

№2, 2000

## Слабые грунты на территории Санкт-Петербурга

[Л.Г.Заварзин](#)

Термин "слабый глинистый грунт" утвердился давно и достаточно ясен для строителей, которые подразумевают под ним глинистый грунт со степенью влажности  $S_r > 0,8$ , показателем консистенции  $I_L > 0,5$ , модулем деформации  $E < 5$  МПа (в диапазоне давлений до 0,3 МПа) и расчетным сопротивлением  $R_o < 0,15$  МПа [1].

Грунты с такими характеристиками представляют собой морские аллювиальные отложения, слои которых занимают верхние стратиграфические горизонты в разрезах четвертичной системы (антропогена), венчающие седиментогенез на планете Земля. Эти отложения распространены повсеместно, во всех географических зонах Земли.

Выделение и картирование этих отложений является важной задачей инженерно-геологических исследований. Однако в систематике грунтов они занимают далеко не первое место.

Слабый грунт упоминается лишь в родоначальной наиболее обстоятельной классификации Ф.П.Саверенского (1937), и то в последнем классе грунтов особого состава и состояния наряду с мерзлыми, просадочными и другими грунтами иного происхождения и свойств, что также вызывает возражение.

Одним из главных изъянов всех известных классификаций, в том числе ГОСТ, является то, что грунты рассматриваются безотносительно к геодинамическим зонам их существования и не в той соразмерности, в какой они встречаются на Земле. В нашей квалификации слабые грунты составляют один из трех главных типов (табл.1).

Поясним основы этой классификации.

Верхняя зона выветривания совмещается с гидрогеологической зоной аэрации и зоной переменной сезонной температуры. В горных областях она достигает сотен метров, на равнинах сокращается до нескольких метров.

Различают физическое, химическое и биологическое выветривание, вкуче превращающее за геологическое время скальные магматические, метаморфические и осадочные породы в рыхлую глинистую массу - элювий.

На прочные грунты выветривание за малый (с геологической точки зрения) срок службы инженерных сооружений оказывает незначительное воздействие, особенно ниже уровня сезонного промерзания и оттаивания.

Таблица 1

### Общая классификация грунтов

Геодинамические	Прочные грунты	Слабые грунты	Неустойчивые
-----------------	----------------	---------------	--------------

зоны			грунты
Зона выветривания, аэрации, переменной температуры	1. Скальные $R_{сж} > 5$ МПа 2. Полускальные $R_{сж} = 1-5$ МПа 3. Дисперсные $R_0 = 0,15-1,0$ МПа а) обломочные плотные и средней плотности; б) глинистые тугопластичные, полутвердые и твердые		1. Техногенные 2. Рыхлые обломочные 3. Просадочные 4. Набухающие 5. Пучинистые 6. Засоленные 7. Эллювиальные 8. Суффозионно-опасные 9. Кастующиеся $R_0$ - в широком диапазоне
Зона катагенеза, водонасыщения, постоянной температуры		Глинистые $R_0 = 0,05-0,15$ МПа мягкопластичные, текучепластичные и текучие супеси, суглинки и глины	
Деформации при нагружении	Соответственно: 1 - упругие 2 - остаточные 3 - сокращающие поровое пространство	Пластические без сокращения объема	Просадки, провалы, блоковые смещения

Примечание:  $R_{сж}$  - временное сопротивление сжатию;  $R_0$  - расчетное сопротивление.

*Слабые* грунты в зоне выветривания существовать не могут: они либо упрочняются, либо разрыхляются, становясь прочными или неустойчивыми грунтами. Их место - в зоне катагенеза, зоне ничтожных гипергенных изменений, водонасыщения и постоянной температуры.

*Неустойчивые* (эксплуатационно-неустойчивые) грунты, наоборот, целиком принадлежат зоне выветривания, поскольку все они формируются в аэральных условиях.

Скальные и полускальные грунты характеризуются временным сопротивлением сжатию ( $R_{сж}$ ). Дисперсные грунты характеризуются расчетным сопротивлением ( $R_0$ ), причем отложения с  $R_0 < 0,05$  МПа грунтами вряд ли можно назвать. Торф также не может считаться грунтом - это полезное ископаемое.

Прочные грунты под нагрузкой испытывают деформации: скальные - упругие; полускальные - хрупкое сжатие с трещинообразованием, дисперсные - сокращение порового пространства с перегруппировкой частиц.

Слабые глинистые грунты текучей, текучепластичной и мягкопластичной консистенции с пористостью более 40% подвержены, главным образом, пластическим деформациям, хотя при нагружении могут испытывать уплотнение благодаря оттоку части свободной воды. Сильносжимаемыми грунтами их ни в коем случае нельзя назвать.

Пластические свойства слабых грунтов обусловлены характером их порового пространства, состоящего из пор геля размером менее 0,001 мм (<1 мк) и капиллярных пор размером 0,001-0,5 мм. Поря геля заняты связной водой. Она блокирует свободную воду в капиллярных порах, иммобилизуя ее и определяя явление пластичности.

Неустойчивые грунты отличаются наличием макропор (0,5-2,0 мм), каверн (> 2 мм) и более крупных пустот вплоть до пещер в карстующихся породах. Для неустойчивых грунтов характерны блоковые смещения, просадки и провалы, напоминающие обрушение неустойчивых стержневых и арочных систем.

В районе Санкт-Петербурга представлены все три типа грунтов.

Относительно прочными грунтами являются ледниковые и межледниковые средне- и верхнечетвертичные отложения и дочетвертичные скальные породы.

Неустойчивые грунты развиты в соответствии с современными геологическими процессами - сезонной мерзлотой, суффозией и карстом.

Слабые грунты здесь относятся к постледниковому времени. Стало быть, чтобы указать распространение слабых грунтов, необходимо представить палеогеографию района в этом отрезке времени.

Основы четвертичной геологии данной территории заложил С.А.Яковлев [2].

Главное, что им руководило, это была идея существования громадных водных бассейнов на юге Фенно-Скандии в момент отступления последнего ледника, заимствованная им от шведских исследователей Де-Геера, Гуго Бергхеля Юлиуса Аилио и др.

Надо сказать, что широкое распространение поздне- и послеледниковых бассейнов в научных кругах начала нашего века вообще принималось безоговорочно и было вне всяких сомнений; обсуждались лишь их границы и причины их возникновения. Последними явились эвстетическое повышение уровня Мирового Океана в связи с таянием последнего ледника и погружением ледниковых вод в районе Датских проливов. Спусками вод через Датские проливы объединялось то, что бассейнов было несколько.

Став адептом этой идеи, С.А.Яковлев опубликовал в 1926 г. большой труд под названием "Насосы и рельефы Ленинграда и его окрестностей".

Взгляды о бассейновом развитии территории С.А.Яковлев изложил в своем популярном

учебнике по общей геологии, на котором воспитывалось целое поколение геологов (и автор в том числе). Хрестоматийными стали понятия ледниковый бассейн, Рыбное озеро, иольдиево море, апциловое озеро, литориновое море с соответственно называемыми отложениями.

Со временем их стало больше, появилось первое и второе Балтийское ледниковое озера, первое и второе иольдиево море.

Все эти названия прочно закрепились во всех стратиграфических схемах, на основе которых производилось картирование четвертичных отложений.

В последние годы увеличение трансгрессиями и регрессиями пошло на убыль, существование некоторых бассейнов было поставлено под сомнение. Известную роль в этом сыграли работы озероведов.

Главный вопрос состоит в том, что был ли у края отступающего через местность Санкт-Петербурга ледника единый глубокий приледниковый бассейн или ледник оставлял после себя сушу, озерный край, каким он представляется ныне.

От решения его зависит судьба и остальных бассейнов, ибо они рассматриваются как стадии развития этого изначального бассейна.

Главным аргументом в его пользу были ленточные глины, широко распространённые в Европе. Но почему ленточные глины должны образовываться в одном громадном водоеме, а не во множестве мелких озер, на это ответа нет, как нет и иных бесспорных доводов в пользу существования единого приледникового бассейна.

Проще выглядит континентальная версия развития территории, хорошо решающая проблему распространения слабых грунтов. Изложим ее в кратком виде.

Видимо, около 20-30 тысяч лет назад Валдайский ледник активно продвигался на юг лишь двумя языками: один занимал чашу Балтийского моря, другой проходил по Ладожскому и Онежскому озерам.

Область Карельского перешейка тогда была покрыта остановившимся мертвым льдом.

С этой области и началась деградация ледника. Под ледником и в ледяных ущельях появились водные потоки, формируя первые флювиогляциальные накопления - озы, песчаные протяженные насыпи - гряды, бесспорные свидетельства неподвижности льда (табл.2).

Таблица 2

#### Поверхностные отложения района Санкт-Петербурга

Генетические типы	Геологические индексы
Дельтовые отложения поздней стадии развития Балтийского моря	dtIVb2
Морские отложения ранней стадии развития Балтийского моря	mIIIb1
Отложения лужского ледникового комплекса	

1. Озерно-ледниковые	lgIIIz
2. Зандровые	zIIIz
3. Камовые Флювиогляциальные	cIIIbz fIIIz
4. Озовые (водноледниковые)	oIIIz
5. Моренные	gIIIz

Затем, в ледниковом покрове образуются более обширные проталины, которые заполняются слоистым песчаным материалом. После того как растаял ограничивающий их лед, они приобрели форму холмов-камов, испещренных замкнутыми котлованами от вытаявшего льда.

Живописнейшие камовые ландшафты простираются сейчас к северу от линии Парголово - Юкки - Порошкино - Кузьмолово. Во многочисленных песчаных карьерах можно наблюдать отложения бурных временных потоков с косой слоистостью, переслоями гравия и гальки и включениями валунов.

Наконец, большая часть Карельского перешейка освобождается ото льда и ареной деятельности водных пороков становятся широкие пространства. Мерзлота мешает глубокому врезу и они часто меняют свои русла, отлагая песчаный материал и формируя плоские наклонные равнины - зандры.

Ближайшие к городу зандровое поле простирается к югу от Парголово-Озерковской озовой гряды. На краю зандра стоим д.Каменка.

Ранее эту площадь именовали террасой литоринового моря. Но она с поверхности сложена разнозернистыми грубыми песками, на ней рассеяны валуны - свидетельства бурной флювиогляциальной деятельности.

Водные потоки той эпохи были временными, моментами делались в буквальном смысле водноледниковыми, подобие грязекаменных, способными перекатывать валунный материал и нести глыбы льда. Загорные явления внезапный подъем и спад уровня, перемещение вмерзших в лед валунов - все это, видимо, тогда имело место. Отложенные валуны и глыбы морозным пучением поднимались вверх и большей частью оказывались на поверхности земли. В некоторых местах грубообломочные флювиогляциальные отложения ныне принимаются за так называемую невеликую морену.

На зандрах образовывались небольшие озера, которые аккумулировали глинистый материал, захоронившийся в виде ленточных отложений. Дело в том, что тогда местность представляла собой голую полярную пустыню с остатками мертвого льда на месте Балтийского моря, Ладожского, Онежского и других крупных озер.

Поверхность пустыни подвергалась интенсивным эоловым процессом. Тонкая пыль выносилась далеко за ее пределы и формировала лессы Украины и Германии. А здесь более грубые частицы пыли и песка заносились снежной поземкой на лед озер. После таяния льда частицы оседали на дно, на глинистый осадок, образовавшийся за счет выпавших зимой коллоидов. Чем меньше был водоем, тем быстрее он заносился и тем больше была толщина лент, пара слоев, в песчано-глинистом осадке.

На роль эолового фактора в накоплении озерных отложений указывал академик Д.В.Наливкин [3].

Типичные ленточные глины встречаются на Карельском перешейке и в карьерах кирпичных заводов по берегам среднего течения р.Невы. Как мы видим, ленточные глины могли возникнуть лишь в пустынном ландшафте ледниковой эпохи. В современном климате они образоваться не могут, поэтому ленточные отложения имеют определенное стратиграфическое значение.

Ленточные глины являются отнюдь не самыми плохими грунтами. Во-первых, их возраст во всяком случае значительно больше десятка тысяч лет, больше времени современной эпохи (голоцена). Во-вторых, они довольно уплотнены благодаря отжатию воды по горизонтальным песчано-алевритовым слоям. В-третьих, не исключено, что они временами могли оказаться в зоне аэрации и подсыхать там, приобретая тугопластичную консистенцию.

Такие тугопластичные суглинки встречены в массовом количестве скважинами на территории севернее Муринского ручья, представляющей собой задровую равнину. У автора в 1971 г. впервые закралось сомнение в том, что там побывали ильдовое море и анциловое озеро, что следовало из карты четвертичных отложений масштаба 1:10000, 1964 г.

На нашей карте грунтовых комплексов, составленной для прокладки глубоких коммуникаций по более чем двум тысячам скважин, контуры песчаных, песчано-глинистых и глинистых фаций оказались настолько мозаичными и закономерными, что говорить о каких-либо береговых линиях регрессировавших крупных водоемов не представилось возможным.

После того как последний лед растаял в Балтийском море и в наших великих озерах они превратились в водоемы с непрерывным циклом осадконакопления. Финский залив имел другую конфигурацию. Невская губа представляла собой лагуну, которая соединялась с морем проливом между Ломоносовым и Кронштадтом. От о.Котлин до северного побережья Финского залива была суша, о чем свидетельствуют данные изысканий по дамбе.

Лагуна больше вдавалась в континент, она распространялась до горизонтали в 8 км нынешней суши. В ней первоначально отложился материал, вытаявший из мертвого льда - мягкопластичные суглинки и супеси с рассеянными включениями гравийного материала. Затем стали накапливаться чистые морские суглинки и глины, мощность морских отложений достигает 10...15 м, но весьма непостоянна.

Эти подморенные отложения первой стадии развития Балтийского моря (mШб1) целиком попадают в категорию слабых грунтов.

В современную эпоху осадконакопление коренным образом меняется. Континент покрывается лесами. Активизируется речная эрозия, в результате которой лагуна заполняется дельтовыми отложениями. С образованием р.Невы этот процесс многократно убыстряется. Дельта р.Невы поглощает дельты других рек, в ней растут острова.

Одновременно общее тектоническое поднятие, вызванное сходом ледникового покрова, дифференцируется: суша продолжает подниматься, а дно лагуны начинает опускаться. Свидетельством отрицательных движений является нахождение автохтонного торфа на глубине 6...12 м. Погребенный торф найден в Кронштадте и во многих местах центральной части города.

Движения совершались в основном по разломам, полукольцом охватившим лагуну (рис.1). Они выражены в рельефе в виде уступов, которые до сих пор принимаются за абразионные уступы террас древнебалтийского и литоринового моря.

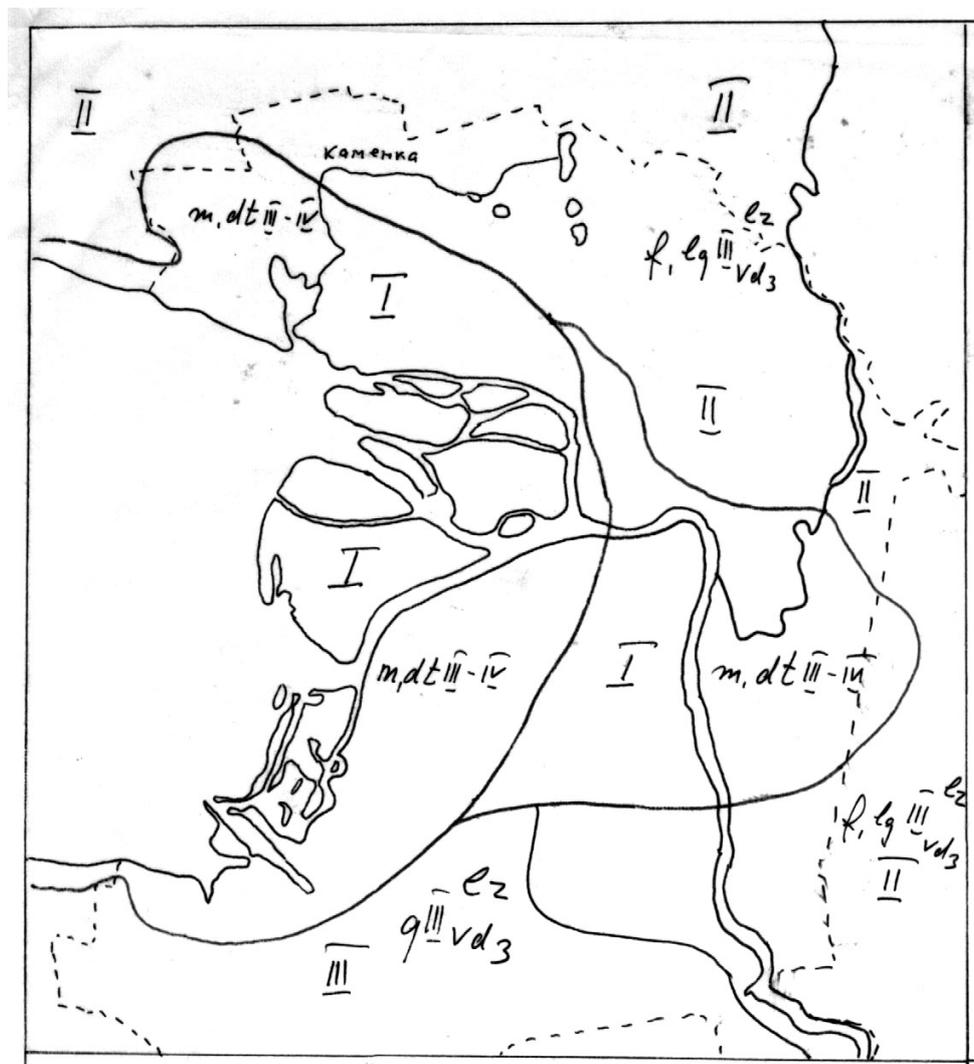


Рис.1. Инженерно-геологическая карта Петербурга:

*s* сбросы и флексуры, ограничивающие Усть-Невский грабен; --- границы города;

*I* - область распространения слабых грунтов; *II* - область распространения флювиогляциальных отложений, зандров, камов и озов; *III* - область распространения лужской морены;

Когда производилась геологическая съемка масштаба 1:10000 (1964 г.), то при построении разрезов, пересекавших в районе Коломяг сопряженный уступ обеих террас, на его месте ставился знак вопроса, так как не знали, как соединить разновозрастные породы выше и ниже уступа высотой 10 м, при том, что в уступе выходит морена. А между тем лучшего доказательства того, что тут проходит разлом, нельзя было придумать. Местами уступы сменяются довольно пологими скатами, заставляющими предположить, что здесь сбросы переходят во флексуры (перегибы) с небольшими вертикальными амплитудами.

Примером геоморфологического выражения флексуры может служить участок Невского проспекта между р. Фонтанкой и Московским вокзалом, где вполне заметен подъем проспекта к вокзалу.

Линия сбросов и флексур непрерывно тянется по обеим берегам Финского залива.

В Петергофе крутой уступ, обращенный к нижней площадке, где расположены фонтаны, тоже является тектоническим, точнее неотектоническим, т.к. смещение происходило в голоцене.

Лагуна оказалась, таким образом, в грабене, который заслуживает собственного названия, а именно Усть-Невского. Долгое время часть лагуны представляла заболоченную низину, так как дельтовые отложения могли накапливаться лишь немного выше моря. Она выглядела так, как Лахтинское огромное болото до намыва. Затем продолжающееся поднятие суши увлекло за собою и грабен. Одна часть, которая была, как считалось, дном литоринового моря поднялась до отметок 7...8 м. Другая, полагавшаяся дном древнебалтийского моря, откололась и достигла высоты лишь 3-4 м. Дальнейшая судьба грабена не ясна. Более прогнозируема территория за его пределами, которая стабильно поднимается, о чем говорят выработанные профили глубоких речных долин.

Мощность дельтовых отложений в грабене достигает 25 м, составляя в среднем 10...15 м. Вверху они представлены пылеватými песками, снизу - супесями и суглинками. Повсеместно встречаются прослойки и целые слои песков более крупных, вплоть до гравелистых. Отложения содержат прослойки торфа, коих по вертикали бывает не более двух. Растительные остатки встречаются по всему их разрезу, указывая на несомненное дельтовое происхождение осадков (dtIVb<sub>2</sub>). Глинистые разновидности их можно с полным правом отнести к слабым грунтам. Таким образом, местом распространения слабых грунтов (mIIIb<sub>1</sub> b dtIVb<sub>2</sub>) в районе Санкт-Петербурга является Усть-Невский грабен, очерченный на рис.1. За его пределами на территориях с отметками более 8 м абс. высоты развиты преимущественно прочные и отчасти неустойчивые грунты.

В таком представлении грунтовых условий видятся лучшие перспективы фундаментостроения в Санкт-Петербурге по сравнению с бытующей негативной точкой зрения.

#### Литература

1. М.Ю.Абелев. Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений. М.Стройиздат. 1973.
2. С.А.Яковлев. Насосы и рельефы Ленинграда и его окрестностей. Изд-во научно-мелиорат.инст. № 8-9. Ленинград, 1926.
3. В.Д.Наливкин. Учения о фациях. т.П.1955.