

ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ХАНОЙ (ВЬЕТНАМ)

Как геологическое строение и история геологического развития, тектоника, так и физико-географическое положение и климат региона определяют проявление экзогенных геологических процессов, которые имеют место на территории Ханоя. Самыми важными из инженерно-геологических факторов являются расположение города в рифтовой зоне р. Красная, наличие мощной толщи слабых водонасыщенных грунтов, понижение уровня грунтовых вод и оседание поверхности земли.

Ключевые слова: экзогенные геологические процессы; грунты; подземные воды.

Площадь административного образования Ханой составляет 3324,92 км², население 6,3 млн человек. В начале 2008 г. площадь Ханоя была всего лишь 921 км², затем к нему присоединили прилегающие земли. В настоящее время в территорию Ханоя входят 9 городских районов, 18 сельских районов и городки Хадонг (Ha Dong) и Шонтэй (Son Tay). 10 октября 2010 г. город отпраздновал тысячелетний юбилей, однако город выделяется не только наличием важных объектов культурного наследия, но и расположением на особо сложной природной территории. Для территории Ханоя характерны интенсивное проявление опасных инженерно-геологических процессов природного и техногенного характера и широкое (90% площади) распространение слабых грунтов.

Проведенный анализ градостроительства г. Ханой показывает, что при реконструкции существующей застройки и градостроительном планировании недостаточно учитываются инженерно-геологические факторы, из-за этого страдает инфраструктура города, происходят деформации жилых домов, общественных зданий и объектов, в том числе памятников архитектуры.

Большая часть территории Ханоя расположена в центральной погруженной зоне прогиба р. Красной, приуроченного к чрезвычайно сложному тектоническому узлу – сгущению тектонических разломов различного порядка и простирания, в основном северо-западного, северо-восточного и субширотного, реже субмеридионального направлений. Некоторые разломы относятся к числу активных, перемещения отдельных крупных тектонических блоков составляют от долей до 5 мм, реже 8 мм в год (Ван Дык Чьонг и др., 1993; Нгуен Динь Суен и др., 1985, 1989, 2003). К настоящему времени на территории города с XIII в. до 2002 г. зафиксировано 152 землетрясения (144 – в XX в.), в том числе два сильных землетрясения около 7–8 баллов (1278 и 1285 гг.), три – 7, тридцать два – 6, и остальные – менее 6 баллов.

На рис. 1 показано расположение эпицентров землетрясений в тектонической структуре Северного Вьетнама [1. С. 8].

Специфической особенностью разреза территории Ханоя является наличие мощной толщи четвертичных отложений различного генезиса и возраста (от плейстоцена до позднего голоцена), характеризующихся различным гранулометрическим составом – от галечников до тяжелых глин.

В разрезе четвертичных отложений выделяют пять свит, различающихся по возрасту и генезису (снизу вверх): ранний плейстоцен – аллювиальные отложения (свита Лэчи – *aIlc*) представлены гальками, гравием с включением линз песков, супесей или суглинков; сред-

непоздний плейстоцен – аллювиальные и аллювиально-пролювиальные (свита Ханой – *a,apII–III¹hn*) отложения сложены гальками, гравием и песками, местами суглинками и супесями, развитыми в верхней части разреза; поздний плейстоцен – аллювиальные, озерные и озерно-болотные отложения (свита Виньфук – *a,l,lbIII²vp_{1,2,3}*) имеют определенные закономерности перехода от песков в нижней части разреза к суглинкам и глинам в верхней, местами прослеживаются суглинки с органическими остатками; ранний и средний голоцен – озерно-болотные, морские и болотные отложения (свита Хайхынг – *lb,m,bIV¹⁻²hh_{1,2,3}*) относятся к специфическим слабым водонасыщенным грунтам в Ханое и представлены суглинками и глинами с органическими остатками в основании разреза, постепенно сменяющимися морскими глинами синего цвета; поздний голоцен – аллювиальные и аллювиально-озерно-болотные отложения (свита Тхайбинь – *a,albIV³tb_{1,2}*) имеют широкое распространение и характеризуются постепенным переходом от песков к супесям и суглинкам, местами с включениями органических остатков.

В верхней части разреза четвертичных отложений прослеживаются болотно-озерные образования свит Виньфук (*lbIII²vp₃*), Хайхынг (*lbIV¹⁻²hh₁*) и Тхайбинь (*albIV³tb₁*) – слабые песчано-глинистые грунты с органическими остатками. Широкое распространение водонасыщенных песчано-глинистых отложений с включением органики свиты Хайхынг (*lbIV¹⁻²hh₁*) определяет высокую степень сложности инженерно-геологических условий рассматриваемой территории. Присутствие органического вещества с различной степенью разложения в слабых грунтах *lbIV¹⁻²hh₁* создает пространственную неоднородность и анизотропию строения, состояния и свойств грунтов. Толща слабых пород свиты Хайхынг имеет наиболее широкое распространение в районах Тьльем, Хоангмай, Тханьчи, Лонгбьен и Жалам, прерывистое – в центральной части города. На основе данных Нгуен Ху Фьонг и др. составлена схема распространения слабых водонасыщенных грунтов свиты Хайхынг на рассматриваемой территории. Мощность данной толщи изменяется в широких границах – от 0,1...3,0 до 25,0...30,5 м в пределах города. В отдельных случаях значительные изменения мощности от 0 до 25 м могут встречаться в пределах строительной площадки. Слабые грунты свиты Хайхынг *lbIV¹⁻²hh₁* характеризуются низкими параметрами прочности: $\varphi = 2...11^\circ$, $C = 3...19$ кПа – по результатам испытания в сдвижных приборах; $\varphi_u = 1...13^\circ$, $C_u = 3...23$ кПа – в условиях трехосного сжатия; высокой сжимаемостью ($a_{1-2} = 4,7...29,8$ кПа⁻¹).

В пределах глубины градостроительного освоения Ханоя зафиксировано наличие двух водоносных горизонтов.

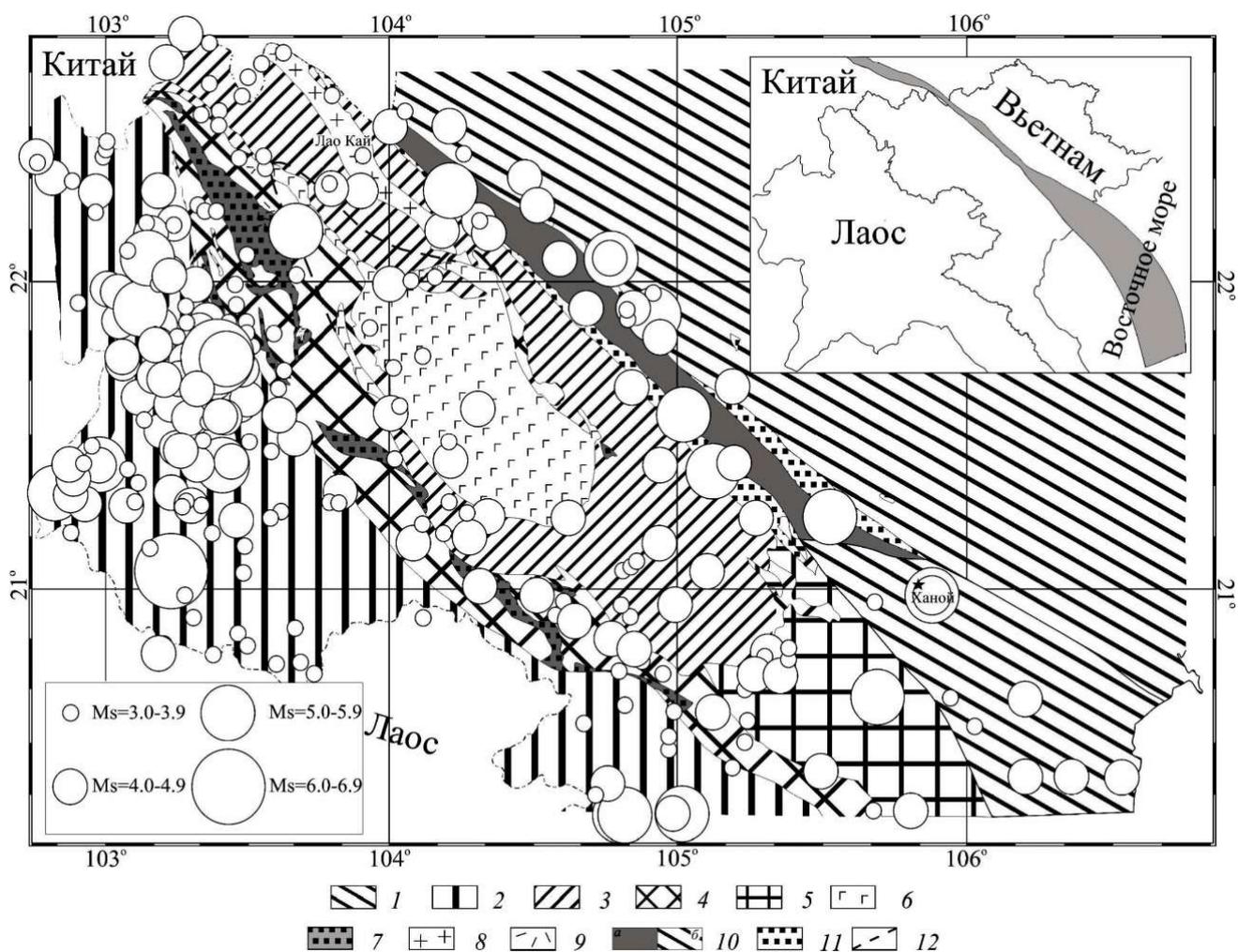


Рис. 1. Расположение эпицентров землетрясений в тектонической структуре Северного Вьетнама:

1 – докембрийская Южно-Китайская платформа; 2–4 – складчатые структуры: 2 – каледониды, 3 – варисциды, 4 – индосиниды; 5 – породы верхнего палеозоя – триаса в субгоризонтальном (платформенном) залегании; 6 – субгоризонтально залегающие вулканиты верхней юры – мела; 7 – континентальные отложения верхнего мела в грабнях; 8 – лейкограниты палеогена; 9 – щелочные вулканиты палеогена; 10 – раннедокембрийские комплексы основания рифта р. Красной; а – на поверхности, б – под четвертичными отложениями; 11 – синрифтовые отложения миоцена; 12 – предполагаемая палеограница распространения вулканитов поздней юры – раннего мела.

В нижнем левом углу показаны магниты землетрясений. В правом верхнем углу показано положение рифта р. Красной и его продолжение в морскую область (депрессии Сонг Хонг)

Повсеместное распространение в городе имеет *плейстоценовый слабонапорный водоносный горизонт (qp)*, водовмещающими породами которого являются крупнообломочные образования (галька и гравий) и пески (*alc*, *a,apII-III¹hn* и *aIII²vp₁*). Коэффициент водопроницаемости горизонта составляет от 50 до 2 300 м²/сут, коэффициент фильтрации грунтов горизонта – от 20 до 68 м/сут. Отмечается широкое варьирование содержания железа Fe²⁺+Fe³⁺ – от 0,09 до 37,13 мг/л.

Крупнообломочные грунты и пески свит Ханой и Виньфук рассматриваются как важный несущий горизонт для свайных фундаментов в Ханое.

В верхней части разреза современных аллювиальных отложений (*aIV³tb_{1,2}*), представленных водонасыщенными песками, местами с гравием, прослеживается *голоценовый водоносный горизонт (qh)*. Коэффициент водопроницаемости изменяется от 20 до 790 м²/сут, чаще – 200...400 м²/сут. Содержание общего железа в этом горизонте может достигать 60,0 мг/л. Положение статического уровня водоносного горизонта зависит от интенсивности атмосферных осадков и уровня воды в

р. Красной и изменяется в пределах 1...5 м в течение года.

Для обоих горизонтов характерно широкое варьирование величины рН и Eh. Для водоносного горизонта *qp*: рН = 4,1–8,4 и Eh = –63 ÷ +140 мВ, для горизонта *qh*: рН = 4,0–8,6 и Eh = –88 ÷ +132 мВ. Колебания величины рН и Eh таких водоносных горизонтов связаны с наличием органических соединений в разрезе, со степенью загрязнения грунтовых вод за счет утечек из канализационной системы и свалок хозяйственно-бытовых отходов, а также влияния атмосферных осадков, насыщенных кислородом. Содержание легкоокисляемой органики, определяемое по величине перманганатной окисляемости, имеет относительно невысокие значения: для горизонта *qp* – 5,3 мгО₂/л, *qh* – 4,0 мгО₂/л. Анаэробные условия в подземной среде, которые фиксируются по величине Eh, связаны с наличием в грунтовых водах трудноокисляемой органики техногенного генезиса и озерно-болотных отложений свиты Хайхынг (*lbIV¹⁻²hh₁*). Как известно, в условиях бескислородной среды происходит активная электро-

химическая коррозия металлических конструкций. На некоторых участках города содержание NH_4^+ в этих горизонтах может достигать до 193,6 мг/л (*qh*) и 75 мг/л (для *qp*), что свидетельствует о загрязнении грунтовых вод хозяйственно-бытовыми стоками.

Большая часть разреза четвертичных отложений мощностью до 120 м в пределах территории города –

это водонасыщенные песчано-глинистые породы, в том числе грунты малой степени литификации, содержащие природную органику. Они рассматриваются как среда развития пльвунов, суффозионных процессов, тиксотропных явлений в глинистых грунтах, склоновых процессов (оползни, оплывания) на незакрепленных берегах рек и котлованов (таблица).

Развитие экзогенных процессов в различных генетических типах песчано-глинистых отложений Ханоя

Геологический индекс	Генетические типы, их состав и показатели консистенции	Развитие процессов
<i>tH</i> (техногенные отложения)	Насыпные и намывные грунты – пески, суглинки и супеси с примесью отходов	Неравномерная сжимаемость, осадка земной поверхности, коррозия строительных материалов
<i>aIV³tb₂</i>	Суглинки, супеси, мелко- и тонкозернистые водонасыщенные пески, местами с гравием; для суглинистых разностей $I_L = 0,48-0,82$	Оползневые деформации, фильтрационные деформации, эрозия, разжижение
<i>albIV³tb₁</i>	Водонасыщенные суглинки с органическими остатками; $I_L = 0,75-1,26$	Неравномерная сжимаемость, оползневые деформации, тиксотропия, наплыв пород в подземные выработки
<i>aIV³tb₁</i>	Суглинки, глины и супеси; $I_L = 0,21-0,85$	Оползневые деформации, выдавливание пород дна котлованов
	Мелко- и среднезернистые водонасыщенные пески, местами с супесями или гравием	Фильтрационные деформации, разжижение, водопритоки в котлованы, агрессивность подземных вод
<i>mIV¹⁻²hh₂</i>	Глины и суглинки; $I_L = 0,40-0,69$	Выбор дна глубоких котлованов
<i>lbIV¹⁻²hh₁</i>	Водонасыщенные суглинки и глины с органическими остатками, торфы (0,3–1,7 м); $I_L = 0,75-1,95$	Неравномерная сжимаемость, оползневые деформации, осадка земной поверхности при водопонижении, тиксотропия
<i>lbIII²vp₃</i>	Суглинки и глины, местами с малым содержанием органики; $I_L = 0,58-1,08$	Неравномерная сжимаемость, оползневые деформации, тиксотропия
<i>a,III²vp_{1,2}</i>	Глины, суглинки и супеси; $I_L = 0,03-0,75$	Оползневые деформации, выбор дна глубоких котлованов
<i>aIII²vp₁</i>	Мелко-, средне-, крупнозернистые водонасыщенные пески, местами с гравием, галькой или супесями	Фильтрационные деформации, водопритоки в котлованы
<i>a,apII-III¹hn</i>	Водонасыщенные галечно-гравийные отложения, местами крупнозернистые пески; $E_0 > 80$ кПа	Водопритоки в котлованы
<i>allc</i>	Водонасыщенные галечно-гравийные отложения, мелко- и крупнозернистые с суглинками; $E_0 > 80$ кПа	Водопритоки в котлованы

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

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

В периоды половодий и паводков скорость течения воды р. Красной может достигать от 1,6 до 2,3 м/с, местами 3...4 м/с. В результате воздействия речных вод происходит эрозия (подмыв) русла и берегов, сложенных песками, супесями или суглинками свиты Тхайбинь (*aIV³tb_{1,2}*). Кроме того, специфические особенности расположения высоких пойм и берегов р. Красной определяют возможность развития оползневых деформаций в береговой зоне, что зафиксировано в участках Нгоктху, Бодэ и др.

На территории города широкое распространение имеют водонасыщенные песчаные породы свиты Тхайбинь (*aIV³tb_{1,2}*), а также свиты Виньфук (*aIII²vp₁*), коэффициент неоднородности гранулометрического со-

става которых изменяется в пределах 3,0...9,6, реже – более 10, что при повышенных градиентах напора определяет развитие суффозионных процессов. В этих песках также отмечается проявление пльвуновых свойств при низких коэффициентах неоднородности. Именно развитие фильтрационных деформаций в основании защитной дамбы от наводнений, построенной вдоль берега р. Красной на территории Ханоя, может приводить к ее разрушению. Подобные явления (разрушение дамбы) наблюдались в течение ряда лет (1903, 1915, 1971 гг. и др.).

К настоящему времени объемы откачиваемых подземных вод с целью питьевого и промышленного водоснабжения города достигают 700 000 м³/сут, в дальнейшем суточный расход воды увеличится до 950 000–1 050 000 м³/сут к 2015 г. и до 1 180 000–1 250 000 м³/сут к 2020 г. Большая часть воды забирается из плейстоценового водоносного горизонта (*qp*). Непрерывный рост дебита водозаборных скважин вызывает образование депрессионных воронок с понижением уровня в ряде зон: от 13 до 18 м (Тханьконг, Нгосильен, Донтхуй, Натывонг и др.); 18...32 м (Майзич, Нгокха, Хадинь, Тхьонгдинь, Танчьеу, ДайКим, Фаван и др.).

Снижение уровня подземных вод приводит к существенному росту эффективных напряжений, что определяет уплотнение слабых песчано-глинистых пород и деформации земной поверхности, а также развитие дополнительных осадков построенных зданий и подземных сооружений. Так, например, формирование об-

ширной пьезометрической депрессии на площади до 250 кв. км (До Ван Бинь, 2006) с максимальным понижением уровня до 32 м за счет водозабора подземных вод привело к осадке земной поверхности.

На основании результатов наблюдений за осадками земной поверхности с 1988 по 1995 г. при водопонижении по 80 наблюдательным реперам на территории Старого города выделены 2 зоны – Чан Минь и Нгуен Ван Дан. Первая, включающая участки от Нгатывонг до Вандьен, имеет скорость оседания земной поверхности более 20 мм/год; вторая – Хадонг, Хадинь, Каубьюу, Каумой, Фапван и от Тханьконг до Нгосильен оседает со скоростью 10...20 мм/год; на остальной территории города скорость осадки меньше 10 мм/год.

Максимальные величины оседаний существенно различаются в отдельных районах города. Так, например, на участках Хадинь – 133,4 мм (1988–2002 гг.), Фапван – 371,4 мм (1988–2002 гг.) и Тханьконг – 160,5–194,3 мм (1993–2001 гг.), что соответствует величине водопонижения до 17 м (1987–2002 гг. – Хадинь), до 16,7 м (1985–2002 гг. – Фапван) и до 14 м (1988–2002 гг. – Тханьконг). Величина оседания земной поверхности в большей степени зависит от мощности малолитифицированных сжимаемых озерно-болотных отложений свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$). Так, например, мощность слабых грунтов $lbIV^{1-2}hh_1$ варьирует на участке Хадинь от 6 до 12 м, Тханьконг – 8...18 м и Фапван 6 – 27 м.

Длительные и неравномерные осадки характерны для 4–6-этажных зданий Старого Ханоя, построенных в 70–80 гг. прошлого века на фундаментах неглубокого заложения, иногда на пирамидальных сваях (до 3,6 м), в микрорайонах города, в которых широко развиты слабые водонасыщенные грунты с органическими остатками свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$). Величина осадок зданий варьировала от 100 до 400 мм, в отдельных случаях превышала 1200 мм.

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

Результаты многочисленных исследований однозначно доказывают, что проявление сейсмической интенсивности на земной поверхности может меняться от +2 до –2 баллов в различных инженерно-геологических условиях. Причем наиболее опасными в сейсмическом отношении являются области распространения рыхлых обводненных отложений. Основными факторами изме-

нения степени локальной сейсмической опасности являются: геолого-литологическое строение, геоморфологические и гидрогеологические условия, физико-механические и сейсмические свойства песчано-глинистых отложений, экзогенные геологические процессы. Из техногенных факторов особое значение имеет распространение и мощность насыпных грунтов и плотность застройки территорий.

Согласно картам обзорного сейсмического районирования территории Вьетнама, а также детального сейсмического районирования Ханойского прогиба и его окрестностей, сейсмичность территории Ханоя соответствует 7 и 8 баллам шкалы MSK-64. На основе инженерно-геологического районирования в масштабе 1:25 000 города, данных общего и детального сейсмического районирования Нгуен Дык Манем [2. С. 24] выполнено сейсмическое микрорайонирование (СМР) Старого Ханоя. Целью проведения работ по СМР является выделение в пределах данного сейсмического района участков с существенно различными грунтовыми условиями и определение сейсмической балльности на этих участках. По результатам этих работ центральная часть города Ханоя была разделена на 4 района с различной балльностью: 7, 8, 8–9 и 9. Район с 7 баллами приходится на Донгань (северная часть города). Район в 8 баллов – в пределах большей части территории города Ханоя и его окрестностей. Район с 8–9 баллами – в южной части. Район с 9 баллами – поймы, располагаемые вне защитных дамб р. Красной с небольшой глубиной уровня грунтовых вод – 2–4 м (Тханьчи).

Выводы:

1. Широкое распространение слабых песчано-глинистых грунтов с органическими остатками свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$) и водонасыщенных тонко- и мелкозернистых пылеватых песков свиты Тхайбинь ($aIV^3tb_{1,2}$), нестабильность гидрогеологических условий, широкий спектр развития экзогенных процессов, а также сейсмичность региона предопределяют сложность градостроительной деятельности на территории г. Ханоя.

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

3. Расширение границ города, сложность инженерно-геологических условий территории, в том числе наличие слабых грунтов и рыхлых песчаных водонасыщенных отложений в верхней части разреза, а также неглубокое залегание грунтовых вод предопределяют необходимость проведения сейсмического микрорайонирования для территории Большого Ханоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ле Ван Зунг. Новые решения проблемы сейсмичности Вьетнама: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 2011.
2. Нгуен Дык М. Инженерно-геологическое обеспечение освоения подземного пространства г. Ханоя (Вьетнам): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб., 2010.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 19 апреля 2011 г.