усиливает развитие неравномерных осадок зданий и сооружений. Кроме того, подтопление активизирует суффозионные, плывунные, оползневые и иные процессы, приводит к возникновению гидродинамического и взвешивающего давлений, которые необходимо учитывать при освоении и использовании подземного пространства в пределах исторического центра города.

2.4.2 Осадка земной поверхности при понижении уровня подземных вод с целью водоснабжения Ханоя

Подземные воды Ханоя эксплуатировались с начала XIX века французами. Мощность добычи подземных вод непрерывно увеличивается с ростом потребности населения в питьевой воде. На рисунке 2.15 показан рост суточного потребления воды с 15.000 м³/сутки в 1905 году, до 628.000 м³/сутки в 2010 году. По последним данным Ханойской компании водоснабжения необходимо поднять объемы потребления воды до 1.000.000 м³/сутки. Следует также отметить, что в пределах изучаемой территории находится 12 водозаборных станций и действует

130 скважин. Кроме того, имеется несколько десятков тысяч частных водозаборных сооружений (таблица 2.9).



Рисунок 2.15 - Рост добычи подземных вод общественными водозаборами в Ханое (1905-2010 гг.)

Таблица 2.9 - Извлечение подземных вод на территории г. Нового Ханоя в 2010 г. [125]

		Общественная форма					
№	Название района	Название водозабора	Глубина извлечения (м)	Количество скважин	Добыча (м³/сутки)		
1	2	3	4	5	6		
		Нгокха	60	14	33.311		
1	Бадинь	Мавзолей Хошиминь	70		4.800		
		Тхуйкхуе	60	-	3.850		
2	Хоанкием	Вандо + Т уйлой	60	3	5.774		
		Донтхуй	60	-	8.182		
3	Таихо	Иенфу	60	33	95.004		
4	Лонгбиен	-	-	-	=		
5	Каузаи	Маизич	70	31	63.620		
	Помича	Нгошилиен	60	19	44.595		
6	Донгда	Кимлиен	60	4	6.093		
	Хайбатчынг	Лыонг ен	0	15	51.480		
		Бачмай	60	3	5739		
	Хоангмай	Намзы	60	20	54.338		
8		Фапван	6	12	3.341		
		Тыонгмай	60	13	23.649		
0	Tware	Хадинь	60	12	22.027		
9	Тханьсуан	Кимзанг	70	3	4.999		
Сумма 4.							

Как известно. большая часть воды извлекается из плейстоценового водоносного комплекса (Qp), имеющего повсеместное распространение на территории города Ханоя. Горизонт имеет большую мощность, хорошее качество воды и высокую водообильность. Одиночные скважины и колодцы используются для добычи воды из горизонта голоцена (Qh). Непрерывный рост объемов откачиваемой воды из водозаборных скважин вызвал понижение уровня подземных вод на территории города. Например, в 1965 г. в районе Хадинь уровень подземных вод находился на глубине от 2 до 4 м от дневной поверхности, в октябре 1987 г. снизился до 16 – 17 м, а в январе 1998 г. находился на глубине 30 – 31 м и в 2007 г. достиг 37-38 м. В районе Майзич динамика снижения уровня воды составила: от 4 до 5 м - в 1979 г.; 8 - 10 м - в 1990 г.; от 21 до 22 м - в 1998 Γ ., от 25 до 26,5 м – в 2002 Γ . и в настоящее время 28 – 30 м. На участках водозабора Нгокха уровень подземных вод находился в октябре 1972 г. на глубине 4 м от дневной поверхности, в июне 1993 г. -20.83 м, в декабре 2002 г. -23.42 м, в настоящее время - 26 м. На станции водозабора Тханьконг – 4 м в июне 1988 г., 14,12 м в декабре 1996 г., и 17,65 м в декабре 2002г.; на станции водозабора Фапван – 5 м в июне 1985г., 18,34 м в марте 1995г., и 21,71 м в декабре 2002г. (по данным компании водоснабжения Ханоя).

В 1988 году для наблюдений за оседанием земной поверхности были установлены в пределах территории города Ханоя и его окрестностей 32 репера. В 1996 г. на территории города действовало 45 реперов, и в настоящее время – более 80. На 50 наблюдательных реперных пунктах организовано определение величины оседания земной поверхности, а также изменение уровня подземных вод. Кроме того, в 1993 – 2002 гг. было создано 10 наблюдательных пунктов, на которых измеряют осадки земной поверхности, изменение уровня воды и величину порового давления.

Анализ данных 10 станций мониторинга на и в период с 1994 г. по 2004 г. показывает тесную связь оседания земной поверхности с извлечением подземных вод (таблица 2.10, рисунок 2.16). Станции, располагающие на слоях слабых

грунтов, имеют высокую скорость оседания земной поверхности, например, Тханьконг – 40,46 мм/год, Нгошилиен – 26,52 мм/год, Фапван – 21,02 мм/год; на станциях в разрезе которых отсутствуют слабые грунты скорость оседания земной поверхности значительно ниже, например, Нгокха – 1,73 мм/год, Майзич – 2,81 мм/год, Донгань – 4,66 мм/год.

Таблица 2.10 - Результаты мониторинга на 10 станциях за оседанием земной

поверхности на территории г. Ханоя [73, 74, 135]

№	Станция мониторинга	Время наблю- дений	Мощность слабых грунтов (м)	Уровень п.в. в 2004 г. (м)	Понижение уровней п.в. (м)	Скорость понижения уровней п.в. (м/год)	Оседание земной поверх- ности (мм)	Скорость оседания земной поверхности (мм/год)
1	Нгокха	1994-2004	-	24,92	3,18	0,29	18,99	1,73
2	Фапван	1996-2004	26,0	22,60	4,36	0,48	189,14	21,02
3	Тханьконг	1997-2004	16,0	19,67	5,39	0,67	323,67	40,46
4	Хадинь	1998-2004	23,7	34,54	4,02	0,57	131,83	18,83
5	Маизич	1998-2004	-	27,49	5,78	0,83	19,67	2,81
6	Лыонгиен	2000-2004	14,0	21,39	2,76	0,55	79,70	15,94
7	Донгань	2002-2004	-	4,67	0,49	0,16	13,98	4,66
8	Нгошилиен	2002-2004	12,5	20,89	2,69	0,90	79,56	26,52
9	Залам	2003-2004	17,5	7,81	0,50	0,25	38,26	19,13
10	Тыонгмай	2003-2004	15,5	28,11	3,07	1,54	36,85	18,43

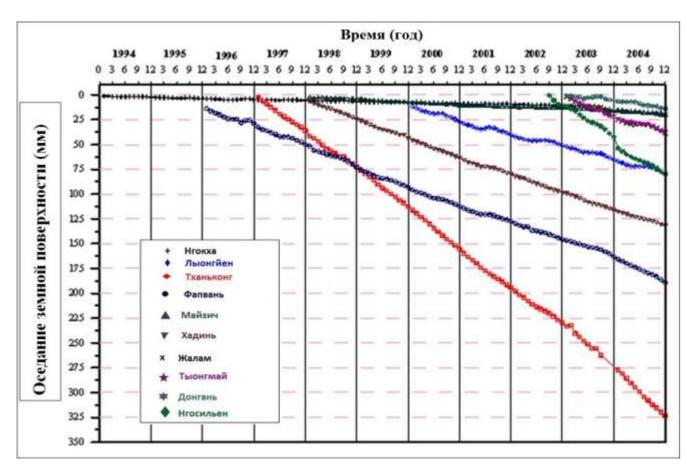


Рисунок 2.16 - Величины оседания земной поверхности по 10 станциям мониторинга на территории г. Ханоя в период 1994 г. – 2004 г. [135]

Необходимо подчеркнуть, что деятельность водозаборных скважин привела к образованию депрессионных воронок в зонах Тханьконг, Майзич, Нгокха, Нгосильен, Донтхуй, Фапван и др. с понижением уровня от 24 до 30 м, Хадинь, Тхыонгдинь, Танчьеу, Дайким с понижением уровня до 34-38 м от дневной поверхности. В настоящее время в центральной и южной частях депрессионные воронки объединились и сформировали обширную пьезометрическую депрессию – региональную воронку депрессий (рисунок 2.17) [94, 77, 127]. Так, например, участок Тханьконг подпадает под влияние снижения уровня подземных вод водозаборов Нгокха, Нгосильен, Хадинь и др. (депрессионная воронка подземных вод в центральной части города), в пределах которых за 15 лет (1988-2002гг.) уровень подземных вод снизился на 14 м. При этом площадь региональной воронки депрессий увеличивается по времени за счет интенсивной эксплуатации плейстоценового водоносного комплекса на изучаемой территории (см. рисунок 2.18) [94].

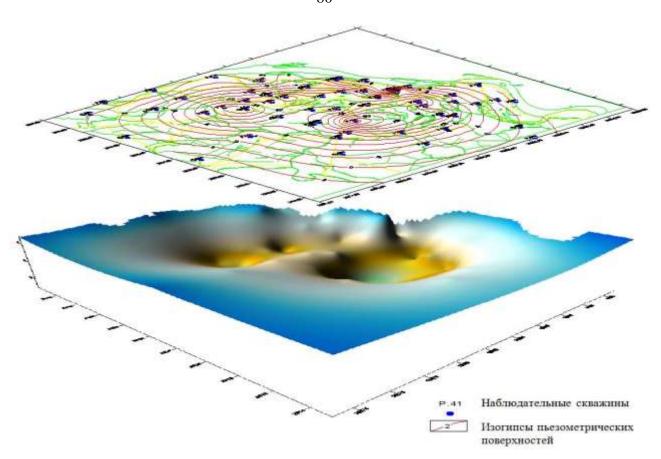


Рисунок 2.17 — Схема депрессионных воронок водоносного горизонта (Qp) в городе Ханоя (в 2014 г.)

Процессы, вызванные откачками подземных вод, носят, как правило, региональный характер. К ним относятся формирование депрессионных воронок подземных вод, деформаций грунтов и земной поверхности. Как уже отмечалось неоднократно, снижение уровня подземных вод оказывает силовое воздействие, изменяющее напряженное состояние в грунтовой толще, приводящее к оседанию земной поверхности.

Как известно, при снижении уровня воды в толще породы возникают дополнительные напряжения за счет уменьшения сил Архимедова взвешивания, которые вызывают осадку. В большинстве случаев эти дополнительные осадки равномерны и не оказывают существенного влияния на работу сооружения. Но при глубоких понижениях уровня подземных вод дополнительные осадки могут быть значительными и должны учитываться при оценке устойчивости эксплуатируемых сооружений.

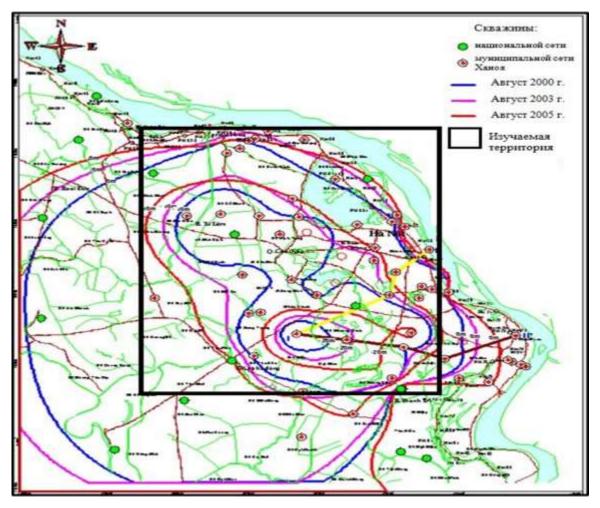


Рисунок 2.18 – Развитие депрессионных воронок подземных вод по времени в Ханое [45]

Выводы

1. Территория исторического центра города расположена в центральной погруженной зоне прогиба района реки Красной, приуроченной к сгущению тектонических разломов Шонгло и Шонгчай. По результатам различных исследований установлено, что районы Бадинь и Хоанкем были разделены на 2 района с различной балльностью: 8-9. Сильные землетрясения могут происходить с магнитудой М = 6,2 и I = 8 баллов и с глубиной их очагов от 15 до 20 км, что связано с активностью глубинных разломов, упоминавших выше. В результате сейсмических воздействий может происходить частичное разрушение конструкций зданий либо переход архитектурно-исторических памятников в аварийное состояние. Анализ литературных источников показал, что сильные землетрясения в Северном Вьетнаме, особенно в пределах прогиба района реки Красной, генетически связаны с

зонами глубинных разломов. В результате сейсмических воздействий может происходить частичное разрушение конструкций зданий либо переход архитектурноисторических памятников в аварийное состояние.

- 2. Наличие слабых водонасыщенных песчано-глинистых отложений малой степени литификации свит Тхайбинь (a,albIV $^3tb_{1,2}$) и Хайхынг (lbIV $^{1-2}hh_1$) имеют большую мощность (до 25 м) и широкое распространение, что определяет высокую степень сложности инженерно-геологических условий указанной территории. Эти отложения рассматриваются как среда активного развития экзогенных процессов: неравномерных осадок зданий и сооружений, проявления тиксотропных свойств глинистых грунтов и др.
- 3. В пределах изучаемой территории, зафиксировано наличие двух важных водоносных комплексов: голоценовый и плейстоценовый. Снижение же уровня подземных вод в процессе их использования для водоснабжения приводит к существенному росту эффективных напряжений, что определяет уплотнение песчано-глинистых грунтов и образованию депрессионных воронков, деформацию земной поверхности и как следствие развитие дополнительных осадок построенных зданий и сооружений.
- 4. Присутствие органического вещества различной степени разложения в свитах Тхайбинь $(a,alb\mathrm{IV}^3tb_{1,2})$ и Хайхынг $(lb\mathrm{IV}^{1-2}hh_1)$ создает пространственную неоднородность и анизотропию строения, состояния и физико-механических свойств грунтов этих свит.
- 5. Процессы подтопления и затопления территории в пределах исторического центра определяются климатическими условиями региона и гидрологическими особенностями р. Красной. Эти процессы изменяют состояние и физикомеханические свойства грунтов в основании архитектурно-исторических памятников, а также напряженно-деформированное состояние грунтовой толщи.
- 6. Увеличение добычи подземных вод из водоносного комплекса Qp, способствуют образованию обширной депрессионной воронки в центральной районах города, что вызывает оседание земной поверхности, сопровождающееся развити-

ем неравномерных деформаций и трещинообразованием в несущих конструкциях различных сооружений, в том числе Ханойского Кафедрального собора, Ханойской Флаговой башни и Доанмон ворота.

ГЛАВА 3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ХАНОЯ

3.1 Концепция, основные положения и содержание инженерногеологического мониторинга

центра Ханоя Территория исторического практически полностью размещается на 9 центральных районах: Бадинь, Хоанкем, Донгда, Хайбачынг, Тханьсуан, Тайхо, Лонгбьен, Каужай, Хоангмай, суммарная площадь которых составляет 120,06 км 2 (рисунок 3.1). Как уже отмечалось в разделе 2.3, для исторического центра города характерен ряд инженерно-геологических особенностей, в том числе развитие природных и природно-техногенных процессов, которые служат важными факторами при создании мониторинга на локальном уровне (таблица 3.1).

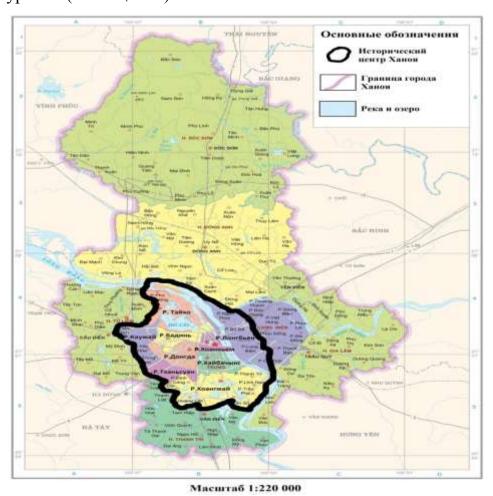


Рисунок 3.1 - Географическое положение города Ханоя до 2007 г. и граница изучаемой территории [123]

Таблица 3.1- Особенности инженерно-геологических условий в подземном про- странстве исторического центра Ханоя							
Особенности инженерно- геологических условий и экзоген- ные процессы	Исторический центр						
Мощность торфов и заторфов слоев	Мин. 0,7м Мах. 16,7м			⁷ M			
	Мощность						
	Свита Тхайбинь (alb)			Свита Хайхынг (<i>lb</i>)			
Наличие в разрезе аллювиально- озерно-болотных отложений с ор-	2-15м			2-20м			
ганическими остатками (alb) свиты Тхайбинь и озерно-болотных отложений с органическими остатками	(Состав пород: суглинки с орга- ническими остатками)			(Состав пород: суглинки и глины с органическими остатками)			
(lb) свиты Хайхынг	Ео, МПа	ф, град.	с, кПа	Ео, МПа	ф, град.	с, кПа	
	0,8-3,5	2-9	5,4- 18,4	0,6-1,7	3-7	7,4- 17,1	
Разв	Развитие экзогенных процессов						
	Плывуны						
	Оползневы	е процесс	ы				
Затопление и подтопление							
Осадки зданий							
Оседание земной поверхности за счет снижения напоров подземных вод							
Контаминация грунтовых вод и грунтов за счет утечек из систем водоотведения							
<u>Примечание</u> : ϕ - угол внутреннего трения; c – удельное сцепление; E_0 – модуль общей деформации.							

Для разреза исторического центра города характерно развитие слабых водонасыщенных песчано-глинистых грунтов свит Тхайбинь и Хайхынг четвертичного возраста (см. рисунок 2.12, раздел 2.3), к которым приурочены голоценовые и плейстоценовые водоносные горизонты, способствующие активизации негативных процессов в подземном пространстве города. Некоторые из этих процессов перечислены в таблице 3.1. Необходимо принимать во внимание, что ряд зданий и сооружений, в том числе архитектурно-исторических памятников, которые размещенных в пределах исторического центра, находятся в предаварийном состоянии.

Следует отметить, что наличие на территории города локальных различных источников загрязнения, к числу которых относятся существующие кладбища, утечки из систем водоотведения, способствует негативному изменению химического состава грунтовых вод и развитию микробиоты в грунтах, а также ухудшению состояния и физико-механических свойств песчано-глинистых грунтов.

Объектами локального мониторинга являются природные и природнотехногенные экзогенные процессы на территории исторического центра Ханоя. Таким образом, для получения информации о возникновении и закономерности таких процессов, вызывающих развитие деформации значимых сооружений, требует создание системы локального инженерно-геологических мониторинга исторического центра города. В процессе локального мониторинга необходимо вести контроль и наблюдать за:

- 1) контаминацией грунтовых вод и грунтов;
- 2) биохимической газогенерацией в свитах Хайхынг и Тхайбинь, обогащенных органическими остатками;
- 3) оползневыми процессами оградительных дамб для предупреждения их развития;
- 4) осадками зданий, в первую очередь, тех, которые построены на слабых грунтах;
- 5) деформациями дневной поверхности при формировании депрессионной воронки в процессе откачки подземных вод для водоснабжения Ханоя из водоносного комплекса Qp;
- 6) влиянием подземных сооружений на деформации дневной поверхности и осадки эксплуатируемых зданий.

При анализе предлагаемой системы локального мониторинга подземного пространства исторического центра Ханой рассмотрим кратко каждый выделенный в структуре локального мониторинга процесс (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 - Структура и содержание комплексного инженерно-геологического мониторинга исторического центра Ханоя, определяющих развитие деформаций (осадок) зданий

3.2 Мониторинг контаминации и гидродинамического режима грунтовых вод для оценки их влияния на устойчивость наземных сооружений

Грунтовые воды в пределах рассматриваемой территории имеют локальное распространение. Гидродинамический режим грунтовых вод в историческом центре города определяется техногенными и природными факторами, в том числе воздействие атмосферных осадков, инфильтрации из озер, прудов и др., процессов затоплений и подтоплений, а также утечек из водопроводящих и водоотводящих систем. Следует принимать во внимание, что колебание уровня грунтовых вод историческом центре города влияет на изменение напряженнодеформированного состояния песчано-глинистых грунтов, способствует развитию длительных и неравномерных осадок зданий и сооружений, в том числе архитектурно-исторических памятников. Кроме того, воды этого горизонта тоже приводить к заболачиванию территории вне зон асфальтирования и создает большие трудности при освоении подземного пространства города.

Высокий уровень контаминации грунтовых вод города, особенно в историческом центре в значительной мере за счет утечек из канализационной системы, поступления промышленных стоков, дренажно-ливневых вод, а также кладбищ, размещающихся в центральной части города.

Необходимо отметить, что изменение химического состава грунтовых вод вблизи водотоков определяется количеством поступающих загрязняющих компонентов из сети водоотведения. Сточные воды сбрасываются в реки, озера в пределах исторического центра Ханоя без очистки (реки Толич, Сэт, Лю, Кимнгю, озеро Ванчыонг, Жангво, Линькуанг, Тхьенкуанг и т.д.), часть загрязненных вод попадает в подземную среду, способствуя изменению состава грунтовых вод. Согласно наблюдениям, в водоемы и водотоки поступаются десятки тысячи кубических метров сточных вод в сутки. Инфильтрация из бессточных бассейнов накопителей стоков можно рассматривать как постоянные источники загрязнения грунтовых вод и грунтов.

Следует обратить внимание, что загрязнению подземного пространства исторического центра города существенно способствовало отсутствие регулярных кладбищ (таблица 3.2, рисунок 3.3). Все захоронения производились вблизи жилых районов города. Например, кладбище Куанзен находится в районе Тханьсуан и насчитывает около 5000 могил, кладбище Лангха (район Донгда) - более 1000 могил и кладбище вблизи пагоды Ланг имеет тысячи могил и др. Территории длительных захоронений и старых кладбищ можно оценивать как весьма загрязненные зоны, прежде всего, грунтовых вод. Для химического состава грунтовых вод вблизи кладбищ характерны высокие значения органического вещества (белки, липиды и углеводы) оцениваемого по показателю перманганатной окисляемости, БПК₅ и ХПК, соединения азота, серы, фосфора и др., а также повышенная минерализация. Так, например, в зоне влияния кладбища Куанзен района Тханьсуан, на котором и в настоящее время продолжаются захоронения, величина БПК₅ в грунтовых водах достигает 40,5 мгО₂/л, ХПК - 58,0 мгО₂/л.

Таблиц	Таблица 3.2 - Количество кладбищ, расположенных на территории центральных						
	районов Ханоя						
No	Наименование района Количество кладбищ Площадь (га)						
1	Бадинь	1	0,5				
2	Хоанкьем	1	0,8				
3	Тайхо	16	10,5				
4	Лонгбьен	23	27				
5	Каужай	14	15,8				
6	6 Донгда 2 0,2						
7	Хоангмай	38	41				
8	Тханьсуан	3	5				

В структуре мониторинга грунтовых вод выделяется два блока контроля: 1) за изменением гидродинамического режима грунтовых вод и 2) за преобразованием их химического состава. Наблюдательные скважины на грунтовые воды размещаются по нескольким локальным профилям, ориентированным по направлению движения фильтрационного потока с учетом расположения загрязнителей,

а также вблизи источников контаминации. При этом необходимо фиксировать микробную деятельность в подземных водах и формирование плывунов. Следует принимать во внимание наличие на территории исторического центра города существующие скважины для наблюдений за грунтовыми водами, а также необходимо дополнить новые действующие скважины, приуроченные к зонам размещения источников загрязнения грунтовых вод и грунтов.

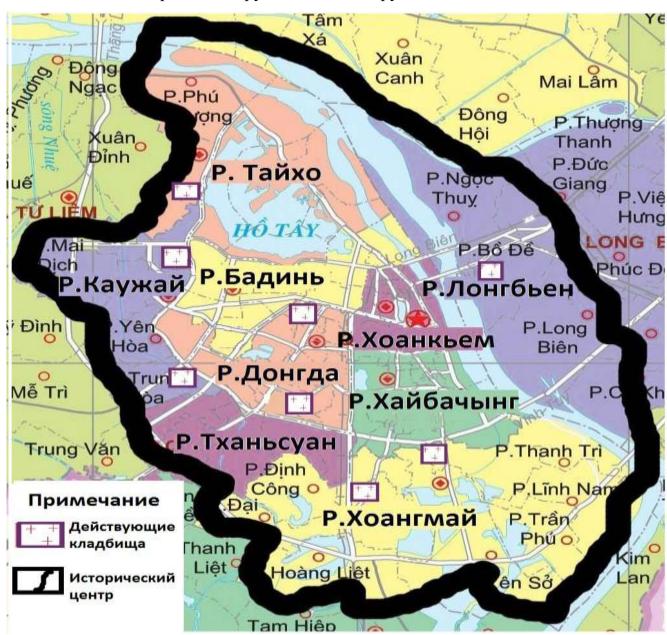


Рисунок 3.3 - Размещение действующих кладбищ в историческом центре Ханоя



Рисунок 3.4 — Схема распространения зон, загрязненных различными элементами в водоносном горизонте, используемого для водоснабжения Xaноя [125]

Режимные скважины размещаются в всей территории исторического центра города. Количество профилей определяется размерами городской территории, при этом расстояние между профилями составляет от 1 до 2 км. Кроме того, наблюдательные скважины за грунтовыми водами располагаются вблизи архитектурно-исторических памятников, находящихся в предаварийном состоянии. К числу таких архитектурно-исторических объектов относятся Ханойский Кафедральный собор, Ханойская Флаговая башня, Доанмон ворота.

Организация локального мониторинга контаминации и гидродинамического режима грунтовых вод на фоне проведения регионального мониторинга грунтовых вод выявляет его функцию следующим пунктам:

1) роль утечек из дренажно-ливневой системы и системы водоотведения, в том числе главных коллекторов и канализационных насосных станций, из которых основными являются: на районе Бадинь - насосная станция Тханьконг (д. 61Е, ул. Делатхань, Бадинь, Ханой); насосная станция Нгокха (д. 461, ул. Дойкань, Бадинь, Ханой); на районе Тханьсуан - насосная станция Хадинь (д.14, 192-я

линия, ул. Хадинь, Тханьсуан, Ханой); на районе Хайбачынг - насосная станция Лыонгиен (д.1, ул. Чанхатчан, Хайбачынг, Ханой); на районе Донгда - насосная станция Нгошильен (д.1, ул. Куоктызам, Донгда, Ханой).

- 2) влияние кладбищ, которые находятся в историческом центре, на трансформацию гидрохимического режима грунтовых вод и агрессивности вод
- 3) Оценка выявления подтопления в зонах возможных утечек из подземных коммуникаций.
 - 4) Изучение влияния наводнений на повышение уровня грунтовых вод.

Проведение локального мониторинга грунтовых вод должна включать измерение ряда параметров в полевых условиях: pH, Eh, NH_4^+ , $SO_4^{\ 2^-}$, H_2S , которые необходимы для оценки коррозионности среды. Остальные компоненты определяются в лабораторных условиях.

Кроме того, требуется оценка гидравлической связи грунтовых вод и нижележащего водоносного горизонта, а также с поверхностными водами. Эти наблюдения должны проводиться для рек и озер исторического центра города.

3.3 Мониторинг изменения состояния и свойств грунтов в зоне основания сооружений

В структуру локального инженерно-геологического мониторинга исторического центра Ханоя включены природные и природно-техногенные экзогенные процессы, имеющие повсеместное распространение в пределах изучаемой территории. Одним из основных экзогенных процессов в историческом центра городе является неравномерная осадка зданий и сооружений, в первую очередь, тех, которые построены на слабых грунтах.

Как уже отмечалось в разделе 2.3, слабые водонасыщенные песчаноглинистые грунты с органическими остатками свит Тхайбинь и Хайхынг широко располагаются на территории исторического центра Ханоя и его окрестности. Наличие прослоев и линз торфов в разрезе основания, способствует негативным явлениям в основании слоистого основания под действием давления. Наблюдение за преобразованием состава, состояния и свойств грунтов в зоне основания исторического центра имеет значение при оценке длительной устойчивости зданий и сооружений, в том числе архитектурно-исторических памятников. Глубина залегания фундамента зданий и сооружений предопределяет, что несущим горизонтам служат слабые грунты, которые определяют развитие больших неравномерных осадок и трещинообразование в несущих конструкциях различных сооружений.

В настоящее время имеются более 50 жилых микрорайонов в Ханое, построенных в 70-х и 80-х годах прошлого века с неглубоким заложением фундамента. В каждом жилом микрорайоне насчитывается от 10 до 40 зданий, имеющих 4-6 этажей, площадью в среднем 700 м^2 , а также нескольких бытовые и культурные сооружений (базара, детские сады, школы и др.). Несущим слоем служат аллювиальные, озерные, аллювиально-пролювиальные отложения свит Хайхынг $(lb, m, bIV^{1-2}hh_{1,2,3})$ и Тхайбинь $(a, alb, aIV^3tb_{1,2})$. Конструктивные схемы таких зданий и сооружений принадлежит трем главным группам: бескаркасной с несущими стенами из кирпичной кладки; либо со стенами из железобетонных крупных панелей или железобетонный каркасный тип с кирпичным заполнением. Большая часть старых зданий и сооружений постройки 70 – 80 гг. 20 века строились на фундаментах неглубокого заложения, ленточных и перекрестноленточных, либо сплошных фундаментах, которые устраивались на естественном основании - в глинах или суглинках свит Виньфук и Тхайбинь, либо на искусственном улучшенном основании за счет устройства песчаной подушки; бамбуковых свай диаметром 50 - 100 мм, длиной 2.0 - 3.5 м и плотностью 22 - 30 шт. на 1 м^2 ; песчано-щебеночных свай, диаметром 30-40 см, глубиной до 6 м, располагающихся равномерно под подошвой фундаментов.

После 1980 года началось строительство наземных зданий преимущественно на фундаментах из забивных либо задавливаемых бетонных свай, или металлических трубчатых свай погружаемых в грунт с помощью вибрации. Несущим горизонтом для свай в большинстве случаев служили песчаные голоценовые отложения свиты Тхайбинь (aIV 3tb_1), плейстоценовые суглинки или пески свиты Виньфук (a,lIII $^2vp_{1,2}$). Свайные фундаменты, как правило, применялись при возве-

дении сооружений и зданий на слабых, неравномерно-сжимаемых породах верхнего и среднего голоцена (слабых грунтах свит Тхайбинь и Хайхынг). Работа свай как висячих предопределила значительную зону влияния сооружений и, соответственно, возможность развития дополни-тельных и неравномерных осадок.

В середине 90-х годов XX века началось массовое применение для наземных сооружений свайных фундаментов в виде буронабивных свай с широким диапазоном диаметра, несущим слоем для которых служили толщи песков, гальки и гравия свит Виньфук ($aIII^2vp_1$) и Ханой ($a,apII-III^1hn$) к которым приурочены водоносные горизонты Qp. На стадии эксплуатации зданий и сооружений особое значение приобретает активизация такого опасного процесса как развитие больших и неравномерных осадок, которые протекают длительное время. В практике проектирования сооружений по второму предельному состоянию (по деформациям) считается, что под давлением от сооружения водонасыщенные песчаноглинистые породы уплотняются под действием фильтрационной консолидации, что сопровождается повышением параметров их сопротивления сдвигу при условии, что давление от сооружения меньше расчетного сопротивления. В этом случае деформация основания здания происходит только под действием сжимающих напряжений.

Характерными примерами развития повышенных, неравномерных и длительно развивающихся осадок зданий и наземных сооружений в Ханое могут служить гражданские здания, построенные в 70 и 80 годах прошлого века.

Важно отметить, что в настоящее время по предварительным данным 90% из 250 обследованных зданий (4 — 6 этажей) имеют величину осадок от 100 до 400 мм [75,123]. В 50 зданиях и сооружениях зафиксированы значительные деформации 500-700 мм, реже - более 1200 мм, что относит эти здания к объектам, находящимся в аварийном состоянии (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Величины осадок зданий и сооружений в различных районах города Ханоя [23, 56, 81].

Здания и	Год	Конструктивный тип	Этажность	Тип фундамента	Характеристика деформации и
сооружения	строительства		Этажность	тип фундамента	максимальная величина осадки ($S_{\text{макс}}$)
С1 Тханьконг	1979	Железобетонный каркас с шагом 6 м	5	Пирамидальные сваи с отдельно строящими ростверками	Неравномерная, $S_{\text{макс}} = 750$ мм за 6 лет
В7 Тханьконг	1978	Несущие стены из крупных панелей	5	Ленточный	$S_{\text{макс}} = 700 \text{ мм } 3a 6 \text{ лет}$
О2 Тханьконг	1979	Несущие стены из крупных панелей	5	Сплошной на песчаной подушке	Неравномерная, $S_{\text{макс}} = 560$ мм за 6 лет
Е6 Куньмай	1979	Несущие стены из крупных панелей	5	Пирамидальные сваи с ленточными ростверками	Неравномерная, $S_{\text{макс}} = 1260$ мм за 4 года
Е7 Куньмай	1979	Несущие стены из крупных панелей	5	-//-	Неравномерная, $S_{\text{макс}} = 755 \text{ мм}$ за 4 года
1А Винфук	1981	Железобетонный каркас с шагом 6 м	5	-//-	Неравномерная, $S_{\text{макс}} = 506$ мм за 3 года
1В Ванфук	1981	Железобетонный каркас с шагом 6 м	5	-//-	Неравномерная, $S_{\text{макс}} = 700$ мм за 3 года
1С Ванфук	1981	Железоб тонный каркас с шагом 6 м	3	-//-	$S_{\text{макс}} = 720 \text{ мм за 3 года}$
Гостиница Латхань	1978	Несущие стены из кирпичной кладки	5	Ленточный	Неравномерная, $S_{\text{макс}} = 500$ мм за 4 года
Е2 Чунгты	1981	Несущие стены из кирпичной кладки	5	Сплошной	Неравномерная и значительная осадка
С28 Тыонгмай	1979	Несущие стены из кирпичной клад и	3	Ленточный	Неравномерная и значительная осадка
А1 Жангво	1985	Несущие стены из крупных панелей	5	Сплошной	Неравномерная осадка
В2 Нгокхань	1987	Несущие стены из крупных панелей	6	Сплошной на основании, улучшенном песчаными сваями	Неравномерная, $S_{\text{макс}} = 1200$ мм за 4 года
В6 Жангво	1976	Несущие стены из крупных панелей	5	Ленточный на песчаных сваях	Неравномерная осадка и серьезные деформации
научно- техническая библиотека	1956	Кирпичная кладка	2	Ленточный из кирпича	Неравномерная осадка

Повреждения и деформации зданий и сооружений выражаются в образовании трещин в стенах, на полах, в углах окон или дверей, в разрушении лестниц, подземных систем канализации, водопровода и др. Раскрытие трещин составляет от 2,0 до 25 мм, местами до 50 - 100 мм, их длина — от 10-40 см до 150-300 см. Кроме того, неравномерные осадки зданий вызывали их крен, перекосы, прогибы и выгибы. Следует также отметить, что почти все здания и сооружения, имеющие повреждение за счет неравномерности развития осадок, были построены в пределах районов, где преимущественное развитие имеют болотно-озерные отложения голоцена свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$), реже свиты Тхайбинь ($albIV^3tb_1$).

Результаты наблюдений за осадками показали, что их развитие имеет различные закономерности во времени: 1) после окончания строительства скорость осадки не снижается или снижается незначительно; 2) осадки развиваются в период строительства незначительно, во время эксплуатации происходит большие осадки. По первому сценарию происходило развитие деформаций зданий A2, A3, A6, C6, C7, E6 в жилом микрорайоне Жангво, A2, B1, B2, B8 – Нгокхань, C5, C6, C7 – Танмай, B7, E3, E4, E6, E7, K7 – Тханьконг, E6, E7 –Куньмай и др. По второму – дом 87 на ул. Чанхынгдао, дом 2 на ул. Хунгвыонг, E4 в жилом микрорайоне Тханьконг и др.

Здания Е6 и Е7 (5 этажей) в жилом микрорайоне Куньмай с несущими стенами из крупных панелей были построены в 1976 г. и 1978 г. Фундаменты зданий — пирамидальные сваи длиной 3,6 м и сечением $500x500 \text{ мм}^2$ с ленточным ростверком. Толща слабых водонасыщенных песчано-глинистых отложений нижнесреднего голоцена свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$) залегает на глубине от 5 от 7 м, с мощностью 15-18 м. После окончания строительства третьего этажа максимальные величины осадки составили 200-300 мм, после 3 лет их эксплуатации в 1982 г. осадка возросла до 755-1260 мм, и в 2001 г. достигла 1200-1350 мм. После 10 лет эксплуатации скорость осадки Е7 в районе Куньмай составляла 1,3-2,1 мм/мес. Основной причиной такой длительной и значительной осадки является использование типа фундамента, не соответствующего данным инженерно-

геологическим условиям. Для пирамидальных свай несущим горизонтом послужили наиболее слабые отложения в разрезе основания, имеющие значительную мощность.

Следует также отметить, что инженерно-геологический разрез участка довольно сложный. В верхней части залегают глины пластичной консистенции однородные по составу и свойствам, мощностью 0.8 - 2.0 м; ниже – глины текучепластичной консистенции с органическими остатками, мощность которых варьирует в широких пределах 2.0 - 15.0 м (слабые грунты свиты Хайхынг $-lbIV^{1-2}hh_1$); далее вниз по разрезу – суглинки твердой и полутвердой консистенции однородные по составу и свойствам мощностью 10 - 15 м. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что в пределах участки застройки была выполнена инженерная подготовка территории с полной отсыпкой, мощностью 3.0-4.5 м.

Очень часто причины перехода в аварийное состояние вновь построенных и эксплуатируемых зданий связаны с ошибками при проведении инженерногеологических изысканий, выбором типа и глубины заложения фундаментов, сложными инженерно-геологическими условиями, наличием слабых малолитифицированных глинистых отложений. Ошибки при инженерно-геологических изысканиях состоят в неточном определении условий распространения и залегания пород в разрезе и по площади, особенно для слабых водонасыщенных песчано-глинистых грунтов свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$), и в некорректной оценке параметров их прочности и деформируемости. Кроме того, загрязнение подземных вод и грунтов органическими поллютантами за счет утечек из систем водоотведения, отходами пищевой промышленности, а также наличие повсеместно заторфованных отложений в инженерно-геологическом разрезе исторического центра города, что предопределяет возможность разуплотнения грунтов за счет процесса биохимической газогенерации, постепенное снижение модуля общей деформации грунтов (таблица 3.4).

Свидетельством наличия органического вещества, служит высокое значение перманганатной окисляемости в грунтовых вод, достигает до $120~{\rm MrO_2/n}$ в центральных районах города.

	Таблица 3.4 – Мощность торфяных слоев в историческом центре Ханоя					
No	Участок	Мощность, м				
312	J IdeTok	Минимум	Максимум			
1	Суанфыонг - Ньён	1.5	11.8			
2	Майзич	0.7	14.5			
3	Нгокха	0.7	15.2			
4	Жангво - Тханьконг	8.4	16.7			
5	Нгатышо - Нгатывонг	0.7	15.9			
6	Озера Хоанкьем	2.3	10.5			
7	Жапбат - Дуойка	1.1	14.5			
8	Фапван	5.0	19.3			
9	Вандьен	0.0	11.1			
10	Хадинь - Чьеукхук	6.0	12.0			

Активизации биохимической газогенерации способствуют засыпка болот - с 2010 г. по 2017 г. в Ханое практически было засыпано 17 озер общей площадью 72.540 м², и утечки из системы водоотведения, кладбищ и др. Так, например, зоны болотных массивов и торфяников при поступлении сульфатов и их последующем восстановлении потенциально опасны в отношении биохимической газогенерации сероводорода.

Генерация малорастворимых биохимических газов (метан, азот, водород) обычно вызывает изменение напряженно-деформированного состояния толщи грунтов в основании сооружения. Накопление пузырьков газа снижает величину порового давления, еще более способствуя замедлению процесса консолидации. Неконсолидированное состояние глинистых отложений, формирование биопленок резко снижает прочность и соответственно несущую способность грунтов. Особенно опасно накопление пузырьков в песках и супесях, при этом наблюдается снижение внутреннего трения за счет действия газообразного несжимаемого компонента. Песчано-супесчаные отложения имеют высокую сте-

пень тиксотропности из-за практического отсутствия трения и малой величины сцепления, что даже при незначительных динамических и вибрационных воздействиях эти грунты переходят в подвижное состояние и, соответственно, способствуют усложнению условий строительства, эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений в историческом центре города, в том числе архитектурно-исторических памятников.

Следует принимать во внимание, что образование растворимых в воде газов – диоксида углерода и сероводорода вызывает повышение агрессивности грунтовых вод по отношению к строительным материалам подземных конструкций: бетону и железобетону, сероводород проявляет коррозионную способность по отношению к металлам.

Таким образом, развитие осадок зданий при сложных инженерногеологических условиях и возникновение экзогенных процессов в пределах изучаемой территории, убедительно доказывает необходимость организации мониторинга изменения состояния и свойств грунтов в зоне основания сооружений. В целях контроля за процессом газообразования и предупреждения нежелательных процессов следует иметь постоянно действующие газовые скважины, заложенные в местах существующего либо потенциально возможного образования и накопления газов. Размещения газовых скважин определяется наличием участков, где в разрезе фиксируются заторфованные отложения, а также в пределах территорий, в разрезе которой проложена региональная система водоотведения, зоны засыпанных водотоков и озер, а также влияние действующих кладбищ. Глубина скважин для наблюдений за биохимической газогенерацией зависит от инженерно-геологических особенностей разреза (глубина залегания слоев суглинков и глин с высокими органическими остатками и заторфованных грунтов).

Проведение мониторинга изменения состояния и состава грунтов необходимо для своевременного выявления неблагоприятного состояния и свойств грунтов в основании под влиянием природных и природно-техногенных

факторов. Сеть скважин мониторинга должна покрывать целую площадь, в пределах которой развиты слабые грунты с целью контроля и прогнозирования их трансформации во времени. Интервал между наблюдениями составляет от 1 до 2 раз в год.

3.4 Мониторинг природно-техногенных процессов

3.4.1 Мониторинг оползневых процессов

Оползневые процессы локально распространены на территории исторического центра города и развиваются вдоль берегов и русла реки Красной, особенно в дождливый сезон. В периоды половодий и паводков вследствие значительного повышения уровней и возрастания расходов, речной поток заполняет целиком все русло реки и разливается на пойме (в дождливый сезон). В эти периоды отметка уровня воды часто колеблется от 7 до 10 м, иногда 12 м, и максимальной - 14,12 м (1971 г.), расходы потока — от 3000-4000 м³/с до 15000-16000 м³/с, реже более 19000 м³/с. При паводках скорость течения воды может достигать от 1,6 до 2,3 м/с, реже 3 — 4 м/с (гидрометеорологический центр Ханоя, 2014).

Как известно, в районах высоких пойм и населенных пунктов вне защитных дамб, а также русла и вдоль берегов р. Красной повсеместно распространены рыхлые, супесчаные и хорошо водопроницаемые грунты свиты Тхайбинь $(aIV^3tb_{1,2})$, часто залегающие над маломощными слоями суглинков, влияющих на развитие оползневых процессов.

Работа рек проявляется в размыве и разрушении их русел, берегов, а также в переносе рыхлого материала, поступающего в её поток. В результате развития боковой и донной эрозии, особо активных в периоды половодий и паводков, возникает повреждения и/или разрушения защитных дамб от наводнения, а также других сооружений и зданий, построенных на берегах реки или на высоких поймах (фото 3.1).













Фото 3.1 – Оползневые деформации берегов реки Красной в участках Нгоктху – Бодэ района Лонгбьен в дождливый сезон 2006 г. [Чан Суан Тхай и др., 2006 г.]

Таким образом, обеспечение длительной устойчивости откосов рек города должно проводиться на основе организации и проведения локального мониторинга.

Наблюдения за оползневыми процессами обычно проводятся с помощью комплексных методов, включающих: 1) оценку деформаций дневной поверхности набережных, откосов рек путем оборудования грунтовых реперов; 2) наблюдения за устойчивостью по реперам и маркам расположенных вблизи водотоков ответственных зданий и сооружений, в том числе архитектурно-исторических памятников (пагода Боде, пагода Хоэняй, большой театр Ханоя и т.д.); 3) наблюдение за фильтрационными деформациями.

Получение информации о развитии оползневых процессов на откосах рек города обеспечит организация реперной сети, которая позволит выявить угрозу оползневых деформаций на ранних стадиях. При этом репера располагаются по профилям и охватывают всю территорию возможных подвижек откосов.

При проведении локального мониторинга рекомендуется использовать методы неконтактного (дистанционного) мониторинга, которые в пределах города наиболее эффективно применяются для контроля расположения и развития оползневых объектов, положения искусственных склонов и откосов. Кроме того, дистанционные методы могут применяться для выявления и оконтуривания источников загрязнения подземного пространства, в том числе свалок. Следует отметить, что дистанционные методы также могут быть использованы для обнаружения развития геологических процессов и расположения объектов загрязнения [7].

При изучении оползневых процессов в рамках локального мониторинга следует применять комплекс аэрокосмических фотосъемок и наземных исследований по реперам и маркам, что обеспечит получение объективной и оперативной информации, как о самих оползневых процессах, так и факторах их образования, позволит изучить процесс их развития, особенности динамики и механизм образования [8].

Сеть дистанционного мониторинга должна покрывать берега рек в местах отсутствия их закрепления или нарушения сплошности защитных дамб с целью контроля их устойчивости. Интервал между съемками составляет от 1 до 4-х раз в период сухого и дождливого сезона.

3.4.2 Мониторинг оседания земной поверхности

Одним из действенных причин деформации земной поверхности является влияние существенного снижения уровня воды в плейстоценовом напорном водоносном горизонте (Qp), вызывающего образование ряда депрессионных воронок в центральных районах Ханоя, особенно вблизи водозаборов. Хорошо известно, что изменение гидродинамических условий водоносных горизонтов влечет за собой варьирование напряженного состояния грунтовой толщи. Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности при снятии напоров водоносного горизонта Qp показали, что рассматриваемые архитектурно-исторические памятники (Ханойская Флаговая башня, Доанмон ворота и Ханойский Кафедральный собор) попадают в зону оседания поверхности от 30 см до 60 см, при этом мощность слабых грунтов превышает 10 м (рисунок 3.5).

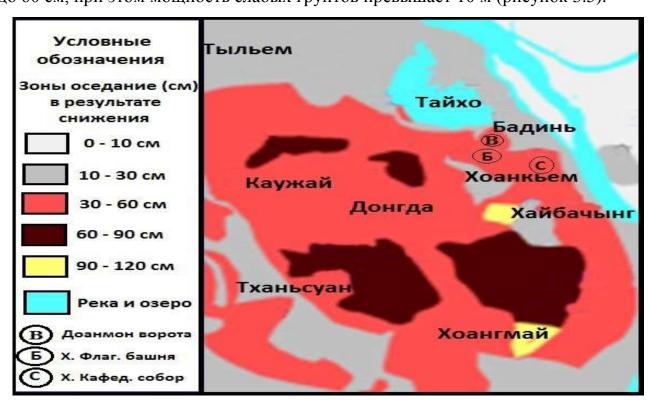


Рисунок 3.5 - Карта развития осадок земной поверхности на территории г. Ханоя в результате использования подземных вод в 2013 г.

Как известно, снижение напоров горизонта на каждые 10 м вызывает рост эффективных напряжений ($\sigma_{9\varphi}$) на 0,1 МПа и может повлечь за собой развитие опасных деформаций поверхности и эксплуатируемых сооружений. В пределах изучаемой территории максимальная скорость оседания земной поверхности, достигающая 41 мм/год, фиксируется в участке Тханьконг района Бадинь, где действуют эксплуатационные скважины на данный водоносный горизонт Qp.

Особое внимание при организации мониторинга за деформациями земной поверхности следует обратить на слабые водонасыщенные грунты, для которых способность к развитию деформации является наиболее высокой. Например, суммарная осадка земной поверхности в центральной части пьезометрической воронки в зоне районе Бадинь в период 1994-2004 гг., по данным расчетов, составила 323,7 мм; в районе Хоангмай - 189,14 мм в период 1996-2004 гг. [74, 75]. На станциях, в разрезе отсутствуют слабые грунты скорость оседания земной поверхности значительно ниже, например, Майзич (1998-2004), Донгань (2002-2004) - 4,66 мм/год - 2,81 мм/год [74, 125]. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что существует гидравлическая связь водоносного горизонта Ор и вышележащего водоносного горизонта Qh через гидрогеологические «окна» и затрудненная рассредоточенная фильтрация. Например, результаты экспериментальной откачки воды из скважины KD - водоносный горизонт Qh района Тханьсуан отражает, что параллельно происходит понижение уровня вод в скважине KD1 - водоносный горизонт Qp ($S_{\text{мах}} = 0.43$ м). После окончания эксперимента уровень воды восстанавливается и через 24 часа величина подъема пьезометрической поверхности горизонта Ор составился 0,31 м, хотя между горизонтами прослеживается слабопроницаемый глинистый слой мощностью 4,8 м. Наоборот, при проведении откачки воды из скважины KD1- водоносный горизонт Qp, происходит понижение уровня вод в скважине KD - водоносный горизонт Qh и через 22 часа уровень воды был восстановлен полностью.

При контроле и наблюдениях за деформациями дневной поверхности требуется также определить зоны перетекания и изменения химического состава

подземных вод, используемых для питьевых целей, в том числе следить за компонентами: NH_4^+ ; перманганатной окисляемостью; pH; NO_3^- ; NO_2^- ; SO_4^{2-} ; Na^+ ; минерализация; тяжелые металлы; $Б\Pi K_5$.

Необходимо отметить, что вследствие оседания дневной поверхности происходит повреждение зданий и сооружений, канализационных коллекторов, трубопроводов, подтопление низменных частей городских территорий.

Необходимо установление взаимосвязи между варьированием уровня воды водоносного горизонта Qp и величиной деформации дневной поверхности, затем оценка их воздействия на длительную устойчивость наземных сооружений, в том числе архитектурно-исторических памятников.

Следует проводить геодезические наблюдения за деформациями по реперам: поверхностным и глубинным, при этом последние устанавливаются там, где отмечается выпор грунта из-под сооружения. Необходима установка маяков в зонах зафиксированных и выявленных деформаций, а также в пределах участков, где наблюдается трещинообразование в несущих конструкциях различных сооружений.

Наблюдательные скважины мониторинга на водоносный горизонт Qр необходимо приурочить к территориям расположения наиболее важных объектов для города, в том числе архитектурно-исторических памятников, находящихся в предаварийном состоянии — Ханойский Кафедральной собор, Флаговая башня, Доанмон ворота и др.

Периодичность опробования при организации наблюдений за динамикой варьирования пьезометрической поверхности водоносного горизонта Qp для оценки его роли в развитии деформаций определяется интенсивностью использования вод этого водоносного горизонта для хозяйственно-бытовых и питьевых целей. В настоящее время с учетом увеличения добычи вод водоносного горизонта Qp можно рекомендовать наблюдения за гидродинамическим режимом 4 раза в год.

Выводы

- 1. Исторический центр Ханоя располагается на долине дельты реки Красной, включает 9 центральных районов и характеризуется сложными инженерногеологическими особенностями, служащими базовыми положениями при создании концепции и структуры комплексного мониторинга на локальном уровне.
- 2. На изучаемой территории региональными и локальными источниками загрязнения подземного пространства служат: действующие кладбища, утечки из канализационных систем; загрязнение способствует дополнительному ухудшению грунтовых вод, а также состояния и свойств песчано-глинистых грунтов.
- 3. Локальный инженерно-геологический мониторинг исторического центра города Ханоя включает наблюдения и контроль за:
 - контаминацией и гидродинамическим режимом грунтовых вод и грунтов;
- биохимической газогенерацией в толще грунтов, содержащих органические остатки свит Хайхынг, Тхайбинь в разрезе четвертичных отложений;
- оползневыми процессами оградительных дамб для предупреждения их развития;
 - неравномерной осадкой зданий;
- деформациями дневной поверхности при формировании депрессионной воронки в процессе откачки подземных вод для водоснабжения Ханоя из водоносного комплекса Qp;
- •влиянием подземных сооружений на деформации дневной поверхности и осадки эксплуатируемых зданий;

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И СОДЕРЖАНИЯ ОБЪЕКТНОГО МОНИТОРИНГА АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ХАНОЯ

4.1 Обоснование общих положений структуры и содержания объектного мониторинга архитектурно-исторических памятников

Исторический центр представляет собой зону плотной застройки, как уже отмечалось ранее, в пределах которой располагается 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, в том числе архитектурно-исторических памятников: Ханойской флаговой башни (F); Ханойского кафедрального собора (T); Доанмон ворот (V) - памятника, принадлежащего Императорской цитадели Тханглонга (рисунок 4.1).

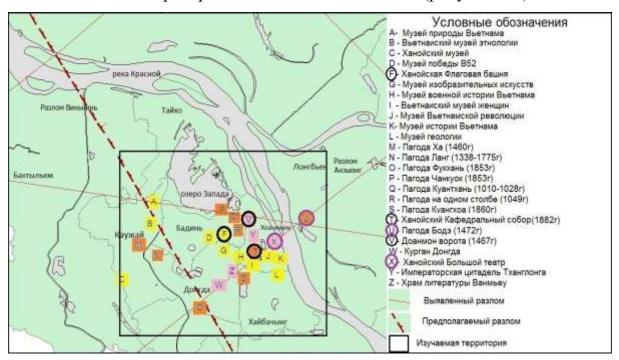


Рисунок 4.1 - Схема расположения нескольких архитектурно-исторических памятников в центре г. Ханой

В настоящее время комплексный мониторинг состояния компонентов подземного пространства и их влияния на устойчивость и безопасность функционирования сооружений в отдельных районах, а также наиболее значимых объектов городов практически не проводится. 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) [30]. 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 химического состава 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.

Концепция объектного мониторинга сооружения должна базироваться на специфике взаимодействия, нашем случае, архитектурно-исторического памятника с многокомпонентным подземным пространством, границы которого ограничиваются зоной основания. Однако, если придерживаться традиционной трактовки понятия «основание сооружения», то его размеры будут ограничиваться 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 воздействия границы зоны основания значительно расширяются. При назначении содержательной части мониторинга и ее структуры необходимо предусмотреть изучение тех преобразований в подземной среде, которые предопределяют длительную устойчивость исследуемого сооружения при негативном изменении несущей способности грунтов, интенсификации развития 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 (рисунок 4.2). 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 модулями общей деформации. Кроме того исследования показали, что в Ханое прослеживаются опасные экзогенные и эндогенные процессы и явления, которые воздействуют на изменение напряженно-деформированного состояния и физикомеханических свойств грунтов в основании сооружений, а также на его несущие конструкции. Так, например, снижение уровня подземных вод в процессе их водоснабжения использования приводит ДЛЯ К существенному эффективных напряжений, что определяет уплотнение песчано-глинистых деформацию земной поверхности и, как следствие. дополнительных осадок построенных зданий и сооружений и особенно опасных архитектурно-исторических памятников, которые исчерпали свой ДЛЯ эксплуатационный ресурс. Необходимо подчеркнуть, что исторический центр Ханоя практически находится в зоне влияния плотной застройки, а также подтопления и затопления, что связано со значительным количеством годовых атмосферных осадков (1015 - 2536 мм в год) и гидрологическими особенностями реки Красной. Эти процессы приводят к ухудшению физико-механических свойств грунтов. Увеличение агрессивности подземных вод наблюдается за счет их загрязнения утечками из системы канализации и других источников загрязнения. Следует также принимать во внимание наличие прослоев и линз торфов разрезе основания, что значительно повышает не только деформационную способность слоистого основания под действием статического давления и вибраций, но и способствует развитию микроорганизмов различных физиологических групп (бактерий, микромицетов, актиномицентов, микроводорослей) в нижележащих грунтах. Активность подземной микробиоты приводит к развитию биокоррозионных процессов строительных материалов подземных конструкций. Кроме того капиллярное поднятие грунтовых вод,

обогащенных микробиотой и увлажнение стен зданий дает возможность для развития биокоррозионных процессов на первых этажах зданий.



Рисунок 4.2 - Блок-диаграмма формирования концепции, структуры и содержания объектного мониторинга некоторых архитектурно-исторических памятников Ханоя

4.2 История строительства и результаты обследования Ханойского Кафедрального собора

Ханойский кафедральный собор (фото 4.1) построен на месте пагоды Бао Тхиен — буддийской святыни XI века. Новый храм открылся на Рождество 1886 года римско-католической архиепархией Ханоя. Своей архитектурой неоготическое здание с двумя квадратными высокими колокольнями и арочными окнами напоминает собор Парижской Богоматери во Франции. Интерьер оформлен в традициях средневековых европейских храмов. Своды нефа и стены отделаны деревянной резьбой с позолотой. Витражи для стреловидных оконных арок привезены из Франции. Каждую из двух башен оснастили пятью колоколами. Дань местным обычаям — статуя Девы Марии установлена в левой части нефа.



Фото 4.1 – Ханойский кафедральный собор

Ханойский кафедральный собор построен из кирпича и камня и имеет монолитную облицовку. Тип фундамента собора - ленточный. Глубина заложения фундамента - 4,5 м. В настоящее время на северном и южном фасадах собора, на купольных окнах и на близлежащих дорогах Ханойского кафедрального собора возникают многочисленные наклонные трещины с раскрытием от 1,0 до 5 мм, местами - до 10 мм (заделаны цементом) и длиной - от 100-400 мм до 1000-1500 мм (фото 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7).

Необходимо подчеркнуть, что Ханойский кафедральный собор находится в Старом квартале столицы, являющимся наиболее густонаселенным районом. Старый квартал, который известен, как район 36 древних улиц, включает здания и памятники, построенные в 70-х годах XIX века. Улицы здесь узкие, от 3 до 4 м, их длина обычно составляет 40-60 м, что предопределяет затопление этой зоны во время наводнений и в период дождливых сезонов [88, 96].

При оценке устойчивости различных сооружений наличие слабых грунтов в их основании имеет принципиальное значение. В разрезе слабых грунтов присутствуют аллювиальные и аллювиально-озерно-болотные грунты с органическими остатками различной степени разложения свиты Тхайбинь ($albIV^3tb_{1,2}$) мощностью до 22 м (скважина НК103 на территории района Хоанкьем вблизи Ханойского кафедрального собора). Анализ данных станций мониторинга Лыонгиен (2000-2004 гг.) и Нгошильен (2002-2004 гг.) за оседанием земной поверхности в связи с водозабором подземных вод показывает, что станции, располагающиеся на слоях слабых грунтов, имеют высокую скорость оседания земной поверхности (Лыонгиен - 15,94 мм/год и Нгошильен - 26,52 мм/год) [74, 125].

На основании исследований деформаций земной поверхности в пределах исторического центра Ханоя и выполненного анализа снимков Slowly Decorrelating Filtered Phase pixels (SDFP) [136], полученных с использованием техники Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), выделены участки с различной величиной оседания земной поверхности, которые могут повлиять на устойчи-

вость и трещинообразование Ханойского кафедрального собора и зданий и сооружений в Старом квартале Ханоя (рисунок 4.3).

На рисунке 4.3 показаны деформации дневной поверхности, которые влияют на устойчивость Ханойского кафедрального собора. Территории кварталов Хангчонг (S7) и Тхосыонг (S8), где наблюдаются деформации земной поверхности, имеют среднюю скорость опускания, соответственно, 12,3 мм/год и 14,2 мм/год. Они находятся рядом с крупной строительной зоной, где возводятся высотные здания. Расстояние от центра сдвижения земной поверхности до Ханойского кафедрального собора составляет всего 12 м, что отражают результаты спутниковой съемки (рисунок 4.3). Такие деформации вызывают существенные повреждения в несущих конструкциях собора, а также окружающих зданий и сооружений.

Как отмечалось в разделе 3.2, большинство канализационных систем города построено в колониальный период, и в настоящее время сеть водоотведения не справляется с возросшими объемами канализационных и ливневых стоков, а также промышленных вод, что приводит к контаминации грунтовых вод и грунтов. Негативное изменение химического состава грунтовых вод в Старом квартале не только ухудшает состояние и физико-механические свойства грунтов в основании кафедрального собора, но и способствует коррозионной способности подземной среды по отношению к несущим конструкциям. Наличие кальция и магния является следствием выщелачивания растворов и разрушения материалов конструкций фундаментов. Содержание Ca²⁺ и Mg²⁺ в грунтовой воде около собора достигало, соответственно, 61 мг/дм³ и 30 мг/дм³ (таблица 4.1).

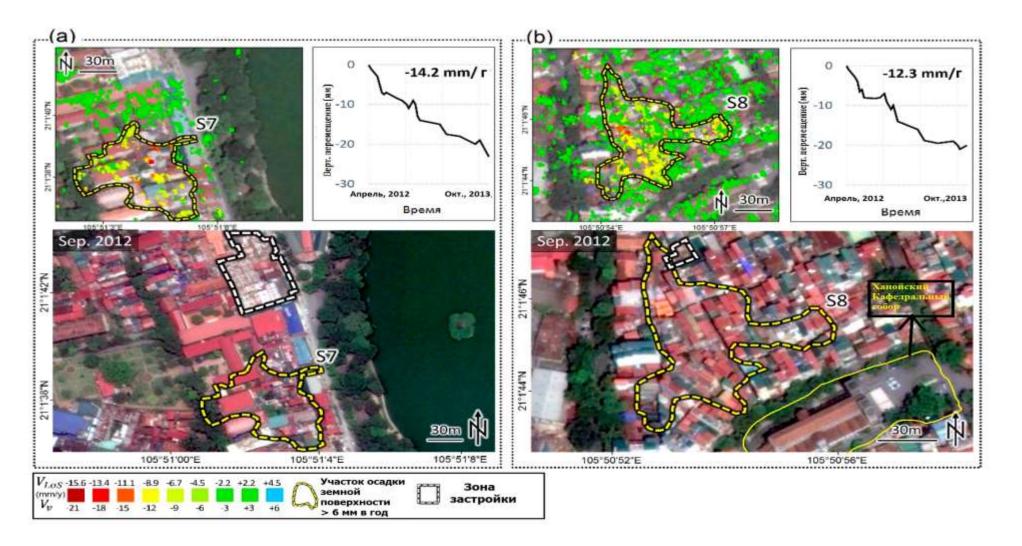


Рисунок 4.3 — Схема оседания земной поверхности и диаграмма развития оседания во времени в пределах Старого квартала

Примечание: V_{LoS} - Величина средней осадки во время; V_v – максимальное оседание земной поверхности во времени; (а) – ул. Хангчонг S7; (b)- ул. Тхосыонг S8 [136]

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 NH_4^+ (30,64 мг/дм 3) и частично восстановленных нитритов NO₂, а также двухвалентного железа [125, 133]. Величина окислительновосстановительного потенциала Ећ водоносных горизонтов изменяется от -20 до -150 mV (Фам Куи Нань, 2008 г.) 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 Са2 цемента в бетоне катионами аммония, в результате чего происходит существенное снижение прочности бетона. Следует отметить, что при определении NH_4^+ в лабораторных условиях происходит их быстрое окисление и переход в форму нитратов NO₃⁻. Значение перманганатной окисляемости достигает 30,5 мгО₂/дм³, что в 7,6 раза превышает значения, регламентируемые Вьетнамским государственным стандартом качества для подземных питьевых вод. Наличие агрессивной углекислоты СО_{2агрес}. величиной до 41,8 мг/дм³ способствует углекислой коррозии, переводящей нерастворимые карбонаты кальция в растворимые бикарбонаты. Разрушение фундамента Ханойского кафедрального собора создает условия для развития дополнительных осадок и трещинообразований в несущих конструкциях памятника. В то же время содержание нитратов ниже, чем нитритов. Следует также отметить, что определение рН 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 рН будет достигать 3,5 - 4,0.

1 I /

Таблица 4.1 - Некоторые показателей химического состава грунтовых вод около Ханойского Кафедрального собора (Скв.Р58b) и Ханойской Флаговой башни (Скв.Р33) [55, 133]

№ Название сооружения катионов мг/дм³ занионов мг/дм³ анионов мг/дм³ Перман.окис сооружения СО2 агрес лизация мг/дм³ рН жесткость мг-экв/дм³ 1 Скв.Р12b 60 30,6 61 29,9 10,3 12,1 35,8 21,64 436,4 14,05 4,8 30,5 41,8 521 7,2 6,02 2 Скв.Р33 21 18,5 95 25 11,3 0,5 21,02 23,56 369,3 <0,03 1,2 31 - 780 7,5 7,08	No		Содержание													Минера-		Общая
1 Скв.Р12b 60 30,6 61 29,9 10,3 12,1 35,8 21,64 436,4 14,05 4,8 30,5 41,8 521 7,2 6,02			катионов мг/дм 3						анионов мг/дм ³					-	_	_	рН	
			Na ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃	NO ₂	NO ₃	-ляеммость	агрес	мг/дм ³		мг-экв/дм ³
2 Скв.Р33 21 18,5 95 25 11,3 0,5 21,02 23,56 369,3 <0,03 1,2 31 - 780 7,5 7,08	1	Скв.Р12b	60	30,6	61	29,9	10,3	12,1	35,8	21,64	436,4	14,05	4,8	30,5	41,8	521	7,2	6,02
	2	Скв.Р33	21	18,5	95	25	11,3	0,5	21,02	23,56	369,3	<0,03	1,2	31	-	780	7,5	7,08

Скв.Р58b и Скв.Р33 – режимные сети

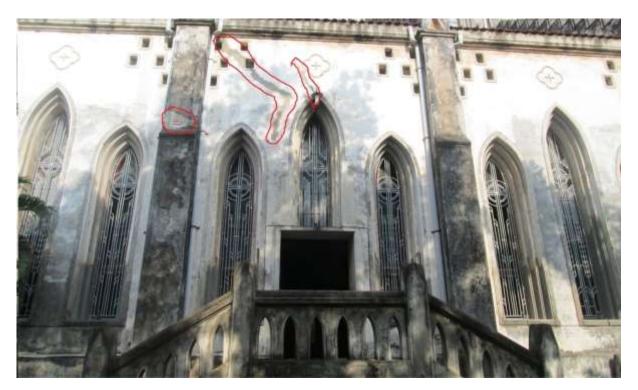


Фото 4.2 - Образование трещин в стенах, на купольном окне и биопленки различной плотности серо-черного цвета на северо-западном фасаде Ханойского Кафедрального собора (Ханой-2016 г.)

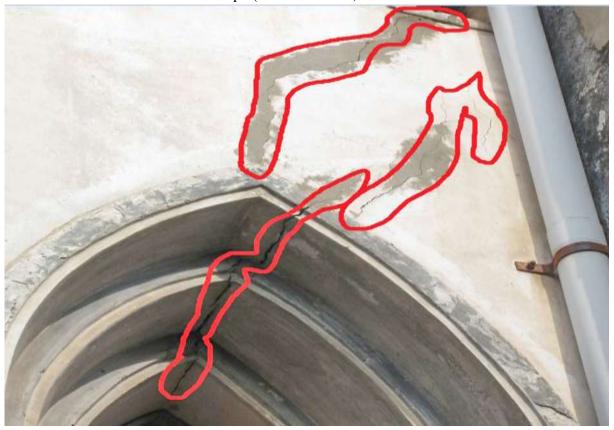


Фото 4.3 - Образование трещин в стенах и на купольном окне на южно-восточном фасаде Ханойского Кафедрального собора (Ханой-2016 г.)

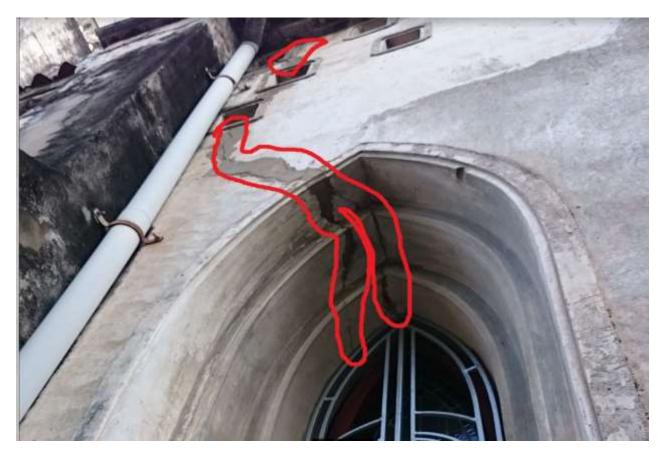


Фото 4.4 - Образование трещин в стенах, на купольном окне и биопленок различной плотности серо-черного цвета - фрагмент северо-западного фасада Ханойского Кафедрального собора (Ханой-2016 г.)



Фото 4.5 – Формирование трещин в дорожном покрытии вблизи Ханойского Кафедрального собора (Ханой-2016 г.)

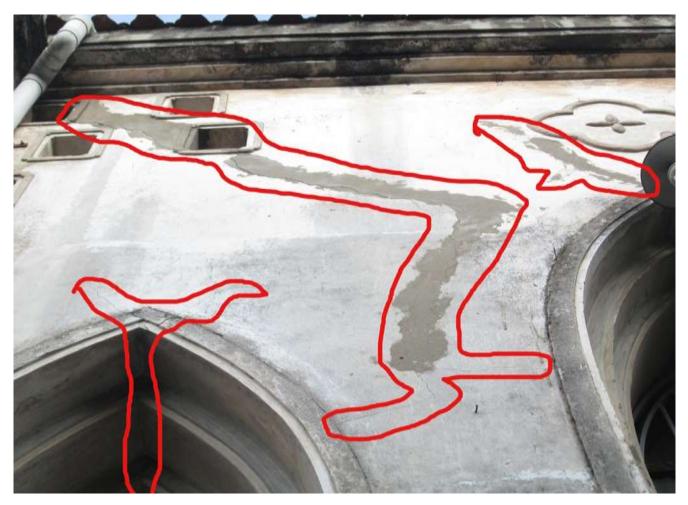


Фото 4.6 - Образование трещин в стенах и на купольном окне на южно-восточном фасаде Ханойского Кафедрального собора (Ханой-2016 г.)



Фото 4.7– Формирование трещин в дорожном покрытии вблизи Ханойского Кафедрального собора (Ханой-2016 г.)

Одним из важных факторов для оценки развития длительных и неравномерных осадок собора является изменение напряженного состояния грунтов в его основании под действием давления от собора. Общая длина Ханойского кафедрального собора - 64,5 м, ширина - 20,5 м, высота двух колоколен - 31,5 м, вес - 19392 т. При этом максимальное давление на основание составляет 0,147 МПа. Как уже отмечалось (таблица 2.3 в разделе 2.3), максимальное значение расчетного сопротивления грунта R_0 в основании достигает 0,069 МПа. При условии, что $p_{coop} > R_0$, развитие деформаций сооружения происходит за счет пластических деформаций грунта.

Здания Старого квартала, построенные на слабых отложениях весьма чувствительны к действию вибрационных воздействий от транспорта и строительных работ, что способствует впоследствии переходу зданий и сооружений в аварийное и/или предаварийное состояние. Например, трехэтажный дом №43 на улице Кыабак Старого квартала разрушился при рытье котлована для строительства дома №41. Необходимость изучения динамического воздействия требуется при проведении объектного мониторинга Ханойского кафедрального собора.

Необходимо также обратить внимание обследование фасада на кафедрального собора в Ханое, которое свидетельствует о наличии значительного биологического повреждения (фото 4.2, 4.3, 4.4). Собор построен из кирпича, однако штукатурное покрытие в наибольшей степени страдает от воздействия внешних факторов. Прежде всего к ним следует отнести климатические условия (высокая влажность), а также высокий уровень атмосферных загрязнений. Оседающие частицы из атмосферы способны вызывать не только изменение цвета облицовочного материала, но и катализировать деструктивные процессы коррозии. В составе загрязнителей атмосферы в городской среде содержатся (например, алифатические органические вещества И ароматические углеводороды), которые могут быть использованы микроорганизмами в качестве источников питания. Вероятно, высокая влажность и повышенный уровень

атмосферного загрязнения и послужили причиной развития биопленок, которые покрывают значительную часть фасада кафедрального собора. Они изменили его цвет до серо-черного. В составе биопленок в подобных условиях доминируют темноокрашенные микроскопические грибы, бактерии (особенно часто преобладают цианобактерии), а также микроскопические водоросли (Chlorophyta). Распределение темных налетов на поверхности собора неравномерное, что объясняется повышенного наличием 30H увлажнения И расположением рельефных элементов фасада. Наиболее темные участки облицовки расположены в нижней части здания, где штукатурное покрытие подвержено значительной деструкции. Можно выделить следующие типы повреждения облицовки фасада кафедрального собора:

- шелушение и отслаивание штукатурного покрытия, наблюдаемое на открытых участках стен, а также в оконных заполнениях;
- осыпание штукатурного покрытия, образование выбоин (местами до кирпичной кладки);
- местами на поверхности штукатурного слоя образуется черная корка, которая отслаивается и осыпается, вероятно, такой тип повреждения материала связан с образованием гипса (гипсовая корка или обогащенная гипсом патина);
- трещиноватость материала (наличие макро- и микротрещин), в местах глубоких трещин образуются выбоины (до кирпичной кладки);
 - биопленки различной плотности серо-черного цвета.

Наиболее плотные биопленки формируются в местах движения влаги, что хорошо заметно под кровлей (верхний козырек). Такие пленки типичны для городской среды и обычно образуются во влажном климате при высоком атмосферном загрязнении. В их составе доминируют темноокрашенные микромицеты, а также бактерии. Биопленки зеленого цвета (с доминированием зеленых водорослей) зафиксированы в центральной части собора, под часами. На фасаде отчетливо видны следы реставрационных работ (расчистки, заделка трещин).

Таким образом, развитие деформации собора напрямую связано с наличием слабых грунтов в основании сооружения, а также контаминацией и действием статических и динамических нагрузок. Следует также отметить, что собор расположен вблизи эксплуатационных скважин для водоснабжения Ханоя, что несомненно активизирует процессы трещинообразования в несущих конструкциях рассматриваемого памятника за счет развития деформации земной поверхности при снятии напоров.

Содержание объектного мониторинга Ханойского кафедрального собора рассматривается в разделе 4.4 вместе с Ханойской флаговой башней и Доанмон воротами Императорской цитадели Тханглонга, что связано с аналогичными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями их размещения.

4.3 История создания и результаты обследования Ханойской Флаговой Башни и Доанмон ворот Королевской цитадели Тханглонга

Ханойская Флаговая башня является одним из символов города. Башня построенная в 1812 году во время последней феодальной династии (династия Нгуен), в отличие от многих других зданий Ханоя, не была разрушена. Во времена французского господства над Вьетнамом (1885-1954 год), она использовалась для наблюдения за окрестностями и как точка сообщения между штаб-квартирой и отдаленными военными постами. Её высота превышает 33 метра, а вместе с национальным флагом составляет более 40 метров. Эта красивая архитектурная достопримечательность представляет собой пирамиду с гранями, которая состоит из трех нижних этажей и собственно башни, построенных из кирпича. Фундамент башни - плита с глубиной залегания 4 м.

- •Первый этаж: каждая боковая сторона имеет длину в 42,5 м и высоту 3,1 м.
- •Второй этаж: длина сторон достигает 27 м и высота 3,7 м.
- •Третий этаж с длиной 12,8 м и высотой 5,1 м.
- •Восьмигранная башня высотой 21,5 м

Доанмон ворота Императорской цитадели Тханглонга (1467 - ? гг) построены в XV веке во время династии Ле (1428-1527 гг.) в форме буквы «U» и были отре-

монтированы в период династии Нгуен (1802-1945 гг.) камнями и кирпичами «Во». Суммарная площадь, занимаемая Доанмон воротами, составляет 3970 м2, сооружение имеет три этажа высотой 15 м. По данным геологической съемки установлено, что фундамент Доанмон ворот поставлен на слабые слои - водонасышенный суглинок с органическими остатками, темно-серый, текучепластичный-текучий. Плитный фундамент заглублен 4 м из камней и кирпичей «Во» (кирпич «Во» является древо-строительным материалом, размером 40-45 см х 20-24 см х 5-7 см).

Известно, что Ханойская флаговая башня и Доанмон ворота расположены на территории района Бадинь, расстояние между ними составляет 120 м. При оценке устойчивости башни и Доанмон ворот принципиальное значение имеет толща четвертичных отложений. В разрезе четвертичных грунтов залегают водонасыщенные слабые песчано-глинистые грунты свиты Хайхынг и Тхайбинь мощностью до 19,2 м (скв. DD94 вблизи Доанмон ворот и Ханойской флаговой башни в районе Донгда). Снизу вверх по разрезу выделяют: суглинок с органическими остатками, темно-серый, текучепластичный — текучий мощностью 6,4 м; выше залегает толща темно-серого суглинистого илоподобного грунта предельно малой степени литификации с органическими остатками мощностью 3,5 м; следующая толща - водонасышенный суглинок с органическими остатками, темно-серый, текучепластичный-текучий, мощностью 2,2 м; и под фундаментом - водонасыщенный суглинок с органическими остатка-ми, серо-коричневый, текучепластичный — текучий мощностью 7,1 м.

Принимая все это во внимание, следует отметить, что на западном, южном и восточном фасадах Ханойской флаговой башни повсеместно возникают многочисленные наклонные трещины с раскрытием от 5 мм до 10 мм, местами - до 15 мм, их длина составляет от 1 м до 3,5 м. Аналогичная ситуация наблюдает-ся на стенах, купольном входе и в нижней части стен Доанмон ворот (фото 4.8 - 4.14).

Необходимо также подчеркнуть, что два этих памятника практически попадают в зону влияния депрессионной воронки, образующейся, как уже отмечалось

неоднократно, при откачке воды из напорного водоносного горизонта плейстоцена (скорость оседания земной поверхности до 40 мм в год, станция Тханьконг) [125, 74, 75]. Следовательно, можно предполагать, что образование трещин в несущих конструкциях Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот определяется развитием деформации земной поверхности при снятии напоров.

Следует принимать во внимание, что в жилых районах квартала Хангчао (S1), Тхихэ (S2) и Лэхонгфонг (S3) средняя скорость оседания земной поверхности достигает, соответственно, 12,7 мм, 11,0 мм и 14,3 мм в год (рисунок 4.4). Как видно, максимальная осадка земной поверхности отмечалась на улице Лэхонгфонг. Необходимо подчеркнуть, что расстояние от центра максимального оседания земной поверхности до Ханойской флаговой башни составляет менее 50 метров. На территории улицы Лэхонгфонг ведется строительство высотного здания (отель Армии, 15 этажей). Деформации земной поверхности интенсифи-цируют трещинообразование несущих конструкций этих двух памятников.

Формирование свойств грунтов в верхней толще разреза основания Ханойской башни происходило в анаэробной обстановке при наличии органических остатков техногенного природного происхождения, что существенно сказывается на снижении их прочности.

Источники контаминации грунтовых вод и грунтов в основании Ханойской башни и Доанмон ворот подразделяются на две группы: утечки из систем водоотведения и существующего кладбища. Это привело к изменению химического состава грунтовых вод и вмещающих грунтов на значительную глубину, а также способствовало к активизации деятельности микробиоты в подземной среде. В данном случае биохимическая газогенерация малораство-римых элементов (СН₄, N₂, H₂) служит дополнительным фактором ухудшения физико-механических свойств грунтов и, соответственно, снижения их несущей способности.

При организации наблюдений за состоянием двух памятников необхо-димо учитывать действие давления от сооружения и вибрационное воздействие от транспорта и строительных работ, особенно в связи с проходкой метрополитена

(линия №3), которая будет выполняться в недалеком будущем. Максимальное давление Ханойской флаговой башни на основание составляет 0,162 МПа с учетом заглубления, Доанмон ворот - 0,172 МПа. По данным таблицы 2.3 в разделе 2.3, максимальное значение расчетного сопротивления грунта Ro для слоя грунта в основании достигает 0,061 МПа. Соответственно, давление от Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот превышает величину Ro. Следовательно, грунты в основании этих памятников работают в зоне пластических деформаций.

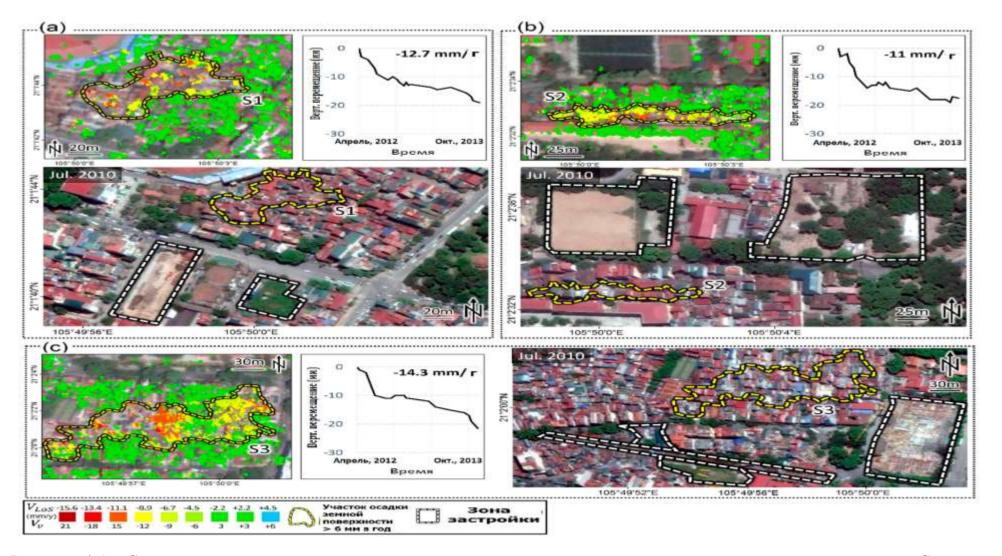


Рисунок 4.4 - Схема участка осадки земной поверхности и диаграмма развития осадки во времени в пределах Старого квартала

Примечание: V_{LoS} - Величина средней осадки во времени; V_v – Максимальная осадка земной поверхности во время; (а) – ул. Хангчао S1; (b)- ул. Тхихэ S2; ул. Лэхонгфонг (S3) [136]

Визуальное обследование Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот свидетельствует о наличии характерных признаков разрушения материалов, что связано с различными причинами (физическими, химическими, биологическими). Наиболее заметной формой деструкции каменных материалов двух памятников является биообрастание поверхности стен. Их нижняя часть практически полностью покрыта биопленками различного состава. Они развиваются на кирпичной кладке и других материалах, где образуют сплошной покров темного цвета. Очевидно, что развитие биообрастаний происходило продолжительное время. Развитию биопленок способствовало повышенное увлажнение (влажный тропический климат), поступление органических веществ из окружающей среды, капиллярное движение влаги в материале, а также механические нарушения (многочисленные трещины) и процессы химической (солевой) коррозии. В результате взаимосвязанных процессов физико-химической и биологической коррозии поверхностный слой кирпичной кладки претерпел существенные изменения. Деструкции подвергаются и другие материалы: бетон, штукатурное кладка. Ниже приводится описание основных каменная покрытие. деструкции материалов в Ханойской флаговой башне и Доанмон ворот.

биологический (биопленки) Поверхностный налет преимущественно черного и серого цветов. Он покрывает большую часть поверхности кирпичных стен в нижней части Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот. 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). Очевидно, что здесь происходит накопление органических веществ, поступающих на поверхность материала вместе с дождевой водой, что способствует активному росту микроскопических грибов и бактерий. Черный цвет биопленок и наслоений на поверхности кирпича объясняется развитием темноокрашенных микроскопических грибов (микромицетов) и лишайников, а также возможным присутствием цианобактерий.

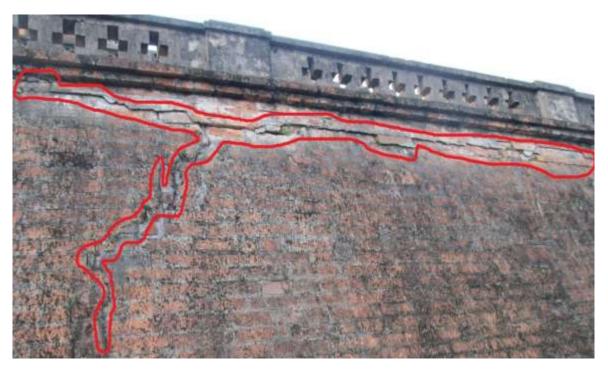


Фото 4.8 - Образование трещин на северном фасаде первого этажа Ханойской Флаговой башни (Ханой-2016 г.)



Фото 4.9 - Образование трещин и биообрастаний биопленок различного состава на восточном фасаде первого этажа Ханойской Флаговой башни (Ханой-2016 г.)



Фото 4.10 - Образование трещин и биообрастаний на северном фасаде второго этажа Ханойской Флаговой башни (Ханой-2016 г.)

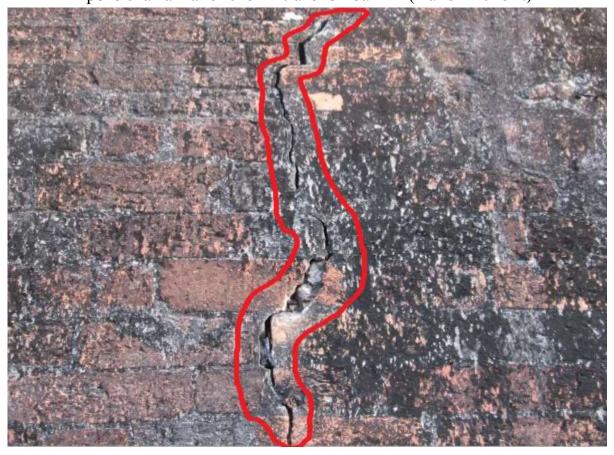


Фото 4.11 - Образование трещин и биообрастаний на восточном фасаде первого этажа Ханойской Флаговой башни (Ханой-2016 г.)



Фото 4.12 - Образование трещин на боковом фасаде первого этажа Доанмон ворот (Ханой-2016 г.)



Фото 4.13 - Образование трещин в стенах и на купольном входе Доанмон ворот (Ханой-2016 г.)

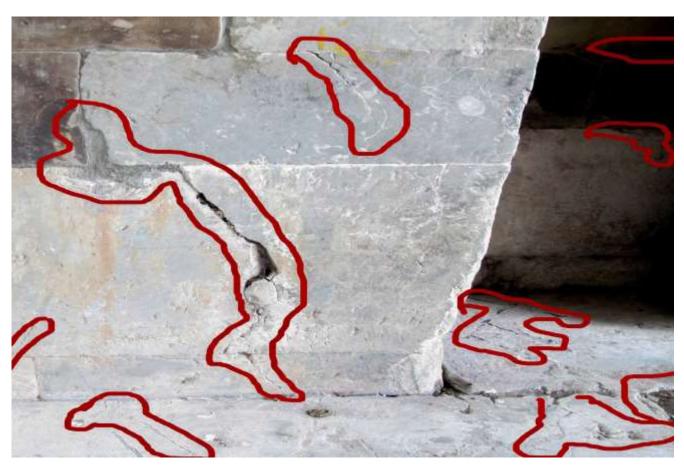


Фото 4.14 - Образование трещин в стенах и на подошвах стены Доанмон ворот (Ханой-2016 г.)



Фото 4.15 - Образование трещин в стене и на подошвах стены Доанмон ворот (Ханой-2016 г.)



Фото 4.16 - Образование трещин и биообрастаний биопленок различного состава в стене Доанмон ворот (Ханой-2016 г.)

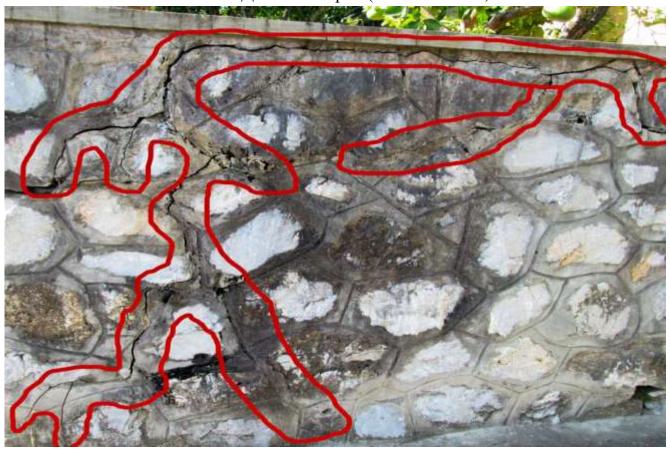


Фото 4.17 - Образование трещин в стене Доанмон ворот (Ханой-2016 г.)

Растрескивание и отслаивание поверхностных слоев кирпича происходят в местах биологического поражения и скопления влаги. Повреждение кирпича особенно заметно при отслаивании поверхностных биопленок.

Солевые наслоения покрывают местами значительную поверхность кирпичной стены в нижней части Ханойской флаговой башни. Соли выступают на поверхность в виде кристаллических новообразований. При этом биопленки образующиеся солевые отложения. Повсеместно нарастают на высолы проявляются на кладочном растворе (между кирпичами). Очевидно, что это приводит к ослаблению кирпичной кладки.

Осыпание кирпича отмечается в местах наиболее интенсивного разрушения поверхностного слоя, где в результате образуются глубокие каверны. Следует обратить внимание, что одной из наиболее заметных и опасных форм разрушения кирпичной кладки можно назвать трещиноватость. На стенах Ханойской флаговой башни зафиксированы микро- и макротрещины, что может быть обусловлено неустойчивым состоянием грунтов, развитием деформаций на объекте, отложением солей внутри кирпичной кладки (увеличение объема солевых отложений может приводить к «разрывам» каменного материала). В нескольких местах отмечены протяженные вертикальные трещины. При этом в местах развития крупных трещин наблюдается деформация (вспучивание) кирпичной кладки, что особенно заметно на угловых участках башни. Появление трещин опасно тем, что в них легко попадает влага, и процесс разрушения заметно ускоряется. Этому во многом способствуют биологические процессы. В местах появления трещин развиваются мхи, водоросли, а также высшие семенные Они способны аккумулировать растения. влагу, активизируя агрессивного микробного сообщества. Корневая система семенных растений способна проникать вглубь кирпичной кладки, вызывая ее глубокое разрушение.

Макрообрастания кирпичной кладки представлены преимущественно мхами. Они развиваются в местах повышенного увлажнения, в различных трещинах и выбоинах. На отдельных участках отмечается избирательное развитие мхов в местах деструкции кладочного раствора.

Штукатурное покрытие в облицовке элементов фасада заметно разрушается. Повсеместно наблюдается его отслаивание и осыпание. Местами происходит отслаивание до кирпичной кладки. В местах разрушения штукатурного покрытия выявлены различные биологические объекты (мхи, лишайники, водоросли, темные биопленки сложного состава). На поверхности штукатурного слоя местами формируется сплошной поверхностный биологический налет серочерного цвета. Вероятно, ведущую роль в нем играют темноокрашенные микроскопические грибы. В местах выбоин и глубоких трещин развиваются мхи и водоросли.

Природный камень, использованный в цокольной части Доанмон ворот, несет следы деструкции. Локально можно видеть черные пятна, которые формируются в местах намокания материала. Очевидно, здесь имеет место нарушение гидроизоляции и влага просачивается в цокольную часть Доанмон ворот. Образование черных пятен связано с развитием биологических объектов, прежде всего, темноокрашенных грибов и бактерий.

Напольная плитка повсеместно покрыта трещинами. В местах развития крупных трещин образуются выбоины.

Таким образом, обследование фасада Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот показало, что материалы в облицовке здания подвергаются заметной деструкции в результате взаимосвязанных процессов физико-химической и биологической коррозии. Выявлены многочисленные формы повреждения кирпичной кладки и штукатурного покрытия, а также других материалов, использованных в облицовке фасада Ханойской флаговой башни и ворот Императорской цитадели. Повсеместное развитие биологических объектов (микроскопические грибы, водоросли, цианобактерии, лишайники, мхи и семенные растения) способно значительно ускорять разрушение материалов.

Обеспечение длительной устойчивости Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот должно базироваться на создании системы объектного мониторинга по особенностям воздействия техногенных и природно-техногенных факторов, определяющих развитие деформаций рассматриваемых памятников.

4.4 Особенности комплексного инженерно-геологического объектного мониторинга на рассматриваемых объектах

Объектный мониторинг организуется для установления закономерностей динамики развития деформаций зданий и сооружений во времени как следствие преобразования компонентов подземного пространства в системе: вмещающие грунты - подземные воды - микробиота - газы - несущие конструкции архитектурно-исторических памятников под воздействием природных техногенных факторов. По данным, полученным в результате проведения мониторинга, можно делать выводы о причинах и характере разрушения памятников, первую очередь, ИХ несущих конструкций. Результаты мониторинга дают возможность предупреждать негативные изменения, проводить ремонтные работы с целью сохранения памятников и обеспечения их длительной устойчивости.

Структура объектного мониторинга показана на рисунке 4.2. Содержание объектного мониторинга Ханойского Кафедрального собора, Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот необходимо реализовать по следующим направлениям.

- 1. Наблюдение за изменениями состояния и физико-механических свойств грунтов в основании зданий под воздействием природных и техногенных факторов.
- 2. Проведение режимных наблюдений и контроля гидрогеологических условий за изменениями химического состава грунтовых вод, окислительновосстановительной и кислотно-щелочной обстановками для оценки их агрессивности по отношению к подземным конструкциям.

- 3. Наблюдение за снижением уровня подземных вод водоносных горизонтов Qh и Qp для оценки роли этого процесса в развитии деформаций Ханойского кафедрального собора, Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот.
- 4. Наблюдение за биохимической газогенерацией для оценки состава газов (метана, углекислого газа, азота, сероводорода, водорода). По содержанию СО₂, H₂S и H₂ определяют агрессивность подземной среды по отношению к конструкционным материалам. Накопление метана, азота и водорода малорастворимых газов создает газодинамическое давление, что способствует изменению напряженно-деформированного состояния грунтов в основании сооружений.
- 5. Влияние вибрационных воздействий наземного и подземного транспорта (проект трассы метрополитена Намтханглонг Чанхынгдао) на изменение напряженного состояния грунтов в основании зданий, разжижение грунтов и развитие дополнительных осадок.
- 6. Проведение геодезических наблюдений за деформациями по реперам: поверхностным и глубинным, при этом последние устанавливаются там, где отмечается выпор грунта из-под сооружения. Например, такие деформации характерны в зоне влияния Ханойского кафедрального собора.
- 7. Проведение специализированной геодезической съемки в системе 3D для оценки крена зданий.
- 8. Установка маяков по зафиксированным и выявленным трещинам в стенах памятников для контроля степени, характера и динамики раскрытия трещин.
- 9. Специализированные исследования природы коррозии фундаментов зданий, стен и других несущих частей здания в зависимости от типа конструкционных материалов, степени их увлажнения, химического состава грунтовых вод и их микробной пораженности.
- 10. Отбор проб образцов для постоянного контроля за состоянием штукатурного покрытия, образования выбоин в стенах сооружений за счет

изменения физико-химических условий и развития агрессивных микроорганизмов.

Следует отметить, что методы и методика проведения такого мониторинга должны рассматриваться как самостоятельное исследование. Таким образом, создается система комплексного объектного мониторинга для Ханойского кафедрального собора, Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот, что позволит определить основные факторы, связанные со спецификой их деформирования, и предложить рекомендации по проекту их реконструкции и реставрации для обеспечения длительной устойчивости. Кроме того, для архитектурно-исторических памятников следует создать специальные нормативы по охранным зонам, в пределах которых запрещается проведение каких-либо строительных работ, в первую очередь, устройство глубоких котлованов и других подземных сооружений даже с применением щадящих технологий.

Выводы

- 1. Развитие деформаций Ханойского кафедрального собора, Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот напрямую связано не только с наличием слабых грунтов в их основании, воздействием статических нагрузок, физико-химических и биохимических факторов, строительных работ, вибрационным воздействием транспорта, но также и со снижением напоров подземных вод при откачке их для водоснабжения.
- 2. Основными факторами развития коррозионных процессов в облицовке Ханойского кафедрального собора, Ханойской флаговой башни и Доанмон ворот являются высокое увлажнение и атмосферное загрязнение. Условия окружающей среды способствуют процессам химической и биологической коррозии, которые взаимосвязаны. Поверхность памятников покрыта биологическими обрастаниями, в составе которых присутствуют микроскопические грибы, бактерии, водоросли, лишайники, споровые (мхи) И семенные растения. Основной формой биопоражения облицовочных материалов являются темные биопленки. Они покрывают большую часть поверхности стен трех памятников. биопленок преимущественно поверхностное, однако, в зонах интенсивного

разрушения материалов зафиксировано глубокое проникновение биодеструкторов.

- 3. На основе оценки инженерно-геологических, гидрогеологических условий и контаминации подземной среды размещения Ханойского Кафедрального собора, Флаговой башни и Доанмон ворот предложена структура их объектного мониторинга, которая включает систему наблюдений за:
 - изменением уровня, химического состава грунтовых вод;
 - динамикой варьирования пьезометрической поверхности водоносного горизонта Ор для оценки его роли в развитии деформаций;
 - изменением состояния и свойств грунтов в основании соборов во времени под воздействием напряжений, физико-химических и биохимических факторов;
 - биохимической газогенерацией;
 - характером и интенсивностью проявления деформаций зданий и прилегающей к ним территории с использованием реперов;
 - контроль за состоянием кладки фундаментов памятников с использованием различных методов;
- 4. Объектный мониторинг направлен на установление закономерностей развития деформаций зданий и сооружений во времени в результате преобразования компонентов подземного пространства и строительных материалов подземных несущих конструкций. Анализ результатов объектного мониторинга должен обеспечить разработку мероприятий для предупреждения перехода зданий в предаварийное состояние и сохранение архитектурно-исторических памятников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. Специфика функционирования исторических зданий и сооружений в Ханое объясняются не только их значительным возрастом (порядка 131 205 лет и более), но и небольшой глубиной заложения фундаментов до 4 5 м. Состояние памятников, а также сложные инженерно-геологические и гидрогеологические условия исторического центра предопределяют необходимость создания системы инженерно-геологического мониторинга архитектурно-исторических памятников для получения данных о причинах и динамики их деформации и обеспечения их длительной устойчивости с целью сохранения облика тысячелетней столицы.
- 2. Территория города Ханоя расположена в центральной погруженной зоне прогиба реки Красной, приуроченного к чрезвычайно сложному тектоническому узлу сгущению тектонических разломов различного порядка и простирания, в основном, северо-западного, северо-восточного и субширотного, реже субмеридионального направлений. Разломы р. Красной, р. Чяй, р. Ло и Виньнинь относятся к числу сейсмически активных.
- 3. В пределах изучаемой территории города распространены четвертичные отложения, имеющие различные циклы накопления. Каждый цикл начинается с образования крупно-обломочных и песчаных пород и оканчивается отложением суглинистых или глинистых пород. Наличие слабых водонасыщенных песчаноглинистых отложений (Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$) и Тхайбинь ($a,albIV^3th_1$)) с органическими остатками, которые относятся к грунтам малой степени литификации, с низкими показателями прочности и деформационной способности определяет сложность инженерно-геологических условий подземного пространства Ханоя. Эти отложения рассматриваются как среда активного развития экзогенных процессов: неравномерных осадок зданий и сооружений, проявления тиксотропных свойств глинистых грунтов и др.
- 4. Наличие двух важных водоносных горизонтов: голоценовый Qh и плейстоценовый Qp и изменение их гидрохимического и гидродинамического режима, связано с природными и природно-техногенными факторами. Снижение

же уровня подземных вод в процессе их использования для водоснабжения приводит к оседанию земной поверхности, что определяет уплотнение песчаноглинистых грунтов, деформации земной поверхности и, как следствие, развития дополнительных осадок построенных зданий и сооружений.

- 5. Процессы подтопления и затопления территории в пределах исторического центра определяются климатическими условиями региона и гидрологическими особенностями р. Красной. Эти процессы изменяют состояние и физико-механические свойства грунтов в основании архитектурно-исторических памятников, а также напряженно-деформированное состояние грунтовой толщи.
- 6. Наличие на изучаемой территории локальных источников загрязнения подземного пространства (действующие кладбища, свалки, утечки из водопроводящих и канализационных систем) способствует дополнительному ухудшению грунтовых вод, а также состояния и свойств песчано-глинистых грунтов.
- 7. Содержание локального инженерно-геологического мониторинга исторического центра города Ханоя включается наблюдения и контроль за:
 - контаминацией и гидродинамическим режимом грунтовых вод и грунтов;
- биохимической газогенерацией торфов и заторфованных газоносных слоев свит Хайхынг, Тхайбинь в инженерно-геологическом разрезе четвертичных отложений;
- оползневыми процессами оградительных дамб для предупреждения их развития;
- неравномерной осадкой зданий; деформациями дневной поверхности при формировании депрессионной воронки в процессе откачки подземных вод для водоснабжения Ханоя из водоносного комплекса Qp;
- влиянием подземных сооружений на деформации дневной поверхности и осадки эксплуатируемых зданий.
- 8. Развитие деформации Ханойского Кафедрального собора, Ханойская Флаговая башня и Доанмон ворот напрямую связаны с не только наличием слабых

грунтов в их основании, но и статических нагрузок физико-химических, биохимических факторов и строительных работ, вибрационным воздействием транспорта, а также снижением напоров подземных вод при откачке для водоснабжения.

- 9. Основными факторами развития коррозионных процессов в облицовке Собора, Башни и Доанмон ворот являются высокое увлажнение и атмосферное загрязнение. Условия окружающей среды способствуют процессам химической и биологической коррозии, которые взаимосвязаны. Поверхность памятников покрыта биологическими обрастаниями, в составе которых присутствуют микроскопические грибы, бактерии, водоросли, лишайники, споровые (мхи) и семенные растения. Основной формой биопоражения облицовочных материалов являются темные биопленки. Они покрывают большую часть поверхности стен трех памятников. Развитие биопленок преимущественно поверхностное, однако в зонах интенсивного разрушения материалов зафиксировано глубокое проникновение биодеструкторов.
- 10. Макрообрастания, которые обнаружены в местах развития глубоких трещин и выбоин, способны приводить к глубокому разрушению кирпичной кладки. В целом, полученные данные свидетельствуют о формировании агрессивного биологического сообщества на поверхности обследованных исторических памятников. Очевидно, что для более глубокого понимания происходящих процессов и разработки рекомендаций по защите объектов от разрушения требуется проведение комплексного изучения деструктивных процессов с привлечением современных аналитических методов.
- 11. На основе анализа инженерно-геологических условий размещения Ханойского Кафедрального собора, Ханойской Флаговой башни и Доанмон ворот предложена структура их объектного мониторинга, которая включает систему наблюдений за:
- 1) изменением состояния и физико-механических свойств грунтов в основании зданий под воздействием природных и техногенных факторов;

- 2) изменением химического состава грунтовых вод, окислительновосстановительной и кислотно-щелочной обстановками для оценки их агрессивности по отношению к подземным конструкциям;
- 3) снижением уровня подземных вод водоносных горизонтов Qh и Qp для оценки роли этого процесса в развитии деформаций Башни, Собора и Доанмон ворот;
 - 4) биохимической газогенерацией;
- 5) характером и интенсивностью проявления деформаций зданий и прилегающей к ним территории с использованием реперов;
 - 6) неразрушающий контроль за состоянием кладки фундаментов соборов;
- 7) изменением состояния маяков по зафиксированным и выявленным трещинам в стенах памятников для контроля степени, характера и динамики раскрытия трещин;
- 12. Объектный мониторинг направлен на установление закономерностей деформаций зданий И сооружений во времени результате преобразования компонентов пространства подземного И строительных материалов подземных несущих конструкций. Анализ результатов объектного мониторинга должен обеспечить разработку мероприятий для предупреждения перехода зданий в предаварийное и аварийное состояние и сохранение архитектурно-исторических памятников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Источники на русском языке

- Аникеев А.В. Суффозия. Классификация процесса // Геология, 2006, № 2, с. 151-155.
- 2. Андреюк Е.И. Литотрофные бактерии и микробиологическая коррозия. Киев: Нау- кова думка, 1977г., 155 с.
- 3. Александрова О.Ю. Природные и природно-техногенные геологические процессы в подземном пространстве Санкт-Петербурга (закономерности развития, систематизация и возможности предотвращения). Автореф. канд. дисс. геол.минер. наук, Санкт-Петербург, 2007 г., 20 с.
 - 4. Белоусов Б. А. Эндогенные режимы материков. -М.: Недра, 1978 г., 232 с.
- 5. Бондарик Г.К. Методологические основания мониторинга экзогенных геологических процессов // Мониторинг экзогенных геологических процессов. Тезисы докладов научно-технического семинара. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986 г., с. 13-15.
- 6. Буй Дык Хай. Особенности ползучести слабых водонасыщенных грунтов свиты Хайхынг в Ханое, применение результатов исследования при расчете осадки. Дисс. канд. геол.-минер. наук. Ханой: 2003 г., 136 с.
- 7. Викторов А.С., Манохин А.М., Трапезникова О.Н. Методы дистанционного зон-дирования при предстроительном мониторинге природно-технической системы // Сергеевские чтения, 2001 г., вып. 3, с. 360-363.
- 8. Власов Д.Ю., Дашко Р.Э., Шидловская А.В. Некоторые данные о биоразрушении строительных материалов Петропавловской крепости // Материалы научно-практической конференции по медицинской микологии, Санкт-Петербург, 2003 г., с. 74.
- 9. Гавриленко Н.М., Яковлев Е.А. Особенности геоэкологических исследований в условиях техногенного воздействия // Геоэкологические исследования в СССР. М., 1989. с. 54 59.
 - 10. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.
- 11. Губин И.Е. Сейсмогенные разрывы и их значения для сейсморайонирования. Геотектоника. 1976, № 6. 12 с.
- 12. Добровольский Г.В., Гришина JI.А. Научные основы почвенного мониторинга // Комплексный глобальный мониторинг биосферы. Труды III международного симпозиума. Том 2. 392 с.
- 13. Дарбинян С.С. Метод расчета сооружений по акселерограммам землетрясений.// Очаговые зоны и колебания грунта. Вопр. инж. сейсмологии. М.: Наука, 1981 г., вып. 21, с. 106-111.
- 14. Данг Ван Бат. Морфология и новейшая тектоника Северного Вьетнама. Афтореф. дисс. канд. геол.-минер. наук., -Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 20 с.

- 15. Дашко Р. Э. Механика горных пород: Учебник для вузов.-М.: Недра, 1987 г., 264 с.
- 16. Дашко Р.Э. Проблемы геоэкологической безопасности освоения и использования подземного пространства мегаполисов (на примере Санкт-Петербурга)// Реконструкция городов и геотехническое строительство. 1999 г., №1, с. 47 -51.
- 17. Дашко Р.Э., Горская В.А. Многофакторная оценка причин прогрессирующего разрушения комплекса зданий Нового Эрмитажа. Промышленное и гражданское строительство, № 1, 2015 г., с. 8-13.
- 18. Дашко Р.Э., Горская В.А. Исторический аспект геоэкологических исследований при решении инженерно-геологических проблем освоения и использования подземного пространства мегаполисов (на примере Санкт-Петербурга). Геологоминералогические науки, № 6, 2015 г., с. 131 136.
- 19. Дашко Р.Э., Карпова Я.А. Проблемы инженерной геологии Приморского района Санкт-Петербурга в связи с перспективами освоения подземного пространства. Записки Горного института. Т. 206. СПБ, 2014 г., с. 14 19.
- 20. Дашко Р.Э., Норова Л.П. Концепция и структура геоэкологического мониторинга подземного пространства Санкт-Петербурга // Сергеевские чтения. Выпуск 4. 2002 г., с. 204-208.
- 21. Дашко Р.Э, Нгуен Тьен Чунг. Инженерно-геологическое обоснование концепции и структуры комплексного мониторинга некоторых архитектурно-исторических памятников в Ханое. Международный научно-исследовательский журнал. Екатринбург 2017 г., № 4, с. 57-66.
- 22. Доан Тхэ Тыонг. Инженерно-геологические условия территории города Ханоя и рациональное его использование. Канд. дисс. геол.-минер. наук, -Л., 1991, 139с.
- 23. Захарова Е.Г. Влияние погребенных болот на формирование инженерногеологических и геоэкологических условий в подземном пространстве Санкт-Петербурга. Автореф. канд. дисс. геол.-минер. наук, Санкт-Петербург, 2006 г., 20с.
- 24. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. -М.: ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН,2000. 367 с.
- 25. Ле Зуй Бать. Структура Вьетнама и этапы ее формирования (на фоне Юго-Восточной Азии в целом). Дисс. докт. геол.-минер. наук., М.: 1985, 393с.
- 26. Иванов И.П, Ю.Б Тржцинкий. Инженерная геодинамика. СПБ.: Наук, 2001. 416c.
- 27. Кац А.З. Сейсмическое микрорайонирование на основе дифференциации грунтов по деформациям, вызываемым прохождением сейсмических волн. Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Наука, 1961, N° 16 (183), с. 20-31.

- 28. Красников Н.Д. Исследования для сейсмомикрорайонирования площадок строительства с учетом упруго-пластических свойств грунтов.// Колебания грунтов и зданий при землетрясениях. Вопр. инж. сейсмологии. М.: Наука, 1975, вып. 17, с. 97-103.
- 29. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.
- 30. Константинова Т.Г., Пинегина Т.К. Разжижение грунтов при сейсмических событиях в условиях Камчатки. Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 2005, с 169 174.
- 31. Крепша Н.В. Прогнозирование изменения геологической среды в условиях техногенного воздействия города на основе картографического метода.// Геология, 1993, No 3, c. 44-57.
- 32. Куцнашвили О.В., Чхеидзе Д.В., Церетели Э.Д. О классификации природных и техногенных геологических процессов и явлений в свете учения В.Д. Ломтадзе.// Записки горного института Т.153, СПГГИ, 2003, с. 84-85.
- 33. Кушнарева Е.С. Устойчивость водонасыщенных песков при динамическом воздействии. Афтореф. диссер... канд. геол.-минер. наук., М.: 2007. 20 с.
- 34. Кюнтцель В.В., Круподеров В.С., Максимов М.М. Основы и методы прогноза развития экзогенных геологических процессов // Геоэкологические исследования в СССР. М.: ВСЕГИНГЕО, 1989, с. 110-115.
- 35. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология.// Инженерная петрология. -Л.: Недра, 1970. 528с.
- 36. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология.// Инженерная геодинамика. -Л.: Недра, 1977. 479c.
- 37. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология.// Специальная инженерная геология. Л.: Недра, 1978. 495с.
- 38. Локшин Г.П., Чеснокова И.В. Транспортные магистрали и геологическая среда (оценка техногенного воздействия). М.: Наука, 1992. 112 с.
- 39. Локшин Г.П. Методика оценки транспортной вибрации // Проблемы эволюции литосферы. М.: Наука, 1985, с. 33-34.
- 40. Лямзина Г.А. Об изучении сейсмических свойств грунтов для сейсмомикрорайонирования.// Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Изд-во АН СССР, 1962, вып. 7, с. 66-75.
- 41. Маковская Н.А., Глозман Л.М. Динамические исследования обязательная состав-ляющая геотехнического мониторинга // Реконструкция городов и геотехническое строительство, № 4,2001, с. 94-100.

- 42. Малевская О.Я. Учет влияния грунтовых условий при количественных оценках колебаний.// Детальные инженерно-сейсмологические исследования. Вопр. инж. сейсмологии. М.: Наука, 1986, вып. 27, с. 82-85.
- 43. Мальнева И.В., Крестин Б.М. и др. Оценка активизации опасных геологических процессов в районе большого Сочи и Красной поляны.// Журнал "Разведка и охрана недр", 2008 г., № 6, с. 29-33.
- 44. Медведев С.В. Деформации и напряжения в основании сооружений при сильных землетрясениях. Вопр. инж. сейсмологии. М.: Наука, 1963, вып. 8, с. 87-94.
- 45. Медведев С. В., Карапетян Б. К., Быховский В. А. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. М.: Стройиздат, 1968. Т.1, 284с.
- 46. Медведев С.В. Определение интенсивности землетрясений.// Эпицентральная зона землетрясений. Вопр. инж. сейсмологии. М.: Наука, 1978, вып. 19, с. 108-116.
- 47. М.Ю Абелев. Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений. М., Стройиздат, 1973, 288с.
- 48. Напетваридзе Ш.Г. Требования к численной методике сейсмического микрорайонирования, обусловливаемые вероятностной природой сейсмических явлений. В кн.: Сейсмические свойства грунтов. М.: Наука, 1985, с. 73 77.
- 49. Нашиф А., Джоуж Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний. М.: Мир, 1988. 448с.
- 50. Нгуен Ван Льен. Основные особенности геологии и тектоники впадины Красной реки (Вьетнам). Автореф. канд. дисс. геол.-минер. наук, -М.: 1996, 20с.
- 51. Нгуен Нгок Тху. Оценка сейсмической опасности территории Северного Вьетнама и детальное сейсмическое районирование Ханойского прогиба. Дисс. канд. геол.-минер. наук, -Л.: 1987, 163с.
- 52. Нуен Динь Кат. Классификация глубинных разломов: Главнейшие типы глубинных разломов Вьетнама и их возраст. ДАН СССР.// Геология. М.: 1983, том 276, с 63-69.
- 53. Нгуен Динь Кат. Основные черты неотектоники Северного Вьетнама. Геотектоника. 1971, №4, с 25 30.
- 54. Нгуен Дык Мань. Инженерно-геологическое обеспечение освоения подземного пространства г. Ханоя (Вьетнам): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / Нгуен Дык Мань. СПб., 2010 г., 24 с.
- 55. Нгуен Дык Мань, Дашко Р.Э. Некоторые проблемы освоения и использования подземного пространства в сложных инженерно-геологических условиях города Ханоя.// Инженерная геология. –М.: июнь, 2010. с. 56-61.

- 56. Нгуен Тьен Чунг. Инженерно-геологические особенности четвертичных отложений и типизация грунтов города Ханой. Международный научно-исследовательский журнал. Екатринбург -2017 г., № 1, с. 43-50.
- 57. Нгуен Тьен Чунг. Инженерно-геологические процессы и явления в историческом центре Ханоя и их влияние на устойчивость некоторых архитектурно-исторических памятников. Етественные и технические науки. Москва -2017 г., № 2, с. 49-60.
- 58. Нгуен Винь Фук. Туризм Ханоя и прилегающий к городу район.- Ханой.: Изд-во транспорта, 2003 г., 531с.
- 59. Нгуен Динь Суен. Макросейсмическое поле и очаги сильных землетрясений в северном Вьетнаме.// Эпицентральная зона землетрясений. Вопр. инж. сейсмологии. М.: Наука, 1978 г., вып. 19, с. 63-77.
- 60. Нгуен Динь Суен. Опыт выделения очаговых зон сильных землетрясений на территории Северного Вьетнама.// Количественная оценка сейсмических воздействий. Вопр. инж. сейсмологии. М.: Наука, 1980 г., вып. 20, с. 60-68.
- 61. Памятники и достопримечательности Ханоя и его окрестности.: Изд-во Ханоя, 2000 г., 351с.
- 62. Парецкая М.Н. Ведение мониторинга оползневого процесса на территории г. Москвы // Мониторинг экзогенных геологических процессов. М., 1986, с. 49-50.
- 63. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архи-тектуры.-М.: Высшая школа, 1998 г., 255 с.
- 64. Тютюнова Ф.И. Современное состояние и основные направления исследований загрязнения подземных вод в пределах городов и городских агломераций // Методы типизации и картирования геологической среды городских агломераций для решения задач планирования. М.: ПО "Стройизысканйя", 1981 г., с. 42-45.
- 65. Зверев В.П., Казеннов С.М. Влияние урбанизации на гидрогеологические условия территорий // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Гео-криология. № 2, 2003, с. 130-138.
- 66. Сергеев Е. А. Теоретические основы инженерной геологии.// геологические основы. М.: Недра, 1985. 332 с.
- 67. Теория и методология экологической геологии / Трофимов В.Т. и др. Под ред. В.Т. Трофимова.-М.: Изд-во МГУ, 1997.-368 с.
- 68. Мониторинг экзогенных геологических процессов. Тезисы докладов научнотехнического семинара. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986 г., 224 с.
- 69. Тонг Нгок Тхань. Динамика подземных вод в четвертичных отложениях региона равнины Бакбо. Канд. дисс. геол.-минер. наук. Ханой: 2007 г., 155с.

- 70. Фам Куи Нань. Отчет происхождения и распространения аммиака, мышьяка в водоносных горизонтах равнины р.Красной. Организация международного кооператива и развития Швеции. Ханой, 2008. 88с (на ветьнамском языке).
- 71. Фам Тыонг Ви. Оценка гидрогеологических условий региона Ханоя для планирования строительства подземных сооружений. Магист. дисс. Ханой: 1998 г., 76 с.
- 72. Фи Хонг Тхинь. Опасные геологические процессы на территории г. Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Вестник ТГУ. 2011 г., №349, с. 200-204.
- 73. Фи Хонг Тхинь, Строкова Л.А. Слабые грунты на территории города Ханоя. Инженерная геология. 2014. № 1, с. 30-36.
- 74. Фи Хонг Тхинь. Оценка и прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. ханой (Вьетнам). Дисс. ... канд. геол.-минер. наук. М. 2014 г., с. 260.
- 75. Ха Ван Хай. Некоторые новые задачи тектонической активности в районе Ханое и его окрестностях// Журнал «Геология», 2007, N°299. С. 68-82.
- 76. Цытович, Н. А. Механика грунтов: учебное пособие / Н. А. Цытович. М.: Изд-во «Высшая школа», 1983 г., 288 с.
- 77. Чан Мань Льеу, Нгуен Ван Дан. Некоторые опасные проблемы геоэкологии из-за эксплуатации подземных вод в Ханое// Наука и технология строительства, 2006, №3. С. 48-54.
- 78. Шидловская А.В. Инженерно-геологический и геоэкологический мониторинг подземного пространства исторического центра Санкт-Петербурга : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб., 2005 г., 24 с.
- 79. Шидловская А.В. Роль геоэкологического и инженерно-геологического факторов при оценке современного состояния зданий и сооружений Петропавловской крепости (Санкт-Петербург) // Материалы V международной научно-практической конференции «Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии», Пенза, 2003, с. 192-194.
- 80. Шидловская А.В. Инженерно-геологическая и геоэкологическая оценка условий Петропавловского собора и организация системы объектного мониторинга // Записки Горного института. СПГГИ (ТУ), том 159. Часть 1,2004, с. 29-31.
- 81. Штейнберг В.В., Ершов И.А., Нгуен Динь Суен и др. Оценка исходной сейсмичности и сейсмическое микрорайонирование района строительства гидроузла Хоабинь.// Количественная оценка сейсмических воздействий. Вопр. инж. сейсмологии. М.: Наука, 1980 г., вып. 20, с. 60-68.
- 82. «Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод», 1985 г., 12 с.

- 83. Шестаков В.М.. Принципы гидрогеодинамического мониторинга // Разведка и охрана недр, № 8, 1988 г., М. Недра, с. 45-49.
- 84. Шестаков В.М. Мониторинг подземных вод принципы, методы, проблемы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1993 г., № 6, с. 3-11.

Источники на вьетнамском языке

- 85. Буй Дык Хай. Особенности ползучести слабых водонасыщенных грунтов свиты Хайхынг в Ханое, применение результатов исследования при расчете осадки. Дисс. канд. геол.-минер. наук. Ханой: 2003 г., 136с.
- 86. Ву Там Ланг. Античная архитектура Вьетнама. Изд-во «строительство», 1991 г., 202с.
- 87. Ву Ван Фаи. Ханой: геология, геоморфология и природные ресурсы: монография / Ву Ван Фаи. Ханой: Ханойское издательство, 2011г., 280 с.
- 88. Дао Зуй Ань. Этапы историческая Вьетнама. Ханой. 2006 г. Изд-во Литературы. 269 с.
- 89. Динь Тьен Хоанг. Архитектурное сооружение Ханоя. Проект: Я люблю Ханой. К юбилею 1000 годовщины Тханг Лонг Ханоя. 2010 г., 76 с.
- 90. До Ван Бинь. Формирование и распространение мышьяка (As) в подземных водах четвертичных отложений региона Ханоя. Оценка, прогноз и мероприятия по обеспечению сохранности качества вод. Дисс. канд. геол.-минер. наук. Ханой: 2007 г., 155 с.
- 91. Данг Хи Хоанг. Изучение гидрогеологических особенностей изотопов углерода в четвертичных отложениях и проблема загрязнения мышьяком (As) подземных вод региона Ханоя. Магистрская работа. Ханой: 2007 г., 98 с.
- 92. Зоан Динь Чинь. Ханой Историко-культурные памятники и достопримечательности. Общество исторических наук Вьетнама Департамент культурной информации. К юбилею 990 годовщины Тханг Лонг Ханоя; центр ЮНЕСКО сохранения и развития национальной культуры Вьетнама: 2000. 803с. Приложение перечни историко-культурных памятников, утвержденных по решению министерства Культуры и информации Вьетнама с 1962г по март 2000 г.,804-818с.
- 93. Каталог землетрясений Вьетнама // Отчет института физики Земли, отв. исполнитель проф., канд. г.-м.н. Нгуен Динь Суен. Ханой: 2004 г. 78 с.
- 94. Као Динь Чьеу, Нгуен Хыу Туен и др. Некоторые характеристики активнотектонического разлома реки Красной// Журнал «Горно-геологические науки», 2006 г., No14. C. 67-73.
- 95. Ле Ван Хыу, Фам Фу Тхы, Нго Су Льен и др. Полная история Дайвьет. Ханой.: Изд-во «Социальных наук», 1993 г., том 1, 342 с., том 2- 528 с., том 3- 474 с.

- 96. Лэ Ты Шон, Нгуен Куок Зунг и др. Сейсмическое микрорайонирование города Дьенбьен// Журнал «науки о Земли», 2007 г., No1, c. 68-82.
- 97. Нгуен Фан Куанг., Во Суан Дан. Исторический Вьетнам до 1884 г. Изд-во город Хошимина. 2000 г., 479 с.
- 98. Нго Хи Куинь. Рассматривание истории архитектуры Вьетнама. Ханой.: Изд-во «Строительство», 2000 г., с. 280.
- 99. Нгуен Тхэ Лонг, Фам Май Хунг. Пагода Ханоя.- Ханой.: Изд-во культуры и информации, 2005. 307с.
- 100. Нгуен Тхэ Лонг. Общинный дом и храм Ханоя.- Ханой.: Изд-во культуры и информации, Ханоя 2005 г., 435с.
- 101. Нгуен Данг Винь. След тысячелетия Тханг Лонг Ханоя. Изд- во «труда», 2005 г., 347с.
- 102. Нгуен Чи Бэн. Сохранение предметного культурного наследия Тханглонг Ханой, проблемы методологии. Журнал культурного наследия (4), 2005 г., с. 31-36с.
- 103. Нуен Динь Кат. Классификация глубинных разломов: Главнейшие типы глубинных разломов Вьетнама и их возраст. ДАН СССР.// Геология. М.: 1983 г., т. 276.
- 104. Нгуен Динь Суен и др. Каталог землетрясений Вьетнама. Ханой. 1996 г., 45 с.
- 105. Нгуен Динь Суен. Макросейсмическое поле и очаги сильных землетрясений в северном Вьетнаме.// Эпицентральная зона землетрясений. Вопр. инж. сейсмологии. М.: Наука, 1978 г., вып. 19, с. 63-77.
- 106. Нгуен Динь Суен. Опыт выделения очаговых зон сильных землетрясений на территории Северного Вьетнама.// Количественная оценка сейсмических воздействий. Вопр. инж. сейсмологии. М.: Наука, 1980 г., вып. 20, с. 60-68.
- 107. Нгуен Нгок Тху. Оценка сейсмической опасности территории Северного Вьетнама и детальное сейсмическое районирование Ханойского прогиба. Дисс. канд. геол.-минер. наук, -Л.: 1987 г., 163с.
- 108. Нгуен Тханг Ву и др. Искусство Вьетнама / Перевод с вьетнамского В.Г. Нушель, А.Б. Полякова, А.А. Соколова. Предисловие и примечания Д.В. Де- опи-ка. Редактор З.В. Федотова. М.: Прогресс, 1982 г., 167 с.
- 109. Нгуен Вьет Тинь. Инженерно-геологические характеристики слабых водонасыщенных грунтов свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$), оценка и прогноз их изменения под воздействием инженерной деятельности и урбанизации (на примере района Ханоя). Дисс. канд. геол.-минер. наук. Ханой: 2001 г., 119 с.
- 110. Нгуен Динь Хое, Та Тунг Бак. Геологические риски Ханоя// Журнал «Научная активность», 1995 г., №3, с. 30-32.

- 111. Нгуен Дык Мань. Обоснование инженерно-геологических условий строительства подземных транспортных сооружений в городе Ханое// Дипломный проект. Ханой: 1997. 70 с.
- 112. Нгуен Дык Мань, Нгуен Тхи Хонг Ван. Применение программного обеспечения МGE для составления карт слабых грунтов свиты Хайхынг и залегания кровли глинистой толщи Виньфук в городе Ханое.// Материалы научной конференции студентов// Ханойский Горно-геологический институт. Ханой, 1997. 20с.
- 113. Тон Дай и др. История Вьетнамской архитектуры. Изд-во науки и техники, 2005 г., 494с.
- 114. Ха Ван Хай. Некоторые новые задачи тектонической активности в районе Ханое и его окрестностях// Журнал «Геология», 2007, N°299. C. 68-82.
- 115. Чу Куанг Чинь. Традиционная народная архитектура Вьетнам. Ханой, 2003 г. Изд-во «Художества». 192с.
- 116. Чан Ван Ты. Инженерно-геологические характеристики основания дамбы Красной реки в городе Ханое и связанные геологические риски / Чан Ван Ты, Дао Минь Дык, Чан Линь Лан // Вьетнамский журнал «Наука о Земле». 2011 г., № 33, с. 480 492.
- 117. Чан Ван Чи и др. Геология Вьетнама (Северная часть). Ханой: Наука и техника, 1977 г., 189 с.
- 118. Чан Куок Выонг, Ву Туан Шан. Ханой-тысячелетие. Изд- во Ханоя, 2004 г., 358с.

Фондовые материалы (на Вьетнамском языке)

- 119. Сбор, оценка существующих данных и дополнительное изучение для составления районирования по распространению слабых грунтов для устойчивого развития Ханоя/Отчет по НИР. Науч. рук. Н.Х. Фыонг. Ханой, 2005 г., с. 254. (на вьетнамском языке).
- 120. Сбор, проверка старых данных, дополнительное исследование для составления карт слабых грунтов г. Ханоя: отчет о научно-исследовательской работе / отв. исполнитель доцент, канд. геол.-минер. наук Нгуен Х.Ф. Ханой: Изд-во Ханойского государственного горно-геологического университета, 2004 г., 261 с.
- 121. Совершенствование карты по сейсмическому микрорайонированию центральной части Ханоя и его окрестностей в масштабе 1:25000/ Отчет на НИР. Науч. рук. Суен Н .Д. Ханой, 1994 г., 96 с. (на вьетнамском языке).
- 122. Совершенствование карты по сейсмическому микрорайонированию центральной части Ханоя и его окрестностей с масштабом 1:25000. Отчет о научно-исследовательской работе. Научный руководитель работ института физики земли, отв. исполнитель проф., канд. г.-м.н. Нгуен Динь Суен. Ханой: 1994 г., 117 с.

- 123. Отчет о геологических изысканиях на территории Ханоя. Главное геологическое управление Вьетнама. Ответственный исполнитель Нгуен Дык Дай. Ханой: 1996 г., 178с.
- 124. Дополнительное изучение и совершенствование сейсмического микрорайонирования территории Ханоя в масштабе 1:25000, составление каталога данных сейсмических воздействий на основания сооружений в Ханое. Отчет о научно-исследовательской работе, отв. исполнитель доц., канд. г.-м.н. Нгуен Нгок Тху и канд. г.-м.н. Нгуен Шинь Минь. Ханой: 2004 г., 140 с.
- 125. Сейсмическое микрорайонирование Ханоя/ Институт Физики и Земли. Ханой: Наука и техника, 1990 г., 106 с.
- 126. Изучение и дополнительная оценка грунтовых условий на территории города Ханоя и его окрестностей, разработка рекомендации для выбора и обоснования типа фундамента сооружений, отв. исполнитель проф., канд. тех. н. Ву Конг Нгы. Ханой: 2007 г., 244 с.
- 127. Изучение опасности землетрясений в городе Ханое. Отчет о научноисследовательской работе, отв. исполнитель канд. г.-м.н. Нгуен Хонг Фыонг и канд. г.-м.н. Чан Нхат Зунг. Ханой: 2002 г., 145 с.
- 128. Результаты национальных наблюдений за колебаниями уровня грунтовых вод за период 2001 2005 гг. Вьетнамская северная федерация Инженерной геологии и гидрогеологии. Ханой, 2005 г., 119 с. (на вьетнамском языке).
- 129. Результаты наблюдений за колебаниями уровня грунтовых вод в Ханое. Очет центра мониторинга ресурсов и окружающей среды Ханоя. Ханой, 2014 г.(на вьетнамском языке).
- 130. Планирование водоснабжения на территории города Ханоя до 2030 года и видение водоснабжения до 2050 года. Отчет проекта / Компания воды и среды Вьетнама (КВСВ). Ханой: Изд-во «КВСВ», 2012. 228 с.

На английском языке

- 131. The comprehensive urban development programme in Hanoi capital city of the Socialist Republic of Vietnam // Interrim Report II. Main text. Hanoi: Almec corporation, Nippon Koei Co Ltd., Yachiyo engineering Co Ltd., 2006, 371 p.
- 132. Duong T. T. Hanoi land subsidence with reference to development of a proper monitoring network: master thesis in Engineering geology / Duong Thi Toan. Bangkok, 2005, 124 p.
- 133. Ha V.T. Buddhist temples in Viet Nam. Ha noi.: Social sciences publishing house, 1993, 400p.
- 134. Hanoi City Urban Railway Construction Project (Nam Thang Long Tran Hung Dao section (line 3)).// Feasibility Study. Joint Operation TEDI South and Hanoi Urban Planning Institute. Ho Chi Minh City, October. 2008, 261c.

135. Nguyen N. M. Review and analysis Hanoi land subsidence monitoring data: master thesis in Engineering geology / Nguyen Ngoc Minh. – Bangkok, 2008,142 p.

136. Tuan S. Le ¹, Chung-Pai Chang ^{1,2}, Xuan T. Nguyen ¹ and Akano Yhokha ². TerraSAR-X Data for High-Precision Land Subsidence Monitoring: A Case Study in the Historical Centre of Hanoi, Vietnam. Basel, Switzeland // Remote sens. 2016, volume 8, issue 4, c 54-61. EISSN 2072-4292//