Охотинское общество грунтоведов

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Gruntovedenie

№ 1(10)
2018

Журнал основан в 2012 г.

Главный редактор
Р.Э. Дашко

Редакционная коллегия:
Е.А. Вознесенский, В.В. Дмитриев, М.С. Захаров, Д.Ю. Здобин (*зам. главного редактора*)
И.П. Иванов, В.М. Кнатько, В.А. Королев, Н.Г. Корвет,
Н.Н. Матинян, А.А. Свертилов

Выпускающий редактор
Д.Ю. Здобин

Зав. редакцией Ю.Ю. Соколова
Адрес редакции: 190068, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр., 7, лит. А
тел.: +7 921 986-07-57
www.okhotin-grunt.ru
E-mail: gruntovedenie@mail.ru
okhotin-grunt@mail.ru

Санкт-Петербург
Издательство «Центр генетического грунтоведения»

© Редакция журнала «Грунтоведение», 2018

УДК 624.131.1
ББК 26.3

СОДЕРЖАНИЕ

Д.Ю. Здобин
Охотинское общество грунтоведов 2011-2017 гг. **3**

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ
Б.М. Коршунов
Нелинейные методы определения показателей сжимаемости дисперсных связных грунтов **10**

ЛАБОРАТОРНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ
Е.А. Шергина, М.А. Лаздовская, Д.Ю. Здобин
Определение физических свойств песчаных грунтов методом лабораторной пенетрации **19**

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
Л.П. Норова, Т.Н. Николаева
Изменчивость физико-механических свойств комплекса морских и озерных отложений в разрезе Санкт-Петербурга **27**

Е.Г. Вержбицкая
Анализ природной обстановки и инженерно-геологических условий районов распространения торфов и заторфованных грунтов для целей проектирования и строительства зданий и сооружений (на примере Санкт-Петербурга) **38**

ИСКУССТВЕННЫЙ ЛИТОГЕНЕЗ
М.В. Кнатько, С.Ю. Жабриков, Д.М. Кнатько
Новые технологии строительства на основе управления свойствами горных пород **43**

Сведения об авторах **50**
Правила для авторов **51**

УДК 624.131

ОХОТИНСКОЕ ОБЩЕСТВО ГРУНТОВЕДОВ 2011-2017 ГГ.

© 2018 Д.Ю. Здобин

**Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, 199034, Университетская наб. 7/9, Санкт-Петербург, Россия.*
zdobin_soil@mail.ru

В редакционной статье приводится отчет о деятельности Охотинского общества грунтоведов за 2011-2017 гг. Подробно рассматривается весь спектр деятельности (издательской, научно-просветительской, нормотворческой), анализируются достижения и ставятся задачи на следующий период. Отмечаются, что задачи, поставленные на II отчетно-выборной конференции Общества выполнены. Издаются труды В.В.Охотина, регулярно выходит журнал Общества «Грунтоведение», разработано и утверждено пять нормативных документов (ГОСТ) по лабораторным испытаниям грунтов для строительства. Из основных задач на будущее подчеркивается важность и значимость работы по подготовке и изданию первого в мире «Атласа грунтов Санкт-Петербурга».

Ключевые слова: Охотинское общество грунтоведов; журнал «Грунтоведение»; грунт; государственный стандарт.

Символично, что третье отчетно-выборное собрание Охотинского общества грунтоведов проводится именно в апреле, т. к. 13 апреля 2018 г. исполнилось 130 лет со дня рождения основоположника отечественного грунтоведения, Вениамина Васильевича Охотина, именем которого названа наша организация.

Прошло 13 лет с момента (апрель 2005 г.), когда Санкт-Петербургское отделение Докучаевского общества почвоведов приняло решение об организации секции грунтоведения. Председателем секции тогда единогласно был избран профессор, доктор геолого-минералогических наук Иван Пенкович Иванов.

10 апреля 2008 г на кафедре почвоведения СПбГУ состоялось заседание, посвященное 120-летию со дня рождения профессора В.В. Охотина. С докладом «Вениамин Васильевич Охотин – основоположник научного грунтоведения в России» выступил координатор секции Д.Ю. Здобин.

На заседании присутствовали:
1) Иванов И.П. – д. г.-м. н., профессор СПбГГИ,
2) Матинян Н.Н. – д. с.-х. н., профессор СПбГУ,
3) Николаева Т.Н. – к. г.-м. н., доцент СПбГГИ,
4) Здобин Д.Ю. – к. г-м. н., снс СПбГУ,
5) Лессовая С.Н. – д. г. н., профессор СПбГУ,
6) Бахматова К.А. – к. б. н., снс СПбГУ,
7) Абакумов Е.В. – к. б. н., ст. преподаватель СПбГУ,
8) Русаков А.В. – к. б. н., доцент СПбГУ,
9) Семенова Л.К. – нач. грунтовой лаборатории ГУП «Трест ГРИИ»,
10) Карбулян В.П. – нач. грунтовой лаборатории ОАО «Трансмост»,
11) Мироничев С.Н. – зав. сектором химии воды ГУП «Трест ГРИИ».

По итогам доклада, в ходе дискуссии, было принято решение о создании общественной научной организации «Охотинское общество грунтоведов». Президентом Общества избрали академика РАН Виктора Ивановича Осипова. На этом совещании было решено проводить заседания общества два раза в год, весной и осенью (весенняя и осенняя сессии Общества).

В декабре 2011 г. на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Санкт-Петербургского горного института состоялась вторая отчетно-выборная конференция «Охотинского общества грунтоведов», на которой профессора, доктора геолого-минералогических наук Регину Эдуардовну Дашко избрали новым Президентом Общества. На этом же заседании было принято принципиальное решение об издании собственного регулярного печатного издания – специализированного научного журнала «Грунтоведение».

В ноябре 2012 г. вышел в свет первый номер журнала «Грунтоведение». Главным редактором первого номера стал академик РАН Виктор Иванович Осипов, со следующих – профессор Регина Эдуардовна Дашко, заместителем главного редактора – ученый секретарь Общества Д.Ю. Здобин. В том же году (2012 г.) «Охотин-

ское общество грунтоведов» стало победителем конкурса грантов общественных объединений научных работников в целях развития их научно-просветительской, научно-исследовательской и педагогической деятельности Комитета по науке и высшей школе Администрации Санкт-Петербурга. Субсидия помогла финансово «встать на ноги», укрепиться и издать первый номер журнала «Грунтоведение».

В настоящий момент в рядах Общества официально состоят 49 человек. Это научные работники высшей квалификации (11 докторов и 27 кандидатов наук), в том числе академик РАН В.И. Осипов, профессора И.П. Иванов, Р.Э. Дашко (СПбГГИ), В.Н. Соколов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский (МГУ), Н.Н. Матинян, А.В. Русаков, С.Н. Лесовая, Е.В. Абакумов (СПбГУ), В.В. Дмитриев (МГГРА), М.С. Захаров (СПбГАСУ). Постоянными и самыми активными членами являются работники производственных организаций – начальники испытательных грунтовых лабораторий и начальники инженерно-геологических отделов. География Общества не ограничивается только территорией Российской Федерации, наши взгляды разделяют коллеги и друзья из стран постсоветского пространства (Беларусь, Казахстан, Украина), а также специалисты по грунтоведению, инженерной геологии и геотехники США, Германии, Литвы и Латвии. «Градус» активности наших членов очень различен, это, прежде всего, зависит от личной позиции.

Время неумолимо. Многие из тех замечательных людей, кто был с нами со дня основания Общества нас, к сожалению, покинули. Это прежде всего доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета Василий Михайлович Кнатько и генеральный директор ЗАО «ЛенТИСИЗ», выдающийся изыскатель Михаил Абрамович Солодухин. Будем помнить всегда!

Достижения. В ряду достижений Общества за прошедшее 7-летие следует назвать, прежде всего, следующие:

1. В декабре 2013 г. при финансовой поддержке НТЦ «Прогресс» вышло второе издание монографии Вениамина Васильевича Охотина «Грунтоведение» – тираж 300 экз.

2. С 2010 года, согласно Уставу, один раз в три года вручается высшая награда Общества – серебряная медаль В.В. Охотина «За выдающийся вклад в грунтоведение». За прошедшее время лауреатами стали:

2010 г. – профессор Вячеслав Николаевич Соколов (МГУ) за цикл работ «Микроструктуры глинистых грунтов».

2013 г. – академик Виктор Иванович Осипов (институт геоэкологии РАН им. Е.М. Сергеева) за цикл работ «Физико-химическая механика дисперсных природных сред»

2016 г. – профессор Евгений Арнольдович Вознесенский (МГУ) за цикл работ «Динамические свойства грунтов».

Следует отметить, что серебряная медаль В.В. Охотина «За выдающийся вклад в грунтоведение» – яркое явление в жизни инженерно-геологического сообщества. Знак отличия Общества, наряду с золотой медалью РАН имени Ф.П. Саваренского и медалью Е.М. Сергеева «За вклад в развитие инженерной геологии», нашёл своё достойное место для награждения самых значимых теоретических разработок в области грунтоведения.

2. С 2012 года, согласно решению II-ой отчетно-выборной конференции «Охотинского общества грунтоведов», начато регулярное издание научного журнала «Грунтоведение» тиражом 100 экз. За отчетный период вышло в свет 10 номеров. Журнал, по нашему мнению, состоялся и достаточно высоко котируется в нашей профессиональной среде, чему способствует заявленная тематика, редакционная политика, тщательный отбор, внутреннее и внешнее рецензирование поступающих материалов и оперативное размещение полноформатных статей в Российской электронной библиотеке (РИНЦ).

Можно с уверенностью сказать, что за эти годы журнал приобрел свое лицо и неповторимый стиль. Его читают и цитируют не только специалисты в области грунтоведения, но и других смежных дисциплин: на его страницах печатались статьи по гидрогеологии, геокриологии и экологии. Вне всякого сомнения, и в дальнейшем будет делаться все возможное, чтобы высокая планка, заданная в предыдущие годы выдающимися отечественными учеными, пишущими в наш журнал (В.И. Осипов, И.П. Иванов, Р.Э. Дашко, В.А. Королев и др.), никоим образом не понижалась. Еще раз следует подчеркнуть, что регулярное издание журнала «Грунтоведение» стало крупным событием в жизни инженерно-геологического сообщества России.

3. Создание и поддержание сайта «Охотинского общества грунтоведов». На сайте размещена вся информация об Обществе, его цели и задачи, приведен список членов Общества. Наибольшей популярностью пользуются разделы «Нормативная литература», журнал «Грунтоведение». Посетители часто скачивают литературу из разделов «Труды В.В. Охотина» и «Редкая литература», на которых представлены

классические работы по грунтоведению в первоначальном виде. Сайт «Охотинского общества грунтоведов» интересен специалистам, о чем говорит количество его посещений в месяц (до 300). Он на регулярной основе пополняется: публикуются новости о нашей жизни, поздравления юбилярам, выкладываются новые редкие издания прошлых лет по нашей специальности, ведется постоянный мониторинг нормативно-технической документации.

4. К 100-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева членами Общества была проведена гигантская работа по переводу в электронный вид журнала «Инженерная геология» с 1979 по 1992 гг. В результате все номера журнал в электронной форме были вывешены на сайтах Общества и Института геоэкологии РАН им. Е.М. Сергеева. Кроме того, определенное количество компакт-дисков с библиотекой журнала было напечатано и роздано как членам Научного совета РАН по инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии, так и участникам ежегодных Сергеевских чтений.

5. «Охотинское общество грунтоведов» плодотворно сотрудничает с Министерством строительства и ЖКХ Российской Федерации в лице Федерального центра нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве (ФАУ «ФЦС»), регулярно становится победителем конкурса на разработку новых и актуализацию существующих нормативных документов, эффективно взаимодействуя с Техническим комитетом ТК 465 «Геотехника». За отчетный период «Охотинское» общество грунтоведов» разработало принципиально новые межгосударственные стандарты серии «Грунты». Раздел 93 – «Гражданское строительство»; подраздел 93.020 – «Земляные работы. Выемка грунта. Сооружение фундаментов. Подземные работы»:

1. ГОСТ 23740-2016 «Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ»;
2. ГОСТ 34259- 2017 «Грунты. Метод лабораторного определения липкости»;
3. ГОСТ 34276-2017 «Грунты. Методы лабораторного определения удельного сопротивления пенетрации»;
4. ГОСТ «Грунты. Методы лабораторного определения содержания карбонатов».

Существенным достижением стала совместная разработка с трестом геодезических работ и инженерных изысканий («Трест ГРИИ») рабочей инструкции «Методы лабораторной пенетрации» (РИ 06-2015), в которой, на основании теории естественной прочности контактных взаимодействий, подытожен опыт применения лабораторной пенетрации водонасыщенных глинистых грунтов Санкт-Петербурга. Размещённый на сайте Общества документ стал самым скачиваемым в нашем электронном архиве.

Кроме этого, члены нашего Общества рецензируют практически все нормативные документы двух технических комитетов «Геотехника» и «Инженерная геология». Например, были сделаны существенные замечания и дополнения к первым редакциям ГОСТ «Грунты. Классификация», ГОСТ «Грунты. Методы полевого описания» и СП «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

6. Проведена государственная перерегистрация «Охотинского общества грунтоведов» в министерстве юстиции Российской Федерации 08.02.2018 г. Процесс был долгим и сложным, но в итоге завершился успешно.

7. Важным направлением деятельности Общества является популяризация грунтоведения и инженерной геологии в Российской Федерации. Члены общества, представляющие разные ВУЗы и производственные организации Санкт-Петербурга и России, активно участвуют в конференциях и конгрессах как в нашей стране, так и за рубежом. Наши коллеги входят в Международную ассоциацию по инженерной геологии (МАИГ), Научный совет РАН по инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии, технические комитеты и комиссии НИЦ «Строительство», занимающиеся нормотворческой деятельностью, а также в редколлегии специализированных профильных журналов («Геоэкология», «Инженерная геология», «Инженерные изыскания», «Грунтоведение»), отстаивают интересы инженерно-геологического сообщества Санкт-Петербурга.

8. Самое главное, что члены Общества постоянно встречаются, свободно обмениваются мнениями и обсуждают возникающие проблемы в грунтоведении и инженерной геологии Санкт-Петербурга и России.

В соответствии с Уставом Общества, полномочия руководящих органов: Президента, Учёного секретаря и Учёного совета (Президиума) – действительны только в течение 5 лет, поэтому сегодня перед членами «Охотинского общества грунтоведов», стоит задача оценить деятельность Общества за прошедшие годы и, согласно сложившейся традиции, выбрать новые руководящие органы на очередное 5-летие.

Автор хотел бы поблагодарить весь нынешний состав Учёного Совета и лично Президента Общества, профессора Регину Эдуардовну

Дашко, за руководство нашей организацией в течение последних 6 лет.

В выступлениях, кроме оценки работы, предлагается высказывать свои пожелания и мнения, в том числе по выдвижению кандидатов на выборные должности:

1. Почетного президента Общества;
2. Президента Общества;
3. Ученого секретаря;
4. В состав Президиума (Ученого Совета).

Необходимо сегодня, в заключение работы конференции, избрать руководящие органы Общества.

Следует еще раз подчеркнуть, что успешное выполнение большей части планов, реализованных Обществом, стало возможным благодаря оказанию бескорыстной помощи и проведению организационно-технических мероприятий для деятельности Общества нашими членами, представляющими как малые, так и крупные отраслевые организации: Кнатько М.В. («НТЦ «Технологии XXI века»), Здобиным Д.Ю. («Центр генетического грунтоведения»), Семеновой Л.К. (АО «Трест ГРИИ»), Соколовой Ю.Ю. (АО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ»), Юлиным В.А. (ООО «Геотехносистемы»).

Хочется поблагодарить Санкт-Петербургский государственный горный институт и лично проф. И.П. Иванова, проф. Р.Э. Дашко и доцента Д.Л. Устюгова за возможность собираться все прошедшие годы на наши заседания в стенах старейшего технического ВУЗа страны.

Нашей признательности также заслуживает заведующий кафедрой почвоведения и экологии почв Института наук о Земле СПбГУ профессор Алексея Валентиновича Русаков за представленную возможность собраться в Большой почвенной аудитории на наше третье отчетно-выборное собрание. Особое отдельное спасибо ему за решение наболевшего вопроса – предоставление помещения на кафедре почвоведения для штаб-квартиры Общества, библиотеки и небольшого музея.

Хочется выразить благодарность нашим самым преданным друзьям: Юлии Юрьевне Соколовой (АО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ») за техническую помощь в сканировании редких книг и статей по грунтоведению и Ларисе Константиновне Семеновой (АО «Трест ГРИИ») за возможность лабораторных исследований грунтов в особо сложных и спорных моментах.

Следует еще отметить наших добрых друзей, вклад которых в нормальное функционирование Общества трудно переоценить: программиста Александра Борисовича Кулешова (сопровождение и наполнение сайта okhotin-grunt.ru), Марию Владимировну Никитину (дизайн журнала «Грунтоведение») и генерального директора типографии «СВЕН» Александра Анатольевича Порабца. Надеемся, что наше плодотворное сотрудничество и в дальнейшем будет продолжено.

Материально-финансовая база. В отчетный период главным источником формирования материально-финансовой базы, обеспечивавшей деятельность Общества, стали добровольные пожертвования денежных средств и имущества, которые поступали от наших партнеров. Финансово-хозяйственная деятельность, которая Обществу, в принципе, разрешена Уставом, не проводилась, потому что не было людей, которые могли бы ее успешно развернуть. Наши партнеры, члены Общества и друзья помогали финансами, оргтехникой, транспортом, совместным участием в организации различных мероприятий.

От лица Общества хочется выразить глубокую благодарность руководителям производственных компаний и организаций, которые постоянно находили возможность для добровольного оказания нам финансовой и других видов поддержки. Благодарим также наших коллег, которые на общественных началах вели ряд направлений работы. Наконец, хочется выразить искреннюю признательность активным членам Общества, которые всегда находили возможность внести личный вклад в деятельность Общества, помогая обеспечить успех нашей работы.

Возможные источники финансирования деятельности Общества:

1. Грант Правительства Санкт-Петербурга в сфере научно-технической деятельности;
2. Грант Правительства Санкт-Петербурга по линии общественных организаций;
3. Целевая субсидия на реализацию проекта в рамках «Плана основных мероприятий по развитию научной деятельности в Санкт-Петербурге на 2019-2025 гг.» по разделу «Экспериментальные разработки и прикладные научные исследования»;
4. Добровольные пожертвования общественных организаций и коммерческих структур малого и среднего бизнеса;
5. Участие в разработке и актуализации нормативной базы в инженерных изысканиях для строительства.

Многосторонняя поддержка Общества его членами, партнерами и друзьями позволила значительно расширить первоначальный спектр деятельности.

В заключение следует сказать о членстве в Обществе и о его Уставе. Отличие общественной организации от простого некоммерческого партнерства, образованного для аналогичных, в широком смысле «благотворительных, целей, состоит в том, что членами общественной организации могут быть только физические лица и профильные общественные объединения. Что касается организаций, получающих прибыль, т. е. производственных предприятий и отраслевых компаний, то они, как юридические лица, членами общественной организации формально быть не могут, а могут быть только пожертвователями и спонсорами, в том числе на конкретные целевые мероприятия. За время существования Общества нам неоднократно советовали реорганизовать его в некоммерческое партнерство с аналогичными целями, тогда коммерческие организации могли бы стать его формальными членами. Здесь важно, однако, подчеркнуть, что членские взносы, которые компания будет переводить в такое партнерство в качестве его члена, равным образом должны будут браться из её чистой прибыли. Другими словами, при любой юридической форме «Охотинского общества грунтоведов» (О.О. или Н.П.) взносы в наш адрес не уменьшат налогооблагаемую базу нашего партнера. Как и взносы физических членов Общества, взносы наших партнеров-производственников всегда были для них непроизводственными затратами и делались бескорыстно. Именно они, как уже отмечалось, стали главным источником формирования финансовой и материальной базы деятельности Общества в отчетный период. Понятно, что в зависимости от конкретных обстоятельств отдельной компании ее поддержка Обществу может не носить постоянного характера и размера, как это требуется при других юридических формах общественной деятельности. Однако наш 13-летний опыт ясно свидетельствует, что совокупная поддержка «Охотинского общества грунтоведов» всеми его партнерами: учреждениями профессионального образования, коммерческими фирмами, государственными предприятиями – является прочной и эффективной основой нашей деятельности.

Основные задачи на 2018-2023 гг.

1. Продолжение издания печатного органа Общества – научного журнала «Грунтоведение». Если общее собрание примет решение об издании полноформатного англоязычного варианта журнала с индексацией в наукометрических базах Scopus и WoS то, безусловно, будем двигаться в этом направлении. Хотя это существенно увеличит временную и финансовую нагрузку на Общество вообще и редколлегию в частности.

2. Дальнейшая оцифровка в электронный вид журнала «Инженерная геология» (новое название «Геоэкология») с 1992 по 1999 гг. После проведения данной работы абсолютно весь массив журнала с начала его издания в 1979 г. по настоящее время будет выложен для свободного и бесплатного доступа на сайте Общества.

3. Активное участие в разработке новых, актуализации и гармонизации существующих нормативных документов (ГОСТов) в области лабораторных и полевых испытаний грунтов для строительства.

- ГОСТ Грунты. Классификация
- ГОСТ Грунты. Метод лабораторной крыльчатки
- ГОСТ Грунты. Метод лабораторного определения засолённости
- ТСН 50-302-2004 Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге (глава «Грунты»)

4. Предстоит кропотливая работа по разработке региональных таблиц физико-механических свойств грунтов территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. По нашему мнению, только после этого стоит серьезно говорить о актуализации региональных территориальных строительных норм в разделе «Грунты Санкт-Петербурга».

5. Общество инициирует проект «Атлас грунтов Санкт-Петербурга». В монографии впервые в мировой практике на основе современных теоретических положений генетического грунтоведения и актуализированного корпуса нормативных документов будут охарактеризованы все генетические типы отложений грунтов Санкт-Петербурга. Безусловно, данная работа невозможна без самого широкого круга специалистов как ВУЗов, так и производственных организаций. Предлагается всем заинтересованным лицам прислать свои предложения по составу и структуре Атласа, а также закреплению как за отдельными членами Общества, так и целыми организациями конкретных стратиграфических подразделений геологической колонки Санкт-Петербурга. Работа предстоит огромная, очень разноплановая (минералогия, оптическая и электронная микроскопия, химия поровых вод, физические и механические свойства), и достаточно длительная по времени (3-5 лет). В связи с этим, предлагается не откладывать решение в долгий ящик, а присылать свои предложения как можно скорее.

6. К 100-летию русского грунтоведения

(организация Вениамином Васильевичем Охотиным в 1923 г. первой научной грунтовой лаборатории при кафедре почвоведения Петроградского сельскохозяйственного института) планируются следующие мероприятия:

– издание монографии «100 лет российскому грунтоведению. История. Люди. Идеи». Предварительные переговоры, прежде всего с московскими коллегами, по этому поводу проведены;

– увековечение памяти В.В. Охотина в виде мемориальной доски на доме, где он проживал, и в названии новой улицы на юго-западе Города. Пакет документов в Топонимическую комиссию Санкт-Петербурга уже готовится;

– проведение I съезда Российских грунтоведов.

Это очень масштабные и амбициозные задачи, и их можно решить только совместными скоординированными усилиями.

7. Планируется продолжить добиваться включения в программу перспективного планирования на ближайшие 5 лет вопроса о целевом финансировании обобщающей инженерно-геологической деятельности в Санкт-Петербурге. Хочется надеяться, что нас все-таки услышат и эта актуальнейшая работа будет выполнена в тесном контакте с геолого-геодезической службой КГА, изыскательскими СРО города, учебными и научными учреждениями.

8. Будет продолжена традиция проведения ежегодного конкурса журнала «Грунтоведение» на лучшую публикацию в русскоязычных журналах по нашей дисциплине с вручением почетного диплома лауреата.

9. Постоянным направлением деятельности Общества будет любая поддержка историко-геологических мероприятий.

10. Для упорядочивания работы Общества предлагается закрепить постоянные дни весенней и осенней сессий, последняя пятница октября и первая пятница апреля.

11. В случае принятия решения о начале сбора членских взносов, чтобы частично окупить затраты на издательскую деятельность Общества и его организационно-штатные мероприятия (бухгалтерия, сайт), необходимо будет определить их ежегодную сумму. Подчеркиваем, что это решение должно быть принято большинством голосов. Окончательное решение этого вопроса предлагается вынести на осеннюю сессию Общества.

Предложения по персональному составу руководящих органов. Предлагаются следующие кандидатуры в Руководящие органы:

На пост Президента Общества – Вознесенского Евгения Арнольдовича (МГУ);

Ученого секретаря – Здобина Дмитрия Юрьевича (СПбГУ);

Координатора по Москве – Григорьеву Ию Юрьевну (МГУ);

Координатора по Санкт-Петербургу – Соколову Юлию Юрьевну (АО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ»).

И, продолжая нашу добрую традицию, считаем правильным переизбрать старейшину грунтоведения и инженерной геологии России, профессора, доктора геолого-минералогических наук Ивана Пенковича Иванова на пост Почетного президента Охотинского общества грунтоведов.

В целях упорядочивания работы Общества и оперативного решения возникающих текущих вопросов, необходимо создать Президиум Общества (Ученый Совет) с возложением на него функции редколлегии журнала «Грунтоведение».

Кандидатуры в состав руководящего органа Общества рассматривались с точки зрения соответствия трем главным критериям:

1. профессионализм и безусловный авторитет в научной и производственной сфере;

2. максимально широкое региональное представительство как регионов, так и организаций;

3. закрепление за каждым членом Президиума конкретного направления в грунтоведении и смежных научных дисциплинах.

Следует подчеркнуть, что все предлагаемые кандидатуры внесены с учетом возможности их реальной работы на общественных началах.

Редколлегия журнала «ГРУНТОВЕДЕНИЕ»

1. Вознесенский Евгений Арнольдович (МГУ) – главный редактор

2. Здобин Дмитрий Юрьевич (СПбГУ) – зам. главного редактора

3. Дмитриев Виктор Викторович (МГРИ-РГГУ) – инженерная геология

4. Королёв Владимир Александрович (МГУ) – грунтоведение

5. Лаврусевич Андрей Александрович -– экологическая геология

6. Николаева Татьяна Николаевна (СПбГГИ) – инженерная геология Санкт-Петербурга

7. Русаков Алексей Валентинович (СПбГУ) – почвоведение

8. Свертилов Алексей Алексеевич (НИИОСП) – инженерные изыскания

9. Семенова Лариса Константиновна (Трест «ГРИИ») – лабораторное грунтоведение

10. Строкова Людмила Александровна

(ТГУ) – гидрогеология

Заведующая редакцией – Соколова Юлия Юрьевна

Подводя итог вышеизложенному, неоходимо отметить самое главное: каких бы научных взглядов члены Общества ни придерживались, в каких бы организациях ни трудились, они всегда находили, находят и будут находить общий язык при решении возникающих задач. Надеемся, что в дальнейшем члены Общества будут собираться, обсуждать и по мере своих сил решать возникающие вопросы в самой интересной науке – грунтоведении!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013.

2. ГОСТ 23740-2016. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. М.: Стандартинформ, 2016.

3. ГОСТ 34259- 2017 «Грунты. Метод лабораторного определения липкости». М.: Стандартинформ, 2017.

4. ГОСТ 34276-2017 «Грунты. Методы лабораторного определения удельного сопротивления пенетрации». М.: Стандартинформ, 2017.

5. ГОСТ «Грунты. Методы лабораторного определения содержания карбонатов».

6. *Охотин В.В.*. Грунтоведение. СПб, ЦГГ, 2008, 231 с.

7. *Охотин В.В.*. Грунтоведение. СПб, ЦГГ, 2013, 231 с.

УДК 624.131

НЕЛИНЕЙНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЖИМАЕМОСТИ ДИСПЕРСНЫХ СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ

© 2018 Б.М. Коршунов

ОАО «Трест ГРИИ», ул. Зодчего Росси, 1-3, Санкт-Петербург, 191023, Россия
bmk@grii.ru

Предлагается рассмотрение новых методов вычисления характеристик сжимаемости дисперсных связных грунтов, основанных на исследовании нелинейных зависимостей и преобразовании их в линейные.

Ключевые слова: сжимаемость, модуль деформации, компрессионные испытания, испытания штампом.

Основные показатели сжимаемости грунтов (E, m_0, E_y) вычисляются по экспериментальным зависимостям относительного сжатия (Δε) от внешнего давления (ΔP).

Как показывает опыт, для дисперсных связных грунтов данные зависимости имеют явно нелинейный характер, но для вычисления характеристик сжимаемости по аналогии с законами механики сплошных твердых тел применяется линейная аппроксимация, которая в данном случае не обеспечивает получение однозначных результатов.

Примеры неоднозначности коэффициентов сжимаемости m_0 представлены на рисунке 1.1 в виде компрессионной кривой и на рисунке 1.2 – в виде графика соответствующего испытания штампом.

Самое элементарное представление коэффициентов сжимаемости

$$m_0 = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta P} \neq const$$

для различных вертикальных давлений P_i соответствует тангенсам угла наклона касательных к горизонтальной оси.

Как видно из графиков, нелинейные зависимости Δε = f (ΔP) имеют множество вариантов определения коэффициентов сжимаемости m_0, что затрудняет возможность получения однозначных результатов различными исполнителями.

Кривые по результатам испытаний различными методами (рисунки 1.1 – 1.2) имеют принципиальные отличия, из-за которых их коэффициенты сжимаемости практически несопоставимы, а все попытки установить эмпирические переходные коэффициенты имеют весьма противоречивые результаты.

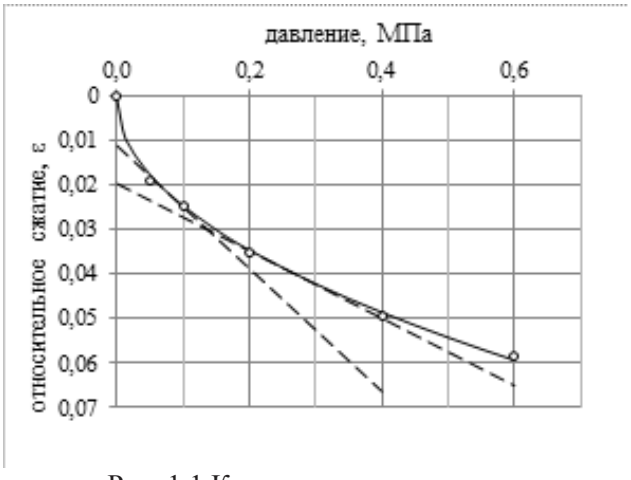

Рис. 1.1 Компрессионная кривая

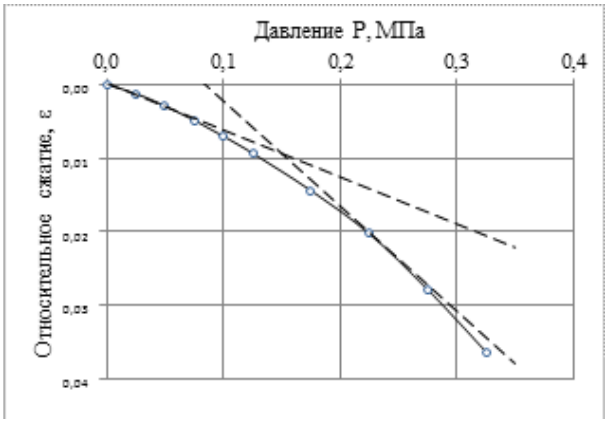

Рис. 1.2 Кривая испытаний штампом

Существующая неопределенность характеристик сжимаемости и других механических свойств связных грунтов является одной из причин недостаточного доверия к достоверности материалов инженерно-геологических изысканий и вынужденного завышения коэффициентов запаса при проектировании.

Поэтому для получения однозначных результатов необходимо приведение всех зависимостей $\Delta\varepsilon = f(\Delta P)$ к единому линейному виду уравнений.

Для выявления причин нелинейности зависимости $\Delta\varepsilon = f(\Delta P)$ рассмотрим особенность реакции дисперсных связных грунтов на внешнее давление.

В результате вертикального давления штампа на грунт, в зависимости от соотношения внешнего давления P и напряженного состояния грунта σ, происходят различные виды деформаций:

- при $P < \sigma_{стр}$ – упругие обратимые деформации без разрушения структурных связей;
- при $\sigma_{стр} < P < \sigma_{пред}$ пластические необратимые деформации в результате разрушения под штампом упругого структурного каркаса и формирования уплотненного ядра;
- при $P > \sigma_{пред}$ вязко-пластические необратимые прогрессирующие деформации в результате расклинивающего действия сформированного уплотненного ядра.

На практике рабочее давление P, в основном, находится в интервале, соответствующем пластическим деформациям, поэтому поведение грунта в этом диапазоне давлений представляет наибольший интерес.

Согласно закону Р. Гука зависимость упругих деформаций от внешних усилий описывается уравнением $\frac{\Delta h}{H} = \frac{\Delta P}{E}$,

где функцией является относительное сжатие

$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H}$, зависящее от мощности сжимаемой зоны H.

В процессе вертикального сжатия упругих материалов деформация происходит равномерно по всей высоте образца, при этом сжимаемая зона H = const.

В дисперсных грунтах в результате действия внешней нагрузки под штампом образуется зона необратимых нарушений структурных связей мощностью Z, в которой происходят пластические деформации.

По результатам исследований О. К. Фрелиха, мощность зоны пластических деформаций Z - величина переменная, зависящая от размеров штампа (радиус R) и соотношения давления P и показателя прочности грунта $\sigma_{стр}$ [1].

Однако характер этой зависимости не установлен и не учитывается при определении относительного сжатия грунтов, в которых преобладают пластические деформации.

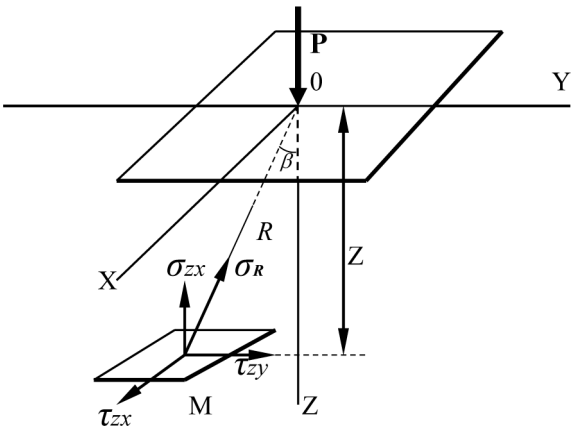

Рис. 2 Составляющие напряжений для площадки, параллельной ограничивающей плоскости

Для анализа зависимости $Z = f(R, P, \sigma_{стр})$ воспользуемся известной из учебников схемой напряжений в полубесконечном пространстве от действия сосредоточенной силы P (рисунок 2).

Рассмотрим горизонтальную площадку, параллельную плоскости XY.

Возьмем точку M с полярными координатами R и β. Величина нормального напряжения

$$\sigma_R = \frac{K \cdot Cos(\beta)}{R^2}$$

σ_R, действующего по направлению радиуса R:

Данное решение проф. В. Кирпичева и Н. Цытовича (1923 – 1934 г.) совпадает с решением Ж. Буссинеска (1885 г.).

Согласно решению проф. Н. А. Цитовича [7], из условия равновесия, когда сумма проекций всех сил на вертикальную ось равна нулю

$$K = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi}, \qquad \sigma_R = \frac{3 \cdot P \cdot Cos(\beta)}{2 \cdot \pi \cdot R^2}$$

При $\beta = 0$ R = Z $\qquad \sigma_R = \sigma_Z = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot Z^2}$

Напряжение от действия нагрузки, равномерно распределенной по кругу, соответственно можно определить по формуле:

$$\sigma_Z = \frac{3 \cdot P \cdot \pi \cdot R^2}{2 \cdot \pi \cdot Z^2}, \quad \sigma_Z = 1{,}5 \cdot P \cdot \frac{R^2}{Z^2}.$$

Принимая условие, что нижняя граница зоны пластических деформаций под нагруженным штампом будет соответствовать глубине Z, при которой $\sigma_z = \sigma_{стр}$, может быть получено следующее выражение:

$$Z_i = 1{,}225 \cdot R \cdot \frac{\sqrt{P_i}}{\sqrt{\sigma_{стр}}}. \qquad (1)$$

Полученное уравнение (1) подтверждает результаты исследований О. К. Фрелиха и устанавливает зависимость размеров зоны пластических деформаций Z от радиуса штампа R, величины давления P и структурной прочности грунта $\sigma_{стр}$: $Z = f(R,P,\sigma_{стр}) \neq const$.

При замене в уравнении закона Р. Гука H на Z в соответствии с уравнением (1) получаем:

$$\frac{\Delta h}{Z} = \frac{\Delta h \cdot \sqrt{\sigma_{стр}}}{1{,}225 \cdot R \cdot \sqrt{\Delta P}} = \frac{\Delta P}{E}$$

Относительную деформацию целесообразно принять в виде отношения $\varepsilon = \frac{\Delta h}{R}$, а полученное выражение преобразовать в уравнение:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h}{R} = \frac{1{,}225}{E \cdot \sqrt{\sigma_{стр}}} \cdot P_i^{1,5} = 1{,}225 \cdot \frac{m_0}{\sqrt{\sigma_{стр}}} \cdot P_i^{1,5}. \qquad (2).$$

На рисунке 3.1 приведен пример традиционного нелинейного графика зависимости осадки штампа от давления в координатах h – P, на рисунке 3.2 – тот же график в координатах h – $P^{1,5}$ имеет вид двух линейных участков, соответствующих фазе пластических деформаций и фазе вязко-пластических деформаций. Точка пересечения соответствует предельному вертикальному давлению Рпред (предел пластических деформаций).

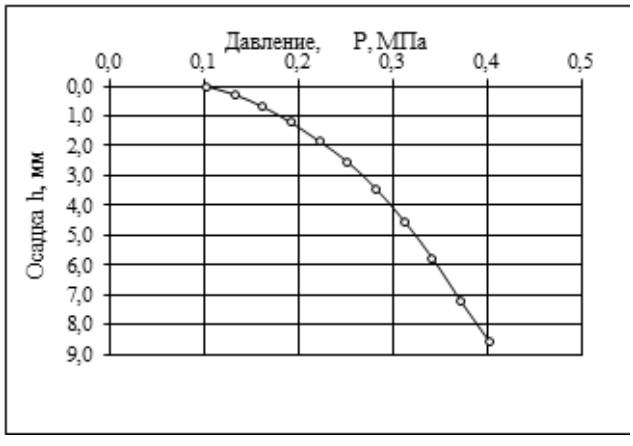

Рис. 3.1 Результаты испытаний грунта штампом в скважине h=*f*(p)

Как видно из графика на рисунке 3.2, зависимость (2) является линейной и может быть представлена в виде уравнения:

$$\varepsilon_i = A_ш \cdot P_i^{1,5} + B, \qquad (3)$$

где: $$A_ш = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta P^{1,5}} = \frac{1{,}225}{E_i \cdot \sqrt{\sigma_{стр}}} = const$$

$$A_ш = 1{,}225 \cdot \frac{m_0}{\sqrt{\sigma_{стр}}} = const \qquad (4)$$

$A_ш$ – коэффициент пластической сжимаемости в условиях природного напряженного состояния (коэффициент пропорциональности относительного сжатия Δε вертикальному давлению ΔP в диапазоне пластических деформаций $\sigma_{стр} < P < \sigma_{пред}$ по данным испытаний штампами).

B – свободный член уравнения.

Линейный характер полученной зависимости $\varepsilon = f(P^{1,5})$ в интервале давлений, соответствующих фазе пластических деформаций, подтверждает справедливость уравнения (1):

$$Z_i = 1{,}225 \cdot R \cdot \frac{\sqrt{P_i}}{\sqrt{\sigma_{стр}}}.$$

На основании уравнения (3):

$$m_0 = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta P} = A_ш \cdot \frac{\Delta P^{1,5}}{\Delta P}; \quad m_0 = A_ш \cdot \sqrt{P_i}. \qquad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что, каждому значению давления P_i соответствуют свои значения m_0 и E, поэтому для вычисления характеристик

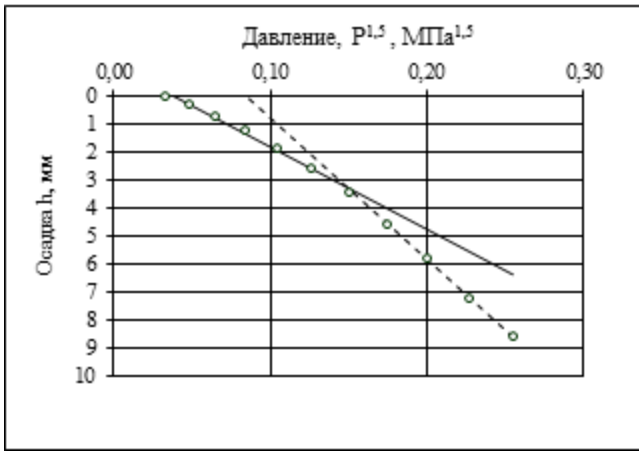

Рис. 3.2 Результаты испытаний грунта штампом в скважине h=*f*($P^{1,5}$)

сжимаемости в диапазоне пластических деформаций целесообразно принимать значение, равное $P_{ср} = \frac{P_{пред}}{2}$, которое соответствует середине линейного участка пластических деформаций (график 3.2).

$$E_{ш} = \frac{1}{m_0} = \frac{1}{A_{ш} \cdot \sqrt{P_{ср}}} \qquad (6)$$

На рисунке 4 приведен график зависимости значений модуля общей деформации E, рассчитанных по данным испытаний штампом 600 см^2 с использованием формулы (6), от результатов вычислений по формуле Шлейхера:

$E = (1 - \mu^2) \cdot \frac{\omega \cdot b \cdot \Delta P}{\Delta s}$, где $\frac{\Delta P}{\Delta s}$ рассчитано по сумме наименьших квадратов для диапазона пластических деформаций.

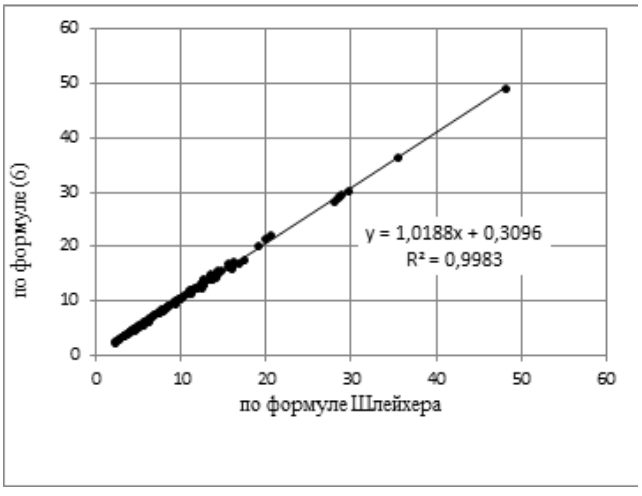

Рис. 4 Результаты вычисления Ешт. по различным формулам

Как видно из графика, между указанными значениями модуля деформации существует практически функциональная зависимость,свидетельствующаяополномихсоответствии: коэффициент корреляции R = 0,999 (R2 = 0,9983), коэффициент регрессии практически равен 1, а величина свободного члена уравнения не превышает точности вычисления значений.

Представленная схема определения модуля деформации по данным испытаний штампом в условиях природного напряженного состояния на основании уравнения (6) отличается простотой и не требует дополнительных показателей ω и μ, для определения которых отсутствует надежная общедоступная методика.

Главное достоинство данного метода обработки данных испытаний штампами – это возможность более точного определения точки предельного давления пластических деформаций $P_{пред}$ и возможность однозначного вычисления коэффициента с $A_ш$ различными исполнителями независимо от выбора интервала давления, а так же определение производных показателей m_0, E по заданному P_i.

В отличие от штамповых испытаний, компрессионное сжатие грунтов происходит в условиях жесткого ограничения его объема размером лабораторного кольца.

По законам термодинамики U – внутренняя энергия грунта, напряженное состояние которого σ находится в равновесии с внешней средой, соответствует: U = σ · V = const.

При A - работе штампа, на который действует внешнее усилие F, грунту сообщается дополнительная внутренняя энергия U, равная работе штампа (U = A = ΔF · ΔS), которая:

- в условиях природного массива расходуется на преодоление внутреннего природного напряжения σ = const, разрушение структурных связей и формирование уплотненного ядра, объем которого V ≠ const увеличивается по мере увеличения внешнего усилия

A = ΔF · ΔS = σ · ΔV;

- в условиях компрессионных испытаний при жестком ограничении объема грунта габаритами лабораторного кольца (V = const) – расходуется на изменение состояния грунта (увеличение напряжений в грунте) σ ≠ const

A = ΔF · ΔS = Δσ · V.

На основании изложенного предположим, что потенциальный объем зоны пластических деформаций V_Z, образующейся под штампом в условиях полубесконечного массива в виде уплотненного ядра в форме, близкой к конусу (рисунок 5), будет равен:

$$V_Z = \pi \cdot R^2 \cdot \frac{Z_i}{3},$$

где

$$Z_i = 1{,}225 \cdot R \cdot \frac{\sqrt{P_i}}{\sqrt{P_{ср}}}$$

$$V_Z = 0{,}408 \cdot \pi \cdot R^2 \frac{R \cdot \sqrt{P_i}}{\sqrt{P_{ср}}}$$

Соответственно, величина осадки образца в компрессионном приборе Δh, приведенная к величине потенциальной зоны пластических

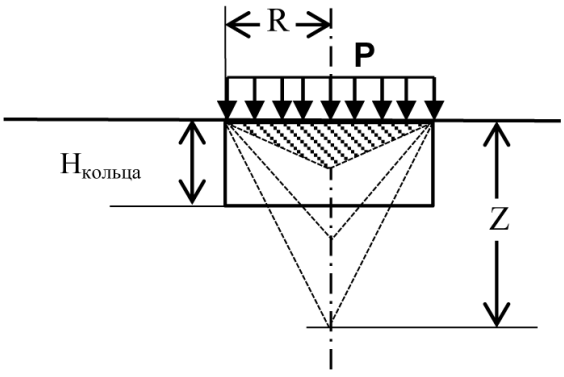

Рис. 5

деформаций, образующейся в условиях полубесконечного массива S_z, будет пропорциональна объему этой зоны и обратно пропорциональна объему лабораторного кольца.

С учетом изложенного, потенциальную осадку, приведенную к расчетной зоне пластических деформаций в условиях полубесконечного массива Sz, можно представить:

$$S_z = \Delta h \cdot \frac{\pi \cdot R^2 \cdot 1{,}225 \cdot R \cdot \sqrt{P_i}}{\pi \cdot R^2 \cdot 3 \cdot H \cdot \sqrt{P_{cp}}} = 0{,}408 \cdot \Delta h \cdot \frac{R \cdot \sqrt{P_i}}{H \cdot \sqrt{P_{cp}}}$$

Относительное сжатие $\frac{S_z}{R}$ по аналогии с испытаниями штампом буде равно:

$$\frac{S_z}{R} = 0{,}408 \cdot \frac{\Delta h}{H} \cdot \frac{\sqrt{P_i}}{\sqrt{P_{cp}}} = \frac{P}{E} \qquad (7)$$

Принимая относительное сжатие в виде традиционного отношения $\varepsilon_{\hat{e}} = \frac{\Delta h}{H}$, из уравнения (7) получаем:

$$\varepsilon_к = \frac{\Delta h}{H} = 2{,}45 \cdot \frac{\sqrt{P_{cp}}}{E} \cdot \sqrt{P_i} = 2{,}45 \cdot m_0 \cdot \sqrt{P_{cp}} \cdot \sqrt{P_i}$$

$$\varepsilon_к = A_к \cdot \sqrt{P}_{\text{i}} + \text{B} \qquad (8)$$

где:

$$A_к = \frac{\Delta\varepsilon}{\sqrt{\Delta P}} = 2{,}45 \cdot \frac{\sqrt{P_{cp}}}{E} = 2{,}45 \cdot m_0 \cdot \sqrt{P_{cp}} = const \qquad (9)$$

$A_к$ – коэффициент пластической сжимаемости в условиях компрессионного сжатия (коэффициент пропорциональности относительного сжатия Δε вертикальному давлению ΔP в диапазоне пластических деформаций $\sigma_{стр} < P < \sigma_{пред}$ по данным компрессионных испытаний).

На основании уравнения (8):

$$m_0 = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta P} = A_K \cdot \frac{\Delta\sqrt{P}}{\Delta P}; \quad m_0 = \frac{A_K}{\sqrt{P_i}}$$

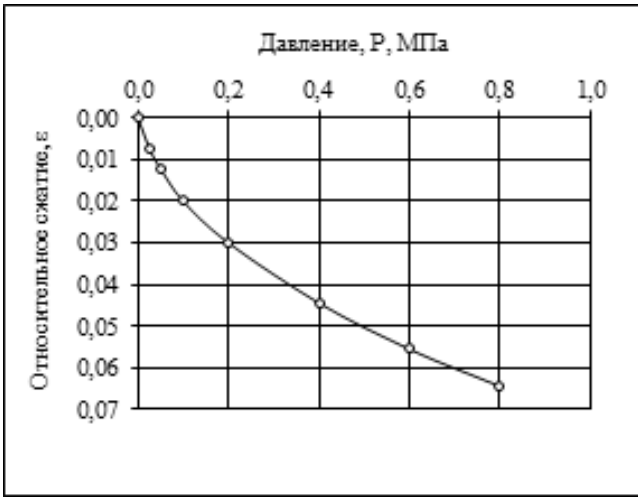

Рис. 6.1 Компрессионная кривая $\varepsilon = f(P)$

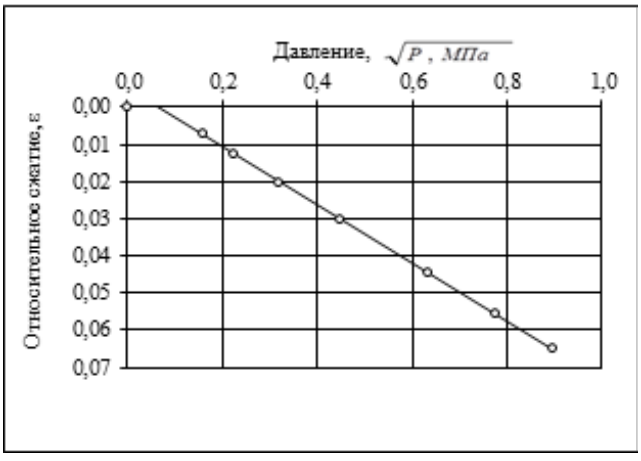

Рис. 6.2 Результаты компрессионных испытаний $\varepsilon = f(\sqrt{P})$

Примеры графиков зависимости относительного сжатия ε_i от P_i и от $\sqrt{P_i}$ по данным компрессионных испытаний представлены на рисунках 6.1 – 6.2.

Как видно из рисунока 6.2, зависимость $\varepsilon = f(\sqrt{P})$ имеет линейный характер, что экспериментально подтверждает условие (9) $A_к$=*const*.

В результате анализа получены два коэффициента сжимаемости грунтов:

- $A_ш$=*const* по данным испытаний штампом в диапазоне пластических деформаций,
- $A_к$=*const*, характеризующий сжимаемость

по данным компрессионных испытаний.

Линейный характер уравнений (3), (8) и однозначность указанных коэффициентов сжимаемости, позволяют получить конкретный показатель перехода от данных компрессионных испытаний к результатам испытаний штампами.

Для установления связи между этими показателями, рассмотрим отношение уравнения (9) к уравнению (4).

$$\frac{A_K}{A_ш} = \frac{\Delta\varepsilon \cdot \Delta P^{1,5}}{\Delta\varepsilon \cdot \Delta\sqrt{P}} = \frac{2{,}45 \cdot m_0 \cdot \sqrt{\sigma} \cdot \sqrt{\sigma}}{1{,}225 \cdot m_0 \cdot}$$

$$A_ш = \frac{A_K}{\sigma}$$

где $\sigma = \sigma_{пред} = 2 \cdot P_{ср}$

$$E_Ш = 2 \cdot \frac{\sqrt{P_{ср}}}{A_ш} \qquad (10)$$

На графике (рисунок 7.1) представлены результаты сопоставления значений модуля общей деформации $E_к$, полученных по формуле (10) на основе данных компрессионных испытаний, со значениями $E_ш$ по формуле (6) с использованием данных соответствующих испытаний штампом.

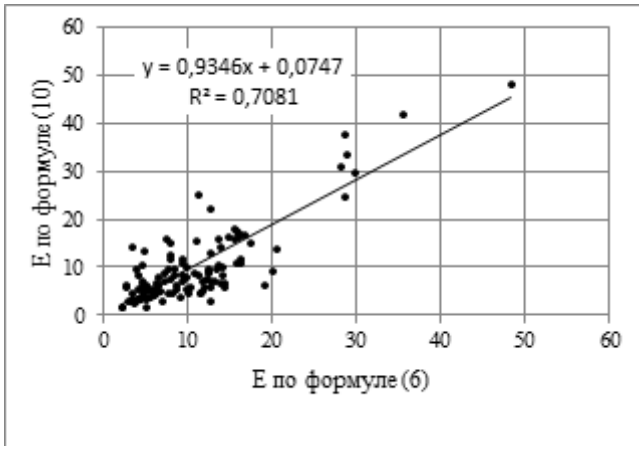

Рис. 7.1

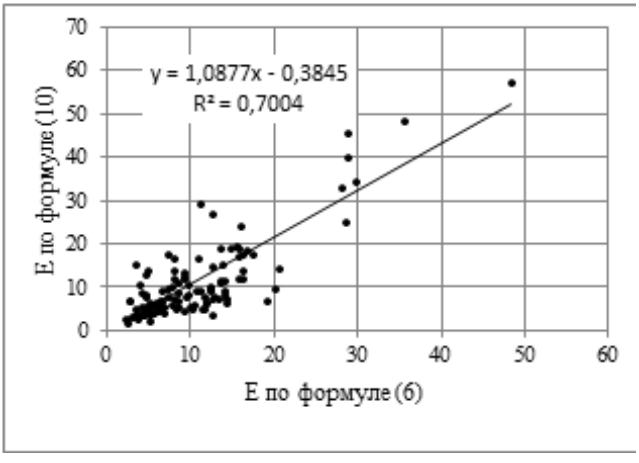

Рис. 7.2

Как видно из графика, значения модуля деформации Ек, несмотря на неоднородность грунта, имеют достаточно тесную корреляционную связь со значениями Еш, по данным испытаний штампами – коэффициент корреляции *R = 0,841 (R2 = 0,708)*.

При этом в обеих формулах приняты одинаковые значения $\sigma = P_{ср}$, соответствующие середине линейного участка на графике $\varepsilon = f(P^{1,5})$ по данным испытаний штампом.

Как видно из формул (6) и (10), значения коэффициентов относительного сжатия и модулей деформации зависят от природного напряженного состояния грунта.

Наличие такой зависимости было экспериментально установлено по результатам многочисленных исследований деформационных свойств на объекте высотного строительства в СПб, выполненных СУ 299 при научном сопровождении НИИОСПа. Получена зависимость изменения модуля деформации грунтов недислоцированной толщи вендских отложений с глубиной [4].

Поэтому для оценки природного напряженного состояния грунта предлагается формула вертикального предельного давления (11), вывод которой рассмотрен в разделе о прочности, не вошедшем в данную статью:

$$P_{пред} = \left(\sqrt{P_{быт}} + 2 \cdot \sqrt{tg(\varphi) \cdot c}\right)^2 \qquad (11)$$

$$P_{ср} = \frac{\left(\sqrt{P_{быт}} + 2 \cdot \sqrt{tg(\varphi) \cdot c}\right)^2}{2}$$

На графике (рисунок 8) показана зависимость расчетного значения предельного давления Рпред по формуле (11) от значений

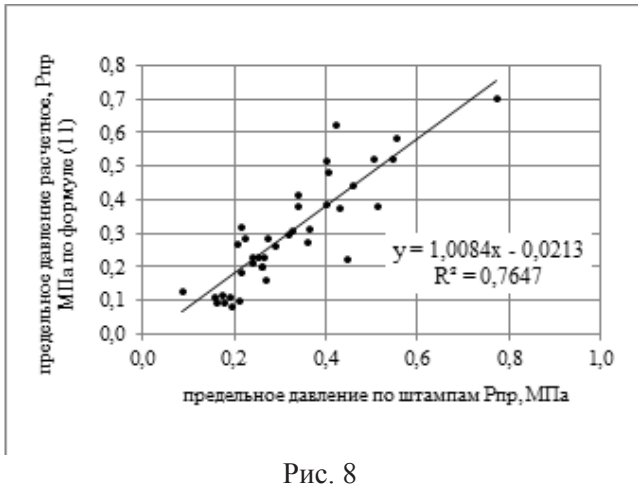

Рис. 8

предельного давления по данным испытаний штампами $\sigma_{пред} = 2 \cdot P_{ср}$.

Как видно из графика данные показатели хорошо коррелируются – $R = 0{,}874$ ($R^2 = 0{,}7647$).

Разброс значений объясняется, в основном, неоднородностью грунта.

На рисунке 7.2 представлена зависимость, аналогичная рисунку 7.1, но для определения $P_{ср}$ использована формула (11). Как видно из графика, в итоге получена зависимость, идентичная уравнению на рисунке 7.1.

Таким образом, в результате уточнения понятия сжимаемой зоны и соответствующего преобразования относительного сжатия как по данным испытаний штампом в природных условиях, так и по данным компрессионных испытаний, установлено:

1) Графики компрессионных испытаний могут быть преобразованы в результаты испытаний штампами для заданного природного напряженного состояния массива грунта и наоборот

$$\varepsilon_{ш} = \frac{A_K}{2 \cdot P_{ср}} \cdot P^{1,5} + B$$

$$\varepsilon_{к} = 2 \cdot A_{Ш} \cdot P_{ср} \cdot \sqrt{P} + B$$

2) Результаты испытаний штампами и соответствующих компрессионных испытаний могут быть совмещены на 1 диаграмме и сопоставлены как в линейном, так и в нелинейном виде.

Представим значения относительного сжатия по испытаниям штампом в виде:

$$\varepsilon_{прив-ш} = \frac{s_i}{Z_i} \cdot \frac{s_i \cdot \sqrt{P_{ср}}}{1{,}225 \cdot R \cdot \sqrt{P_i}} = 0{,}816 \cdot \frac{s_i \cdot \sqrt{P_{ср}}}{R \cdot \sqrt{P_i}}$$

$$\varepsilon_{прив-ш} = 0{,}816 \cdot \varepsilon_{ш} \frac{s_i \cdot \sqrt{P_{ср}}}{R \cdot \sqrt{P_i}}$$

а для компрессионных испытаний по формуле (7) вычислим относительное сжатие, приведенное к расчетной зоне пластических деформаций:

$$\varepsilon_{прив-к} = \frac{h_i}{R} = 0{,}408 \cdot \frac{h_i \cdot \sqrt{P_i}}{H \cdot \sqrt{P_{ср}}} = 0{,}408 \cdot \varepsilon_{к} \frac{\sqrt{P_i}}{\sqrt{P_{ср}}}$$

Как видно из рис. 9, зависимости значений приведенного относительного сжатия от соответствующего вертикального давления имеют

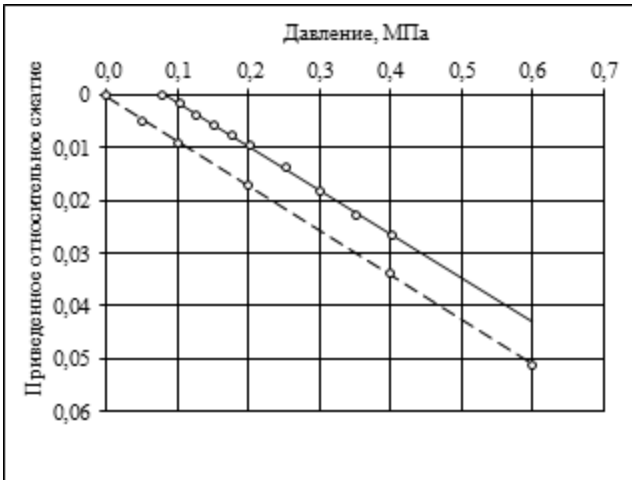

Рис. 9 Совмещенные графики компрессионных испытаний (пунктир) и штампом в скважинах

линейный вид.

Пунктиром обозначен график по данным компрессионных испытаний, сплошной линией – по результатам испытаний штампом.

Оба графика являются практически параллельными линейными зависимостями с очень близкими значениями коэффициентов сжимаемости m_0, каждый из которых не зависит от интервала давлений в пределах $P_i \le P_{пред}$.

Для вычисления графиков на рисунке 9 $\varepsilon_{прив-ш}$ и $\varepsilon_{прив-к}$ принято $\sigma = P_{ср} = \frac{P_{пред}}{2}$, характеризующее среднее напряженное состояние в диапазоне пластических деформаций по данным испытаний штампом.

На рисунке 10.1 представлены совмещенные нелинейные графики результатов испытаний грунтов на сжимаемость $\varepsilon = f(P)$ по данным компрессионных испытаний и штампом в природных условиях:

1) График 1 – расчетная кривая результатов полевых испытаний штампами в условиях природного напряженного состояния

$\varepsilon_{ш} = A_{ш} \cdot P_i^{1,5} + B$, где точками показаны результаты фактических измерений.

$$\varepsilon_{ш} = m_0 \cdot P_i \cdot \frac{\sqrt{P_i}}{\sqrt{\sigma_{пред}}}$$

($\sigma \sim const$; $Z = f(P) \neq const$)

При $P_i = \sigma_{пред}$ $\varepsilon_{ш} = m_0 \cdot P_i$ соответствует пределу пластических деформаций.

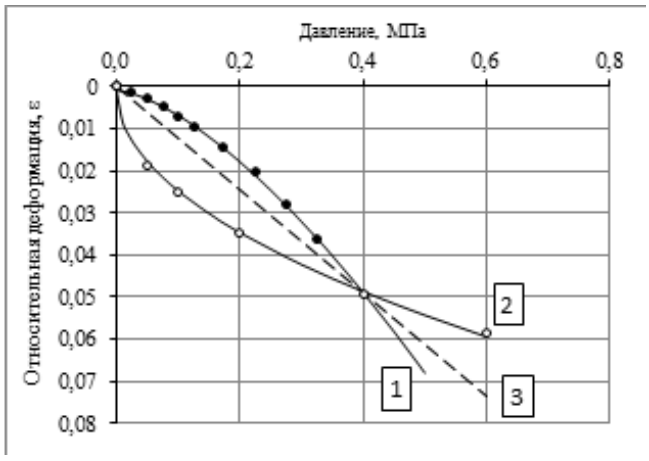

Рис. 10.1 Графики сжимаемости

2) График 2 – расчетная кривая компрессионных испытаний в условиях возрастающего внутреннего напряжения $\varepsilon_k = A_k \cdot \sqrt{P_i} + B$, где точками показаны результаты фактических измерений.

($\sigma = f(P) \neq const$; $Z = H = const$)

$$\varepsilon_к = m_0 \cdot P_i \cdot \frac{\sqrt{\sigma_{пред}}}{\sqrt{P_i}}$$

При $P_i = \sigma_{пред}$ $\varepsilon_ш = m_0 \cdot P_i$ соответствует аналогичным данным по штампам.

График испытаний штампом и соответствующий график компрессионных испытаний имеют общую точку, которая совпадает с предельным давлением пластических деформаций.

3) График 3 соответствует предельному состоянию $\sigma_{пред}$ для испытаний штампами в природных условиях и в компрессионном приборе при:

$$\sqrt{P_i} = \sqrt{\sigma_{пред}} \quad \varepsilon_0 = m_0 \cdot P_i + B \quad m_0 = \frac{\varepsilon_{пред}}{P_{пред}}$$

На рисунке 10.2 сплошная утолщенная линия – компрессионная кривая, без утолщения показаны расчетные кривые испытаний штампом в однородном грунте для различных напряженных состояний, например, на различных глубинах с различным бытовым (всесторонним) давлением.

Каждая точка компрессионной кривой соответствует предельному состоянию грунта при конкретном значении σ.

Как отмечалось ранее, при $P_i \leq \sigma_{стр}$ в грунте пластические деформации отсутствуют, но происходят упругие деформации. Следовательно, $\varepsilon_{упр} = A_к \cdot \sqrt{P_i}$ при $P_i < \sigma_{стр}$

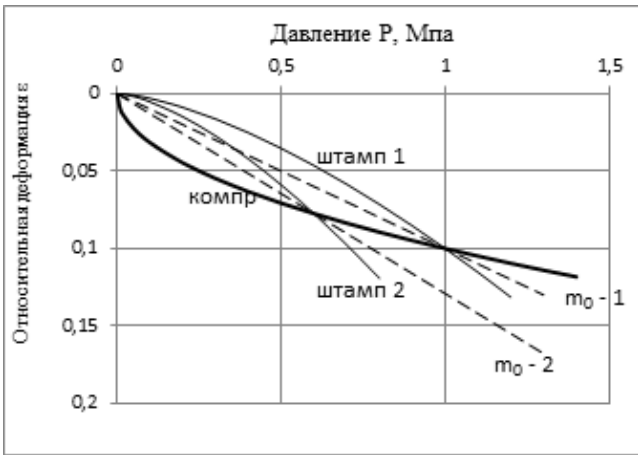

Рис. 10.2 Графики сжимаемости

Зависимость упругого относительного сжатия $\varepsilon_{упр}$ от вертикального давления можно представить в виде:

$$\varepsilon_{упр} = \varepsilon_{max} - A_к \cdot \sqrt{K_с} \cdot \frac{\sqrt{P_{max}} - \sqrt{P_i}}{\sqrt{P_{max}} + \sqrt{P_i}} \qquad (12)$$

где $K_c = 4 \cdot c \cdot g\,(\varphi)$ – показатель структурной прочности, рассматриваемый в разделе о прочности грунтов, который не вошел в данную статью.

На графике (рисунок 11) представлен пример результатов компрессионных испытаний, где пунктиром обозначена кривая упругого разуплотнения, расчитанная по формуле (12), а точками показаны результаты конкретных измерений.

Как показывает опыт, $A_к$ может быть использован также для расчета кривой ветви разгрузки по данным компрессионных испытаний.

Однозначность и закономерность получаемых результатов определения $A_к$ подтверждается также наличием достаточно тесной кореляционной зависимости от показателей физических свойств.

На основании изложенного можно сделать

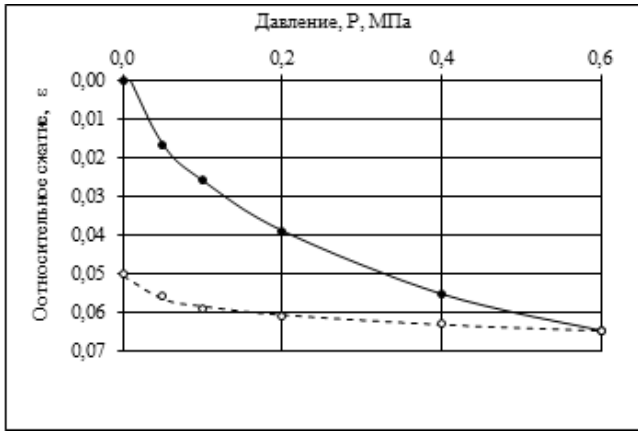

Рис. 11 Компрессионная кривая с ветвью разгрузки

вывод:

Используемые в настоящее время характеристики сжимаемости грунтов в значительной степени зависят от целого ряда факторов, но эти зависимости недостаточно изучены.

Например, существует мнение, что значения модуля деформации по результатам испытаний штампом зависят от диаметра штампа. На самом деле причина не в диаметре, а в нагрузке, необходимой для нагружения штампа. Чем больше диаметр штампа, тем при меньших давлениях, из-за трудности создания нагрузки на такие штампы, и, соответственно, на более плоском участке нелинейной зависимости завершались испытания, что приводило к получению более высоких значений модулей деформации.

Как показывает представленный анализ:

1. Значения коэффициентов сжимаемости m_0 и модулей деформации E зависят от природного напряженного состояния грунта.

2. Коэффициент $A_ш$ = const в пределах $P_i \leq P_{пред}$ характеризует пластическую сжимаемость грунтов, соответствующую конкретному природному напряженному состоянию.

3. Коэффициент $A_к$ характеризует сжимаемость грунтов, соответствующую напряженному состоянию $\sigma = 1$ единице измерения напряжения, и не зависит от напряженного состояния.

По сути $A_к$ является константой сжимаемости конкретного грунта, на основании которой можно вычислять:

- данные кривой компрессионных испытаний и модуль деформации, а также данные ветви разгрузки и модуль упругости;

- данные для построения кривой испытания штампами в интервале пластических деформаций при заданном давлении $P_{пред}$ и вычисление модуля деформации.

В связи с этим целесообразно рассмотреть возможность использования $A_к$ в качестве основного показателя сжимаемости дисперсных связных грунтов.

Учитывая актуальность данной темы, следует изучить ее более подробно в увязке с методами определения показателей прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дашко Р.Э., Каган А.А.* Механика грунтов в инженерно-геологической практике. М., «Недра», 1977.

2. *Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.* Справочник по сопротивлению материалов. Издательство «Наукова Думка», Киев, 1975.

3. *Разоренов В.Ф.* Пенетрационные испытания грунтов. Издательство литературы по строительству, М., 1968.

4. *Труфанов А.Н., Габсалямов Г.У., Климов В.Я., Шевелева Н.В.* Определение деформационных свойств глинистых грунтов вендских отложений Санкт-Петербурга журнал «Основания фундаменты и механика грунтов», 2013, № 2.

5. *Федосьев В.И.* Сопротивление материалов. М., Наука, 1967.

6. *Харр М.Е.* Основы теоретической механики грунтов. М., Стройиздат, 1970.

7. *Цитович Н.А.* Механика грунтов (краткий курс). М., «Высшая школа», 1973.

8. Справочник по инженерной геологии. (ред. М.В. Чуринов). М., «Недра», 1974.

9. *Шашкин А.Г.* Критический анализ наиболее распространенных нелинейных моделей работы грунта, Инженерная геология, 2010, 3.

УДК 624.131

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ МЕТОДОМ ЛАБОРАТОРНОЙ ПЕНЕТРАЦИИ

© 2017 Е.А. Шергина, М.А. Лаздовская, Д.Ю. Здобин

Санкт-Петербургский государственный университет,
Университетская наб. 7/9, г. Санкт-Петербург, 199034 Россия;
E-mail: eugeni15@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы определения физических свойств, а именно плотности (ρ) и коэффициента пористости (е) дисперсных несвязных грунтов (песков) методом лабораторной пенетрации. Получаемый показатель – удельное сопротивление пенетрации (R) – величина инвариантная. На основе многочисленных экспериментов были получены зависимости интересующих нас физических свойств песчаных грунтов от удельного сопротивления пенетрации. Предложенный метод имеет ряд достоинств, которые выделяют его среди остальных. Во-первых, простота испытания и простая конструкция прибора; во-вторых, способность исследовать слабые грунты (илы, текучие глины); в-третьих, возможность проведения испытания как в полевых условиях, так и в стационарной грунтовой лаборатории. Описанный метод может быть полезен при определении плотности сложения грунтов для устройства дорожного полотна (насыпи) при строительстве линейных сооружений.

Ключевые слова: Песчаные грунты; физические свойства; плотность; степень плотности; коэффициент пористости; удельное сопротивление; пенетрация конусом постоянной массы.

Введение. Одним из важнейших элементов инженерно-геологических изысканий является определение физических характеристик грунтов. Коэффициент пористости (е) и плотность грунтов (ρ) – те физические свойства, которые характеризуют их естественное состояние.

Пески – один из видов дисперсных грунтов, широко распространённый в природной геологической обстановке. Кроме того, песчаные грунты повсеместно используются как инертный материал при строительстве различных инженерных сооружений (насыпи, дорожные одежды, обустройство дна котлованов). В связи с этим правильное оперативное определение физических свойств этих грунтов имеет важное теоретическое и практическое значение. В последнее время рядом исследователей (В.А. Королев [13], А.Д. Потапов [18]) были получены значимые результаты именно для этих грунтов.

В данной статье для определения физических свойств дисперсных несвязных грунтов предлагается использование метода лабораторной пенетрации.

Пенетрация – косвенный метод определения физико-механических свойств грунтов внедрением в них наконечника (конический зонд, шариковый штамп) на глубину, не превышающую высоту зонда.

Разработкой теоретических и методических вопросов пенетрационных испытаний грунтов занимались многие авторы, например, П.О. Бойченко [2], В.Ф. Разорёнов [19], Н.П. Иваникова [12], Е.Н. Богданов [1] и др.

П.О. Бойченко [2] применил метод лабораторной пенетрации коническим наконечником для определения пределов пластичности, консистенции грунтов естественного сложения и показателя структурности, прежде всего, для дисперсных связанных грунтов. Технически простая и удобная конструкция грунтового пенетрометра, разработанная П.О. Бойченко (впоследствии получившая название по имени автора прибора – «конус Бойченко» (рисунок 1)), получила широкое распространение в лабораторной практике, прежде всего, в Ленинграде (Санкт-Петербурге).

Величина, в которой выражаются результаты пенетрационных испытаний, называется удельным сопротивлением пенетрации (R), которое равно отношению усилия пенетрации (P) к квадрату глубины погружения конуса постоянной массы с постоянным раскрытием угла наконечника.

$R=P/h^2$ (1)

Рис. 1. Пенетрометр грунтовый конструкции П.О.Бойченко

Методика проведения испытаний. В качестве объекта исследований были взяты хорошо окатанные кварц-полевошпатовые пески различной крупности на территории Санкт-Петербурга. Грунты просеивались на отдельные фракции (крупная 1-0,5 мм; средняя 0,5-0,25 мм; мелкая 0,25-0,1 мм; пылеватая 0,1-0,05 мм). Далее все испытания проводились отдельно для каждой монофракционной разности песчаного грунта. Пенетрационные испытания проводились в три этапа: на первом этапе пенетрационные эксперименты выполнялись с песками в воздушно-сухом состоянии, на втором – с песками при оптимальной влажности, а на третьем – с песками водонасыщенными. Для всех случаев образцы испытывали в трёх состояниях: рыхлом, средней плотности и плотном. Всего было проведено более 800 пенетрационных тестов.

Методика проведения пенетрационных испытаний достаточно проста. Испытуемый песчаный грунт помещают в стандартное сдвиговое режущее кольцо, далее кольцо с грунтом на пластине ставят на столик пенетрометра, после чего острие конуса подводят к поверхности грунта таким образом, чтобы наконечник не нарушал сплошности сложения, отпускается кнопка-фиксатор и считывается значение (h) (глубина проникновения наконечника в грунт) в мм. В конце производится расчёт удельного сопротивления пенетрации по формуле (1).

Необходимо отметить ряд условий при проведении экспериментов по определению удельного сопротивления пенетрации песков.

Во-первых, в исследованиях использовался один рабочий зонд – конус с углом раскрытия в 30о. Этот лабораторный прибор был выбран из-за того, что в 2015 г. вышла в свет серия статей Д.Ю. Здобина [10], в которых на основании современных представлений о природе структурных связей дисперсных связных глинистых грунтов (супеси, суглинки, глины) и многочисленных экспериментов (более 10000) были выведены убедительные зависимости и между глубиной проникновения конуса в грунт (30о) и основными физико-механическими свойствами грунтов.

Во-вторых, исходя из технологических аспектов проведения лабораторных и полевых испытаний, гораздо удобнее работать с одним рабочим зондом, чем с двумя.

И, в-третьих, конус конструкции П.О. Бойченко был выбран по причине промышленного производства данного прибора в настоящее время, его приемлемой цены, а также доступности.

Результаты и обсуждение. Первый этап проведения пенетрационных испытаний для песков в воздушно-сухом состоянии.

Таблица 1

Результаты пенетрационных испытаний для песков в воздушно-сухом состоянии рыхлой плотности сложения

Мелкая фракция		Пылеватая фракция	
h, мм	e	h, мм	e
32,0	0,76	24,2	0,85
32,0	0,77	25,2	0,85
34,0	0,78	24,0	0,83
33,5	0,77	20,5	0,83
32,0	0,77	21,1	0,83

Анализируя результаты, представленные в таблицах 1, 2 и на рисунках 2 и 3, можно сделать вывод о том, что чем выше плотность сложения песка, тем глубина проникновения конуса меньше для всех четырёх фракций. На графиках также видно, что при уменьшении размера фракции песка глубина проникновения конуса становится меньше.

На втором этапе пенетрационные исследования проводились для песков при оптимальной влажности и максимальной плотности. Значения оптимальной влажности ($W_{опт}$, %) для

Таблица 2

Результаты пенетрационных испытаний для песков в воздушно-сухом состоянии средней плотности сложения

Крупная фракция		Средняя фракция		Мелкая фракция		Пылеватая фракция	
h, мм	e	h, мм	e	h, мм	e	h, мм	e
36,0	0,65	35,5	0,67	34,0	0,68	26,0	0,79
37,5	0,66	34,7	0,68	34,2	0,71	23,6	0,69
38,8	0,67	36,7	0,68	34,1	0,71	22,3	0,75
36,5	0,67	36,2	0,69	33,0	0,69	24,2	0,72
37,9	0,67	37,0	0,70	33,7	0,70	20,0	0,65
37,5	0,65	34,8	0,64	30,7	0,66	21,1	0,74
34,0	0,64	35,0	0,67	32,5	0,69	19,7	0,69
34,8	0,64	35,3	0,68	33,0	0,68	19,0	0,64
34,0	0,65	33,9	0,66	34,0	0,61	16,8	0,65
32,0	0,59	35,7	0,66	30,5	0,66	26,7	0,75

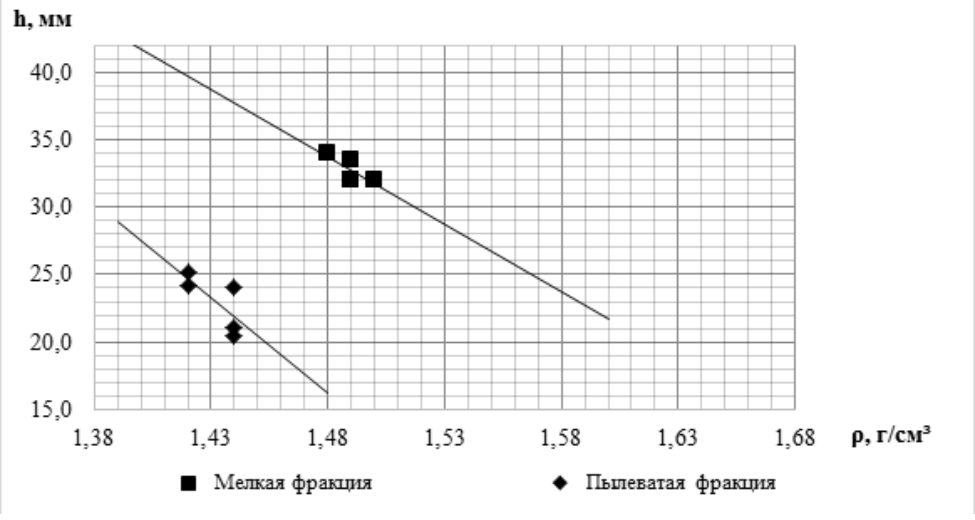

Рис. 2 Пески в воздушно-сухом состоянии рыхлой плотности сложения

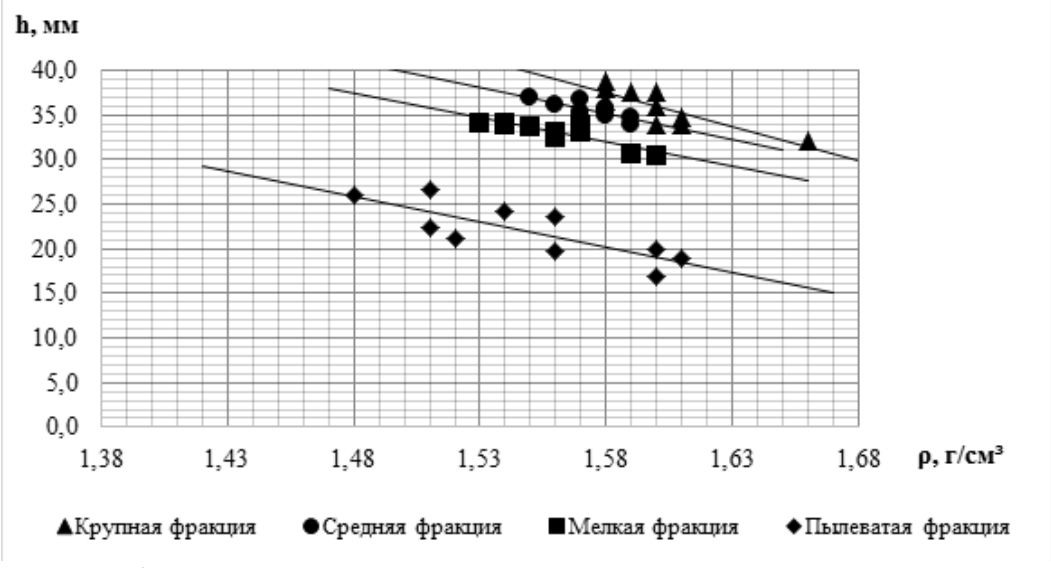

Рис. 3. Пески в воздушно-сухом состоянии средней плотности сложения

Таблица 3

Результаты пенетрационных испытаний для плотных песков при оптимальной влажности

Крупная фракция		Средняя фракция		Мелкая фракция		Пылеватая фракция	
h, мм	e	h, мм	e	h, мм	e	h, мм	e
17,4	0,55	12,9	0,55	7,6	0,60	4,9	0,58
16,7	0,55	13,0	0,55	6,1	0,60	6,0	0,59
17,0	0,55	13,5	0,55	7,1	0,60	4,8	0,59
16,0	0,55	13,0	0,55	7,1	0,60	6,9	0,59
17,0	0,55	11,	0,55	8,1	0,60	5,5	0,60

песков крупной, средней, мелкой и пылеватой фракции составили соответственно 5; 8; 10; 12 %.

В результате проведенных испытаний во всех трех состояниях плотности грунта подтвердилась предполагаемая теоретически зависимость глубины проникновения конуса от плотности песка. Результаты пенетрационных испытаний песков плотной степени сложения представлены в таблице 3 и на рисунке 4.

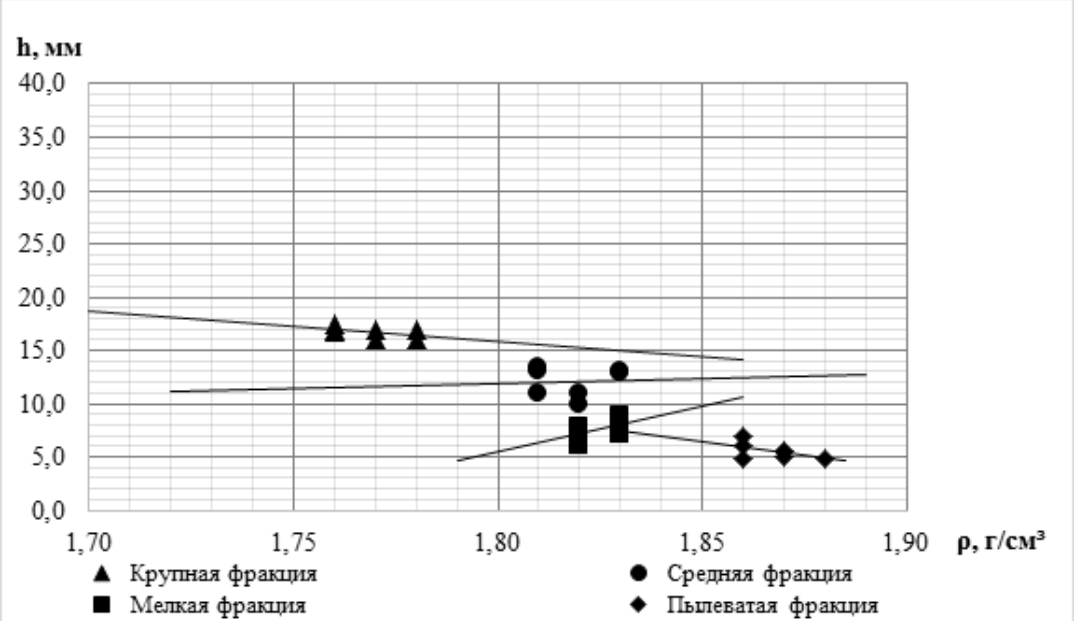

Рис. 4 . Пески плотные при оптимальной влажности

По результатам, представленным на рисунке 4, видно, что при увеличении размера частиц песка глубина проникновения конуса увеличивается, а при увеличении плотности сложения песка глубина проникновения конуса уменьшается так же, как и у песков в воздушно-сухом состоянии.

Завершающим этапом проведения работ были пенетрационные испытания с песками водонасыщенными. Значения рассчитанных влажностей для песков крупных, средних, мелких и пылеватых составили 21, 22, 24 и 25% соответственно. Первым шагом в проведении пенетрационных испытаний была работа с песками в рыхлом состоянии.

Для крупных, средних и мелких песков испытания прошли успешно, была так же, как и в предыдущих случаях, подтверждена зависимость глубины проникновения конуса от плотности сложения песка. Для пылеватых песков по техническим причинам эксперимент провести не удалось. Результаты проведенных испытаний для песков водонасыщенных представлены в таблицах 4, 5 и на рисунках 5, 6.

До плотного состояния пески довести не удалось, так как при уплотнении водонасыщенного образца происходило отжатие воды из перфорированного штампа на торцах загрузочного кольца.

После проведения экспериментальной части лабораторных испытаний на основе полученных среднеарифметических значений на основании решения осесимметричной задачи были рассчитаны значения удельного сопро-

Таблица 4

Пески водонасыщенные в рыхлом состоянии

Крупная фракция		Средняя фракция		Мелкая фракция		Пылеватая фракция	
h, мм	e	h, мм	e	h, мм	e	h, мм	e
27,8	0,75	30,0	0,89	22,0	0,94	13,0	0,96
33,0	0,82	26,0	0,77	24,0	0,79	12,0	0,98
30,0	0,76	25,0	0,75	22,9	0,84	14,2	0,97
35,0	0,79	25,5	0,79	21,0	0,83	12,0	1,03
33,0	0,80	34,5	1,01	24,1	0,84	13,0	1,02

Таблица 5

Результаты пенетрационных испытаний для песков водонасыщенных средней плотности сложения

Крупная фракция		Средняя фракция		Мелкая фракция	
h, мм	e	h, мм	e	h, мм	e
28,5	0,62	24,0	0,68	12,2	0,69
28,1	0,62	22,7	0,67	12,1	0,72
31,0	0,64	24,0	0,67	12,5	0,72
30,0	0,63	21,5	0,69	11,8	0,72
29,0	0,64	21,5	0,68	11,5	0,67

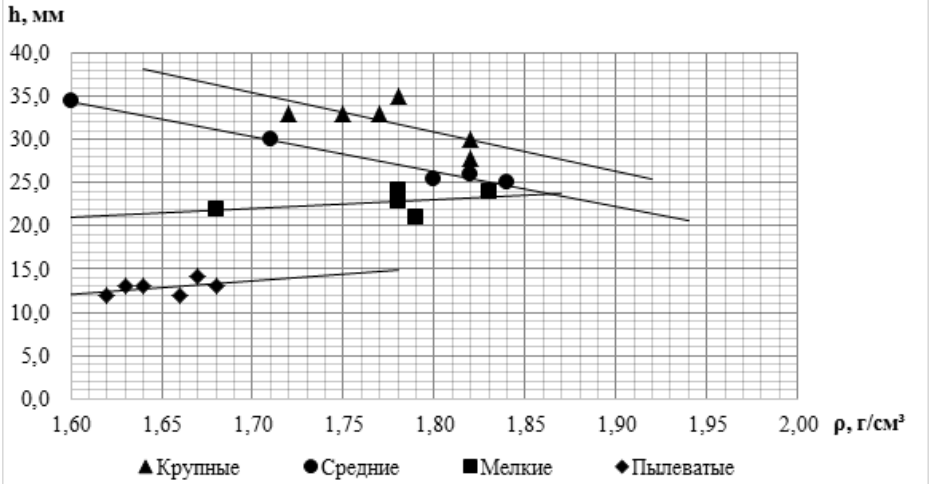

Рис. 5. Пески водонасыщенные рыхлой плотности сложения

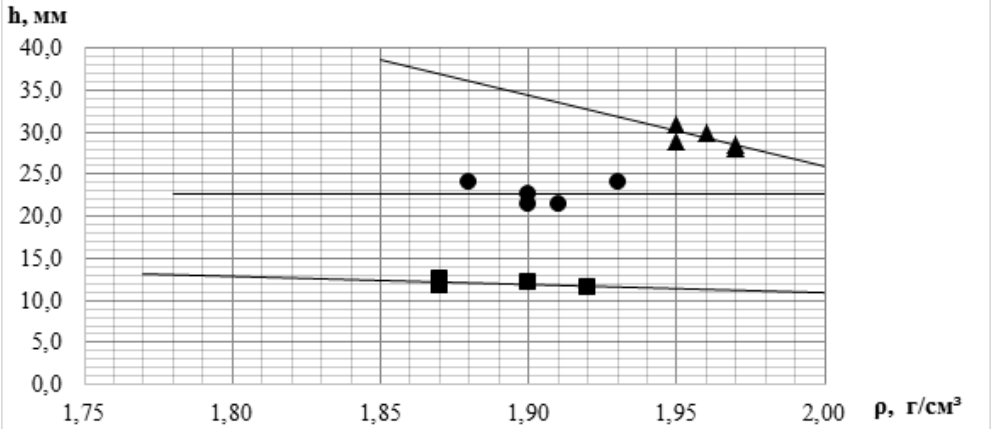

Рис. 6. Пески водонасыщенные средней плотности сложения

тивления пенетрации (R) по формуле (1).

Рассчитанные значения величины удельного сопротивления пенетрации по формуле 1 для всех трёх типов влажности и плотности сложения песка представлены в таблицах 6, 7, 8.

Таблица 6

Рассчитанные значения удельного сопротивления пенетрации для песков в воздушно-сухом состоянии

	Пески пылеватые	Пески мелкие	Пески средние	Пески крупные
Рыхлые	R=2,5	R=0,8	Конус проваливается	Конус проваливается
Средней плотности	R=2,8	R=0,8	R=0,7	R=0,6

Таблица 7

Рассчитанные значения удельного сопротивления пенетрации для песков при оптимальной влажности

	Пески пылеватые	Пески мелкие	Пески средние	Пески крупные
Рыхлые	R=13,0	R=1,5	R=0,0	Конус проваливается
Средней плотности	R=103,0	R=25,0	R=8,0	R=3,0
Плотные	R=177,0	R=70,0	R=17,0	R=6,0

Таблица 8

Рассчитанные значения удельного сопротивления пенетрации для песков водонасыщенных

	Пески пылеватые	Пески мелкие	Пески средние	Пески крупные
Рыхлые	R=14,0	R=2,3	R=1,2	R=0,9
Средней плотности	Конус проваливается	R=17,2	R=2,6	R=1,1

Итогом проведения лабораторных исследований являются графики зависимости величины удельного сопротивления пенетрации от плотности (ρ) и от коэффициента пористости (е) песка (рисунки 7, 8).

Анализируя полученные результаты пенетрационных испытаний исследуемых песчаных фракций, можно сделать вывод о том, что при увеличении плотности сложения песка, возрастает величина удельного сопротивления пенетрации.

Полученные результаты подтверждают предполагаемые теоретически зависимости глубины проникновения наконечника, а, следовательно, и величины удельного сопротивления пенетрации от плотности сложения грунта.

Несмотря на принципиальную возможность применения пенетрации для определения плотности сложения и коэффициента пористости песчаных грунтов, метод имеет ряд ограничений. Так методом лабораторной пенетрации конусом с углом раскрытия наконечника 30 градусов и массой 300 граммов возможно исследование песков при оптимальной влажности и максимальной плотности, а также в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях при рыхлой и средней плотности сложения.

Заключение. Проведённые исследования показали, что определение физических свойств песчаных грунтов методом лабораторной пенетрации вполне применимо в практике полевых и лабораторных испытаний грунтов как при инженерных изысканиях, так и в случае возведения различных песчаных конструкций. В практическом плане выявленные зависимости позволяют получить вполне удовлетворительные значения плотности и коэффициента пористости песков.

Авторы выражают признательность и благодарность генеральному директору НТЦ «Технологии XXI века» М.В. Кнатько за неоценимую помощь в проведении лабораторных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Богданов Е.Н.* О механических свойствах глинистых грунтов. Грунтоведение, 2012, №1, с. 62–70.

2. *Бойченко П.О.* Определение пределов пластичности и консистенции глинистых грунтов методом конуса. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964, 47 с.

3. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы определения физических характеристик. М., 1985, 24 с.

4. ГОСТ 27802-93. Глинозем. Метод определения угла естественного откоса. 1995.

5. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. 2003.

6. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочно-

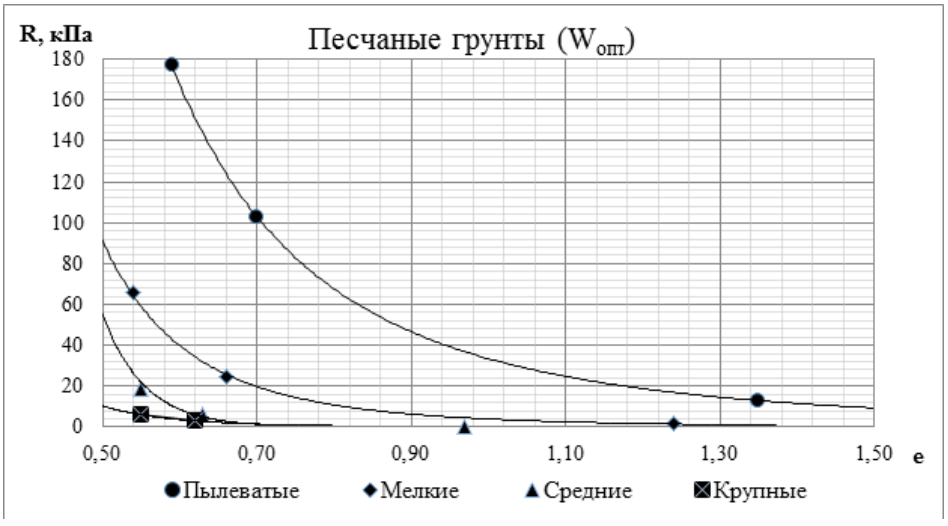

Рис. 7. Пески при оптимальной влажности

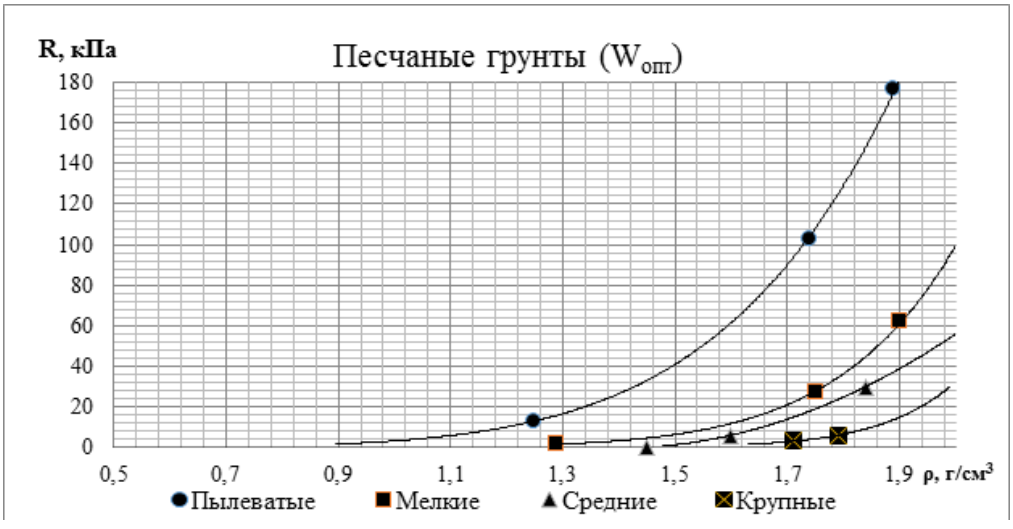

Рис. 8. Пески при оптимальной влажности

сти и деформируемости. М.: Стандартинформ, 2011, 78 с.

7. ГОСТ Р 54476-2011 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик сопротивляемости сдвигу грунтов в дорожном строительстве. 2012.

8. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013, 38 с.

9. *Здобин Д.Ю., Семенова Л.К.* Показатель текучести и консистенция — основные физико-химические показатели состояния грунтов. Инженерные изыскания. 2013, № 5, с. 28–33.

10. *Здобин Д.Ю.* Естественная прочность и деформируемость глинистых грунтов. Часть 1. Инженерная геология, 2015, № 3, с. 12-21.

11. *Здобин Д.Ю.* Естественная прочность и деформируемость глинистых грунтов. Часть 2. Инженерная геология, 2015, № 4, с. 30-35.

12. *Иваникова Н.П.* Методы исследования механических свойств грунтов. Санкт-Петербург, 1996, 93 с.

13. *Королёв В.А. Чжан Шэнжун.* Моделирование песчаных грунтов с заданными физическими и физико-механическими свойствами. Инженерная геология, 2015, №4, 6-17 с.

14. *Осипов В.И.* Природа прочности песков. Инженерная геология, № 3, 1984/, с. 7-19.

15. *Осипов В.И.* Природа прочностных и деформационных свойств глинистых грунтов. Москва: М., 1979, 201 с.

16. *Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А.* Микроструктура глинистых пород. М., Недра, 1989, 211 с.

17. *Охотин В.В.* Грунтоведение. СПб.: ЦГГ, 2008, 231 с.

18. *Потапов И.А., Потапов А.Д., Шименкова А.А.* Геоэкологическая оценка формирования прочности песчаных грунтов (в аспекте физико-химической теории эффективных напряжений). Вестник МГСУ, №2, 2013, с. 166-180.

19. *Разоренов В.Ф.* Пенетрационные испытания грунтов. М., Стройиздат, 1968, 182 с.

20. *Сергеев, Е.М.* Грунтоведение. М, МГУ, 1983, 392 с.

21. Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Part 6: Fall cone test. 2004.

DETERMINATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF SAND SOIL BY PENETRATION (FALL CONE TEST)

© 2017 E.A. Shergina, M.A. Lazdovskaya, D.Yu. Zdobin

Saint Petersburg state University,
Universitetskaya nab. 7/9, St. Petersburg, 199034 Russia;
eugeni15@mail.ru

The article considers questions of determination of the basic physical properties, especially density (ρ) and void ratio (e) of sandy soils by a fall cone test. The resulting rate is specific resistance invariant (R). On the basis of numerous experiments have been received dependences of physical properties of sandy soils on the specific resistance. The proposed method has a number of advantages that make it stand out among the rest. Firstly, simple tests and simple design of the device; secondly, the ability to explore the weak soils (silts, clays fluids); thirdly, the possibility of testing in the field, so dirt in the stationary laboratory. The proposed method can be very useful to determine the density of the addition of ground for the device of the roadway (mound) in the construction of linear structures.

Key words: Sand soils; physical properties; density; density degree; void ratio; specific resistance; penetration by a cone of constant mass.

УДК 624.131

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСА МОРСКИХ И ОЗЕРНЫХ ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЗРЕЗЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

© 2018 Л.П. Норова, Т.Н. Николаева

Санкт-Петербургский горный университет, 21 линия, 2,
Санкт-Петербург, 199106, Россия
larisanorova@rambler.ru, t_nikol56@mail.ru

В статье рассматриваются особенности строения разреза послеледниковых морских и озерных отложений. На конкретных примерах показаны типы строения разрезов, различающихся по составу, количеству органического вещества и мощности отдельных слоев. Дана сравнительная оценка свойств пород различных участков.

Ключевые слова: морские и озерные отложения, минеральный и гранулометрический состав, физико-механические свойства, типовой разрез.

Введение. Как известно, четвертичные отложения в Санкт-Петербурге залегают на неровной поверхности дочетвертичных пород венда и нижнего кембрия. В разрезе четвертичной толщи преобладают песчано-глинистые отложения разного генезиса, инженерно-геологические особенности которых определяются как условиями их формирования, так и спецификой действия природных и техногенных факторов. При этом можно рассматривать два типа четвертичного разреза: 1) отложения с незначительной либо ничтожно малой природной органической компонентой (например, озерно-ледниковые и моренные отложения); 2) толща, приуроченная к зонам погребенных болотных массивов различной мощности, вплоть до минимальной, либо содержащая отельные прослои, линзы торфов или включения органических остатков (например, озерные и морские отложения Анцилового озера и Литоринового моря).

Следует отметить непостоянство и неоднородность верхней части геологического разреза, взаимодействующей со зданиями и сооружениями как новой застройки, так и при реконструкции или благоустройстве старой исторической части города. Значимую роль при решении инженерно-геологических и геоэкологических вопросов играет комплекс песчано-глинистых морских и озерных голоценовых отложений, накопление которых связано с историей Балтийского моря – это иольдиевые, анциловые и литориновые слои.

Краткая характеристика истории развития отложений в послеледниковый период. Самый мелководный бассейн позднечетвертичной Балтики – Иольдиевое море, которое существовало примерно 700 лет. Наиболее характерным признаком, позволяющим уверенно выделять данные образования в разрезе, является наличие специфической биотурбационной текстуры. Такие текстуры присущи осадкам, в значительной мере переработанным илоедами и наиболее распространенным в приливно-отливных зонах морей, озерах и т.п.

Следующий этап развития связан с формированием опресненного Анцилового озера, заселенного пресноводной фауной. Анциловая трансгрессия достигла своего максимума 8,4 тыс. лет назад и длилась 0,9-1,0 тыс. лет. Образования Анцилового озера представлены мелкими и пылеватыми песками с примесью гравия, реже супесями и суглинками с растительными остатками. В нижней части описываемого интервала, как правило, отмечается горизонт, обогащенный органическим материалом. Период развития Анцилового озера оказался наиболее благоприятным для развития биотурбационых текстур. Появление пресноводных диатомовых водорослей свидетельствует об озерных условиях осадконакопления.

Литориновый этап (7.2-4.9 тыс. лет назад) наступил в результате потепления климата и поднятия уровня океана, что вызвало прорыв морских вод и образование Литоринового моря, в течение существования которого происходило несколько трансгрессивных фаз. При этом можно выделить прибрежный (волновой) и бассейновый (гравитационный) гидродинамические факторы седиментогенеза. Морской литориновый комплекс представлен литологическими разностями от песков до суглинков, гумусированными в разной степени [1].

Формирование отложений на изучаемой

территории происходило в условиях мелководья при неустойчивом гидродинамическом режиме. В наиболее глубоководных и удаленных от берега участках накапливались более глинистые разности. В результате нескольких морских трансгрессий в нестационарных условиях наблюдалось изменение солености бассейна, как одного из факторов влияния на физико-химические условия седиментогенеза. На стадии диагенеза в таких отложениях соленость бассейна проявлялась в степени агрегированности породы, возникновении тиксотропно-коагуляционных (по терминологии П.А. Ребиндера) и цементационных (за счет цементации минеральных частиц солями, а также органическими веществами) структурных связей.

Теплый климат, образование небольших озер за счет обмеления моря, которые со временем заболачивались, обогащение толщи, разложившейся в разной степени органикой и образование слоев и отдельных линз погребенных торфов, существование восстановительных условий в разрезе – характерные черты условий осадконакопления, имевшие место в литориновое и анциловое время. В зависимости от содержания органического вещества, восстановительные процессы диагенеза протекали с различной интенсивностью, в разной степени захватывая и преобразуя минеральную составляющую осадка и поровые растворы. Важную роль на начальном этапе диагенетического преобразования играли микробиологические процессы, а также минералы-индикаторы железа и другие элементы с переменной валентностью [1, 3, 4].

Распространение, условия залегания и литология. Современные отложения Литоринового моря и Анцилового озера образуют морскую террасу вдоль побережья Финского залива, протягиваясь вверх вдоль р. Невы. В западной части Приневской низменности, в пределах которой располагается Санкт-Петербург, выделяются два абразионно-аккумулятивных уровня. Береговая линия Литоринового моря хорошо сохранилась в рельефе. Нижняя терраса высотой до 9.0 м представляет собой пологонаклонную морскую равнину Литоринового моря. Граница ее распространения отмечена почти повсеместно сохранившимися абразионными уступами. Территория характеризуется высокой заболоченностью, выделяются зоны захоронения глубоких болотных массивов.

Литологический состав морских и озерных отложений представлен песками, супесями и суглинками серого и голубовато-серого цвета с прослоями хорошо разложившегося торфа. В суглинках, на некоторых участках, наблюдается слоистость, линзы и прослои пылеватых песков. Суглинки преимущественно развиты на площади, где, возможно, существовали наиболее глубоководные условия пребореального и бореального времени. Из других характерных особенностей можно выделить: невыдержанность отдельных слоев как по мощности, так и по простиранию; более грубые разности в прибрежной полосе бывшего Литоринового моря; увеличение дисперсности с глубиной; некоторую зональность в распределении песчано-глинистых морских осадков, связанную с системой р. Невы и подчиняющуюся закономерностям распределения ее твердого стока. Участки с разными видами взаимоотношения песчано-глинистых разностей озерного и морского генезиса в разрезе характерны как для центральной части города, так и прибрежных территорий Финского залива.

В конце 20-го столетия для оценки инженерно-геологических условий территории исторического центра города Санкт-Петербурга, как объекта реконструкции, проводилось инженерно-геологическое районирование. При этом особенности строения приповерхностной части разреза, включающей комплекс отложений после-позднеледникового возраста, рассматривались как основа для выделения участков районирования [5]. На основе типизации указанной части разреза все многообразие геологического строения было сведено к 4 типовым колонкам, краткая характеристика которых приведена ниже.

Участки с условиями типа I характеризуются наиболее широким развитием песчаных разностей (мощность изменяется от 6 до 15 м), в верхней части разреза местами обогащенных тонкодисперсной органикой. Наиболее распространенными в пределах рассматриваемой территории являются участки с условиями типа II, которые характеризуются ограниченным развитием песчаных отложений в верхней части разреза (мощность не превышает 2-6 м). Особенностью участков с условиями типа III является то, что за счет размыва части разреза здесь сохранились только глинистые разности над горизонтом морены. На участках с условиями типа IV разрез представляет собой переслаивание песков и супесей в разном соотношении, в толще отмечается наличие погребенного торфа и сильно заторфованных слоев [5].

Следует отметить, что, несмотря на то, что геологическое строение приповерхностной части четвертичного разреза, включающей комплекс отложений после-позднеледникового

возраста г. Санкт-Петербурга и его окрестностей, изучено сравнительно хорошо, имеется ряд вопросов по их стратиграфическому разделению. При проведении изыскательских работ на объектах города Санкт-Петербурга зачастую расчленить в разрезе озерные и морские отложения не представляется возможным. Поэтому на некоторых геолого-литологических колонках и инженерно-геологических разрезах толща отложений Анцилового озера и Литоринового моря обозначается как комплекс озерно-морских отложений (нерасчлененные - m,l IV). Для изучения геологического развития территории в после-позднеледниковое время необходима детальная и углубленная исследовательская работа.

Состав и физико-механические свойства морских и озерных отложений. Морские и озерные отложения представлены песками пылеватыми и мелкими, супесями и суглинками слабо литифицированными, с растительными остатками и заторфованными, иногда с прослоями погребенного торфа. Все разновидности этих отложений, как правило, содержат неравномерно распределенные примеси органических веществ различной степени разложения, что является особенностью их вещественного состава. Супеси и суглинки больше заторфованы. Часто встречаются гнезда, линзы или отдельные прослои торфа и заторфованных грунтов, образование которых соответствовало периоду регрессии моря и заболачивания местности. В верхних горизонтах торф слабо разложившийся, в средних и нижних – с более высокой степенью разложения. Это накладывает свой отпечаток на внешний облик морских и озерных отложений: их цвет обычно грязно-серый, бурый или черный. Нередко они имеют запах сероводорода.

Среднее содержание органических веществ, установленное при прокаливании до постоянной массы при температуре 525 °С и рассчитанное по уменьшению массы в % от абсолютно сухой навески грунта, показывает, что в глинистых разностях с редкими растительными остатками (по ГОСТ 25100-2011, табл. Б.22 – минеральные) эта величина не превышает 3%, в породах с примесью растительных остатков (там же – с примесью органического вещества) – 3-10%, в слабозаторфованных (там же – с низким содержанием органического вещества) - до 25-29%. Наличие органики определяет гидрофильность, влажность и плотность, а также механические свойства рассматриваемых отложений. Генетически они отличаются существованием активной микробиоты, деятельность которой особенно усиливается при наличии торфов в верхней части разреза.

Пески комплекса морских и озерных отложений, согласно архивным данным, относятся преимущественно к тонкозернистым разностям с высоким содержанием пылеватой фракции (название дано в соответствии с классификацией В.Д. Ломтадзе по содержанию преобладающей фракции). Анализ же гранулометрического состава 303 проб, охарактеризованных по ГОСТ 25100-2011 как пески пылеватые, показал, что они разделились по преобладающим фракциям следующим образом: алевриты со средним содержанием пыли 60% - 31 определение (10%); пески тонкозернистые (фракции 0.05-0.1 мм 68%) – 180 определений (59%); мелкозернистые (фракции 0.25-0.1 мм 60%) – 37 определений (12%); разнозернистые пески с преобладанием мелко- и тонкозернистой фракций – 55 определений (18%). Среди пылеватых песков алевриты, тонко- и мелкозернистые разности являются однородными, разнозернистые характеризуются как неоднородные.

Необходимо отметить, что классификация по преобладающей фракции наиболее полно отражает важнейшие свойства песков – прочность (сопротивление сдвигу), сжимаемость, капиллярность, размываемость и др., следовательно, гранулометрический состав песков в данном случае хорошо согласуется с их свойствами.

Такой же анализ выполнен для песков мелких: из 59 определений 43 пробы относятся к однородным мелкозернистым разностям (содержание фракции 0.25-0.1 более 70%), остальные - к разнозернистым с заметным содержанием среднезернистой фракции (27%). Пески, определенные как крупные по ГОСТ, являются разнозернистыми с отсутствием преобладающей фракции, поэтому они являются неоднородными. Гравелистые пески – это гравий песчаный с содержанием гравелистых фракций около 38% и грубозернистого песка 28%. Все разности, за исключением пылеватых песков (алевритов) хорошо промыты, содержание фракций менее <0.05 мм не превышает 5% (таблица 1).

Пески, как правило, водонасыщены, их влажность 20-31%. Плотность в среднем равна 1.96 г/см3 (50 определений). По величине коэффициента пористости (0.65-0.70) пески пылеватые и мелкие являются среднеплотными, хотя среди них есть как рыхлые разности, так и плотные. Нормативный модуль общей деформации составляет 12 МПа, угол внутреннего трения 29°, удельное сцепление 0.004 МПа.

Таблица 1

Гранулометрический состав песчаных отложений m,l IV [5]

Название песков по ГОСТ 25100-2011	Гранулометрический состав песка, %								
	Размер частиц, мм								
	>10	10-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.002	<0.002
Пылеватые	0-12 0 (303)			0-19 1 (303)	0-27 3 (303)	0-84 19 (303)	0-97 54 (303)	1-94 21 (303)	0-3 2 (303)
Мелкие		0-9 1 (59)	0-13 2 (59)	0-31 6 (59)	0-46 13 (59)	16-90 65 (59)	1-21 8 (59)	0-13 4 (59)	0-2 1 (59)
Средней крупности		0-16 3 (30)	0-27 7 (30)	4-40 20 (30)	18-46 38 (30)	9-43 20 (30)	0-27 8 (30)	0-6 3 (30)	0-4 1 (30)
Крупные	0-5 1 (18)	1-24 13 (18)	6-54 25 (18)	4-46 22 (18)	7-34 20 (18)	4-24 12 (18)	1-16 4 (18)	0-16 4 (18)	0-1 0 (18)
Гравелистые	0-22 8 (6)	17-39 29 (6)	9-42 28 (6)	5-25 17 (6)	4-12 8 (6)	1-19 8 (6)	1-6 2 (6)	0-2 1 (6)	

Примечание: в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее, в скобках – количество определений.

Морские и озерные голоценовые пески залегают на супесях, реже суглинках. Глинистые разности по гранулометрическому составу относятся к супесям легким и тяжелым, суглинкам средним и тяжелым, редко к глинам. Наименование грунтов дано по гранулометрическому составу, а не по числу пластичности (таблица 2).

Значения показателей физических свойств дисперсных связных грунтов, особенно влажности, пределов пластичности, имеют очень тесную корреляционную связь с содержанием органических веществ. Все разновидности морских и озерных отложений обычно имеют влажность, превышающую влажность на пределе текучести, высокую гидрофильность, поэтому их состояние оценивается как текучее, реже текучепластичное. Они относятся к наименее плотным и наиболее пористым разностям из всего четвертичного разреза. Грунты характеризуются отрицательными значениями показателя степени уплотненности (по В.А. Приклонскому): K_d = -0.31÷-3.75 для супесей и от 0.13 до -0.80 для суглинков.

Грунты характеризуются пониженным сопротивлением сдвигу даже в условиях предварительного уплотнения. Параметры прочности изменяются в зависимости от содержания растительных остатков и имеют следующие значения: угол внутреннего трения супесей от 15 до 30°, а суглинков от 9 до 21° при сцеплении соответственно 0.014-0.016 и 0.024-0.029 МПа. По компрессионным испытаниям модуль деформации супесей составляет 1.5-2.0 МПа, а суглинков 1.5-3.2 МПа. Грунты характеризуются как сильнодеформируемые.

Специфика последниковых нелитифицированных осадков озерно-морского генезиса на различных объектах. Послеледниковые отложения в целом весьма изменчивы как по мощности и условиям залегания слагающих грунтов, так и по составу, что можно проследить на четырех предлагаемых объектах. Их местоположение показано на схеме (рисунок 1).

При проведении лабораторных испытаний по изучению гранулометрического состава, состояния и физико-механических свойств

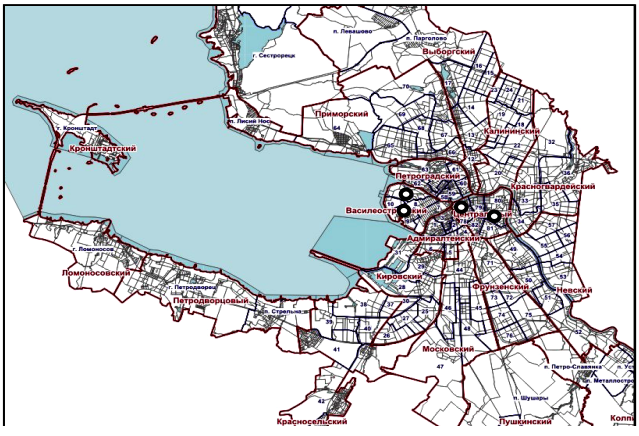

Рис. 1. Схема расположения объектов

Таблица 2

Гранулометрический состав и физические свойства морских и озерных супесей и суглинков m,l IV [5]

Грунт		Размер частиц, мм			Влажность, д.ед.			Число пластичности, $I_{Pи}$	Плотность, г/см3		Коэффициент пористости, e	Относительного содержания органического вещества, %
		Гранулометрический состав грунта, %			природная W	на границе			частиц грунта, ρ_s	грунта, ρ		
		>0.05	0.05-0.002	<0.002		текучести W_L	раскатывания W_P					
Супеси	с редкими растительными остатками	1-74 45(212)	2-92 49(214)	2-28 6(212)	17-40 28.0(105)	17-35 26.3 (35)	13-30 21.3 (35)	1-7 5.0 (35)	2.62-2.77 2.67 (67)	1.78-2.11 1.95 (58)	0.51-1.06 0.744(59)	0.09-4.3 2.17 (98)
	с примесью растительных остатков	2-64 32(34)	20-87 60(36)	3-17 8(37)	23-80 51.0 (46)	26-59 36.1 (9)	22-54 31.8 (9)	0-24 4.3 (9)	2.36-2.70 2.63 (38)	1.33-1.95 1.69 (42)	0.69-2.79 1.376(45)	2.3-10.8 5.78 (101)
	слабозаторфованные				47-171 96.5 (27)							10.3-28.6 17.9 (49)
Суглинки	с редкими растительными остатками	1-62 15(147)	31-92 68(147)	4-39 17(147)	13-52 28.8 (128)	25-51 31.4(99)	13-32 20.3 (99)	6-16 11.1 (99)	2.64-2.76 2.70 (55)	1.81-2.12 1.94 (54)	0.52-1.14 0.810(53)	1.4-6.7 3.0 (29)
	с примесью растительных остатков				20-102 54.4 (29)	24-71 43.8 (24)	17-38 27.3 (24)	6-33 16.5 (24)	2.58-2.66 2.62 (13)	1.49-1.74 1.64 (16)	1.20-2.22 1.493(17)	2.4-9.4 5.8 (27)
	слабозаторфованные				50-135 85.0 (11)	62-87 76.3 (3)	34-52 45.3 (3)	10-46 31.3 (3)	2.54-2.64 2.56 (3)	1.31-1.49 1.41 (5)	2.10-3.45 2.56 (5)	10.4-24.0 12.3 (10)

грунтов использовались соответствующие государственные стандарты. Исследования сопротивления сдвигу проводилось в одноплоскостных срезных приборах: а) на образцах ненарушенного сложения – неконсолидированный быстрый сдвиг, б) на образцах нарушенного сложения – консолидировано-дренированный сдвиг, в) деформационные свойства - в компрессионном приборе на образцах природного сложения в интервале давлений от 0 до 0.3-0.5 МПа.

Объект №1 (Васильевский остров). При бурении в 2016 г. скважины (абс. отм. устья 2.72 м) на территории Горного университета под техногенными песчано-суглинистыми грунтами (мощность 4 м) вскрыт слой морских и озерных пылеватых водонасыщенных серовато-коричневых песков средней плотности с редкими растительными остатками мощностью 5 м. В его средней части находится слой (1 м) пылеватой пластичной супеси серовато-коричневой с утолщенными прослоями песка и суглинка с примесью органических веществ. Завершает разрез морских и озерных отложений текучепластичный слоистый суглинок легкий пылеватый серого цвета, содержащий прослои супеси, песка и редкие растительные остатки. Комплекс озерно-морских отложений подстилается суглинками и супесями озерно-ледникового генезиса. Детальный разрез-колонка объекта приведен на рисунке 2.

Для характеристики минерального состава литоринового песка из описываемой скважины был проведен ситовой анализ пробы, показавший преобладание в ней фракции <0.1 мм (66.8%) и вдвое меньшее содержание 0.25-0.1 мм (31.5%). При микроскопическом анализе последовательно всех фракций отмечалась очень плохая окатанность обломков практически всех минеральных составляющих и присутствие большого количества разнообразных органических остатков растительного происхождения в виде фрагментов и оболочек стеблей растений, а также единичных округлых полых частиц, вероятно, семян растений размером от 0.5 до 0.25 мм. Кроме этого присутствовали тонкие угловатые плоские пластинки черного цвета, представляющие собой обломки алевритов, предположительно пропитанных углистым веществом, либо являющиеся остатками органического (растительного) происхождения (таблица 3).

Таблица 3

Результаты минералогического анализа морских песков m IV lt

Название минерала	Содержание минерала в классе, об. %							Содержание минерала в пробе, об. %
	Размер частиц, мм							
	>5.0	5.0-2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	<0.1	
Кварц		62.5	17.95	52.92	67.0	79.5	81.0	79.91
Полевые шпаты		37.7	12.82	9.97	15.8	16.5	15.0	15.42
Обломки алевролитов с глинистым цементом			2.56	11.68	12.0			0.13
Обломки алевролитов с углистым? цементом			17.9	8.93	1.8			0.04
Обломки осадочных (бокситоподобных? пород)				1.72				ед. зн.
Обломки магматических пород (гранитов)	100							0.37
Слюды (биотит, мусковит, хлорит)				3.44	1.4	1.0	1.0	1.0
Амфибол						2.0	3.0	2.63
Гранат					ед.	ед.		ед.
Гидроксиды железа (магнетит, лимонит)			20.5	1.72	0.4	ед.		0.02
Органические остатки (стебли растений, семена растений)			25.64	9.62	1.6	р е д . зн.	ед.	0.05
Глауконит?							ед.	ед.

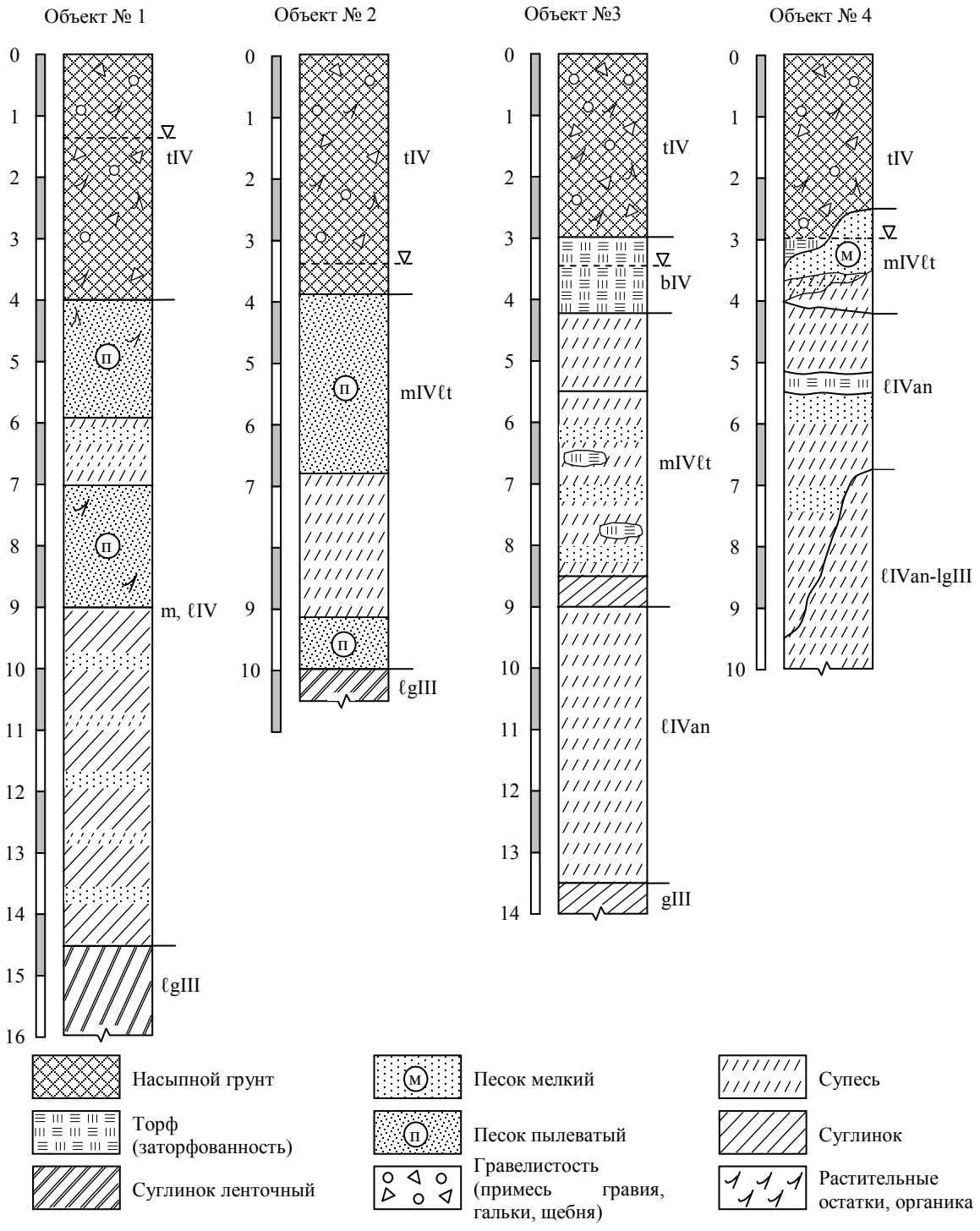

Рис. 2. Инженерно-геологические колонки-разрезы объектов

Псаммитовая фракция данной пробы состоит из обломков гранитов различной степени выветрелости. При этом ее основными минеральными составляющими являются кварц (79.91% содержания в пробе) и полевые шпаты (15.42%), представленные микроклином и кислыми плагиоклазами. Зерна первичных минералов имеют угловатую и полуокатанную форму. Также в заметном количестве в песчаных фракциях <1.0 мм присутствуют слюдистые минералы (6.84%) в виде плоских, расщепленных по спайности черных и темно-коричневых (биотит), бесцветных (мусковит) и зеленоватых (хлорит) обломков, причем в относительно крупных фракциях преобладает биотит, а в мелких наблюдается некоторое обогащение мусковитом. Во фракциях <0.25 мм присутствует заметное количество (2.63%) амфибола (роговой обманки) в виде остроугольных, реже полуокатанных удлиненных зерен черно-зеленого цвета с совершенной спайностью. В качестве второстепенных минералов обнаруживаются магнетит в виде угловатых тонких, сильномагнитных пластинок и лимонит, наблюдающийся

в виде цемента в единичных обломках алевролитов (в сумме составляют 0.02%). Среди аутигенных минералов встречается гидротроилит, характерный для морской аккумуляции с восстановительными условиями и активным разложением органического вещества.

Приведенный выше анализ минерального состава песчаной пробы коррелирует с данными В.М. Фурсы [6], согласно которым главными породообразующими минералами во всех рассматриваемых типичных разрезах являются кварц (40-62%) и полевые шпаты (26-49%), содержание слюды не превышает 15%.

Визуально и по результатам лабораторных исследований вскрытые на объекте №1 морские и озерные образования согласно ГОСТ характеризуются как пески пылеватые, супеси пылеватые и суглинки легкие пылеватые с органикой и редкими растительными остатками. В песчаных слоях преобладает фракция размером 0.25-0.1 мм (44-62%). Относительное содержание органических веществ в песках составляет 0.9%. Супесчаная разновидность имеет высокую влажность, равную 27.3%, величину плотности 1.97 г/см3, плотности минеральной части 2.68 г/см3, относительное содержание органических веществ 1.9% (таблица 4).

Объект № 2 (Васильевский остров). Площадка приурочена к нижней Литориновой террасе с абсолютными отметками дневной поверхности до 3.0 м. Комплекс литориновых озерно-морских отложений представлен толщей переслаивания песков мелких и пылеватых с супесями (см. рисунок 2). Распределение органического вещества в них характеризуется непостоянством (таблица 4), самые высокие значения отмечаются в более дисперсных отложениях. Супеси пылеватые слабозаторфованные текучие с относительным содержанием органических веществ 0.02-0.30 отличаются значительной и неравномерной сжимаемостью под нагрузкой. Они довольно устойчивы к действию статических нагрузок и значительно разуплотняются при динамическом воздействии (тиксотропия), что приводит к снижению их структурной прочности и, как следствие, увеличивает способность к деформируемости. После прекращения воздействия они упрочняются и быстро восстанавливают свою прочность.

Сдвиговые испытания показали, что наличие органического вещества снижает угол внутреннего трения в литориновых песках до 20-21° и одновременно способствует формированию сцепления, величина которого составляет 0.017–0.020 МПа (рисунок 3). Присутствие органических остатков определяет высокую гидрофильность супесчаных отложений, переводя их в категорию текучих грунтов, характеризующихся малой прочностью и высокой чувствительностью к динамическим воздействиям.

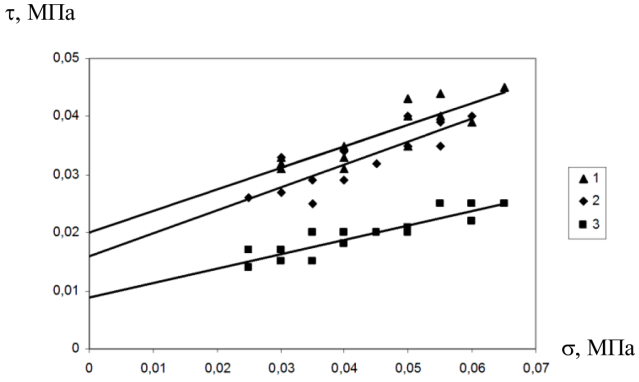

Рис. 3. Результаты испытаний озерно-морских морских и озерных отложений на сдвиг в одноплоскостных срезных приборах: а) пески мелкие с органикой; б) пески пылеватые с органикой; в) супеси с органикой

В диапазоне давлений от 0 до 0.1 МПа литориновые отложения имеют весьма высокую сжимаемость (а = 1.2-1.9 МПа-1) и весьма малые величины модуля общей деформации (рисунок 4).

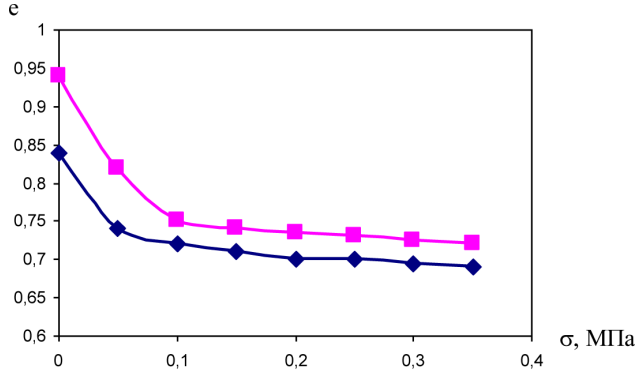

Рис. 4. Характерные компрессионные кривые литориновых супесей

Как показали проведенные лабораторные исследования, вся толща морских отложений в разрезе рассматриваемой строительной площадки может быть отнесена к слабым разностям, имеющим низкие показатели сопротивления сдвигу и малые величины модуля общей деформации.

Следует учитывать также такие факторы как высокая степень обводненности разреза, наличие природных биоценозов в заторфованных грунтах, низкие скорости движения подземных вод, которые создают благоприятные условия для активизации микробиологической

Таблица 4

Гранулометрический состав и физико-механические свойства грунтов

Интервал (глубина отбора), м	Размер частиц, мм. Гранулометрический состав грунта, %									Влажность, д.ед.			Число пластичности, I_P	Показатель текучести, IL	Плотность, г/см3		Коэффициент пористости, е	Относительного содержания органического вещества, %	Угол внутреннего трения φ	Удельное сцепление с, МПа	Гран.состав песков по классиф. В.Д. Ломтадзе
	>2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.002	<0.002	природная W	на границе: текучести W_L	на границе: раскатывания W_P			частиц грунта, ρs	грунта, ρ					
Объект № 1. Пески пылеватые, супеси пылеватые и суглинки легкие пылеватые с органикой и редкими растительными остатками (m,l IV)																					
4.2		0.2	0.5	2.4	61.7	23.8	6.7	3.8	0.9									0.9			м/з
6.2	0.5	1.9	7.2	12.1	50.0	15.7	8.3	3.0	1.2												м/з
7.0-7.2			0.6	3.9	8.9	23.9	44.0	10.7	8.0	0.260	0.273	0.210	0.063	0.79	2.68	1.97	0.717	1.9			
9.0				0.3	43.7	38.2	15.0	1.8	1.0												р/з
12.5-12.7				0.5	2.7	11.9	36.4	21.7	26.8	0.265	0.276	0.185	0.091	0.88	2.70	1.97	0.731				
Объект № 2. Пески пылеватые и супеси легкие текучие с органикой (m IV)																					
5.2-5.4	1	2	1	13	49	26	4	2	2						2.63				22	0.014	р/з
5.8-6.5	1	3	1	14	47	28	3	2	1						2.65			1.6	20	0.016	р/з
7.0-7.2		1	сл	5	14	51	21	4	4									30.1	10	0.012	
7.2-7.5			1	2	6	48	34	3	6									1.9	12	0.010	
9.2-9.4			сл	1	6	67	21	3	2						2.67				14	0.024	м/з
9.4-9.7				сл	12	74	12	1	1						2.65			10.0	17	0.021	м/з
Объект № 3. Супеси легкие с гнездами торфа и рассеянной органикой (m,l IV)																					
4.5-5.0	6	6	5	3	6	34	32	4	4	0.262								1.4	11	0.037	
5.4-5.8	сл	сл	1	4	4	47	35	4	5	0.290								1.5			
7.0-7.5	сл	сл	сл	сл	3	45	43	5	4	0.324								1.3			
9.5	сл	сл	сл	сл	14	69	10	3	4	0.229								1.3			
11.0	сл	1	сл	1	5	67	20	2	4	0.379								1.3			
12.0	сл	1	сл	1	6	61	24	3	4	0.360								1.2			
12.5-13.0	сл	1	1	1	5	53	30	5	4	0.338								1.3			
Объект № 4. Пески мелкие с органикой и супеси от легких до тяжелых (m,l IV)																					
3.0-4.2	сл	2	5	54	20	8	6	3	2	0.150					2.66			0.18			с/з
2.6-4.2		сл	1	38	53	4	1	1	2	0.180					2.66	1.89		0.15			с/з
2.6-4.0	1	4	8	44	22	14	3	2	2	0.170					2.66						р/з
2.5-4.0	сл	3	6	39	27	18	3	3	1	0.220					2.67						р/з
4.2-4.85	сл	сл	сл	27	47	10	6	4	6	0.140					2.67			0.55			
3.30-4.35			сл	2	6	50	22	11	9	0.190			0.01		2.67			0.48			

Примечание: Наименование песков по крупности приведено в соответствии с ГОСТ 25100-2011

деятельности. Активная микробиологическая деятельность приводит к формированию особого типа биохимической агрессивности водной и грунтовой среды по отношению к строительным материалам, металлам, бетону, кирпичу, строительным растворам, которая не учитывается действующими нормами и правилами [2].

Объект №3 (Центральный район). Инженерно-геологические работы на площадке проектируемого строительства выполнялись для проектирования 5-этажного жилого дома. Отложения Литоринового моря и Анцилового озера представлены толщей переслаивания суглинков и супесей. В верхней части разреза литориновые супеси с прослоями песка обогащены растительными остатками, в нижней части разреза преобладают серые неяснослоистые суглинки (см. рисунок 2).

Песчано-глинистые отложения характеризуются в основном легким составом с близким распределением фракций – супеси с высоким содержанием тонких песчаных частиц и крупной пыли. Гранулометрический состав супесей весьма близок к составу истинных плывунов, т.к. преобладают фракции 0.1-0.05 мм и 0.05-0.01 мм со средним содержанием, соответственно, 54% и 28%. Усиливает плывунные свойства этой толщи наличие микробиологической компоненты. Относительное содержание органических веществ в супесях варьирует в узком пределе от 1.3 до 1.5% (см. таблицу 4). Незначительное вибрационное воздействие переводит эти отложения в состояние «тяжелой жидкости», отбор которой при бурении крайне затруднен.

Глинистые разности комплекса морского и озерного генезиса по плотности и пористости характеризуются как весьма неоднородные и недостаточно уплотненные; они полностью водонасыщены и находятся в текучем состоянии. Показатель степени уплотненности (по В.А. Приклонскому) чаще имеет отрицательные значения.

Нормативные значения характеристик механических свойств рекомендованы следующие: c = 0.037 МПа, φ = 11°; нормативное значение модуля деформации в интервале давлений от 0 до 0.1 МПа по данным лабораторных испытаний – 7 МПа.

При оценке таких грунтов с целью устройства свайного фундамента их можно рассматривать как толщу, обладающую нулевым либо отрицательным трением. Это практически нелитифицированные грунты, уплотнение которых весьма проблематично в основании проектируемого сооружения.

Объект №4 (Центральный район). На данном объекте можно отметить высокую степень литологической неоднородности верхней части разреза, неравномерное распределение органического вещества как по разрезу, так и по площади. Диапазон изменения относительного содержания органического вещества составил 0.18-0.55%. Максимальные значения фиксируются в наиболее заторфованных грунтах.

Очень интересные результаты получены по данным оценки коэффициента фильтрации в компрессионных приборах. Как видно из данных, приведенных в таблице 5, коэффициент фильтрации песков при естественной влажности и плотности скелета 1.51-1.59 г/см3 за счет кольматации имеет низкие величины, нехарактерные для песков средне- и мелкозернистых. В воздушно-сухом состоянии этот параметр увеличивается на 1-2 порядка.

Таблица 5

Необходимо иметь в виду, что в условиях естественного залегания исследуемые пески характеризуются наличием сцепления за счет

Таблица 5

Величины коэффициента фильтрации песчаного грунта (объект №4)

Интервал, м	Испытания				
	при естественной влажности			в воздушно-сухом состоянии	
	wест, %	ρ_d, г/см3	$K_ф$, м/сут	ρ_d, г/см3	$K_ф$, м/сут
3.2-3.7	13	1.55	4.2 ·10-2	1.51	6.1
3.4-3.5	15	1.51	7.8·10-2	1.50	6.0
3.3-3.6	18	1.54	7.0·10-2	-	-
3.6-4.0	15	1.54	1.7·10-3	1.40	2.5
3.6	13	1.59	4.0·10-2	1.50	7.8
3.45-3.75	-	-	-	1.56	4.1
4.4-4.75	-	-	-	1.58	1.3

формирования на их зернах клеящей органической пленки и снижением угла внутреннего трения. Для средне-мелкозернистых песков при выполнении сдвиговых испытаний угол внутреннего трения составил 18-21°, сцепление характеризовалось величинами 0.01-0.014 МПа. По мере увеличения содержания тонкозернистой и пылеватой фракции φ снижается до 13-16°, а сцепление увеличивается до 0.025 МПа.

Модуль общей деформации по данным компрессионных испытаний характеризуется весьма низкими значениями. В интервале давлений 0-0.1 МПа модуль деформации песков варьирует в пределах 2.3-9.8 МПа, а в интервале 0.1-0.3 МПа увеличивается до 14.6-21.2 МПа.

Следует учитывать также уровень загрязнения подземных вод и водонасыщенность грунтов в пределах рассматриваемой площадки. Наличие в разрезе природного и техногенного органического вещества способствует формированию зон с восстановительными условиями, развитию негативных процессов в обводненной толще (возникновение плывунности в песчаных отложениях, повышение тиксотропности песчано-глинистых грунтов и др.), а также возникновению дефицита несущей способности грунтов основания.

Заключение. В том случае, если рассматриваемые грунты морского и озерного генезиса являются основанием фундаментов или средой для коммуникаций (трубопроводов, коллекторов и кабельных сетей), подвальных помещений, подземных переходов, необходимо учитывать особенности их состава, строения, свойств и пространственной неоднородности. Детально охарактеризованная инженерно-геологическая обстановка городской территории позволит выбрать при проектировании наиболее правильные решения для выполнения строительных работ и уменьшить их негативное воздействие.

Разрез отложений морского и озерного генезиса должен рассматриваться не только с позиции их геолого-генетической принадлежности, но и с точки зрения анализа природной органической компоненты (погребенные торфа, рассеянная органика) в песчано-глинистых образованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Блажчишин А.И.* Главные этапы истории Балтийского моря// Геологическая история и геохимия Балтийского моря. М.: Наука, 1984. - с. 98-105.

2. *Дашко Р.Э.* Геоэкологические проблемы трансформации окислительно-восстановительной обстановки в грунтовых водах и дисперсных породах /Е.С. Руденко, Л.П. Норова // Записки СПГГИ (ТУ). Т.1 (142). Экология. СПб, 1995. - с. 194-207.

3. *Лисицын А.П.* Процессы океанской седиментации// Литология и геохимия. М.: Наука, 1978, 392 с.

4. Микробиологические и химические процессы деструкции органического вещества в водоемах //Сборник научных статей. Л.: Наука, 1979, 264 с.

5. Отчет об инженерно-геологическом и гидрогеологическом картировании Ленинграда в масштабе 1:25 000 и 1:50 000 для обоснования Генерального плана развития города с учетом использования подземного пространства (часть I - 1984 г. часть II - 1989 г.). Фонды Ленинградской экспедиции «Севзапгеология».

6. *Фурса В.М.* Строительные свойства грунтов района Ленинграда. Л.: Стройиздат, 1975, 142 с.

VARIABILITY OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES IN THE MARINE AND LACUSTRINE COMPLEX HOLOCENE SEDIMENTS IN THE SECTION SAINT PETERSBURG

L.P. Norova, T.N. Nikolaeva

Saint-Petersburg Mining University,
2, 21st Line, St Petersburg 199106, Russia
E-mail:, larisanorova@rambler.ru, t_nikol56@mail.ru

Abstract. The article discusses the features structure of the section post-glacial marine and lacustrine deposits. In specific examples illustrate the types sections structure differing in composition, quantity of organic matter and thickness of the various layers. A comparative assessment of the soils properties in different areas is given.

Keywords: marine and lacustrine sediments, mineral and granulometric composition, physical and mechanical properties, type section.

УДК 624.131:551.3

АНАЛИЗ ПРИРОДНОЙ ОБСТАНОВКИ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТОРФОВ И ЗАТОРФОВАННЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

© 2018 Е.Г. Вержбицкая

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
199106, Санкт-Петербург, ВО, 22 линия, 1, e-mail: ekaterina_dem@mail.ru

Наличии в разрезе торфов и заторфованных отложений определяет специфику природной обстановки и инженерно-геологические условия территории. Принципиальное значение имеет происхождение и условия залегания торфяных образований, которые являются отложениями особого состава, состояния и свойств, и вызывают определенные трудности как на стадии инженерной подготовки и строительства зданий и сооружений, так и в эксплуатационный период. В то же время необходимо учитывать геолого-литологические особенности строения постилающей толщи песчано-глинистых грунтов, которые рассмотрены на примере г. Санкт-Петербурга, специфика инженерно-геологических условий которого определяется широким развитием погребенных болот.

Ключевые слова: торф, заторфованные отложения, инженерно-геологические условия, песчано-глинистые грунты, инженерная подготовка территории, погребенные торфяные отложения, техногенные образования.

При проектировании и строительстве зданий и сооружений различного назначения в зонах распространения торфов и заторфованных грунтов большое значение приобретает анализ природной обстановки и инженерно-геологических условий. Так подход к оценке торфяных отложений как основания зданий и сооружений в значительной степени зависит от того, является ли торф открытым или погребенным.

Происхождение и строение торфяных залежей открытого типа характеризуется большим разнообразием. Рассматриваются следующие типы болотных образований: а) плавающие торфяники, образующиеся при зарастании озер; б) торфяники, подстилаемые сапропелями; в) торфяники, заполняющие болота. Первые два типа болотных образований совершенно не пригодны в качестве естественного основания сооружений, в свою очередь, третий тип торфяников может служить основанием только для легких зданий, величина расчетного сопротивления основания и осадки которых будет зависеть от физико-механических свойств торфа, характеризующихся малыми значениями плотности и весьма большой сжимаемостью.

Поскольку строительство тяжелых зданий на открытом торфяном массиве практически исключено из-за огромной сжимаемости торфа, при строительстве слой торфяных отложений в основании возводимого сооружения прорезают и фундаменты закладываются на подстилающем минеральном грунте. Если мощность торфяного слоя превышает 4 метра, то устройство фундаментов методом прорезки сопряжено со значительными производственными трудностями, вследствие чего более рационально переходить на свайное основание.

При возведении зданий и сооружений в районах развития болот одной из важнейших задач является выбор способа подготовки территории строительной площадки. В настоящее время основными способами служат осушение, намыв (подсыпка), выторфовование или их комбинирование. Анализируя возможность их реализации, необходимо учитывать механические свойства торфяных отложений, а также процессы консолидации и ползучести при их уплотнении.

Опыты многих исследователей показали, что торф очень неоднороден, поэтому для получения более ясной картины по всему массиву следует подвергать испытаниям большее количество образцов, чтобы впоследствии была

возможность статистической обработки.

Рассматривая основные способы подготовки территории, следует начинать с осушения торфяного массива, которое осуществляется системой глубоких дрен с последующим понижением уровня грунтовых вод. В результате этого происходит снятие фактора взвешивания, увеличение плотности торфа, а, следовательно, некоторое уплотнение, подсушивание и стабилизация его поверхности. Осушение является относительно дешевым методом, но обладает значительными недостатками как в период производства работ по осушению и строительству, так и в период эксплуатации сооружений.

Осушение — процесс очень длительный и малоэффективный. Опыт строительства показал, что осушение продолжается десятки лет, поскольку торф, как уже упоминалось выше, обладает малой водоотдачей и водопроницаемость его при уплотнении снижается [1].

Наиболее распространенным в настоящее время способом подготовки территории является подсыпка, заключающаяся в том, что на поверхность торфа отсыпается или намывается слой минерального грунта. Этот вариант рассматривается как наиболее целесообразный, поскольку считается, что под действием нагрузки происходит улучшение строительных свойств торфа. Наиболее часто используют подсыпку (намыв) песчаным грунтом, предполагается, что песчаный слой не только сам быстро и хорошо уплотняется, но и является дренирующим слоем, ускоряя тем самым консолидацию торфа. Если подсыпка выполняется глинистым грунтом, то торф впоследствии дренируют. При равнинной территории необходимо проводить дренирование намытого слоя.

Наиболее трудоемким способом инженерной подготовки территории, но в тоже время наименее опасным, с точки зрения строительства и дальнейшей эксплуатации зданий и сооружений, является выторфовование, заключающееся в полном удалении торфа и замене его минеральным образованиями. Данный метод обладает существенными достоинствами, поскольку строительство можно вести сразу после отсыпки грунта, который является готовым основанием дорог, коммуникаций, а в ряде случаев зданий и сооружений. Однако метод является очень дорогим, если осуществляется сплошное выторфовование на большой площади, поэтому, как правило, применяется только местное выторфовование под линейными сооружениями (дорогами) или отдельными зданиями [5].

Погребенные торфяные отложения можно условно подразделить по условиям залегания на шесть типов. Первый тип – погребенный торф, встречающийся в толще аллювиальных отложении. Пойменные террасы часто заболочены, при поднятии базиса эрозии речные наносы заполняют долину, и торфа остаются под слоем минеральных грунтов. Следует отметить, что, если в дальнейшем произойдет опускание базиса эрозии и река размоет свои наносы, торф может оказаться выше уровня воды, в ряде случаев торфяной слой, образовавшийся на террасах речной долины, перекрывается делювием. Данный тип погребенных торфяных образований встречается в г. Санкт-Петербурге на правом берегу р. Большая Невка.

Ко второму типу относятся погребенные линзы торфа, образующиеся в процессе заболачивания стариц и постепенного покрытия их минеральными наносами.

Третий тип – торф, смытый текучими водами, например, ледниковыми, с места своего образования, переносился и откладывался в другом месте, а затем перекрывался отложениями минеральных грунтов. В этом случае характерно залегание торфа в виде отдельных пятен, линз, оторванных друг от друга и имеющих небольшую толщину – от нескольких сантиметров до метра. Торфяные образования подобного типа встречаются в г. Санкт-Петербурге на правом берегу р. Невы (Охта).

Погребенный торф, встречающийся в районах побережий древних морей, относится к четвертому типу. Во время регрессии моря обширные абразионные площадки выходили из-под воды и становились сушей, равнинность которой способствовала образованию торфяников, позднее перекрытых минеральными наносами при новой трансгрессии моря.

Пятый тип погребенных торфов распространен в прибрежных районах современных рек и морей, где образуется береговой вал, за которым в пониженных участках рельефа происходит скопление воды и дальнейшее заболачивание. Постепенно торф перекрывается минеральным грунтом (делювий, дюны и др.).

Шестой и наиболее часто встречающейся тип залегания — торф, который в ходе инженерной подготовки территории, как уже указывалось ранее, был перекрыт техногенными образованиями: насыпными либо намывными грунтами. Данный тип погребенных торфяных образований имеет широкое распространение по всей территории г. Санкт-Петербурга.

Искусственно отсыпанные и намытые породы достаточно однородны, плотность сложе-

ния их определяется временем естественного уплотнения или интенсивностью искусственного уплотнения. Следует особо отметить и насыпные грунты, представленные свалочными массами, которые в настоящее время имеют достаточно широкое распространение и являются источником различных загрязнений и процессов, усугубляющих контаминацию и негативную трансформацию природной среды.

Рассматривая погребенный торф в качестве естественного основания зданий, необходимо учитывать, что торфяной слой делает основание сильно сжимаемым и при неравномерной мощности, находясь под частью сооружения, является причиной неравномерных осадок. Возможность возведения зданий на основании с линзами и прослоями погребенного торфа зависит от точности инженерно-геологических изысканий, свойств торфа и степени подготовленности сооружений к возможным неравномерным осадкам.

Инженерно-геологические условия районов развития болот и заторфованных грунтов необходимо рассматривать и с точки зрения геолого-литологических особенностей строения постилающей толщи песчано-глинистых грунтов. Так особенности формирования торфяных отложений в пределах г. Санкт-Петербурга и анализ исторических аспектов инженерной подготовки территории города позволили выделить два типа разреза: I тип – разрез зоны погребенных болотных отложений под техногенными образованиями; II тип – разрез зоны снятых болотных отложений, каждый из которых можно разделить на подтипы, в зависимости от геолого-литологических особенностей строения постилающих песчано-глинистых грунтов.

Вследствие того, что полное снятие болотных отложений обычно производилось при их мощности, не превышающей 2-3 метра, а большинство торфяников в процессе освоения территории города были погребены под слоем насыпных и намывных техногенных образований, можно говорить о преобладании на территории города разреза I типа.

Тип I-а – имеет распространение в пределах первой Литориновой террасы, характеризующейся низкими абсолютными отметками дневной поверхности и, как следствие, наличием болотных образований низинного типа, развитие которых в этом случае происходит на отложениях Литоринового моря. Такие грунты отличаются чрезвычайной пестротой литологического состава и невыдержанностью отдельных слоев как по мощности, так и по простиранию, что объясняется весьма различными условиями осадконакопления, имевшими место в литориновое время.

Необходимо подчеркнуть, что болотная микробиота может мигрировать на значительную глубину, определяя тем самым негативную трансформацию нижележащей толщи песчано-глинистых отложений.

Ниже погребенных торфов литориновые отложения характеризуются высокой микробиологической пораженностью, определяемой по величине суммарного белка, изменяющегося в пределах 193-256 мкг/г. Пески, в которых отмечается активная микробная деятельность, проявляют ярко выраженные плывунные свойства. Присутствие микробиоты и продуктов ее метаболизма приводит к формированию биопленок на частицах и заполнению порового пространства бактериальной массой, что, в свою очередь, резко снижает фильтрационную способность песков, их водоотдачу и внутреннее трение, провоцируя тем самым образование плывунов [2].

Болотные отложения в пределах второй Литориновой террасы залегают на озерно-ледниковых (разрез типа I-б) и моренных (разрез типа I-в) образованиях. Озерно-ледниковые грунты, подстилающие торфяные отложения, представлены, в основном, песчано-глинистыми грунтами с текучепластичной и текучей консистенцией, характеризующимися высокой пылеватостью. Эти отложения классифицируются как сильно- и неравномерно сжимаемые, с высокой способностью к тиксотропным изменениям при динамических воздействиях.

Формирование болот на моренных глинистых отложениях (разрез типа I-в), приводит к появлению особого вида этих образований, несущих на себе все признаки оглеения, что сказывается на внешнем облике, составе и физико-механических свойствах морены. Подобные морены имеют сизые, темно-серые, голубоватые и зеленоватые оттенки, характеризуются наличием органических компонентов биотического и абиотического генезиса, которые, в связи с наличием в данных отложениях микротрещин различного генезиса, могут проникать на значительную глубину, предопределяя снижение ее прочности и повышение деформационной способности.

Тип разреза I-г – болотные отложения перекрывают нижнекембрийские синие глины, представляющие собой в верхней части разуплотненные и разупрочненные отложения и характеризующиеся наличием нетектонической и тектонической трещиноватости, интен-

сивность которой возрастает в зонах, примыкающих к разломам.

Анализируя различные виды и способы подготовки территории, нельзя не учитывать влияние торфа как биогенного грунта с высоким содержанием микробного компонента, способного за счет капиллярного поднятия проникать в вышележащие техногенные отложения с последующим их преобразованием в слабые неустойчивые разности, частично утратившие свои функции как основания сооружений. Особенно опасно использование в качестве насыпных грунтов мелкозернистых песков, поскольку данные разности под влиянием болотной микробиоты способны переходить в плывунное состояние [4].

В свою очередь наличие техногенных образований может послужить источником дополнительного поступления загрязняющих компонентов и микробиоты в торфяные грунты и подстилающие песчано-глинистые отложения.

Анализируя II тип разреза, а именно, разрез зоны снятых болот, можно выделить такие же подтипы, как и в первом случае, с условием замены в процессе освоения территории торфяных образований слоем насыпных или намывных техногенных грунтов. Следует подчеркнуть, что даже полное удаление торфяных отложений в ходе инженерной подготовки территории не изменяет специфику состояния и свойств нижележащих грунтов, а также их микробную пораженность.

Рассматривая различные типы разрезов, необходимо отметить, что болотные отложения служат природным фактором биохимической газогенерации в подземном пространстве города. Этот процесс связан с деятельностью определенных физиологических групп микроорганизмов – метанобразующих, водородобразующих, сульфатредуцирующих и др. – которые образуют газы в процессе преобразования органических соединений (т.е. гетеротрофные формы), служащих для них источником углерода для построения клетки и энергии. В ходе инженерной подготовки торфяные грунты часто перекрывались техногенными образованиями с низкой водо- и газопроницаемостью, что приводило к снижению аэрируемости верхней части разреза и, как следствие, активизации анаэробных микроорганизмов, в первую очередь, метанообразующих бактерий, требующих для своей жизнедеятельности наиболее низких значений redox – потенциала [3].

При освоении болот и заболоченных территорий для различных видов строительства принципиальное значение имеет происхождение и условия залегания торфяных образований. Торфа и заторфованные породы, являясь отложениями особого состава, состояния и свойств, вызывают определенные трудности как на стадии инженерной подготовки и строительства зданий и сооружений, так и в эксплуатационный период.

Изложенный выше анализ инженерно-геологических условий территорий дает возможность наиболее корректно подойти к выполнению инженерных изысканий на соответствующих этапах освоения и использования территории в г. Санкт-Петербурге, в котором одним из важных природных факторов являются захороненные болота и торфяные отложения. Такой подход позволит наиболее точно определить необходимые и достаточные виды и объемы работ для решения вопросов обеспечения прочности, устойчивости и надежности объекта реконструкции или строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Винокуров Ф.П., Тетеркин А.Е., Питерман М.А.* Торф в строительстве. Минск, Изд. АН БССР, 1959 г.

2. *Дашко Р.Э., Карпова Я.А.* Роль микробиоты при изучении состояния и свойств дисперсных грунтов и развитии и инженерно-геологических процессов (на примере Санкт-Петербурга). Грунтоведение, 2012, №1, с. 40-45

3. *Дашко Р.Э., Норова Л.П.* Анализ геоэкологического состояния подземного пространства (ПП) исторического центра Санкт-Петербурга. Международный симпозиум «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий» «EngGeolCity-2001». Екатеринбург, Россия, 30 июля-2 августа 2001 г.

4. *Дашко Р.Э., Волкова А.В., Захарова Е.Г.* Инженерно-геологический и геоэкологический анализ и оценка условий строительства и эксплуатации зданий и сооружений в историческом центре Санкт-Петербурга // Материалы годичной сессии Научного совета РАН «Сергеевские чтения», вып.5, ГЕОС, Москва, 2003 г.

5. *Морарескул Н.Н.* Основания и фундаменты в торфяных грунтах. Л., Стройиздат, 1979 г.

ANALYSIS OF NATURAL ENVIRONMENT AND ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS IN THE AREA OF DISTRIBUTION OF PEAT AND BY PEATY SOILS FOR THE PURPOSES OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES (EXAMPLE OF THE CITY OF ST.PETERSBURG)

© 2018 E.G. Verzhbitckaia

National mineral resources university (university of mines)
199106, St. Petersburg, V.O., 22 line, 1

The presence in the context of peat and braked deposits determines the specifics of the natural environment and geological conditions of the territory. The origin and conditions of peat formations, which are deposits of special composition, state and properties, and cause certain difficulties both at the stage of engineering preparation and construction of buildings and structures, and during the operational period, are of fundamental importance. At the same time, it is necessary to take into account the geological and lithological features of the structure of the underlying thickness of sand and clay soils, which are considered by example of the City of St. Petersburg, the specificity of engineering-geological conditions which is determined by the broad development of buried swamps.

Key words: Peat, by peaty deposits, engineering-geological conditions of sandy-clay soils, engineering preparation of territory, buried peat deposits, technological education

УДК 624.01; 502.3/.7

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ ГОРНЫХ ПОРОД

© 2018 М.В. Кнатько*, С.Ю. Жабриков*, Д.М. Кнатько**

**ООО «НТЦ»Технологии XXI века»,*
190068, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр., 7 лит. А, Россия,
office@nw-tech.ru
***Высшая школа менеджмента Санкт-Петербургского государственного университета,*
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. д.7-9, Россия,
d.knatko@spbu.ru

В статье рассмотрен опыт использования в строительстве технической мелиорации грунтов, как метода управления свойствами горных пород, для предотвращения оползневых процессов, укрепления бортов и днища котлованов, изменения несущей способности грунтов при строительстве зданий и сооружений. Сочетание геохимического преобразования горных пород, регулирования гидрорежима грунтовых массивов и создание послойных «сэндвич» структур с заданными свойствами на границах разделов обеспечивает повышение безопасности и долговечности зданий и сооружений, а также значительную экономию средств при их строительстве. Дано описание ИММ-технологии получения минеральных геополимеров на основе местных грунтов (супесей, суглинков и глин), для создания конструкционных материалов, и технологическая последовательность производства работ.

Ключевые слова: техническая мелиорация, управление свойствами горных пород, геополимерные материалы, геополимеры, подпорные конструкции, здания и сооружения, строительство

Введение. Стоимость строительства подземной части большинства зданий гражданского и промышленного назначения составляет порядка четверти стоимости всех строительно-монтажных работ по их возведению. Справедливость этой оценки зависит от инженерно-геологических условий участка строительства и от типа возводимых зданий. В случае неблагоприятных инженерно-геологических условий эта оценка может оказаться заниженной. К неблагоприятным условиям строительства можно отнести наличие просадочных или слабых грунтов в основании возводимых зданий и сооружений, а также наличие на участке строительства экзогенных процессов, в т. ч. оползневых явлений. Традиционно строительство в таких условиях сопряжено с большим объемом земляных работ по замене местных грунтов, не удовлетворяющим требованиям строительства, привозными нерудными строительными материалами (песками или крупнообломочными материалами), а также с необходимостью возведения железобетонных и/или шпунтовых конструкций для укреплений оползнеопасных участков [1-2, 10-13]. Дополнительно нарушение в процессе строительства сложившегося геологического равновесия может приводить к негативным процессам, таким как снижение физико-механических характеристик грунтов за счет их обводнения при разгрузке и изменение гидрорежима грунтового массива, суффозионным процессам, за счет создания новых путей разгрузки грунтовых вод, барражным эффектам. Получение адекватного описания инженерно-геологических условий предполагаемого участка строительства и его анализ позволяют предусмотреть необходимые мероприятия и набор технологий для предотвращения негативных процессов и снижения затрат на строительство. Расширение применяемого набора геотехнических решений позволяет оптимизировать строительство с учетом многообразия инженерно-геологических условий. Одним из путей расширения применяемого набора геотехнических решений в строительстве служит техническая мелиорация грунтов. Она позволяет изменять инженерно-геологические условия участка строительства, а также создавать на основе местных грунтов комплексы техногенных грунтовых элементов с заданными физико-механическими и фильтрационными свойствами, упреждающие или минимизирующие возникновение или протекание возможных негативных процессов. Основой этого подхода служит понижение или стабилизация водонасыщения грунтов, геохимическое преобразование грунтов в целях получения требуемых физико-механических характеристик, а

также создание структурных связей в грунтовом массиве, обеспечивающих совместную работу всех грунтовых и техногенных элементов в качестве единой конструктивной системы. Этот комплекс обеспечивает управление свойствами горных пород для создания благоприятных условий строительства и упреждения негативных геологических процессов по отношению к измененным в результате строительства инженерно-геологическим условиям.

Для этих целей применяются материалы и технологии, включающие широкий спектр решений с применением геополимерных материалов, таких как георешетки и геосетки для армирования грунтовых массивов, нетканые материалы для разделения грунтовых элементов в создаваемых техногенных грунтовых массивах, а также фильтрирующие материалы, как на основе природных грунтов, так и геополимеров. В сочетании с геополимерными материалами применяются минеральные геополимеры, производимые из местных грунтов путем их геохимического преобразования.

Геохимическое преобразование грунтов для их геополимеризации осуществляется на основе теории синтеза неорганических вяжущих в дисперсных средах [7] получившей развитие в создании ИММ-технологии [5]. ИММ-технология включает внесение реагентов выводящих грунт естественного сложения из химически равновесного состояния и установление нового равновесного состояния с заданными физико-химическими параметрами, формование техногенного грунтового элемента с достижением максимальной плотности и минимальной пористости. При трансформации грунта происходит коагуляция микродисперсных частиц, образование структурных связей и цементационные процессы. При преобразовании глинистых грунтов это преобразование получило название минеральной геополимеризации за счет объемной сшивки глинистых минералов в единую связную структуру [6]. Сформированный из местного грунта по ИММ-технологии техногенный грунтовый элемент имеет проектную механическую прочность, близкую к максимальной плотность и низкий коэффициент фильтрации.

Укрепление откосов, сложенных обводнёнными тиксотропными грунтами. Строительство зданий и сооружений на или вблизи откоса сложенного в основном тиксотропными пылеватыми супесчаными и суглинистыми грунтами с различными физико-механическими и фильтрационными свойствами, присутствием локальных водоупоров, с переслаиванием грунтовых элементов сопряжено с возможностью опасных геологических процессов в зоне строительства, к основным из которых можно отнести возможные оползневые процессы, выпор грунта в нижележащей части склона, вследствие давления зданий на грунт, и размыв грунтовой насыпи под фундаментом зданий. Примером таких условий строительства может служить северная оконечность Санкт Петербурга и прилегающие районы Ленинградской области. На рисунке 1 показаны исходные геологические условия откоса, вблизи которого производится строительство многоквартирного жилого дома и автомобильного проезда [3]. Откос сформирован не природными процессами, а является результатом стыковки территорий, отличающихся различными вертикальными планировочными отметками. В условиях холмистой местности этих районов различие вертикальных отметок участков застройки может достигать 15 метров. Расчеты показали, что нагрузка от строящегося дома может привести к выпору обводненных пылеватых песков и сверхнормативным осадкам здания, а воздействие дождевых и талых вод может привести к обводнению грунтов откоса и их эрозии. Следствием последнего будет создание условий оползнеобразования, разрушения грунтового основания дороги и здания.

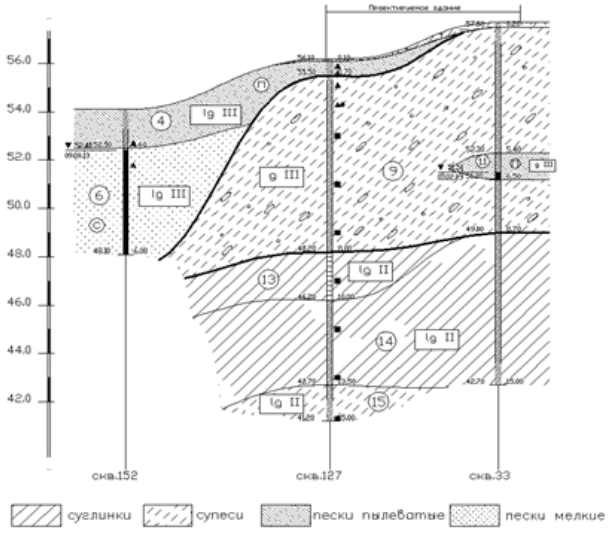

Рис. 1. Геологическое строение откоса

В целях предотвращения этих негативных процессов возможно применение комплекса мероприятий показанного на рисунке 2-а [4]. Как видно из рисунка по склону холма устраивается наклонная «сэндвич» конструкция, состоящая из наклонной подпорной стены из минерального геополимера и дренажного

песчаного элемента связанных послойно георешетками или геосетками. Наличие дренажного песчаного элемента и вывод воды из него за пределы стены обеспечивает появление поверхности депрессии УГВ вглубь холма, как показано на рисунке 2-б. Физико-механические характеристики грунтов естественного сложения в области дренирующего действия песчаного элемента повышаются вследствие снижения водонасыщения грунтов. В результате образуется наклонный объединенный грунтовый массив, состоящий из подпорной стены из минерального геополимера, песчаного элемента и грунтового массива с улучшенными физико-механическими характеристиками грунтов, препятствующий возможности проявления опасных геологических процессов. Смещенный центр тяжести этого комплекса компенсирует возможное боковое давление грунта с учетом нагрузок на грунтовый массив от зданий и сооружений. Система дренажа обеспечивает постоянство характеристик грунта и невозможность суффозионных процессов.

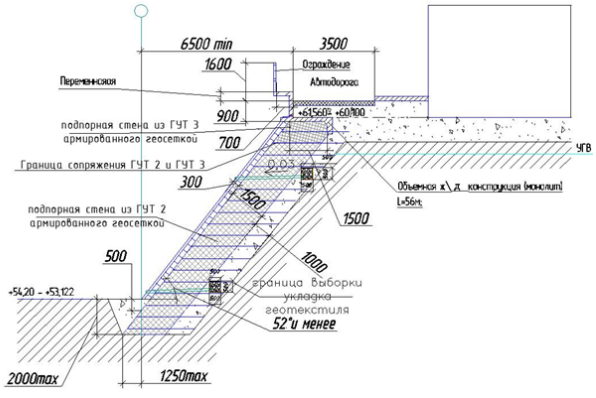

Рис. 2-а. Комплекс мероприятий по предотвращению негативных геологический явлений склона холма с перепадом высот 7- 8 м.

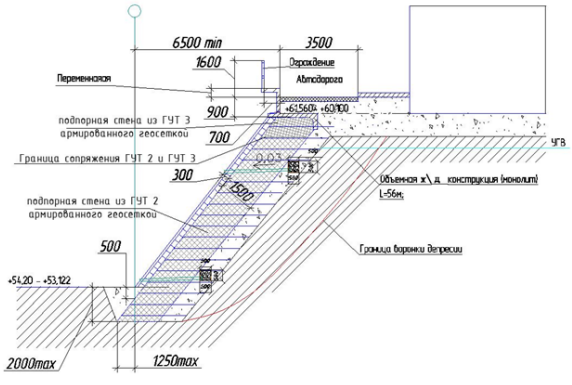

Рис. 2-б. Контур формирование воронки депрессии

Строительство такого комплекса укрепления откоса производится послойно снизу вверх. Для этого в основании откоса выполняют выборку траншеи под основание подпорной стены и послойно заполняют ее минеральным геополимером слоями высотой до 0.5 м и шириной от 1.0 до 3.0 м. Геополимер готовят на отдельной площадке из местного грунта по ИММ-технологии с помощью грунтовых фрез. Перевозка, укладка, распределение и уплотнение геополимера производится с помощью стандартной строительной техники, такой как экскаваторы, погрузчики, автосамосвалы и грунтовые виброкатки. При превышении подпорной стены дневной поверхности нижней площадки устраивают дренажную систему, обеспечивающую уход грунтовой воды за пределы подпорной стены, как показано на рис.2. Вышележащие слои делают комбинированными, как показано на рис.3. При этом укладка и уплотнение части слоя из минерального геополимера и песка производятся одновременно. Между слоями уложена георешетка, объединяющая части подпорной конструкции из геополимера и песка.

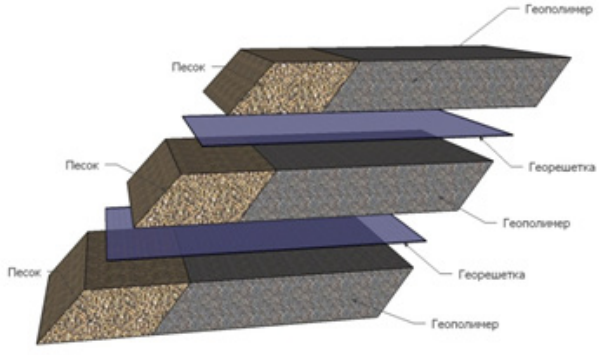

Рис. 3. Принцип послойного формирования конструкции подпорной стены

Состав применяемых неорганических вяжущих реагентов при реализации ИММ-технологии зависит от характеристики обрабатываемого грунта (гранулометрического, минералогического и химического составов, его влагонасыщенности и т.д.) и требований к физико-механическим характеристикам конечного минерального геополимера. Набор реагентов, включает цемент и минеральную комплексообразующую добавку (МКД), выпускаемой по ТУ 5744-001-58330067-2010. МКД представляет собой гидрофильный сухой минеральный порошок, состоящий из модифицированных пакетов глинистых частиц химиче-

ски связанных с ионами переходных металлов (Ca+, Ca++, Mg+, Mg++), а также включающий комплекс металлов в окисных, гидратных формах и их солей [8,9]. Внесение МКД стимулирует коагуляцию глинистых частиц, структурообразование минеральной среды и сшивку минералов, демпфирует дестабилизирующее действие органики, уменьшает фильтрационную проницаемость материала и обеспечивает устойчивость материала к процессам вымывания вяжущего и выщелачиванию. Уплотнение обработанного грунта приводит к интенсивному водоотделению за счет отжатия несвязанной и слабосвязанной воды, установлению оптимальной влажности грунта, формированию плотного водоустойчивого твердеющего материала. Укрепленный грунт водоустойчив, не разрушается и практически не теряет прочность при избытке воды (в пределах 30%) в окружающих грунтах и материалах. Процесс внесения в грунт МКД и цемента сопровождается экзотермическими реакциями, что обеспечивает возможность проведения работ при отрицательных температурах воздуха, т.е. дает возможность проведения работ в зимнее время.

Пример процентного соотношения реагентов и грунтовой смеси, а также конечные характеристики геополимера приведены в таблице 1.

Для защиты минерального геополимера от эрозионных воздействий, в т.ч. одновременного действия воды и мороза, по поверхности подпорной конструкции устраивают защитный слой путем укрепления по поверхности трёхосной георешетки, заполняемой торфяным растительным грунтом, и противоэрозионной сетки. Озеленение откоса придает конструкции завершенный эстетический вид. Таким образом реализация этого решения позволяет одновременно достичь технических и архитектурно-художественных целей.

Для численного определения деформации подпорной конструкции в зоне влияния здания и автодороги, оценки значений ожидаемой осадки здания и прогнозирования устойчивости откоса, в условиях решения задачи в плоской постановке используются вычислительные комплексы, типа PLAXIS. Необходимо отметить, что инструмент численного исследования на основе метода конечных элементов (МКЭ) для решения геотехнических задач в настоящее время уже достаточно апробирован и является достаточно точным при условии правильности постановки задачи и введения достоверных исходных данных.

Консервация грунтов оснований при проведении строительных работ. Особенностью строительства на массивах, сложенных тонкодисперсными водонасыщенными пылевато-глинистыми грунтами служит то, что физико-механические характеристики грунтового основания, определенные на стадии инженерно-геологических изысканий и принятые для расчетов грунтового основания в процессе строительных работ, претерпевают существенные изменения, вплоть до полной потери несущих свойств грунтовым основанием и перехода грунтов в разжиженное состояние. Эти процессы, вызываются в основном несколькими причинами:

- Замачивание грунтов оснований. В процессе разработки грунтов, например, отрывки котлована, происходит их разуплотнение, которое при избытке влаги на поверхности грунтового массива обуславливает разжижение грунтов;

- Гидродинамическое действие воды и суффозия, которые могут иметь место при существенном превышении уровня грунтовых вод над уровнем грунта строительной площадки;

- Тиксотропные свойства грунтов, приводящие к потере структурной связности в грунтах, при динамическом воздействии на них строительной техники или вибраций при свайных работах. Создаваемые строительной техникой динамические воздействия, влекут существенное нарушение структуры грунта с

Таблица 1.

Основные конструкционно-технологические показатели геополимера.

Физико-механические характеристики геополимера						Соотношение грунт/реагент, %		
Плотность, кН/м^3	Прочность на одноосное сжатие, кн/см^2	Модуль упругости, МПа	Модуль деформации, МПа	Угол внутреннего трения, град.	Коэффициент сцепления, кПа	Местный грунт	Цемент	МКД
20	10-20	300	40	80	60	92	4	4

изменением его прочностных характеристик и несущей способности грунтового основания.

Для устранения этих негативных процессов в строительной практике обычно применяют методы, основанные на формировании в кровле слабых грунтов насыпи инертных материалов, например, строительного песка или песчано-гравийной смеси (ПГС). Эта насыпь обеспечивает возможность безаварийного перемещения строительной техники в процессе строительства, создает нагрузку на слабые грунты основания, препятствуя процессам разуплотнения и разжижения грунтов. Однако, создание такой насыпи значительно увеличивает объем земляных работ и ее устройство не всегда экономически оправдано. Существенное сокращение объема земляных работ возможно в случае устройства на поверхности грунтового основания защитного слоя минерального геополимера, как показано на рис.4.

Рис. 4. Формирование защитного слоя из геополимера на грунтовом основании

Устройство такого слоя возможно несколькими методами. Прежде всего, это метод поверхностного укрепления грунтового массива, за счет формирования в его кровле слоя минерального геополимера при смешивании верхних слоев грунта с реагентами и последующим уплотнением грунтовой смеси. Устройство такого защитного слоя производится в грунтах in-situ по ИММ-технологии. Для этого по грунтовой поверхности распределяются подобранные реагенты, затем с помощью грунтовой фрезы реагенты и грунт смешиваются. Расчет количества распределяемых по поверхности реагентов производится с учетом глубины фрезерования (смешивания) грунта. Внесение и смешивание реагентов с грунтом может происходить в несколько этапов в зависимости от типа и влажности грунта. Если грунт имеет влажность, значительно превышающую оптимальную, то на первой стадии для понижения влажности грунта может вноситься молотая негашеная известь. Применение этого метода возможно, только в том случае, если консистенция грунтов основания позволяет проход строительной техники для распределения реагентов и нормальное движение машины-носителя с оборудованной грунтовой фрезой.

В случае если консистенция грунтов не позволяет проход строительной техники, то применяют метод частичной замены грунтов. Для этого на грунтовое основание надвигают либо приготовленный на отдельной площадке минеральный геополимера, либо грунт позволяющий проход строительной техники и пригодный для приготовления in-situ геополимера.

Альтернативой рассмотренному методу может служить метод применения сухой грунтовой смеси. Для ее приготовления используют местные суглинки с содержанием глинистых частиц (d<0.005 мм) более 20% или смесь глины (тяжелых суглинков) с песком с обеспечением содержания глинистых частиц более 20%. Влажность грунта для грунтовой смеси должна быть достаточной для его дробления грунтовыми фрезами до фрагментов с размером менее 30 - 50 мм. Приготовление и дробление грунта производят на специально выделенных площадках, расположенных вблизи с местом укладки. Измельченный грунт смешивают с МКД и цементом. Полученную смесь слоем 100-300 мм укладывают на укрепляемое грунтовое основание укрытое геотекстильным полотном. Поверх грунтовой смеси укладывают геотекстильное полотно и надвигают песчаный грунт слоем 300 – 500 мм. Песчаный слой укатывают грунтовыми катками. В процессе укатки песка вода из грунтового основания смачивает сухую грунтовую смесь за счет высокой гидрофильности МКД. После первоначального смачивания грунтовой смеси реализуются химические процессы ИММ-технологии образующие в результате минеральный геополимер. В результате образуется структура, показанная на рис.5, которая обеспечивает сохранность физико-механических характеристик подстилающих слабых тиксотропных грунтов основания, увеличивает несущую способность грунтов основания и позволяет осуществлять интенсивную работу строительной техники, в том числе тяжелой. Дополнительно для повышения несущей способности этого покрытия в слой сухой смеси можно уложить георешетку.

Заключение. Рассмотренные в статье геотехнические решения, включающие использование технологических методов управления физико-механическими свойствами горных пород, позволяют создавать единый комплекс взаимодействующих между собой элементов

техногенных конструкций (геополимеры, геосинтетические материалы, нерудные строительные материалы и т.д.) и элементов природного происхождения (грунтов естественного сложения, элементов грунтовых массивов как части рельефа территории, грунтовых вод и т.д.) позволяющий обеспечивать повышение безопасности и долговечности возводимых на участке капитальных сооружений, целенаправленно регулировать гидрорежим участка строительства, а также эффективно противодействовать возникновению и протеканию таких негативных явлений как оползни, обрушения грунтового склона, подтопление основания сооружения и т.д.

Использование для производства геополимера местных грунтов, как правило, в излишке образующихся при производстве работ нулевого цикла и подлежащих вывозу на специализированные полигоны хранения, позволяет обеспечить существенную финансовую экономию в сравнении с традиционными материалами, используемыми для решения рассмотренных в статье задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М., 2005.

2. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1985.

3. Инженерно-геологические изыскания для разработки проекта строительства жилого микрорайона по адресу: Ленинградская область, Всеволожский район, д. Мистолово, земельный участок с кадастровым номером 47:07:0713002:1497, 2 очередь. ЗАО «ЛенТИСИЗ», 2014 г.

4. Материалы проекта: «Малоэтажный жилой комплекс (Жилой микрорайон. Вторая очередь строительства) расположенный по адресу: Ленинградская область, Всеволожский муниципальный район, Бугровское сельское поселение, уч. Мистолово. (участок кад.№47:07:0713002:1497)». Раздел 12.3, г. Санкт-Петербург, ООО «НТЦ «Технологии XXI века», 2015 г.

5. *Жабриков С.Ю.* Геохимическое укрепление техногенных грунтов с применением ИММ-технологии. // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы технической мелиорации грунтов оснований зданий и сооружений», Уфа, 5-7 октября 2016 г. — ГУП «БашНИИстрой Уфа, 2016. — С. 19-24.

6. *Кнатько М.В., Жабриков С.Ю., Бойцов Э.Л.* Применение геополимера «Грунт укрепленный техногенный» для возведения ограждающих конструкций котлованов. // Вестник гражданских инженеров, 2016. № 4 (57). С. 76-84.

7. *Кнатько В.М.* Теория синтеза неорганических вяжущих веществ в дисперсных грунтах // Л. изд-во ЛГУ, 1989, 91 с.

8. *Кнатько В.М., Кнатько М.В., Щербакова Е.В.* Способ получения щелочного алюмосиликатного сорбента. Патент на изобретение RUS 2409417 02.11.2006.

9. Модифицирующая комплексообразующая добавка (МКД). Технические условия ТУ 5744-001-58330067-2010, г. Санкт-Петербург, 2010г., ООО «НТЦ «Технологии XXI века».

10. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1985.

11. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.

12. СНиП 2.06.07-87. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987.

13. МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты

NEW CONSTRUCTION TECHNOLOGY BASED ON THE CONTROL PROPERTIES OF ROCKS FORMATION

© 2018 M.V. Knatko*, S.Yu. Zhabrikov*, D.M. Knatko**

**LLC "NTC Tekhnologii XXI veka",*
Lermontovsky ave. 7, Saint-Petersburg, 190068, Russian Federation, office@nw-tech.ru
*** Saint Petersburg State University Graduate School of Management, Universitetskaya emb. 7/9, St-Petersburg, 199034, Russian Federation;*
d.knatko@spbu.ru

The article describes the experience of using in the construction of technical soil melioration, as a method of controlling the properties of rock formation, to prevent landslides, strengthen the sides and bottoms of pits, changes in the bearing capacity of soils in the construction of buildings and structures. The combination of geochemical transformation of rock formation, regulation of hydraulic regime of soil massifs and the creation of layer-by-layer "sandwich" structures with specified properties at the boundaries of sections provides increased safety and durability of buildings and structures, as well as significant savings in their construction. The description of IMM - technology of obtaining mineral geopolymers based on local soils (sandy loam, loam and clay), to create structural materials, and the technological sequence of production work.

Key words: technical reclamation, control properties of rocks formation, geopolymer materials, geocomposites, retaining structures, buildings and constructions, construction

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Вержбицкая Екатерина Геннадьевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Национального минерально-сырьевого университета «Горный», Санкт-Петербург.

Жабриков Станислав Юрьевич – главный инженер проекта, ООО «Научно-технический центр «Технологии XXI века», Санкт-Петербург.

Здобин Дмитрий Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, ассистент кафедры почвоведения и экологии почв Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, ученый секретарь Охотинского общества грунтоведов, Санкт-Петербург.

Кнатько Дмитрий Михайлович – кандидат экономических наук, ассистент кафедры стратегического и международного менеджмента Высшей школы менеджмента Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург.

Кнатько Михаил Васильевич – кандидат физико-математических наук, генеральный директор ООО «Научно-технический центр «Технологии XXI века», Санкт-Петербург.

Коршунов Борис Михайлович – главный инженер ОАО «Трест геодезических работ и инженерных изысканий» (ОАО «Трест ГРИИ»), Санкт-Петербург.

Лаздовская Марина Артуровна – старший преподаватель кафедры грунтоведения и инженерной геологии Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург.

Николаева Татьяна Николаевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург.

Норова Лариса Павловна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург.

Шергина Евгения Андреевна – магистрант кафедры грунтоведения и инженерной геологии Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ (ЖУРНАЛ «ГРУНТОВЕДЕНИЕ»)

Уважаемые авторы и читатели!

Если Вы автор и намерены опубликовать свою статью в нашем журнале, Вам необходимо ознакомиться с «Правилами для авторов». При подготовке рукописи статьи к отправке в редакцию автору (соавторам) следует руководствоваться изложенными требованиями и условиями.

Верстка статьи, принятой к публикации, направляется автору (соавторам) для согласования (проверки) и визирования. Доработанный вариант направляется в редакцию вместе с начальной версией. Редколлегия сохраняет за собой право сокращать статьи и в случае необходимости подвергать их литературной правке.

Автор (соавторы) несут всю ответственность за научное содержание, достоверность сведений, используемых в статье, а также за сохранение государственной и коммерческой тайны.

Тематика публикаций в журнале «Грунтоведение»:

- теоретическое, генетическое и региональное грунтоведение,
- методы лабораторного исследования состава, строения и физико-механических свойств грунтов,
- техническая мелиорация грунтов,
- применения лабораторных методов исследования состава, строения и физико-механических свойств в смежных естественнонаучных и гуманитарных дисциплинах (почвоведение, гидробиология, археология),
- методика и методология инженерно-геологических изысканий,
- механика грунтов

Авторы, направляющие статьи в журнал, должны соблюдать следующие правила:

1. В Журнале публикуются статьи теоретического и методического характера, содержащие оригинальный материал исследований автора, соответствующий тематике издпния.
2. Статьи представляются в редакцию в электронном виде (Word) размер шрифта 12 через два интервала, количество строк на листе - 29, поля слева 25 мм. Microsoft for Windows (версии 6.0) и старше. **Расширение .rtf** (Иванов-текст. rtf)
3. Объем статей, представляемых в журнал, как правило, не должен превышать 24 стр., включая список литературы. **Рукопись, а также рисунки, фотографии представляются в виде отдельных файлов.**
4. Начало статьи оформляется следующим образом: индекс статьи по универсальной десятичной классификации (УДК), название статьи, инициалы и фамилии авторов, полное название учреждений, в которых выполнялось исследование. Образец оформления:

УДК 624.131.1

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

© 2012 г. И И.Артемов*, Д.Ф.Орлов**

**«ЛенТИСИЗ, Набережная реки Фонтанки, 113 "А", г. Санкт-Петербург, 190031, Россия,*
info@lentisiz.ru
***Санкт-Петербургский государственный университет,*
Университетская наб. 7/9, г. Санкт-Петербург, 199034, Россия
geosoil@mail.ru

Далее следует краткая аннотация, в которой должны быть отражены основные результаты работы и ключевые слова.

5. В статье должны чётко и сжато излагаться современное состояние вопроса, описание методики исследований и обсуждение полученных результатов. Заглавие статьи должно полностью отражать ее содержание. **Рекомендуется стандартизировать структуру статьи, используя подзаголовки:** Введение, Теоретический анализ, Методика, Экспериментальная часть, Результаты и их обсуждение, Заключение или Выводы, Список литературы.

В десятичных дробях точки.

6. **Оформление иллюстраций должно соответствовать следующим требованиям.**

Каждый рисунок (черно-белый) должен быть представлен на отдельном файле.

Фотографии предоставляются в формате JPEG (Иванов-рис-1.jpg). Сканированные штриховые рисунки и полутоновые рисунки и фотографии должны иметь разрешение не менее 300 dpi (точек на дюйм).

Список подписей к рисункам прилагается на отдельном листе. В подрисуночных подписях не допускается воспроизведение небуквенных знаков (штриховка, кружки, треугольники и т.д.)

Место размещения рисунков и таблиц в тексте указывается ссылкой на них (Рис. 1).

7. **Оформление формул**: все формулы должны быть воспроизведены в редакторе формул Microsoft for Windows.

8. **Оформление таблиц**. Таблицы нумеруются по порядку упоминания их в тексте арабскими цифрами. После номера должно следовать название таблицы. В тексте рукописи указывается место помещения таблицы (Табл. 1). **Каждая таблица печатается на отдельной странице**.

9. **Оформление списка литературы.** Цитируемая литература приводится под заголовком СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ в конце статьи.

В списке литературы сначала приводятся ссылки на работы, опубликованные на русском языке **в алфавитном порядке фамилий авторов**. Далее приводится список цитируемых работ, опубликованных на других языках по принципу латинского алфавита. Работы одного и того же автора цитируются в хронологическом порядке независимо от наличия соавторов. После фамилии авторов следует указывать полное название статьи или книги на языке оригинала, выходные данные издания (год, том, номер, страницы).

Примеры:

1. Ломтадзе В.Д. Структурно-механические свойства глинистых пород, как показатель степени их литификации. // Доклады АН СССР, 1957, т. 113, № 6, с. 1344-1346.

2. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых грунтов. М.: МГУ, 1979. 235 с.

Номера ссылок в тексте должны быть заключены в квадратные скобки.

Отдельный файлом представляется

10. Англоязычная версия данных из п.4 в той же последовательности.

11. Англоязычный вариант аннотации и ключевые слова (Keyword) в формате ".doc".

Статьи отсылаются электронной почтой по адресу:
zdobin_soil@mail.ru, gruntovedenie@mail.ru

К Материалам, направляемым в редакцию, обязательно должна быть приложена **авторская справка:** фамилия, имя, отчество, научная степень, место работы, точный почтовый адрес, телефон, факс, E-mail.

Автор (соавторы) несут всю ответственность за научное содержание, достоверность сведений, используемых в статье, а также за сохранение государственной и коммерческой тайны.

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Сдано в набор: 05.04.2018 Подписано в печать: 17.04.2018 Формат бумаги: 60x88 1/8
Цифровая печать. Тираж 100 экз.

Учредитель: Охотинское общество грунтоведов

Издатель: «Центр генетического грунтоведения»
190068, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр., 7, лит. А

Отпечатано в типографии «СВЕН»