УДК 624.131:551.3

Р.Э.ДАШКО, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, regda2002@mail.ru*
А.М.ЖУКОВА, *аспирантка, zhuanna85@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

R.E.DASHKO, *Dr. in geol.-min. sc.*, *professor*, *regda2002@mail.ru*
A.M.ZHUKOVA, *post-graduate student*, *zhuanna85@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ В УСЛОВИЯХ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Кратко рассмотрена история высотного строительства. Охарактеризованы основные особенности эксплуатации высотных зданий и трудности, связанные с их проектированием и строительством, особенно при освоении подземного пространства и устройстве глубоких котлованов в слабых водонасыщенных грунтах. Анализируются положения Территориальных строительных норм «Жилые и общественные высотные здания» для Санкт-Петербурга, касающиеся рекомендаций по выбору надежного основания для высотного здания. Дается краткая характеристика коренных глин верхнего венда и нижнего кембрия как основания для высотных зданий. Подчеркивается, что основной особенностью коренных глин является зональность их строения по глубине вне зон погребенных долин. Отмечается, что моренные отложения не могут быть рекомендованы в качестве основания высотных сооружений.

Ключевые слова: подземное пространство, высотное строительство, интегрированный урбанизм, доминантные кластеры, работы нулевого цикла, нормативные документы, коренные глины, морена, палеодолины, показатели сопротивления сдвигу.

INGINEERING GEOLOGICAL PROBLEMS OF HIGH-RISE CONSTRUCTION WITH UNDERGROUND SPACE DEVELOPMENT IN SAINT-PETERSBURG

The history of high-rise construction is considered summarily. The main features of high-rise buildings and difficulties connected with theirs engineering and construction especially with underground space development and deep excavations in soft water saturated soils are characterized. Territorial construction guides «Residential and social high-rise buildings» prevail in Saint-Petersburg are analyzed in the context of recommendations for reliable basement choice. Brief description of Pre-Quanernary clays (Upper Vendian clays and Lower Cambrian clays) as basement for high-rise constructions are given. It is placed emphasis that the main feature of Pre-Quaternary clays is zone sequence of physical and mechanical properties and fissuring in depth. Physical and mechanical properties of Upper Vendian clays, Lower Cambrian clays and glacial clays are given. In addition, it is confirmed that glacial soils is not recommended to use as a basement for high-rise buildings.

Key worlds: underground space, high-rise construction, integrated urbanism, dominant clusters, initial construction work, regulatory documents, Pre-Quaternary clays, glacial soils, paleovalley, shear stress parameters.

Во всех индустриально развитых странах на протяжении двадцатого века в связи с интенсивным развитием городских инфраструктур, возрастанием стоимости земель, необходимостью снижения протяженности инженерных и дорожных коммуникаций началось строительство зданий высотой 100-150 м и выше. В настоящее время в России к высот-

ным зданиям относятся сооружения, высота которых превышает 75 м, а отношение высоты к ширине составляет 3 и более.

Высотное строительство в Европе возникло с отставанием от США на полвека. Более 30 лет назад в Европе для высотного строительства был предложен принцип интегрированного урбанизма, который получил свое развитие в Лондоне, Париже и Берлине. Принцип интегрированного урбанизма предполагает гармоничное сочетание разновысотных зданий с определенными высотными доминантами. Наличие таких районов в городских инфраструктурах предполагает возможность их использования в различных целях: жилые здания, торговые центры, экологически чистое промышленное производство и др.

В настоящее время наиболее высокие здания возводятся в крупнейших городах восточной и юго-восточной Азии: в Дубае – башня высотой 818 м, Тайбей – 508 м, Шанхай – 492,4 м, Куала-Лумпур – 452 м.

В Санкт-Петербурге планирование высотной застройки предполагается по принципу доминантных кластеров, которые размещаются на периферии застроенной территории города. В пределах таких кластеров возможно использование принципа интегрированного урбанизма, что позволит сохранить архитектурный облик Санкт-Петербурга в его историческом центре.

В конструктивном плане высотные здания существенно отличаются от традиционных сооружений и обычно характеризуются большими давлениями на основание до 0,9-1,0 МПа, трудностями в обеспечении совместной работы различных конструкционных материалов и неодинаково нагруженных элементов конструкций, повышенной значимостью воздействий ряда природных и техногенных факторов на безопасность эксплуатации зданий и др.

Мировая практика высотного строительства свидетельствует о необходимости изучения условий возведения таких сооружений на глубину зоны основания, превышающую принятые в практике инженерно-геологических изысканий величины в 2-3 раза.

Строительство высотных зданий обычно ведется при обязательном освоении подземного пространства на 5-7 этажей, что реализуется с помощью проходки глубоких котлованов (20-30 м и более). В Санкт-Петербурге устройство таких котлованов связано с необходимостью обеспечения устойчивости их стенок и дна при наличии в разрезе малолитифицированных водонасыщенных глинистых грунтов, обладающих тиксотропными свойствами, плывунов, газогенерирующих отложений, водоносных горизонтов с высокими напорами, значительной степенью загрязнения грунтов и подземных вод в пределах 50-70 м.

Развитие высотного строительства в России и усиление строительной базы, эффективность вложения инвестиций в этот вид строительства, дефицит территорий в мегаполисах, а также в других городах, соображения престижности требуют создания нормативной базы, которая в настоящее время находится в зачаточной форме.

В Санкт-Петербурге в 2005 г. были разработаны Территориальные строительные нормы «Жилые и общественные высотные здания» (ТСН 31-332-2006), где отмечается, что проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий должны проводиться при научно-техническом сопровождении и проведении геотехнического мониторинга. В разделе 7 «Основания и фундаменты» констатируется, что строительство высотных зданий в районах с мощной толщей слабых грунтов более 50 м не рекомендуется. Следовательно, территории, приуроченные к зонам погребенных долин в Санкт-Петербурге должны быть исключены как непригодные для строительства высотных зданий. В действующих нормах необходимость освоения подземного пространства при высотном строительстве не рассматривается. В этом документе делается упор на использование в качестве несущего горизонта для свайных фундаментов коренных грунтов (нижнекембрийских или верхнекотлинских глин), либо морену твердой консистенции, которые анализируются как однородные и надежные отложения. Однако практика инженерно-геологического изучения разреза Санкт-Петербурга свидетельствует о необходимости дифференцированного подхода к оценке этих отложений как основания тяжелых сооружений.

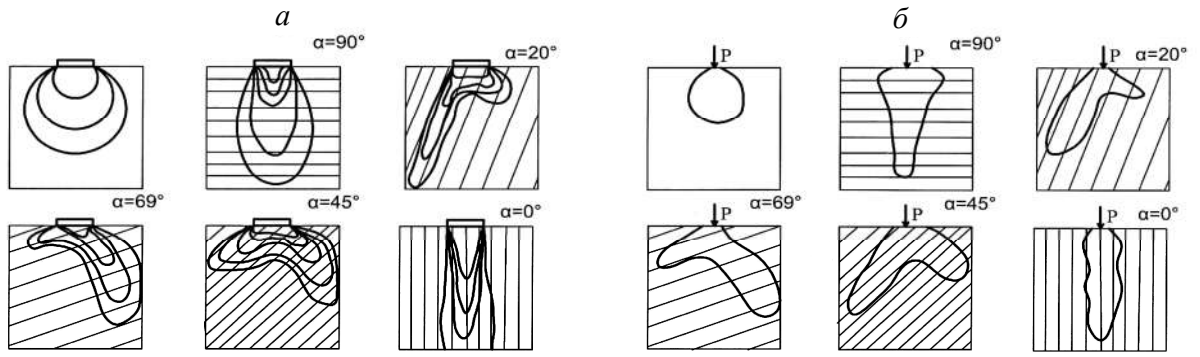
Изменение степени трещиноватости и физико-механических свойств верхнекотлинских и нижнекембрийских глин по глубине [2]

Номер зоны	Номер слоя	Глубина от кровли глин, м	Размер блока, м	Диапазон изменения влажности, %	Параметры сопротивления сдвигу	
					Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
Верхнекотлинские глины венда						
I	1	0-20	0,1-0,5	12-23	0,14-0,18	2-5
	2	20-40	0,5-0,7	10-20	0,05-0,30	18-24
II	3	40-60	0,7-1,0	10-19	0,82-1,40	11-22
	4	60-75	1,2	10-17	1,10-2,04	18-23
	5	>75	>1,2	9-15	1,90-2,80	19-23
Нижнекембрийские синие глины						
I	1	0-3	0,08-0,25	23-28	0,055-0,075	0-3
	2	3-10	0,25-0,40	21-25	0,11-0,145	6-8
	3	10-20	0,38-0,60	17-21	0,34-0,40	6-8
II	4	20-30	0,40-0,85	16-20	0,48-0,55	6-9
	5	30-40	0,60-0,90	16-19	0,60-0,68	8-12
	6	>40	1,0-1,40	15-18	0,75-0,82	8-12

Одной из основных особенностей толщи коренных глин вне погребенных долин является зональность их строения по степени трещиноватости и показателям их физико-механических свойств. Интенсивность тектонической трещиноватости верхнекотлинских и синих глин наиболее активно проявляется в узлах тектонических разломов. В толще коренных глин отчетливо прослеживается литогенетическая трещиноватость, а в верхней зоне разреза – нетектоническая. Системы тектонических и литогенетических трещин формирует блочное строение толщи глинистой толщи (см.таблицу). Интенсивность трещиноватости убывает по глубине. Прочность таких глин должна исследоваться в полевых условиях, при отсутствии такой возможности необходимо изучение масштабных эффектов, критериев квазисплошности и квазиоднородности, либо вводить коэффициенты структурного ослабления в показатели прочности.

Трещиноватость и слоистость пород предопределяет особенности распределения напряжений в массиве (см. рисунок). Медленное затухание сжимающих напряжений по глубине и их ассиметричность предполагает развитие неравномерных осадок по вертикальным сечениям в пределах контуров загруженных фундаментов, особенно для тяжелых сооружений.

В теории и практике инженерно-геологических исследований моренных от-



Изобары сжимающих напряжений, полученные на моделях (*а*) и расчетом (*б*), α – угол наклона трещин либо слоев относительно вертикали [1]

ложений существует традиционная точка зрения о безопасности и надежности их использования как основания либо среды сооружений, особенно при констатации устойчивых консистенций и высокой плотности. Однако к надежным типам могут быть отнесены только морены, залегающие в приповерхностной части на возвышенных участках в условиях отсутствия заболачивания территории. Для такой морены характерны трещиноватость, высокие значения модуля общей деформации (более 40 МПа), а также величины сцепления (0,15-0,32 МПа) и угла внутреннего трения (15-25°). В таком случае ожелезненные разности глинистых морен должны рассматриваться в расчетах устойчивости оснований как трещиновато-блочные среды.

Глинистые морены, залегающие на глубине под слоем более поздних образований, находятся в бескислородной среде. Такие морены в условиях интенсивного загрязнения, а также микробной пораженности, имеют пластический характер деформирования и разрушения. Подобные морены вне зависимости от показателя их консистенции не могут служить надежным основанием для тяжелых сооружений. Практика наблюдений за устойчивостью эксплуатируемых зданий на свайных фундаментах, несущим горизонтом для которых служат подобные моренные отложения, показывает, что величина их осадок превышает 45 см, причем развитие деформаций продолжается более 15-20 лет.

Проведение поисковой научно-исследовательской работы ведется в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гудман Р.Е.* Механика скальных пород: Пер. с анг. М.: Стройиздат, 1987.

2. *Дашко Р.Э.* Инженерно-геологическая оценка морен Санкт-Петербурга как прочных и устойчивых отложений – миф или реальность? / Р.Э.Дашко, О.Ю.Александрова, А.В.Шидловская // Сергеевские чтения: Материалы годичной сессии научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии / ГЕОС. М., 2010.

3. *Дашко Р.Э.* Инженерно-геологические особенности коренных глин Санкт-Петербурга как среды для размещения подземных сооружений / Р.Э.Дашко, А.А.Еремеева // Материалы Международного симпозиума «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий». Екатеринбург, 2001. Т.1.

REFERENCES

1. *Goodman R.E.* Rock Mechanics. Moscow: Stroiizdat, 1987.

2. *Dashko R.E.* Engineering geological estimation of Saint-Petersburg glacial soils as solid and stable deposits – myth or reality? / R.E.Dashko, O.U.Aleksandrova, A.V.Shidlovskaya // Sergeevsky readings. Materials of year session of scientific council of the Russian Academy of Sciences on problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology / Moscow, 2010.

3. *Dashko R.E.* Engineering geological peculiarities of Pre-Quaternary clays of Saint-Petersburg as surroundings for underground structures / R.E.Dashko, A.A.Eremeeva // Materials of international symposium «Engineering geological problems of urbanized territories». Ekaterinburg, 2001. V.1.