

№2, 2000

Особенности формирования и трансформации физико-механических свойств моренных отложений в разрезе Санкт-Петербурга

Л.П.Норова

При разработке стратегии освоения и использования подземного пространства городских инфраструктур, а также наземного строительства важное значение имеет анализ его геоэкологического состояния и влияние на физико-механические свойства грунтов (особенно генетически прочных) прогрессирующего загрязнения подземных вод и водоупоров.

Следует отметить, что подземное пространство Санкт-Петербурга и его окрестностей отличается крайней неоднородностью как структурно-тектонических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий, так характером и длительностью его контаминации.

Присутствие палеодолин в подземном рельефе кровли коренных пород во многом определяет специфичность разреза четвертичной толщи и гидрогеологической обстановки. В зависимости от подземного рельефа поверхности коренных пород мощность четвертичных отложений весьма неравномерна: вне палеодолин она составляет 20 -30м, а в тальвеговых зонах палеодолин возрастает до 120м, в пределах которых отмечается полный диапазон четвертичных стратиграфо-генетических комплексов и наличие нескольких напорных водоносных горизонтов. В погребенных долинах формируются особые условия для аккумуляции загрязнений, глубокого преобразования состава подземных вод, а также негативной трансформации песчано-глинистых отложений.

Следует отметить, что наиболее выдержанным, четко прослеживаемым по всей территории города является верхний горизонт морены последнего оледенения. Согласно существующей точке зрения в инженерно-геологической практике моренные суглинки и супеси традиционно считаются наиболее плотными и прочными образованиями, которые рассматриваются как надежное основание и используются в качестве несущего слоя под свайные фундаменты (забивные и буронабивные сваи). Они характеризуются неоднородным гранулометрическим составом, высокой плотностью, относительно невысокой влажностью, которая обычно коррелирует с содержанием глинистой фракции, и устойчивой консистенцией. Согласно ТСН 50-302-96, Санкт-Петербург, 1997 - для таких типов отложений рекомендуются высокие параметры прочности и деформационной способности.

Исследования, проведенные в Санкт-Петербургском государственном горном институте на кафедре инженерной геологии под руководством проф. Р.Э.Дашко, показали, что такой утилитарный и однозначный геотехнический подход к моренным образованиям обычно приводит к значительному завышению их несущей способности, и заниженным значениям прогнозируемых осадок. Вместе с тем практика строительства и эксплуатации зданий и сооружений в Санкт-Петербурге свидетельствует о том, что реальные осадки могут значительно превосходить расчетные значения во многих районах города, особенно в пределах его островной части. Основными причинами таких несоответствий является недооценка особенностей формирования моренных отложений в пределах Санкт-Петербургского региона, а также экологических ситуаций, существующих в разрезе подземного пространства города.

Специфические условия формирования и изменения физико-механических свойств моренных отложений тесно связаны с историей геологического развития всего региона в целом, а также с особенностями функционирования городской инфраструктуры. Выполненный анализ

условий формирования моренных отложений и результатов экспериментальных исследований их состояния и свойств позволил выделить несколько типовых разрезов, в пределах которых наблюдается различие в протекании комплекса процессов, определяющих геотехнические особенности моренных образований.

В разрезах **I** типа развитие моренных отложений происходит в субаэральных условиях. В этом случае наблюдается гипергенез моренной толщи, протекающий в окислительной обстановке и связанный с воздействием инфильтрационных растворов, которые содержат соединения трехвалентного железа, а также с подсыханием и выветриванием пород в верхней зоне. Присутствие Fe^{3+} способствует агрегированию глинистой фракции, в связи с чем растет размер пор и их сообщаемость, повышается водо- и газопроницаемость моренных отложений в верхней части разреза, что в свою очередь определяет возможность более глубокого проникновения инфильтрационных растворов. Глубина проникновения таких растворов зависит также от наличия микро- и макротрещин зоны, что в свою очередь определяется процессами дегидратации и выветривания. Следует подчеркнуть, что в пределах Северо-Запада РФ встречены толщи моренных глинистых отложений, разбитые системой трещин на отдельные блоки, по которым наблюдаются смещения. Ряд исследователей наличие такой блоковой структуры связывают с действием тектонических сил.

Образование включений и пленок различных соединений окисного железа на поверхности дисперсных частиц и агрегатов породы способствует появлению цементационных связей, которые значительно повышают прочность моренных отложений, а также их устойчивость при действии статических и динамических нагрузок. Кроме того, необходимо отметить снижение общей гидрофильности пород, следствием чего является уменьшение их естественной влажности, а также наличие твердой и полутвердой консистенции. При оценке показателей водопроницаемости и механических свойств таких морен необходимо принимать во внимание существование трещин различного генезиса. В этом случае глинистая морена должна рассматриваться как трещиновато-блочная среда.

Визуально моренные отложения рассматриваемого типа имеют желто-коричневую окраску, иногда с бурыми, красноватыми оттенками, охристыми включениями. На локальных участках при сосредоточенной инфильтрации поверхностных вод вдоль трещин, корневых ходов отмерших растений рисунок окраски грунтовой толщи становится более сложным. С геотехнической точки зрения такие отложения могут служить надежным и устойчивым основанием, а также опорным слоем для свайных фундаментов. Некоторые характерные показатели физико-механических свойств моренных супесей и суглинков Санкт-Петербургского региона I типа приведены в табл. 1. Моренные отложения гипергенной зоны на территории города Санкт-Петербурга можно встретить в его северной части - в районе Гражданского проспекта и Каменки, а в южной - в районе Витебского вокзала.

Таблица 1.

Показатели влажности, консистенции и прочности моренных супесей и суглинков Санкт-Петербургского региона в окислительной зоне

Влажность, %	Показатель консистенции	Параметры прочности		Модуль общей деформации, МПа
		Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град	
8-14	<0,25	>0,15-0,32	>15-25	"e40-50

II тип отмечается в разрезах, где ледниковые образования лужской стадии оледенения перекрыты комплексом озерно-ленточных глинистых отложений. В зависимости от мощности перекрывающих образований моренные отложения могут существовать как в микроаэрофильных, так и в восстановительных (анаэробных) условиях. Если верхняя толща озерно-ледниковых отложений имеет небольшую мощность (2-3м) и ее формирование происходило в субаэральных условиях, то зона гипергенеза будет охватывать не только озерно-ледниковые отложения, где обычно отмечается максимальное содержание соединений железа, но и моренные образования с менее интенсивным ожелезнением. Возрастание мощности озерно-ледниковых отложений приводит к тому, что позитивные гипергенные изменения пород, связанные с формированием цементационных связей, дегидратацией и пр., охватывают только верхнюю зону озерно-ледниковых отложений. В таком случае в морене отмечается отсутствие цементационных связей, а прочность пород определяется только наличием молекулярных и электростатических связей. При сохранении высокой плотности эти породы характеризуются хрупко-пластическим и пластическим характером деформируемости, а также снижением параметров j и C . Для такой морены несвойственна макро- и микротрещиноватость, хотя дефекты в толще пород фиксируются. При отсутствии техногенного загрязнения пород отмечается низкая величина органической составляющей биотического характера (микробиологическая пораженность).

Рассматриваемый тип разреза имеет значительное распространение в пределах Санкт-Петербурга и прослеживается на Литориновых террасах с абсолютными отметками более 9-10м. Например, одним из ключевых участков II типа разреза является район Площади Мужества, где ледниковые образования вскрываются на глубине 24 -29м под толщей озерно-ледниковых образований. Как видно из табл.2 моренные суглинки и супеси на этом участке характеризуются относительно невысокими величинами j и C , а также низкими значениями модуля общей деформации.

Таблица 2.

Показатели физико-механических свойств моренных суглинков в районе площади Мужества.

Влажность, %	Консистенция	Параметры прочности		Модуль общей деформации, МПа
		Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град	
13-16	Тугопластичная 0,25-0,45	0,03-0,05	6-10	2,1-4,3

III типовой разрез прослеживается в пределах исторического центра города, приуроченного к низкой Литориновой террасе с абсолютными отметками поверхности менее 8м. В этом случае озерно-ледниковые отложения перекрыты современными песчано-глинистыми осадками Литоринового моря, в которых присутствуют растительные остатки, а также прослой торфов. Наличие мощной толщи перекрывающих отложений, а также значительного содержания органики предопределяет формирование анаэробной среды. Кроме того, торф служит источником разнообразной микробиоты, миграция которой обычно наблюдается вниз по разрезу. Сорбция бактериальных клеток и продуктов их метаболизма на глинистых частицах приводит к формированию биопленок, что значительно ослабляет интенсивность молекулярного взаимодействия между частицами, приводит к снижению показателей прочности деформационных свойств. Такие породы обычно характеризуются пластическим характером деформирования с "бочкованием" образца без видимого нарушения сплошности, поскольку углы внутреннего трения снижаются до $5-7^{\circ}$ и ниже. В таком случае расчетная

модель должна базироваться на анализе моренных отложений, как квазисплошной среды. Эти отложения обычно характеризуются высокими показателями микробиологической пораженности, которые во многих случаях определяют параметры механических свойств пород. Вместе с тем, микробиологическая пораженность мало отражается на величине плотности и показателе консистенции. Породы с полутвердой и тугопластичной консистенцией во многих случаях могут рассматриваться как квазипластичные разности (табл.3).

Таблица 3.

Показатели физико-механических свойств в моренных отложениях Литориновой террасы.

Влажность, %	Консистенция	Параметры прочности		Модуль общей деформации, МПа
		Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град	
16-19	Тугопластичная	0,04-0,05	0 - 7	2,1- 3,6

IY тип разреза будет рассматриваться в случае формирования непосредственно на моренных отложениях болот, глубина которых превышает 2м. За счет процессов оглеения морена меняет свой цвет под слоем болотных отложений на характерные серые, голубовато-серые, зеленые тона. Эти отложения обогащаются органическими остатками биотического и абиотического генезиса, которые предопределяют также резкое снижение прочности и деформационной способности пород. Как правило, отмечается высокая микробиологическая пораженность пород, в некоторых случаях - газообразование. Значения показателей физико-механических свойств близки к разрезу типа III.

Особое значение на состояние и параметры физико-механических свойств пород оказывает загрязнение подземных вод и водоупорных толщ. Как известно, глинистая морена валдайского оледенения в пределах Санкт-Петербургского региона является региональным водоупором первого от поверхности водоносного горизонта. Для большей части территории Санкт-Петербурга загрязнение грунтовых вод происходит за счет канализационных стоков и нефтепродуктов. Эти контаминанты в значительной степени влияют на формирование анаэробных условий (E_h грунтовых вод в пределах Санкт-Петербурга имеет отрицательные значения), а также способствуют привнесу микрофлоры и активизации бактериальной деятельности в толще пород.

Бескислородная среда определяет процессы редукции железа, способствует разрушению цементационных связей. Жизнедеятельность микроорганизмов, как уже упоминалось ранее, приводит к образованию биопленок, играющих роль "смазки", преобразует структурные связи в породах, снижает прочность и показатели деформационных свойств. В этом случае наблюдается изменение показателей консистенции, поскольку при редукции железа происходит значительная диспергация агрегатов, что в свою очередь повышает гидрофильность морены и соответственно величину ее естественной влажности. В разрезах с высоким уровнем загрязнения часто отмечается тугопластичная и мягкопластичная консистенция пород, высокое содержание микробного белка, малые величины сцепления и трения, модуль общей деформации обычно не превышает 1,0 МПа (табл.4).

В качестве показателя микробного поражения нами использовалась величина суммарного белка (СБ). Этот метод был предложен в Санкт-Петербургском государственном университете и представляет модификацию биохимического метода Бредфорда [1]. Величина

СБ может быть представлена в виде суммы нескольких составляющих: $СБ = Бжк + Бмк + Бмт$, где Бжк, Бмк, Бмт - соответственно белок живых, мертвых клеток и продуктов их метаболизма.

Таким образом, проведенные исследования по изучению свойств моренных отложений показали, что в зависимости от типа геологического разреза, глубины залегания рассматриваемых пород и уровня контаминации наблюдается значительное варьирование их показателей прочности и деформационной способности, а также физического состояния, причем в большинстве случаев эти генетически плотные образования не могут служить безосадочным несущим горизонтом для забивных и буронабивных свай при строительстве и реконструкции наземных сооружений. Анализ негативного изменения состояния и свойств моренных отложений необходимо проводить с учетом физико-химических и микробиологических факторов, действующих в условиях их естественного залегания. Следует также отметить, что значения показателей консистенции и коэффициентов пористости не являются надежными критериями для обоснования расчетных показателей сопротивления сдвигу и параметров деформационных свойств, как предлагается в ТСН 50-302-96 Санкт-Петербург, 1997. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что испытания моренных отложений в одноплоскостных сдвижных приборах и компрессионных установках дают завышенные показатели механических свойств по сравнению с результатами исследований в условиях трехосного сжатия по закрытой системе при возможности развития боковых деформаций. Особенно большая разница прослеживается для моренных отложений с высокой микробиологической пораженностью, так как отсутствие цементационных связей и низкие углы внутреннего трения определяют доуплотнение этих пород в одноплоскостных приборах при использовании нормальных давлений более 0,1 МПа. Соответственно должна быть разработана концепция испытаний моренных отложений для повышения надежности и достоверности получаемой геотехнической информации.

Таблица 4.

Показатели микробиологической пораженности и физико-механических свойств моренных отложений в зонах интенсивного загрязнения.

Показатели состояния и свойств моренных отложений	Разрез 1 (тальвеговая часть палеодолины) - проектируемый административно-деловой центр в устье р.Смоленки	Разрез 2 (бортовая часть палеодолины) - строительная площадка учебно-лабораторного корпуса СПГИ (угол улиц Наличной и Нахимова)	Примечание
Величина СБ,мкг/г	60-122	95-112	Число определений более 25. Фоновое значение СБ<20мкг/г
Естественная влажность, W, %	19-22	22-24	
Показатель консистенции	0,19-0,66	0,31-0,52	
Величина сцепления, С, МПа	0,03-0,07	0,02-0,04	
Угол внутреннего	3	3-4	

трения , j ,град			
Модуль общей деформации, E ₀ ,МПа	1,1-2,1	0,7-1.1	

Литература

1. Методические указания. Количественный учет влияния жизнедеятельности микроорганизмов на физико-механические свойства оглеенных пород. Л.ЛГУ.1988.