

УДК 624.131

ТИПИЗАЦИЯ ГРУНТОВЫХ ТОЛЩ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ХАНОЙ (ВЬЕТНАМ) ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВОДОПОНИЖЕНИИ

Фи Хонг Тхинь¹,
phthinh.tomsk@gmail.com

Строкова Людмила Александровна²,
strokova@sibmail.com

¹ Университет транспорта и коммуникаций,
3 Кау Чиену, Тнань Суан, Донгань, г. Ханой, Вьетнам.

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность работы обусловлена необходимостью исследования оседания земной поверхности в городе Ханой (Вьетнам). Город Ханой является одним из крупнейших мегаполисов Азиатского региона с развитой промышленностью, инфраструктурой, высокой плотностью населения. Город расположен на особо сложной природной территории в сейсмически активной зоне. Характерной особенностью геологического строения территории Ханоя является наличие в разрезе мощной толщи слабых грунтов и интенсивное проявление опасных геологических процессов природного и техногенного характера. Одним из наиболее опасных природно-техногенных процессов на территории г. Ханой является оседание поверхности, вызванное интенсивными откачками подземных вод для водоснабжения. Водопотребление в г. Ханое ежегодно увеличивается. Оседание поверхности сопровождается деформациями и разрушениями инженерных сооружений.

Цель работы: типизация грунтовых толщ г. Ханой для исследования процесса оседания земной поверхности.

Методы исследования: системно-функциональный анализ; теория вероятностей и математическая статистика. В основу работы положены фондовые и литературные материалы. Исследования основаны на фактических материалах геологических, гидро-геологических, инженерно-геологических исследований на территории Ханоя; данных лабораторных исследований грунтов, данных мониторинга за уровнем подземных вод и оседанием поверхности.

Результаты. Изучены свойства четвертичных отложений, построены инженерно-геологические разрезы, карты мощности и распространения слабых грунтов. Разработана схема классификации грунтовых толщ и составлена карта типизации грунтовых толщ г. Ханоя. Грунтовые толщ разделены на 4 класса, 6 типов и 9 видов. Указаны типы, которые определяют оседание земной поверхности при водопонижении. Результаты исследования могут быть использованы для прогноза других инженерно-геологических процессов в связи с изменением природных условий и деятельностью человека в Ханое.

Ключевые слова:

Оседание поверхности, слабые грунты, типизация грунтовых толщ, Ханой.

Введение

Город Ханой является одним из крупнейших мегаполисов азиатского региона с развитой промышленностью, инфраструктурой, высокой плотностью населения. С 2008 г. площадь административного образования «Ханой» значительно увеличилась и составляет 3344,7 км². В территорию Ханоя входят 10 городских районов, 18 сельских районов и город Шонтай. В настоящее время численность населения города составляет 7 млн человек [1, 2].

Характерной особенностью геологического строения территории г. Ханоя является наличие в разрезе мощной толщи слабых грунтов и интенсивное проявление опасных геологических процессов природного и техногенного характера. Одним из наиболее опасных природно-техногенных процессов на территории г. Ханоя является оседание земной поверхности, вызванное интенсивными откачками подземных вод для водоснабжения.

Оценка, прогноз и районирование оседания земной поверхности имеют большое значение в предупреждении и уменьшении его вреда в отношении гражданских и промышленных сооружений. В мире оседания земной поверхности обычно

наблюдаются в регионах с высокой плотностью населения, особенно в дельтах, сложенных мощными рыхлыми отложениями. После Второй мировой войны в большинстве из этих регионов оседания земной поверхности возросли в связи с увеличением добычи чистой воды, нефти, природного газа. Согласно данным [3, 4] в 1995 г. в более чем 150 регионах в мире наблюдались значительные оседания земной поверхности. В Японии существуют районы, имеющие самые значительные оседания земной поверхности в мире. По данным [5], в Японии в 1977 г. число регионов, в которых проявились оседания земной поверхности из-за добычи подземных вод, составило 40, с общей площадью погружения до 7380 км², в том числе 1200 км² ниже, чем средний уровень моря. На втором месте в мире по оседанию земной поверхности из-за добычи подземных вод занимают США. В США оседание земли более 1 м проявляется в четырех штатах: Техасе, Аризоне, Неваде и Калифорнии. В Калифорнии существует самая большая площадь оседания земной поверхности с 16000 км², в Техасе площадь депрессионной воронки составляет 12000 км² и штат Аризона – площадь 2700 км² [5]. В некоторых местах в мире уро-

вень оседания земной поверхности уже превышает 9 м, например в столице Мехико (Мексика), в пригороде города Лос-Анджелес – Калифорния (США), в долине Сан-Хоакин – Калифорния (США), в зоне реки Рафт – Идахо (США), в зоне Фар Жест Ранд (Южная Африка), в зоне Чешир – Лондон (Великобритания) [3, 5].

Извлечение подземных вод на территории г. Ханоя началось в 1905 г. Но только в 1988 г., то есть 83 года спустя, стали заниматься проблемой оседания земной поверхности. Измерение оседания земной поверхности проводились один раз в год во время сухого сезона с 1988 по 1995 гг. Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности в этот период показывают, что почти вся внутренняя площадь города Ханоя (кроме зон вдоль Красной реки) и прилегающие районы подверглись оседанию. Большая скорость оседания земной поверхности (более 10 мм/год) наблюдалась в центральном и южном районах города [6, 7]. Максимальная скорость оседания земной поверхности наблюдалась в микрорайонах Зангво – Тханьконг и Фапван (средняя скорость 20–44 мм/год).

В 1988 г. Инженерно-геологической и гидро-геологической конфедерацией северного региона (в настоящее время известна под названием «Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов северного региона») были построены 32 станции мониторинга за оседанием земной поверхности на территории г. Ханоя. Большинство этих станций расположено на юго-западе реки Красной. Эта система мониторинга устроена для наблюдений за оседанием земной поверхности в различных местах с различными инженерно-геологическими условиями и снижениями уровней подземных вод.

Кроме этого, Народный комитет города Ханой заказал Ханойскому институту науки, технологии и строительной экономики построить новую систему мониторинга за оседанием земной поверхности. Эта новая система была спроектирована и построена с 1994 по 2003 г., вначале в микрорайоне Нгокха. В настоящее время эта система состоит из 10 станций. Наблюдение оседания земной поверхности в Ханое проводится регулярно Ханойским институтом науки, технологии и строительной экономики [7].

На станциях, в геологическом разрезе которых присутствуют слои слабых грунтов, скорость оседания земной поверхности сравнительно высокая, например, Тханьконг – 40,46 мм/год, Нгошилиен – 26,52 мм/год, Фапван – 21,02 мм/год; на станциях без слабых грунтов скорость оседания низкая, например, Нгокха – 1,73 мм/год, Майзич – 2,81 мм/год, Донгань – 4,66 мм/год; на станциях, расположенных около реки Красной скорость оседания ниже в результате пополнения подземных вод речной водой, например, Лыонгиен – 15,94 мм/год, Залам – 19,13 мм/год [8].

В настоящее время установлена связь между оседанием земной поверхности и извлечением под-

земных вод на территории г. Ханоя. Многочисленные разрушения жилых домов и зданий в г. Ханое произошли в период с 1985 по 1995 гг., в период интенсификации добычи подземных вод, что является убедительным доказательством наличия связи между оседанием земной поверхности и процессом добычи подземных вод на территории г. Ханоя.

Результаты мониторинга за оседанием земной поверхности показали, что почти вся внутренняя площадь города Ханоя подверглась оседанию с разными скоростями, зависящими от инженерно-геологических условий и характеристик снижения уровня подземных вод. В микрорайонах со слоями слабых грунтов в разрезе и сильными снижениями уровней подземных вод величина оседания земной поверхности высокая, например: Тханьконг, Фапван, Нгошилиен, Тьонгмай, Хадинь, Лыонгиен.

Вопросам оседания поверхности на территории г. Ханоя, связанного с интенсивным извлечением подземных вод, посвящены исследования Ф.Х. Жао, Ч.М. Тху, Ч.М. Льеу, Н.Х. Фюонг, Л.Ч. Тхань, Ч.В. Ты и других [6–15]. Однако эти исследования не носят всесторонний и систематический характер и сосредоточены только в районах Старого Ханоя.

Критический анализ фондовых материалов, выполненный авторами, показал: отсутствие сводной таблицы нормативных значений инженерно-геологических свойств территории в пределах Нового Ханоя (с 2008 г.); отсутствие карт распространения и мощности слабых грунтов; отсутствие карты распространения грунтовых толщ, определяющих процесс оседания. Исследования авторов отражены в работах [16–17].

Дальнейшие исследования оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод потребовали выполнить типизацию грунтовых толщ территории г. Нового Ханоя. Для достижения поставленных задач необходимо выполнить следующие работы: описать физико-механические свойства четвертичных отложений; определить мощность и распространение слабых грунтов; типизировать грунтовые толщ на классы, типы и виды; составить карту типизации грунтовых толщ территории г. Ханоя.

Характеристика объекта и методики исследований

Большая часть территории г. Ханоя находится на равнине Бакбо, которая имеет наклон с северо-запада на юго-восток (по течению Красной реки). На севере средние отметки поверхности составляют 8...12 м над уровнем моря, в центре 5...7 м, на юго-востоке 3...4 м [1, 2]. Невысокие горы охватывают ¼ территории города.

Город Ханой, как вся равнина Бакбо, расположен в области субэкваториального муссонного климата. Максимальное количество дождей выпадает в летние и осенние месяцы (с мая по октябрь, примерно 80 % годовой нормы осадков), в зимние месяцы (с декабря по март следующего года) количество дождей минимальное [1, 2].

В тектоническом отношении Вьетнам расположен на стыке Тихоокеанского и Средиземноморского геосинклинальных поясов. Северная часть Вьетнама связана со следующими крупными регионально-тектоническими единицами – Катазиатской каледонской геосинклинальной складчатой системой, подвижной частью Южно-Китайской платформы, Восточно-Индокитайской (Северо-Вьетнамской) складчатой системой. По особенностям геологического строения территорию подразделяется на 2 области.

- Северо-восточный Бакбо относится к подвижной окраине Южно-Китайской платформы и юго-западному окончанию Катазиатской системы. Образование древнего фундамента платформы (гнейсы, кварцы, кристаллические сланцы, мраморы, гранитоиды) перекрыты верхнепротерозойскими и палеозойскими терригенно-карбонатными отложениями. Вдоль северо-восточного побережья залива Бакбо (юго-запад Катазиатской системы) терригенно-эффузивные отложения кембрия, ордовика и силура сильно смяты с образованием складчатого комплекса нижнего палеозоя. Мезозойские вулканогенно-осадочные и терригенные толщи выполняют отдельные прогибы и впадины. Позднепалеозойские и мезозойские интрузии кислого и основного состава связаны с разломами.
- Северо-западный Бакбо – раннегерцинская и индосинийская (позднетриасовая) геосинклинально-складчатая система. Северо-западный Бакбо характеризуется особыми пермо-триасовыми офиолитовыми образованиями, превращенными в глыбово-складчатую зону Индосинийского комплекса.

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 [19].

Большая часть территории Ханоя расположена в центральной погруженной зоне прогиба реки Красной, приуроченного к чрезвычайно сложному тектоническому узлу – сгущению тектонических разломов различного порядка и простирания, в основном северо-западного, северо-восточного и субширотного, реже субмеридионального направлений. Прогиб ограничен глубинными разломами с горными сооружениями на северо-восточном и юго-западном краях, а в юго-восточном направлении он продолжает развиваться в заливе Бакбо. Кроме глубинных разломов, на территории прогиба очень широко и активно развиваются многочисленные региональные, локальные разрывы и другие структуры – структуры поднятия и структуры опускания, которые обычно отчетливо наблюдаются в зонах правой сдвиговой дислокации, протягивающейся в северо-западном направлении. Особенно четко выражены разрывы низкого порядка в

узловых пересечениях глубинных разломов. Некоторые разломы относятся к числу активных, перемещения отдельных крупных тектонических блоков составляют от долей до 5 мм, реже 8 мм в год [1, 18–23]. 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 [19].

Инженерно-геологические особенности четвертичных отложений на территории г. Ханоя определены по результатам инженерно-геологических изысканий многих проектов по строительству мостов, дорог, многоэтажных зданий и гидрогеологических изысканий на территории г. Ханоя, собранных Фи Х.Т. от коллег и собственного участия в инженерно-геологических изысканиях на территории г. Ханоя. Для описания грунтов использованы данные 691 скважины глубиной от 11 до 281 м (до неогенных отложений), результаты лабораторных испытаний по 4536 образцам грунтов. Мощность и распространение четвертичных отложений на территории показаны на двух инженерно-геологических разрезах (рис. 1, 2), составленных Фи Х.Т. в 2013 г.

В разрезе четвертичных отложений выделяют пять свит, различающихся по возрасту и генезису, гранулометрическим составом – от галечников до тяжелых глин: раннеплейстоценовую свиту *Лэчи* (*allc*) мощностью 2,5–4,5 м, глубиной залегания 45,0–80,0 м, сложенную аллювиальными грунтами, представленными гальками, гравием, линзами песков, супесей или суглинков; средне-позднеплейстоценовую свиту *Ханой* (*a, apII-III'hn*) мощностью 2,5–34,0 м, сложенную аллювиальными и аллювиально-пролювиальными грунтами, представленными гальками, гравием и песками, местами суглинками и супесями, развитыми в верхней части разреза; позднеплейстоценовую свиту *Виньфук* (*a, alb, amIII²vp_{1,2,3}*) мощностью 6,2–38,0 м, представленную аллювиальными, аллювиально-озерно-болотными и аллювиально-морскими отложениями – песками в нижней части разреза и суглинками и глинами в верхней (местами также прослеживаются суглинки с органическими остатками); ранне-среднеголоценовую свиту *Хайхынг* (*lb, m, ambIV¹⁻²hh_{1,2,3}*) мощностью 1,0–43,0 м, состоящую из озерно-болотных, морских и аллювиально-болотно-морских отложений, относящихся к специфическим слабым водонасыщенным грунтам и представленным суглинками и глинами с органическими остатками в основании разреза, постепенно сменяющимися морскими глинами синего цвета; позднеголоценовую свиту *Тхайбинь* (*a, albIV³tb_{1,2}*) мощностью 0,5–26,5 м, представленную аллювиальными и аллювиально-озерно-болотными отложениями, имеющими широкое распространение и характеризующимися постепенным переходом от песков к супесям и суглинкам, местами с включениями органических остатков.

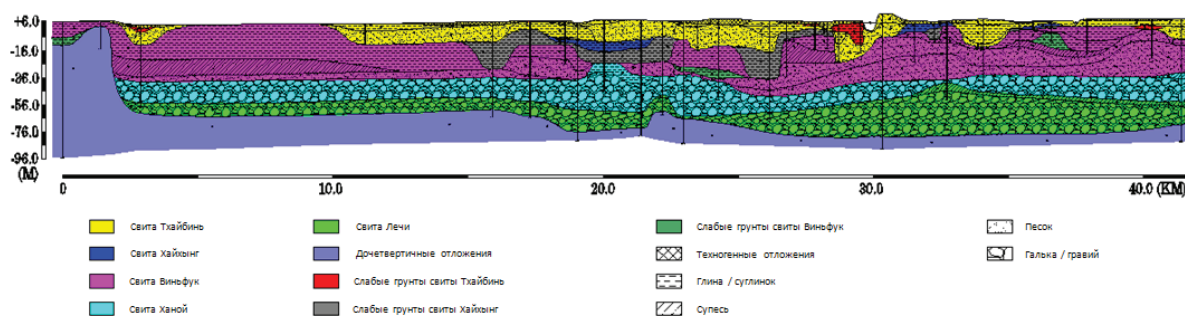


Рис. 1. Распределение слабых грунтов на территории г. Ханоя в инженерно-геологическом разрезе AA', составленном Фи Х.Т. в 2013 г.

Fig. 1. Distribution of soft soil layers (in black color) in geotechnical cross-section AA' in the Hanoi area, made by Phi H.T. in June 2013. The greatest depth is 100 m; the section length is 41,3 km

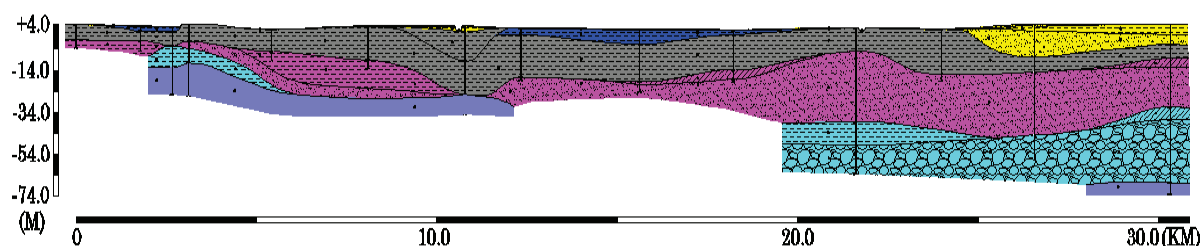


Рис. 2. Распределение слабых грунтов на территории г. Ханоя в инженерно-геологическом разрезе BB', составленном Фи Х.Т. в 2013 г. Условные обозначения – на рис. 1

Fig. 2. Distribution of soft soil layers (in black color) in geotechnical cross-section BB' in the Hanoi area, made by Phi H.T. in June 2013.

По возрасту, генезису и физико-механическим свойствам четвертичные отложения территории разделены на 24 слоя (сверху вниз):

I. Техногенные отложения (tH)

Слой 1: Насыпные и намывные грунты – пески, суглинки и супеси с примесью отходов.

II. Верхняя пачка свиты Тхайбинь (aIV^3tb_2)

Слой 2: Суглинистый ил в дне озер и прудов.

Слой 3: Суглинок, перемежающийся с супесями, коричневый, розовато-коричневый, мягкопластичный.

Слой 4: Мелко- и тонкозернистый водонасыщенный песок, местами с гравием, буровато-серый, рыхлый.

III. Нижняя пачка свиты Тхайбинь (alb, aIV^3tb_1)

Слой 5: Глина, желтовато-серая, тугопластичная-мягкопластичная.

Слой 6: Суглинок, желтовато-серый, коричневый, тугопластичный-мягкопластичный.

Слой 7: Водонасыщенный суглинок с органическими остатками, серо-коричневый, текучепластичный-текучий.

Слой 8: Суглинок, перемежающийся с супесями и песками, серо-коричневый, мягкопластичный.

Слой 9: Мелко- и тонкозернистые водонасыщенные пески, зеленовато-серые, средней плотности.

Слой 10: Суглинок, перемежающийся с супесями и песками, местами серо-коричневый, мягкопластичный.

IV. Верхняя пачка свиты Хайхынг ($ambIV^{1-2}hh_3$)

Слой 11: Водонасыщенный суглинок с органи-

ческими остатками, темно-серый, текучепластичный-текучий.

V. Средняя пачка свиты Хайхынг ($mIV^{1-2}hh_2$)

Слой 12: Глина, синяя, тугопластичная-мягкопластичная.

VI. Нижняя пачка свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$)

Слой 13: Суглинистый ил с органическими остатками, темно-серый.

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

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

Слой 15: Суглинок, разноцветный (коричневый, желтый, красный), полутвердый-тугопластичный.

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

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

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

Слой 17: Супесь, перемежающаяся с суглинками или песками, желтовато-серая, пластичная.

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

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

X. Свита Ханой ($ap, aII-III^1hn$)

Слой 20: Суглинок, местами с органическими остатками, серо-коричневый, мягкопластичный.

Слой 21: Супесь, местами с гравием, серая, пластичная.

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

XI. Свита Лечи (*aIIc*)

Слой 23: Супесь, местами с гравием, серая, коричневая, пластичная.

Слой 24: Водонасыщенные галечно-гравийные отложения, мелко- и крупнозернистые с суглинками, коричневатого-серые, желтовато-серые, очень плотные.

Физико-механические свойства четвертичных отложений на территории г. Ханоя представлены в табл. 1.

В верхней части разреза четвертичных отложений прослеживаются аллювиально-озерно-болотные отложения свиты Виньфук (*albIII²vp₂*) – слой 16, озерно-болотные и аллювиально-морские-болотные отложения свиты Хайхынг (*lb, am-bIV¹⁻²hh_{1,3}*) – слои 13 и 11, и аллювиально-озерно-болотные отложения свиты Тхайбинь (*albIV³tb₁*) – слои 2 и 7 – слабые песчано-глинистые грунты с низкой несущей способностью и высокой сжимаемостью ($R_0 < 100$ кПа и $E_{0(1-2)} < 5$ МПа). Широкое распространение водонасыщенных песчано-глинистых отложений с включением органики свиты Хайхынг (*lbIV¹⁻²hh₁*) – слой 13 – 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 центральной части и южных районах города. На основе собранных данных составлена карта мощности и распространения слабых водонасыщенных грунтов территории г. Ханоя (рис. 3). Мощность толщ слабых пород свиты Хайхынг *lbIV¹⁻²hh₁* изменяется в широких пределах от 0,5 до 43,0 м. Она встречается в глубине от 0,3...15,5 м в южных районах города до 3,0...37,5 м в центральной части. Слабые грунты свиты Хайхынг *lbIV¹⁻²hh₁* характеризуются самыми низкими параметрами прочности ($\varphi = 5^{\circ}39'$ и $c = 9,1$ кПа) и самой высокой сжимаемостью ($E_{0(1-2)} = 1,6$ МПа) (табл. 1).

В пределах глубины градостроительного освоения Ханоя зафиксировано наличие двух водоносных комплексов. Повсеместное распространение в городе имеет плейстоценовый слабораспорный водоносный комплекс (qr), водовмещающими породами которого являются крупнообломочные образования (галька и гравий) и пески (*aIIc*, *ar*, *aII-III¹hn* и *aIII²vp₁*). Коэффициент водопроницаемости

Таблица 1. Обобщенные показатели состава и свойств четвертичных отложений территории Ханоя по данным Х.Т. Фи, полученным в 2013 г.

Table 1. Summary of physical and mechanical properties of quaternary sediments in the Hanoi area according to the study results of Phi H.T. in 2013 [16]

№ слоя Layer No.	Природная влажность Natural moisture content W, %	Плотность грунта ρ , г/см ³ Bulk density ρ , g/cm ³	Число пластичности Plasticity index I_p , %	Показатель текучести I_L , отн. ед. Liquidity index I_L	Угол внутреннего трения грунта φ , град. Internal friction angle φ , degree	Удельное сцепление c , кгс/см ² Cohesion c , kPa	Модуль деформации E_0 , МПа Deformation modulus E_0 , MPa	Несущая способность R_0 , кгс/см ² Bearing capacity R_0 , kPa	Содержание органических веществ O, % Percentage of organic matters O, %	Количество образцов Number of tested samples
2	55,8	1,64	16,9	1,12	5	0,071	1,6	0,5	–	52
3	32,6	1,79	15,6	0,58	10	0,165	6,9	1,2	–	29
4	–	–	–	–	25	–	7,2	1,0	–	16
5	32,8	1,85	19,0	0,35	10	0,293	11,1	1,7	–	87
6	29,1	1,89	14,3	0,37	12	0,268	11,6	1,7	–	733
7	42,6	1,72	14,8	0,89	7	0,120	4,0	0,7	5,7	385
8	31,2	1,82	9,7	0,74	12	0,147	7,6	1,1	–	249
9	–	–	–	–	27	–	10,7	1,3	–	545
10	34,3	1,74	12,1	0,73	10	0,161	5,4	1,1	–	89
11	40,1	1,76	15,6	0,96	6	0,096	3,4	0,6	12,2	27
12	35,1	1,80	18,6	0,47	10	0,242	8,9	1,4	5,3	163
13	53,3	1,61	15,9	1,26	5	0,091	1,6	0,5	9,7	628
14	30,6	1,87	18,5	0,25	12	0,308	15,2	1,8	–	196
15	26,6	1,92	13,9	0,28	14	0,304	14,8	2,1	–	608
16	36,4	1,76	12,8	0,88	10	0,120	4,9	0,9	8,0	54
17	26,0	1,85	7,5	0,77	15	0,145	11,5	1,4	–	167
18	–	–	–	–	33	–	19,8	2,9	–	195
19	–	–	–	–	36	–	30,1	3,7	–	215
20	27,3	1,84	10,8	0,59	9	0,182	7,0	1,2	–	08
21	–	–	–	–	–	–	12,4	1,8	–	10
22	–	–	–	–	–	–	>50,0	>5,0	–	80
23	–	–	–	–	–	–	15,0–20,0	>2,0	–	–
24	–	–	–	–	–	–	>50,0	>5,0	–	–

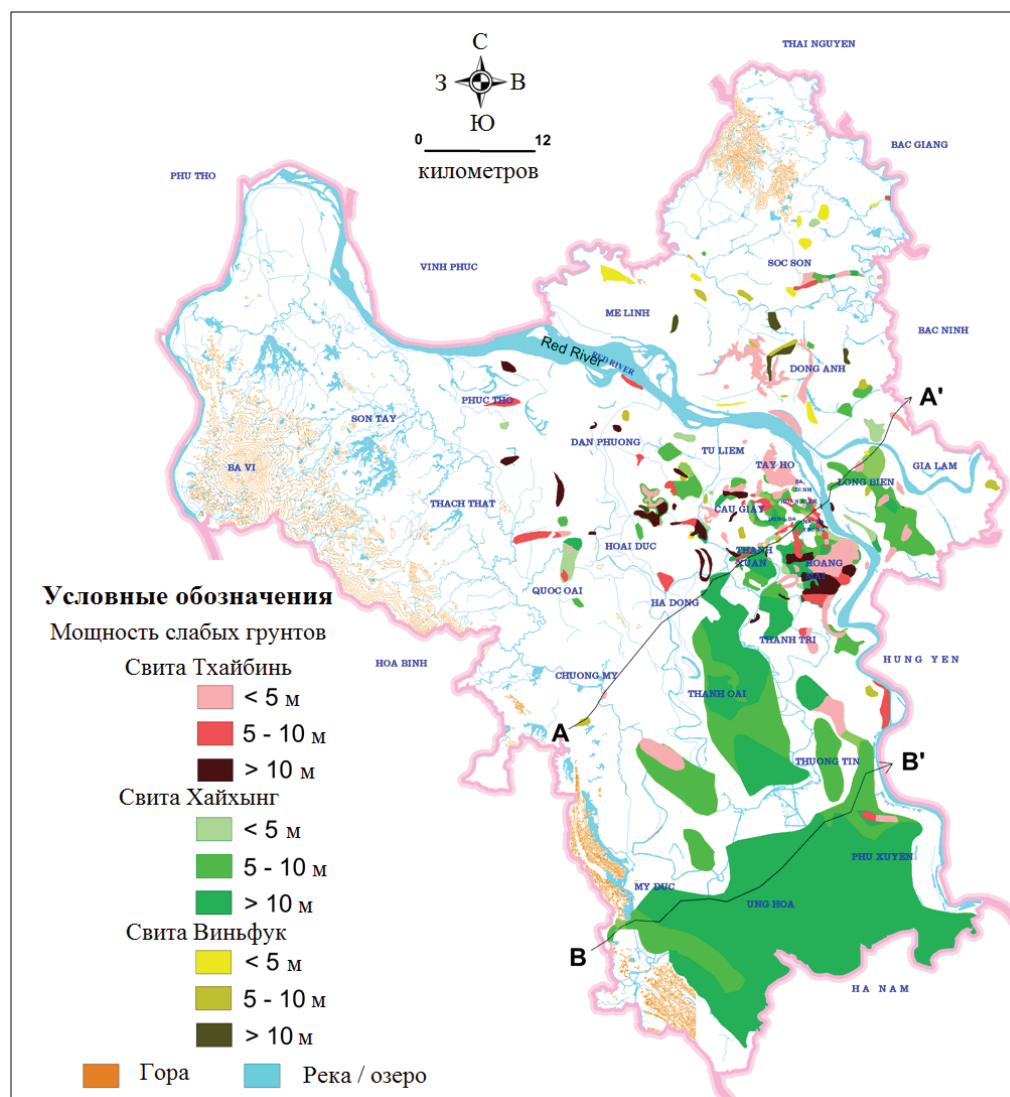


Рис. 3. Карта мощности и распространения слабых водонасыщенных грунтов территории г. Ханоя, составленная Фи Х.Т. в 2013 г.

Fig. 3. Distribution of soft soil layers in the Hanoi area, made by Phi H.T. in June, 2013

сти горизонта составляет от 50 до 2300 м²/сут, коэффициент фильтрации грунтов горизонта – от 20 до 68 м/сут [1, 2, 6–13]. 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 комплекс (qh). Коэффициент водопроводимости изменяется от 20 до 790 м²/сут, чаще – 200...400 м²/сут. 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 [1, 2, 6–8, 16].

Водонасыщенные песчано-глинистые породы рассматриваются как среда развития плавунцов,

суффозионных процессов, тиксотропных явлений в глинистых грунтах, склоновых процессов (оползни, оплывания) на незакрепленных берегах рек и котлованов, именно их присутствие в разрезе является причиной значительных осадок земной поверхности при откачках подземных вод.

Результаты исследований

Мониторинг за оседанием поверхности и снижением уровня грунтовых вод проводится Ханойским институтом строительных технологий (НИВТ) по 10 наземным станциям [8]. По данным мониторинга, максимальные величины оседаний поверхности существенно различаются в отдельных районах города. Так, например, на участках Хадинь – 147,7 мм (1997–2004 гг.), Фапван – 221,7 мм (1996–2005 гг.) и Тханьконг – 372,8 мм (1996–2004 гг.), что соответствует величине водо-

понижения до 5,3 м (1998–2008 гг., Хадинь), до 4,7 м (1996–2008 гг., Фапван) и до 10,7 м (1997–2008 гг., Тханьконг) [8, 18].

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

Результаты исследования связи между оседанием земной поверхности и мощностью насыпных отложений, выполненные Фи Х.Т. (2014), показали, что оседание поверхности из-за нагрузки от насыпных грунтов с мощностью 2,0 м составляет 6 см; с мощностью 5,5 м – 11 см; с мощностью 10,0 м – 26 см.

Таким образом, интенсивность оседания земной поверхности зависит, прежде всего, от объемов добычи подземных вод, состава, мощности и физико-механических свойств грунтов и в меньшей степени от нагрузок от зданий и сооружений, наличия и мощности насыпных грунтов. Максимальные оседания наблюдаются в районах развития мощных толщ малолитифицированных сжимаемых озерно-болотных отложений свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$) [6, 7]. Так, например, мощность слабых грунтов $lbIV^{1-2}hh_1$ варьирует от 22 м на участке Хадинь до 26 м (Фапван) и 16 м (Тханьконг) [4, 9].

Для предварительной оценки и анализа оседания поверхности на станциях Тханьконг и Хадинь была использована программа TZP, разработанная Фам Х.Ж., при сочетании применения двухмерной модели движения подземных вод и одномерной модели консолидации на базе метода конечных элементов. Выполненное моделирование показало, что 86–96 % от общей величины осадки составляет сжатие слабых грунтов свиты Хайхынг $lbIV^{1-2}hh_1$ [16].

Грунтовые толщи могут состоять из множества различных грунтовых слоев и скальных пород, расположенных по определенным правилам. Толщи могут разделяться на классы, типы и виды на основе условий их залегания, состава, физико-механических свойств, мощности, в зависимости от целей конкретной типизации [24]. Обычно разные типы грунтовых толщ отражают их поведение при воздействии инженерных сооружений или изменения геологической среды [25–30].

Таким образом, типизация грунтовых толщ является системой пространственного расположения грунтовых слоев, выделенных согласно цели районирования.

Результаты оценки и анализа оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя показали, что величина оседания земной поверхности в большей степени зависит от мощности слабых грунтов. Поэтому мощность слабых грунтов является первым показателем, используемым при типизации грунтовых толщ.

В связи с исследованием оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод глубина исследований должна достигать водонасыщенные гравийно-галечниковые отложения свиты Ханой (слой 22). Это главный водоносный горизонт, широко используемый для водоснабжения. Данный слой менее подвержен влиянию изменений окружающей среды. Ниже этой глубины воздействие извлечения подземных вод на величину оседания земной поверхности незначительное.

Исследуемые грунтовые толщ были разделены на классы, типы и виды. Классы выделялись по условиям залегания свит и обозначались римскими цифрами (I, II, III и т. д.). Типы (1 или 2) определялись на основе наличия или отсутствия слабых грунтов и обозначались арабскими цифрами

Таблица 2. Обозначения и принципы выделения классов, типов и видов грунтовых толщ на территории города Ханой

Table 2. Symbols and principles of selection of classes, types and kinds of soil strata in the city of Hanoi

Класс/Class		Тип/Type		Вид/Kind	
Обозначение Sign	Отложения, распространенные на земной поверхности Deposits on the Earth's surface	Обозначение Sign	Слабые грунты Soft soils	Обозначение Sign	Мощность слабых грунтов, м Thickness of soft soils, m
I	Свита Тхайбинь Thai Binh formation	I.1	Отсутствуют/Absent	–	–
		I.2	Присутствуют Present	I.2.a	<5
				I.2.b	5–10
				I.2.c	>10
II	Свита Хайхынг Hai Hung formation	II.1	Отсутствуют/Absent	–	–
		II.2	Присутствуют Present	II.2.a	<5
				II.2.b	5–10
				II.2.c	>10
III	Свита Виньфук Vinh Phuc formation	III.1	Отсутствуют/Absent	–	
		III.2	Присутствуют Present	III.2.a	<5
				III.2.b	5–10
				III.2.c	>10
IV	Дочетвертичные отложения Pre-quaternary sediments	–	–	–	–

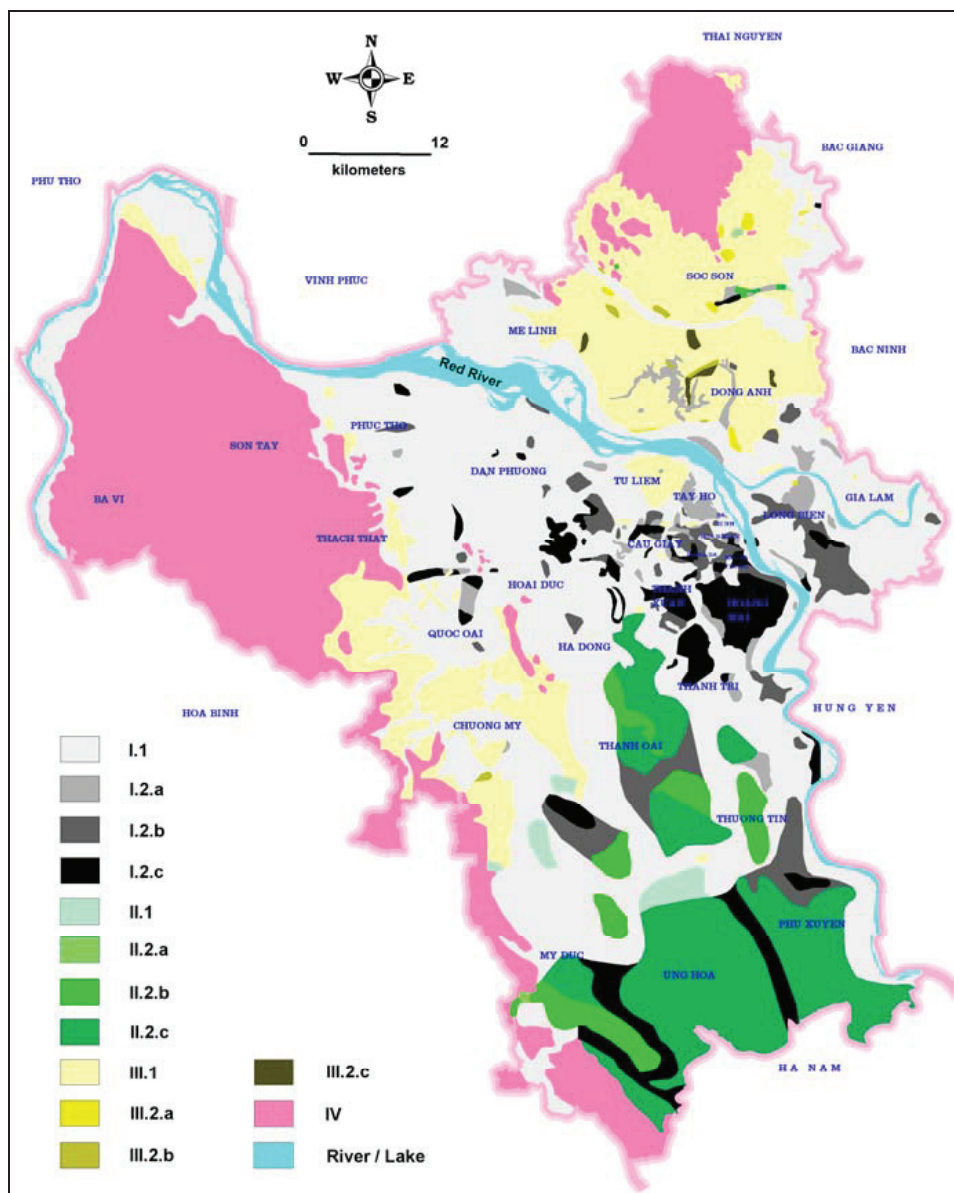


Рис. 4. Карта типизации грунтовых толщ территории г. Ханоя в связи с исследованием оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод

Fig. 4. Map of soil type distribution for Hanoi in the study of land subsidence due to groundwater extraction

после номеров классов (I.1, I.2, II.1, II.2 и т. д.). Виды выделялись по мощности слабых грунтов и обозначались латинскими буквами после номеров классов и типов (I.2.a, I.2.b, I.2.c, II.2.a, II.2.b, II.2.c и т. д.). С использованием этих принципов грунтовые толщ территории Ханоя были разделены на 4 класса, 6 типов и 9 видов (табл. 2).

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

Результаты типизации грунтовых толщ изучаемой территории показали, что типы слабых грун-

тов широко распространены в центральной части и южных районах города, где оседание земной поверхности более значительно при большем водоупонении.

Выводы

1. В верхней части разреза четвертичных отложений территории г. Ханоя существует пять слоев слабых песчано-глинистых грунтов. В том числе толща слабых грунтов свиты Хайхынг ($lbIV^{1-2}hh_1$) имеет большую мощность, широкое распространение и высокую сжимаемость ($E_{0(1-2)}=16$ кгс/см²) и определяет высокую степень сложности инженерно-геологических условий рассматриваемой территории.

2. Результаты оценки и анализа оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод на территории г. Ханоя показали, что величина оседания земной поверхности в большей степени зависит от мощности слабых грунтов.
3. В связи с исследованием оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод грунтовые толщ территории г. Ханоя типизированы на 4 класса, 6 типов и 9 видов. В том числе типы I.2.b, I.2.c, II.2.b и II.2.c с мощностью слабых грунтов больше 5 м и широ-

ким распространением определяют значительную величину оседания земной поверхности при водопонижении и необходимость особого внимания при исследовании оседания земной поверхности.

4. Результаты исследования могут быть использованы для прогноза других инженерно-геологических процессов в связи с изменением природных условий и деятельностью человека.

Работа поддержана Вьетнамским государственным фондом по образованию и профессиональной подготовке (код проекта: DTDL.2012-T/28).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Report on water resources in Hanoi, Vietnam (for the Center for Water Resources Planning and Investigation (CWRPI)). – Hanoi, Vietnam: CWRPI, 2011. – 187 p. (in Vietnamese)
2. Vu V.P. Geology, geomorphology and natural resources of Hanoi, Vietnam. – Hanoi, Vietnam: Hanoi Publisher, 2011. – 280 p. (in Vietnamese)
3. Land subsidence / Barends F.B.J., Brouwer F.J.J., F.H. Schroder // Proceedings of the fifth international symposium on land subsidence. – London: IAHS Press, 1995. – 92 p.
4. Review on current status and challenging issues of land subsidence in China / R.L. Hu, Z.Q. Yue, L.C. Wang, S.J. Wang // Engineering Geology. – 2004. – № 76. – P. 65–77.
5. Joseph F.P. Guidebook to studies of land subsidence due to groundwater withdrawal. – Michigan: Book Crafters, 1984. – 340 p.
6. Nguyen H.P. Report on research and prediction of land subsidence due to changes in engineering geological and hydrogeological conditions in Thanh Tri District. – Hanoi, Vietnam: Hanoi University of Mining and Geology, 2004. – 230 p. (in Vietnamese)
7. Nguyen H.P. Report on collecting and verifying data, additional studies for mapping of soft soils distribution in Hanoi to plan for construction in the Capital of Vietnam. – Hanoi, Vietnam: Hanoi University of Mining and Geology, 2004. – 261 p. (in Vietnamese)
8. Report on research program on Hanoi land subsidence due to changing of groundwater level (for the Hanoi Institute of Building Technology (HIBT)). – Hanoi, Vietnam: HIBT, 2004. – 125 p. (in Vietnamese)
9. Giao P.H., Ovaskainen E. Preliminary assessment of Hanoi land subsidence with reference to groundwater development // Lowland Technology International. – 2000. – № 2 (2). – P. 17–29.
10. Hanoi Institute of Building Technology (HIBT). Report on Research Program on Hanoi Land Subsidence due to Changing of Groundwater Level. – Hanoi: HIBT, 2004. – № 38. – P. 41–70. (in Vietnamese).
11. Phuong N.H. Report on Research and Prediction of Land Subsidence due to Changes in Engineering Geological and Hydrogeological Conditions in Thanh Tri District, Hanoi, Vietnam. – Hanoi: Hanoi University of Mining and Geology, 2004. – P. 150–154. (in Vietnamese).
12. Phuong N.H. Report on Collecting and Verifying Data, Additional Studies for Mapping of Soft Soils Distribution in Hanoi to Plan for Construction in the Capital of Vietnam. – Hanoi: Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam, 2004. – P. 101–163. (in Vietnamese).
13. Thang L.T. Research on Classification of Soft Soil Groups in Hanoi Area and Assessment of Their Using Ability in Construction. Ph.D. Thesis, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam, 1995. P. 74–94. (in Vietnamese).
14. Thu T.M., Fredlund D.G. Modeling Subsidence in the Hanoi City area, Vietnam // Canadian Geotechnical Journal. – 2000. – № 37 (7). – P. 621–637.
15. Карта районирования оседания земной поверхности в городе Ханое на основе результатов мониторинга // Конфедерация планирования и исследования водных ресурсов Северного региона Вьетнама (КПИВРСРВ). – Ханой: Изд-во «КПИВРСРВ», 1995. – 1 лист.
16. Фи Х.Т., Строкова Л.А., Нгуен Н.М. Оценка и прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в городе Ханой (Вьетнам) // Инженерная геология. – 2012. – № 2. – С. 52–59.
17. Фи Х.Т., Строкова Л.А. Опасные геологические процессы на территории г. Ханой (Вьетнам) // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – № 349. – С. 200–204.
18. Brakorenko N.N. Impact of oil on groundwater chemical composition // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – № 27. – 6 с.
19. Ле В.З. Новые решения проблемы сейсмичности Вьетнама: автореф. дис.... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2011. – 24 с.
20. Нгуен Д.М. Инженерно-геологическое обеспечение освоения подземного пространства г. Ханоя (Вьетнам): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – СПб., 2010. – 24 с.
21. Center for Water Resources Planning and Investigation (CWRPI). Report on Water Resources in Hanoi, Vietnam. – Hanoi: CWRPI, 2011. – № 10. – P. 75–92. (in Vietnamese).
22. Geographic Atlas of Vietnam. – Hanoi: DSMV, 1999. – P. 19–22.
23. Phai V.V. Geology, Geomorphology and Natural Resources of Hanoi, Vietnam. – Hanoi, Vietnam: Hanoi Publisher, 2011. – P. 81–93. (in Vietnamese).
24. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология – Специальная инженерная геология. – Л.: Недра, 1978. – 496 с.
25. Strokova L.A. Modeling of tunneling-induced ground surface movement / Scientific and Technical Challenges in the Well Drilling Progress // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – № 24. – 6 с.
26. Karst hazard assessment in the design of the main gas pipeline (South Yakutia) / L.A. Strokova, E.M. Dutova, A.V. Ermolaeva, I.N. Alimova, A.B. Strelnikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – № 27. – 6 с.
27. Strokova L.A., Teterin E. A. Identification, diagnosis and ranking of risks of geohazard in pipeline and urbanized territories // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – № 43. – 6 с.
28. Strokova L.A., Ermolaeva A.V., Golubeva V.V. The Investigation of Dangerous Geological Processes Resulting In Land Subsidence While Designing the Main Gas Pipeline in South Yakutia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – № 43. – 6 с.

29. Latypov A., Zharkova N., Nuriyev I. Landslide hazard assessment in city under construction Innopolis (Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – № 33. – 6 с.
30. Leonova A.V., Khabibullin R.R., Baranova A.V. Geotechnical conditions contributing to negative geological process development in urban areas (the case of Kemerovo-city) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – № 33. – 6 p.

Поступила 24.03.2017 г.

Информация об авторах

Фи Хонг Тхинь, кандидат геолого-минералогических наук, преподаватель кафедры геотехники Строительного факультета Университета транспорта и коммуникаций.

Строкова Л.А., доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 624.131

CLASSIFICATION OF SOIL TYPES FOR HANOI (VIETNAM) WHEN STUDYING LAND SUBSIDENCE AT GROUNDWATER EXTRACTION

Phi Hong Thin¹,
phthinh.tomsk@gmail.com

Lyudmila A. Strokov²,
strokova@sibmail.com

¹ University of Transport and Communications,
3 Cau Giay Street, Lang Thuong Ward, Dong Da District, Hanoi, Vietnam.

² National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050.

The relevance of the discussed issue is caused by the necessity to study land subsidence in Hanoi (Vietnam). Hanoi is one of the largest cities in Asia with the developed industry, infrastructure and high population density. The city is located in the area with complicated natural conditions and active earthquake. A characteristic feature of the geological structure in the city is the presence of soft soils with large thickness and intensive manifestation of dangerous natural and man-made geological processes. One of them is land subsidence caused by intensive groundwater exploitation for water supply. Water consumption in Hanoi is increasing annually. The land subsidence is followed by deformations and damages of engineering structures.

The main aim of the study is classification of soil types and establishment of map of soil type distribution for prediction of land subsidence in Hanoi caused by the groundwater extraction.

The methods used in the study: collecting and analyzing data on geology, hydrology, soil properties.

The results. The paper introduces the properties of quaternary deposits, engineering-geological sections, maps of thickness and distribution of soft soils and a map of stratum subdivision for Hanoi territory. The strata are subdivided into 4 classes, 6 types and 9 kinds. The types that mainly predetermine land subsidence after groundwater drawdown are pointed out. The results can be used to predict other engineering-geological processes due to the changes in natural conditions and human activities in Hanoi.

Key words:

Land subsidence, soft soils, strata subdivision, Hanoi.

The research was supported by the Vietnam State Fund of Education and Training (project code: ĐTĐL.2012-T/28).

REFERENCES

1. *Report on water resources in Hanoi, Vietnam* (for the Center for Water Resources Planning and Investigation (CWRPI)). Hanoi, Vietnam, CWRPI, 2011. 187 p. (in Vietnamese)
2. Vu V.P. *Geology, geomorphology and natural resources of Hanoi, Vietnam*. Hanoi, Vietnam, Hanoi Publisher, 2011. 280 p. (in Vietnamese)
3. Barends F.B.J., Brouwer F.J.J., Schroder F.H. Land subsidence. *Proceedings of the fifth international symposium on land subsidence*. London, IAHS Press, 1995. 92 p.
4. Hu R.L., Yue Z.Q., Wang L.C., Wang S.J. Review on current status and challenging issues of land subsidence in China. *Engineering Geology*, 2004, no. 76, pp. 65–77.
5. Joseph F.P. *Guidebook to studies of land subsidence due to groundwater withdrawal*. Michigan, Book Crafters, 1984. 340 p.
6. Nguyen H.P. *Report on research and prediction of land subsidence due to changes in engineering geological and hydrogeological conditions in Thanh Tri District*. Hanoi, Vietnam, Hanoi University of Mining and Geology, 2004. 230 p. (in Vietnamese)
7. Nguyen H.P. *Report on collecting and verifying data, additional studies for mapping of soft soils distribution in Hanoi to plan for construction in the Capital of Vietnam*. Hanoi, Vietnam, Hanoi University of Mining and Geology, 2004. 261 p. (in Vietnamese)
8. *Report on research program on Hanoi land subsidence due to changing of groundwater level* (for the Hanoi Institute of Building Technology (HIBT)). Hanoi, Vietnam, HIBT, 2004. 125 p. (in Vietnamese)
9. Giao P.H., Ovaskainen E. Preliminary assessment of Hanoi land subsidence with reference to groundwater development. *Lowland Technology International*, 2000, no. 2 (2), pp. 17–29.
10. Hanoi Institute of Building Technology (HIBT). *Report on Research Program on Hanoi Land Subsidence due to Changing of Groundwater Level*. Hanoi, HIBT, 2004. No. 38, pp. 41–70. (in Vietnamese)
11. Phuong N.H. *Report on Research and Prediction of Land Subsidence due to Changes in Engineering Geological and Hydrogeological Conditions in Thanh Tri District*. Hanoi, Vietnam, Hanoi University of Mining and Geology, 2004. pp. 150–154. (in Vietnamese)
12. Phuong N.H. *Report on Collecting and Verifying Data, Additional Studies for Mapping of Soft Soils Distribution in Hanoi to Plan for Construction in the Capital of Vietnam*. Hanoi, Vietnam, Hanoi University of Mining and Geology, 2004. pp. 101–163. (in Vietnamese)
13. Thang L.T. *Research on Classification of Soft Soil Groups in Hanoi Area and Assessment of Their Using Ability in Construction*. Ph.D. Thesis. Hanoi, Vietnam, Hanoi University of Mining and Geology, 1995. pp. 74–94. (in Vietnamese)
14. Thu T.M., Fredlund D.G. Modeling Subsidence in the Hanoi City area, Vietnam. *Canadian Geotechnical Journal*, 2000, no. 37 (7), pp. 621–637.
15. *Karta rayonirovaniya osedaniya zemnoy poverkhnosti v gorode Khaoe na osnove rezultatov monitoringa* [Zoning map of the earth surface subsidence in Hanoi on the basis of monitoring results]. Hanoi, KPIVRSRV, 1995. 1 p.

16. Phi H.T., Strokova L.A., Minh N.N. Assessment and prediction of land subsidence caused by groundwater exploitation in Hanoi, Vietnam. *Journal of Engineering Geology*, 2012, no. 2, pp. 52–59. In Rus.
17. Phi H.T., Strokova L.A. Geohazards in Hanoi, Vietnam. *Journal of Tomsk State University*, 2011, no. 349, pp. 200–204. In Rus.
18. Brakorenko N.N. Impact of oil on groundwater chemical composition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2015, vol. 27, 6 p.
19. Le V.Z. *Novye resheniya problemy seysmichnosti Vyetnama*. Dis. Kand. nauk [New solutions to problems of seismicity of Vietnam. Cand. Diss.]. Moscow, 2011. 24 p.
20. Nguyen D.M. *Inzhenerno-geologicheskoe obespechenie osvoeniya podzemnogo prostranstva g. Hanoya (Vetnam)*. Dis. Kand. nauk [Engineering-geological provision of development of underground space of Hanoi (Vietnam). Cand. Diss.]. St-Petersburg, 2010. 24 p.
21. *Report on Water Resources in Hanoi, Vietnam*. Hanoi, CWRPI, 2011. No. 10, pp. 75–92. (in Vietnamese).
22. *Geographic Atlas of Vietnam*. Hanoi, DSMV, 1999, pp. 19–22.
23. Phai V.V. *Geology, Geomorphology, and Natural Resources of Hanoi, Vietnam*. Hanoi, Vietnam, Hanoi Publisher, 2011. pp. 81–93. (in Vietnamese).
24. Lomtadze V.D. *Inzhenernaya geologiya – Spetsialnaya inzhener-naya geologiya*. [Engineering Geology: Special engineering Geology]. St-Petersburg, Nedra Publ., 1978. 496 p.
25. Strokova L.A. Modeling of tunneling-induced ground surface movement. Scientific and Technical Challenges in the Well Drilling Progress. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2015, vol. 24, 6 p.
26. Strokova L.A., Dutova E.M., Ermolaeva A.V., Alimova I.N., Strelnikova A.B. Karst hazard assessment in the design of the main gas pipeline (South Yakutia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2015, vol. 27, 6 p.
27. Strokova L.A., Teterin E. A. Identification, diagnosis and ranking of risks of geohazard in pipeline and urbanized territories. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 43, 6 p.
28. Strokova L.A., Ermolaeva A.V., Golubeva V.V. The Investigation of Dangerous Geological Processes Resulting In Land Subsidence While Designing the Main Gas Pipeline in South Yakutia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 43, 6 p.
29. Latypov A., Zharkova N., Nuriyev I. Landslide hazard assessment in city under construction Innopolis (Russia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 33, 6 p.
30. Leonova A.V., Khabibullin R.R., Baranova A.V. Geotechnical conditions contributing to negative geological process development in urban areas (the case of Kemerovo-city). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 33, 6 p.

Received: 24 March 2017.

Information about the authors

Phi Hong Thin, Cand. Sc., Lecturer, University of Transport and Communications.

Lyudmila A. Strokova, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.