

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)
Институт наук о Земле
Кафедра грунтоведения и инженерной геологии

Валеева Алия Ринатовна

**Корреляционный анализ результатов статического
зондирования с лабораторными исследованиями физико-
механических свойств моренных грунтов Санкт-Петербурга**

Магистерская диссертация
по направлению «Геология»

Научный руководитель:
к.т.н, И.А. Страупник

_____ 2017
«__»_____

Заведующий кафедрой:
к.г.-м.н., доцент С.Б. Бурлуцкий

_____ 2017
«__»_____

Санкт-Петербург
2017

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Характеристика объекта.	5
1.1. Орогидрографические и климатические условия Санкт-Петербурга.	5
1.1.1. Орографические условия.	5
1.1.2. Гидрологические условия Санкт-Петербурга	6
1.1.3. Метеорологические условия Санкт-Петербурга.	6
1.2. Общие сведения о структурно-геологических и тектонических условиях	7
1.2.1. Структурно-геологические условия Санкт-Петербурга.	7
1.2.2. Тектоника Санкт-Петербурга.	10
1.2.3. Гидрогеологические условия Санкт-Петербурга.	11
Глава 2. Статическое зондирование.	12
2.1. Задачами статического зондирования являются:	12
2.2. Устройство зонда:	12
2.3. Методика исследований.	15
2.4. Измеряемые параметры.	16
2.5. Интерпретация результатов статического зондирования.	17
2.6. Зависимость результатов статического зондирования с другими показателями	23
Глава 3. Особенности статического зондирования в грунтах с наличием крупных включений:	29
Глава 4. Определение корреляции физико-механических свойств глинистых грунтов ошашковской морены с результатами статического зондирования.	32
4.1. Статистическая обработка статического зондирования для суглинков легких пылеватых тугопластичных.	33
4.1.1. Корреляция лобового сопротивления с углом внутреннего трения.	33
4.1.2. Корреляция лобового сопротивления со сцеплением.	36
4.1.3. Корреляция лобового сопротивления с модулем общей деформации.	39
4.2. Статистическая обработка статического зондирования для супесей пылеватых текучих с гравием и галькой до 10 %	43
4.2.1. Корреляция лобового сопротивления с углом внутреннего трения.	43
4.2.2. Корреляция лобового сопротивления со сцеплением.	46
4.2.3. Корреляция лобового сопротивления с модулем общей деформации.	49
4.3. Статистическая обработка статического зондирования для супесей пылеватых пластичных:	52
4.3.1. Корреляция лобового сопротивления с углом внутреннего трения.	52
4.3.2. Корреляция лобового сопротивления со сцеплением.	53

4.3.3.	Корреляция лобового сопротивления с модулем общей деформации.	54
4.4.	Статистическая обработка статического зондирования для супесей песчанистых пластичных.	54
4.4.1.	Корреляция лобового сопротивления с углом внутреннего трения.	54
4.4.2.	Корреляция лобового сопротивления со сцеплением.	55
4.4.3.	Корреляция лобового сопротивления с модулем общей деформации.	55
4.5.	Статистическая обработка статического зондирования для грунтов ледникового генезиса	56
4.5.1.	Корреляция лобового сопротивления с углом внутреннего трения.	56
4.5.2.	Корреляция лобового сопротивления со сцеплением.	56
4.5.3.	Корреляция лобового сопротивления с модулем общей деформации.	57
	Заключение.	58
	Список литературы	60
	Приложение А	62
	Приложение Б	63
	Приложение В	100

Введение

Статическое зондирование - популярный метод полевых исследований грунтов при инженерно-геологических изысканиях, который широко используется в Санкт-Петербурге, ввиду широкого распространения довольно мощной толщи дисперсных четвертичных отложений. Метод потенциально пригоден для высокоточной оценки физико-механических свойств грунтов в массиве и надежного комплексного инженерно-геологического анализа.

На территории Санкт-Петербурга осташковская морена рассматривается в качестве надежного основания для фундаментов. Данные отложение развиты почти повсеместно.

Однако, при применении статического зондирования в моренных отложениях Санкт-Петербурга возникают проблемы как с проведением испытания (из-за наличия крупных включений), так и с интерпретацией, с точки зрения возможности назначения физико-механических свойств.

Целью дипломной работы является получение эмпирических зависимостей для расчета модуля деформации, сцепления и угла внутреннего трения глинистых грунтов ледниковых отложений (gIII) по результатам статического зондирования.

В ходе написания представленной работы были поставлены и последовательно решались следующие задачи:

1. Сбор и анализ данных о геологическом строении территории;
2. Сбор и анализ результатов статического зондирования;
3. Анализ нормативно-технической документации по проведению и интерпретации статического зондирования;
4. Анализ методик обработки данных зондирования;
5. Получение эмпирических зависимостей физических и физико-механических параметров от параметров сопротивления грунтов статическому вдавливанию зонда

Объектом исследования являются верхнечетвертичные глинистые ледниковые отложения осташковской морены.

Глава 1. Характеристика объекта.

1.1. Орогидрографические и климатические условия Санкт-Петербурга.

1.1.1. Орографические условия.

Геоморфологическое строение Санкт-Петербурга определяется устройством поверхности дочетвертичных образований, поздне- и послеледниковым рельефом и рельефом современной поверхности, существенно преобразованным за счет комплексного техногенеза. (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009).

Геоморфологическими элементами Санкт-Петербурга являются Приневская и Приморская низины, связанные с рельефом дочетвертичного субстрата и имеющие абсолютные отметки от 0 до 9 м на юге и от 15 до 18 м на севере. Погребенный рельеф представлен ступенчатой структурно-денудационной равниной с пологим погружением к юго-востоку. Важным элементом погребенного рельефа является Ижорская возвышенность, склон которого хорошо выражен в виде куэстового Балтийско-Ладожского уступа (высота более 60 метров).

Городская территория и дно прилежащих акваторий располагается на Предглинтовой низменности. В пределах Приневской низины и Предглинтовой низменности встречаются отдельные массивы мелкохолмистого моренного рельефа, претерпевшего трансформацию под воздействием абразии. (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009) Периферия Приморской равнины имеет камовый рельеф.



Рис.1 Орографическая схема города и окрестностей (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009)

1.1.2. Гидрологические условия Санкт-Петербурга

В Санкт-Петербурге протекают более 90 рек, протоков и каналов, общая длина которых превосходит 300 км. Также, в Санкт-Петербурге находятся более 100 различных водоемов (озер, прудов и т.д.) и искусственные каналы, общей длиной более 160 км. Крупной водной магистралью Санкт-Петербурга является Нева. Русло этой реки довольно широко (средняя ширина 500-600 метров), глубина колеблется от 5 до 24 м, а отмелей и кос практически нигде нет. В Неву впадает около 26 рек (Фонтанка, Мойка, Екатерингофка и т.д.). (<http://ecoz.ru>)

1.1.3. Метеорологические условия Санкт-Петербурга.

Климат в Санкт-Петербурге относится к зоне умеренного климата, переходного от океанического к континентальному, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом.

Основной фактор постоянной смены погоды в Санкт-Петербурге - частая смена воздушных масс (арктические, морские и континентальные). С запада дуют морские воздушные массы, которые приносят пасмурную, ветреную погоду и осадки. Именно из-за них зимой происходит резкое потепление, а летом они несут прохладу.

С востока идет континентальный воздух. В антициклонах, устанавливается малооблачная и сухая погода, летом жаркая, а зимой холодная.

С севера приходит сухой и всегда очень холодный арктический воздух, который сопровождается ясной погодой и резким понижением температуры воздуха. В областях повышенного давления, сформировавшихся в этих воздушных массах, даже летом наблюдаются заморозки, а зимой – наиболее сильные морозы.

Количество дней с преобладанием влажных морских и сухих континентальных приблизительно одинаковое. Среднегодовая температура воздуха составляет 3,8-5 °С на западе и 2,7-3,5 °С на востоке. Самый холодный месяц – февраль со средней температурой от -8,0°С до -8,5°С. Самый теплый месяц – июль со средней температурой от 17,4°С до 18,0°С. (<http://www.meteo.nw.ru>) В особо теплые дни температура повышается до 32-34 °С. Однако летом возможны похолодания с понижением температуры до 5-10 °С.

Интенсивность смены циклонов влияет на неравномерность выпадения осадков: 2/3 осадков выпадает в теплое время года, и 1/3 на холодное. За год выпадает приблизительно 636 мм осадков.

В Санкт-Петербурге снежный покров держится обычно около 3 месяцев. Снежный покров становится устойчивым в начале декабря, а разрушается в конце марта. Высота снежного покрова в среднем за год составляет 73 мм. Интенсивность выпадения снега, в

основном, составляет 0,5-0,6 см/ч, максимальная интенсивность находится в пределах от 1 до 4 см/ч.(<http://www.infoeco.ru>)

1.2. Общие сведения о структурно-геологических и тектонических условиях

1.2.1. Структурно-геологические условия Санкт-Петербурга.

Санкт-Петербург расположен в зоне сочленения Балтийского щита и Русской плиты. Территория города характеризуется двухэтажным строением: кристаллическим фундаментом, перекрытым осадочным чехлом.

Кристаллические породы фундамента имеют архей-протерозойский возраст и представлены гранитами, гнейсами, диоритами и другими магматическими и метаморфическими породами. Выход дочетвертичных коренных пород имеются только на юго-западе города. В пределах города породы фундамента залегают на достаточно большой глубине 180-240м, реже глубже, и в качестве среды размещения подземных сооружений в настоящее время не рассматриваются. (Дашко Р.Э. и др., 2011)

В осадочном чехле выделяются две толщи: нижняя и верхняя. Нижняя толща представлена коренными породами, которые прошли несколько стадий литификации. На юге Санкт-Петербурга нижняя толща состоит из нижнекембрийских (синих) глин. Нижнекембрийские глины синевато-серого цвета, алевролитовые неслоистые, содержащие сульфиды и органические соединения. Преобладающими минералами в составе являются высокощелочные гидрослюды, хлорит и глауконит. Нижнекембрийские глины способны набухать и при перепаде напряжений выдавливаются в подземные выработки. (Дашко Р.Э. и др., 2011)

В северном и центральном районе под четвертичной толщей залегают верхнекотлинские глины верхнего венда с прослоями песчаников. Верхнекотлинские глины представляют собой плотные твердые алевролитовые тонкослоистые породы зеленовато-серого цвета с прослоями песчаников. На плоскостях напластования бывают бурые пленки органического вещества, которые являются отличительной чертой этих отложений. Тонкодисперсная часть состоит из гидрослюды и каолинита, поэтому верхнекотлинские глины можно рассматривать как глины способные к набуханию при дополнительном увлажнении, но эти глины способны размокать при действии вод. Возраст глин -верхний венд (верхний отдел протерозоя). Ниже глин залегает водоносный горизонт, который входит в состав Вендского водоносного комплекса.

Верхняя толща состоит из песчано-глинистых грунтов четвертичного возраста, которые практически сплошным чехлом покрывают территорию. Четвертичные

отложения делятся на неоплейстоценовые (ранне-, средне-,поздне-) и современные отложения. Мощность четвертичных отложений варьируется в зависимости от палеорельефа поверхности дочетвертичных пород (от 0-3 м до 180 м). Основную часть разреза слагают:

1) Современные озерно - морские песчано-глинистые литориновые отложения (m,l Н), мощность которых от 3 м до 20 м, реже более 20 м. В отложениях присутствуют органические остатки, а также обнаруживаются слои погребенных торфяников. К литориновым отложениям приурочен водоносный горизонт, при этом водовмещающими грунтами служат мелкие либо тонкие пески пылеватые серого цвета. В нижней части разреза, реже средней прослеживаются супесчаные и суглинистые прослои, находящиеся в текучем, текуче-пластичном и пластичном состоянии. Водонасыщенные литориновые пески под действием незначительного гидродинамического давления легко переходят в пльвуны. (Дашко Р.Э. и др., 2011).

2)Озерно-ледниковые отложения.

Имеют трехслойное строение:

Верхняя часть разреза представлена неяснослоистыми супесями, реже суглинками, часто ожелезненными

Средняя часть имеет ленточную текстуру - чередование глинистых прослоев с пылеватыми, реже песчаными прослоями. Глинистые отложения имеют тиксотропные свойства.

Нижняя часть содержит меньше глинистой фракции, исчезает ленточная текстура.

Вся толща озерно-ледниковых отложений обладает способностью к сильному морозному пучению.

3)Морены.

Данные отложения характеризуются разнообразием гранулометрического состава, обычно плохо отсортированные песчано-глинистые отложения с изолированными линзами крупнообломочного материала, и часто содержат единичные включения валунов разных размеров, а также встречаются скопления крупнообломочных включений. Состав ледниковых образований формируется в результате механического процесса экзарации (ледникового выпаживания) и аккумуляции (накопления разрушенного материала) в теле ледника и протекает в несколько стадий.

В пределах района Санкт- Петербурга выделяют три горизонта моренных образований:

- Верхняя – осташковская (ранее лужская) морена, характеризуется относительно неглубоким залеганием (залегания кровли варьируется от первых метров до

30 м) и выдержанным простираем по площади и глубине по всей территории города. Является первым от поверхности надежным основанием под строительство.(ПриложениеА)

- Средняя – московская морена залегает непосредственно под осташковской мореной, либо под озерно-ледниковыми отложениями московского горизонта, либо локально перекрыты осадками морского генезиса. Данные отложения распространены почти по всей территории, в основном, в центральных и северо-восточных районах города. Мощность московской морены составляет от метров до первых десятков метров.

- Нижняя – вологодская морена в отличие от двух предыдущих она имеет локальное распространение в пределах глубоких погребенных долин и не рассматривается в строительных целях. Представлена плотными валунными суглинками, мощность которых до первых десятков метров. (Дашко Р.Э., 2014)

Деформационная способность и прочность ледниковых отложений зависят от глубины залегания, условий их образования и других факторов.

Основные показатели физических свойств моренных отложений различного возраста представлены в таблице 1. (Дашко Р.Э. и др., 2011)

Таблица 1

Физические свойства ледниковых отложений

Породы	Число пластичности, %	Плотность породы, г/см ³		Коэффициент пористости	Естественная влажность, %
		Естественного сложения	Скелета		
Осташковская (лужская) морена					
Суглинки и глины	9	2,26	2,05	0,33	10,0
Московская морена					
Суглинки	10	2,14	1,87	0,43	13,5
Супеси	5	2,27	2,08	0,29	9,7
Вологодская (днепровская) морена					
Глины пылеватые	20	2,02	1,69	0,67	25,3
Суглинки пылеватые	10-11	2,12	1,76	0,65	19,2
Супеси	3	2,21	1,96	0,36	13,0

4)Межледниковые отложения

Данные отложения сложены разнородными по генезису и литологическому составу породами (песками, супесями и суглинками). Выделяются верхний межморенный горизонт – между московской и осташковской, и нижний горизонт - между вологодской и московской моренами. В межледниковых горизонтах имеются флювиоляциальные отложения и озерно-ледниковые отложения. Флювиогляциальные отложения представлены разнозернистыми песками с включениями разного количества гравия,

гальки и валунов. Озерно-ледниковые отложения представлены мелко- и тонкозернистыми песками, супесями и глинами характерного ленточного строения. (Дашко Р.Э. и др., 2011)

Мощность данной толщи зависит от подземного рельефа кровли нижней толщи. Подземный рельеф сформировался эрозионной деятельностью древней речной системы.

5) Аллювиальные отложения существуют в виде руслового аллювия, который встречается только на реке Неве. Состав отложений различный: от гравийно-галичного материала до супесей и суглинков.

6) Биогенные отложения в настоящее время встречаются локально и представлены торфом мощностью от 0,5 до 8,0 м.

7) Эоловые отложения образуют дюны, сложенные однородными мелкозернистыми полевошпатово-кварцевыми желтыми и желто-серыми песками.

1.2.2. Тектоника Санкт-Петербурга.

Санкт-Петербург расположен в зоне сочленения двух крупных тектонических структур восточно-европейской платформы: балтийского щита и русской плиты. Большая часть области имеет трехъярусное строение: сверху- четвертичные отложения разного генезиса, ниже располагаются осадки русской плиты, которые лежат на кристаллический фундаменте.

Кристаллический фундамент разделен разрывными нарушениями на отдельные блоки, которые различаются по составу, структуре и т.д. Блоки фундаментов перемещаются относительно друг другу с разной скоростью. Интенсивность движения в разные периоды геологического времени различна.

Кристаллический фундамент разбит системой региональных тектонических разломов:

-разломы северо-восточного простирания фиксируются в толще коренных пород в виде трещин. По этим трещинам отмечается смещение горизонтов песчаников и глин с малой амплитудой.

-разломы северо-западного простирания - субвертикальные трещины с зеркалами скольжения и приразломной мелкой складчатостью. (Дашко Р.Э., 2011)

Строение фундамента оказало большое влияние на строение выше лежащего осадочного чехла. Основные структуры осадочного чехла сформировались под воздействием байкальского, каледонского, герцинского и альпийского циклов орогенеза. (Андерсон Е.Б. и др., 2006) В осадочном покрове северо-западной части русской плиты отмечаются нарушения в виде небольших складок и разрывов.

1.2.3. Гидрогеологические условия Санкт-Петербурга.

Санкт-Петербург находится в пределах артезианского бассейна, подземные воды которого приурочены к образованиям как четвертичного, так и дчетвертичного возраста.

Отложения, которые залегают на глубине до 50 м и имеют связь с атмосферными осадками, содержат пресные подземные воды.

Изолированные от поверхности, более глубоко залегающие водоносные горизонты содержат солоноватые воды с минерализацией от 1 до 5,5 г/дм³.(Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009)

Ижорская и Лемболовская возвышенности являются основными областями питания подземных вод.

Подземные воды приурочены как к песчаным прослоям четвертичных отложений, так и к отложениям осадочной толщи от вендского до девонского возраста. Осадочные толща подстилается кристаллическими породами фундамента, содержащими подземные воды архейско-протерозойской зоны. (Геологический атлас Санкт-Петербурга,2009)

Глава 2. Статическое зондирование.

Статическое зондирование – это наиболее популярный метод полевых испытаний грунтов, применяемый в инженерно-геологических изысканиях. Метод заключается во вдавливании зонда в грунт с постоянной скоростью ($1,2 \pm 0,3$ м/мин) и одновременным измерением показателей сопротивления грунта.

2.1. Задачами статического зондирования являются:

- 1) Приближенная оценка физико-механических свойств грунтов;
- 2) Оценка степени неоднородности грунтов, которая зависит от удельного сопротивления;
- 3) Определение глубины залегания скальных и мерзлых грунтов;
- 4) Выделение инженерно-геологических элементов.

2.2. Устройство зонда:

На конце зонда находится конус, который вдавливается в землю с постоянной скоростью, с постоянным, непрерывным измерением лобового сопротивления задавливанию и трения по боковой поверхности муфты. (Рис.2)

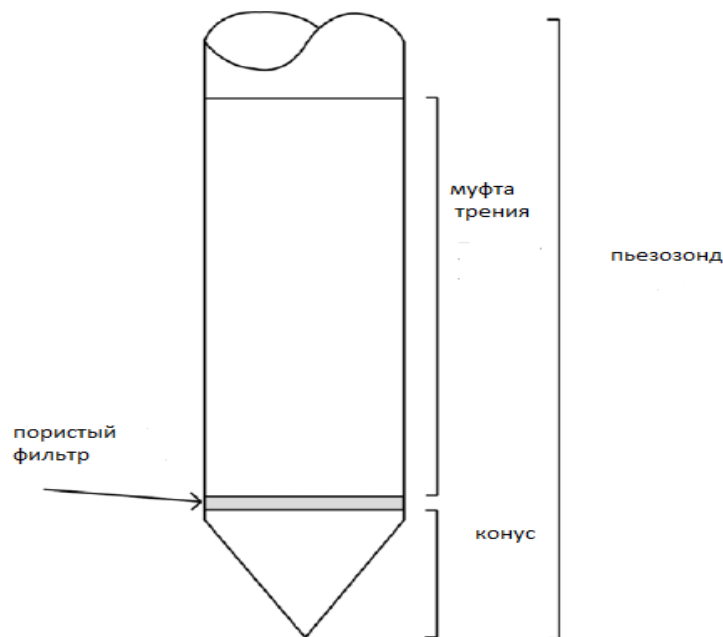


Рис.2 Схематическое строение зонда.

Конусы (пенетрометры) существуют разных размеров, от 2 см^2 до 40 см^2 . Наиболее распространённые конусы это 10 и 15 см^2 . Миниконусы (2 см^2) используются для

неглубоких исследований, а большие конусы могут быть использованы в твердых грунтах.

Пенетрометры используют датчик нагрузки, чтобы измерить сопротивление зондированию. Основные виды конусов используют отдельные датчики нагрузки или тензодатчики, чтобы измерить сопротивление наконечника (q_c) и трение муфты (f_s). В таких конусах лобовое сопротивление рассчитывается путем математических вычислений.

В зависимости от принципа измерения сопротивлений грунта зонды могут быть следующих типов:

- механический (тип I) - зонд с наконечником из конуса и кожуха, позволяет измерять сопротивление грунта под конусом и общее сопротивление грунта на боковой поверхности зонда. Зонд, в котором используется система внутренних штанг для передачи усилия на наконечник. (Рис.3) (ГОСТ19912-2012)

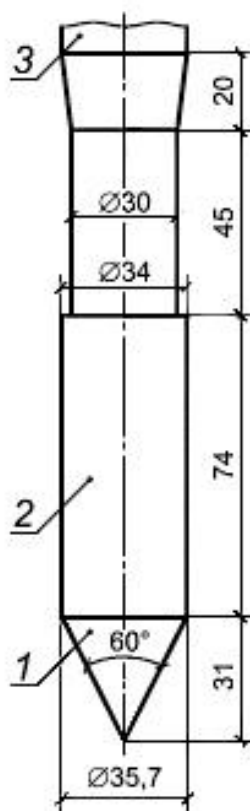


Рис.3 Зонд для статического зондирования I типа: 1-конус, 2- кожух, 3- штанга.
(ГОСТ 19912-2012)

- электрический (тип II) - зонд с наконечником из конуса и муфты трения, позволяет измерять сопротивление грунта под конусом и сопротивление грунта на участке боковой поверхности. Зонд, в котором измерения проводят с помощью электрических датчиков. (Рис.4) (ГОСТ19912-2012)

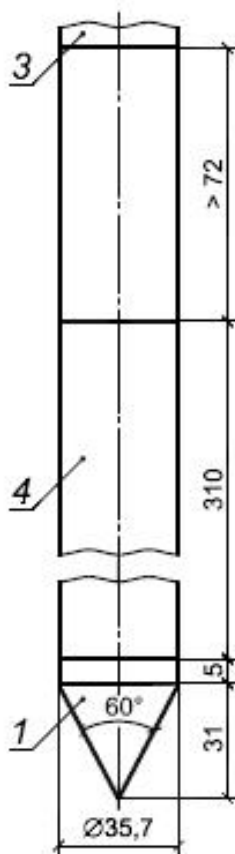


Рис.4 Зонд для статического зондирования II типа: 1-конус, 3- штанга, 4- муфта. (ГОСТ 19912-2012)

Также зонды делятся на два класса:

- Зонды первого класса используют для оценки свойств грунтов при статическом нагружении. Зонды данного класса можно разделить на тензометрические (СРТ) и пьезоэлектрические (СРТУ). Тензозонд непрерывно измеряет лобовое сопротивление и трение на боковой поверхности, а пьезозонд дополнительно измеряет поровое давление. В настоящее время используют пьезоконусы с различным расположением датчиков для измерения порового давления (Рис.5), но чаще всего - с датчиком на основании конуса.

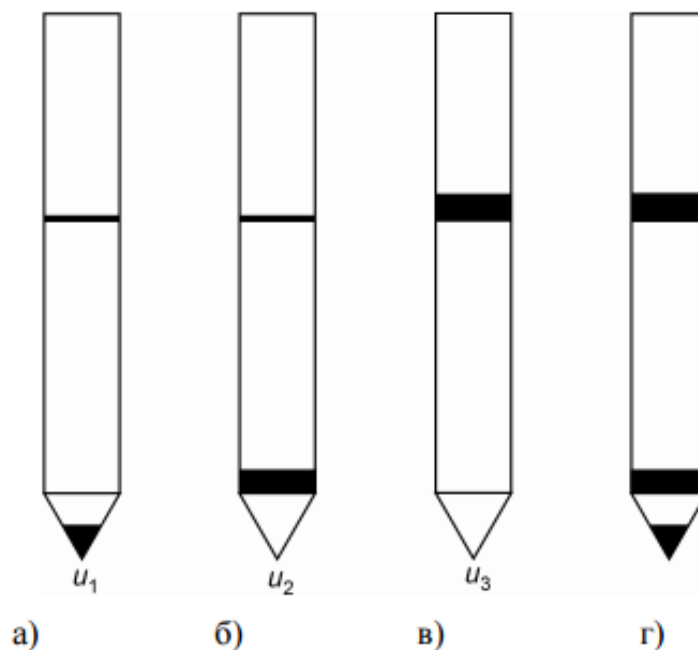


Рис. 5 Расположение датчика порового давления: а – на вершине конуса u_1 ; б – на основании конуса u_2 ; в – выше муфты трения u_3 ; г – зонд с тремя датчиками порового давления. (<http://npp-geotek.com>)

Обычно, для исследования стратиграфии используют зонд с датчиком порового давления у вершины или основания конуса, а для определения несущей способности свай - за муфтой трения.

Из-за введения датчиков для измерения порового давления, необходимо корректировать лобовое сопротивление и силы трения.

- К зондам второго класса относятся пьезо-сейсмоакустические (SCPTU), в которые могут быть встроены: видеокамера; дополнительные датчики для измерения электрической проводимости, интенсивности потока гаммолучей, химического состава грунтовых вод. (<http://npp-geotek.com>)

2.3. Методика исследований.

Бурение разных грунтов производится зондами с различными датчиками. Если глубина испытаний превышает 10 метров, тогда нужно использовать зонд, наконечник которого оснащен инклинометром, для определения глубины зондирования. А для зондирования мерзлотных грунтов следует использовать электрические зонды с датчиком температуры и т.д.

Статическое зондирование выполняется до глубин, превышающих 100 метров в рыхлых грунтах. Для улучшения проникновения нужно уменьшить трение вдоль штанг.

Обычно это делается с помощью уширителя, размещенного на некотором расстоянии выше наконечника. Глубина зондирования ограничивается при достижении плотных грунтов. Для увеличения глубины зондирования принято использовать конус 15см^2 , потому что он считается наиболее надежным. При глубоком зондировании для уменьшения трения штанги смазывают буровым раствором.

При зондировании плотных грунтов во избежание повреждения конуса следует пробить отверстие в проблемной зоне с помощью стального фиктивного зонда с диаметром чуть больше конуса.

Во время проведения испытаний необходимо следить за вертикальностью погружения зонда. Задавливающий механизм должен быть настроен таким образом, чтобы отклонение от вертикали не превышало двух градусов. Штанги должны быть проверены на прямолинейность. Современные конусы имеют датчики, которые регистрируют угол отклонения от вертикали. Это нужно во избежание повреждений оборудования и нарушения штанг.

Калибровка должна проводиться регулярно и основываться на стабильности показаний нулевых значений. Как правило, если показания нулевых значений остаются стабильными, то тензодатчики не требуют проверки калибровки. Для крупных проектов проверка калибровки может осуществляться до и после полевых работ, но с функциональной проверкой в ходе работы. Функциональные проверки должны включать запись и оценки измерения нулевых значений.

Во время перерыва в процессе зондирования, избыточное поровое давление, формирующееся вокруг конуса, начнет рассеиваться. Скорость диссипации зависит от коэффициента консолидации, который в свою очередь, зависит от сжимаемости и проницаемости грунта. Скорость диссипации также зависит от диаметра зонда. На любой глубине зондирование может

Информация, которую мы получаем в процессе вдавливания зонда, накапливается в виде цифровых файлов, которые обрабатываются различными компьютерными программами, и отображается в виде непрерывных графиков изменения параметров зондирования по глубине.

2.4. Измеряемые параметры.

1. Удельное сопротивление под конусом зонда (лобовое сопротивление при зондировании) q_c – это сила действующая на конус (F_c), разделенная на площадь конуса (A_c):

$$q_c = \frac{F_c}{A_c} \quad (1)$$

Для СРТУ испытаний измеренное значение q_c корректируется с учетом значений порового давления:

$$q_t = q_c + u_2(1-a) \quad (2)$$

где a – коэффициент, учитывающий различия в площади основания конуса на которое не оказывает действие поровое давление к полной площади основания конуса (значение коэффициента варьируется в пределах 0,70-0,85), u_2 – поровое давление, измеренное в основании конуса. (<http://npp-geotek.com>)

2. Удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности зонда (боковое сопротивление) f_s – это сила, действующая на муфту трения, разделенная на площадь боковой поверхности

$$f_s = \frac{F_s}{A_s} \quad (3)$$

Для СРТУ боковое давление также корректируется:

$$f_t = f_s - b u_2 \quad (4)$$

где b – постоянная пьезозонда, определяемая всесторонним обжатием в калибровочной камере давления и называемое коэффициентом нетто площади боковой поверхности муфты трения, u_2 – поровое давление, измеренное в основании конуса. (<http://npp-geotek.com>)

Основным критерием оценки видов грунтов на основе данных статического зондирования служит величина параметра R_f .

$$R_f = \frac{f_c}{q_c} * 100\% \quad (5)$$

Высокие значения характерны для глинистых грунтов из-за малого трения и высокого сцепления, а низкие значения для песков и маловлажных глин. (<http://npp-geotek.com>)

3. Поровое давление измеряется с помощью датчиков давления через пористые фильтры. В глинистых грунтах u_2 намного больше гидростатического давления u_0 , а в песках u_2 имеет близкие значения к гидростатическому давлению $u_2 = u_0$.

2.5. Интерпретация результатов статического зондирования.

Окончанием статического зондирования считается достижение заданной точки погружения, или если достигнут максимально возможный уровень проникновения.

Результаты статического зондирования представлены в виде графиков зависимостей q_c и f_s от глубины. (Рис.6)

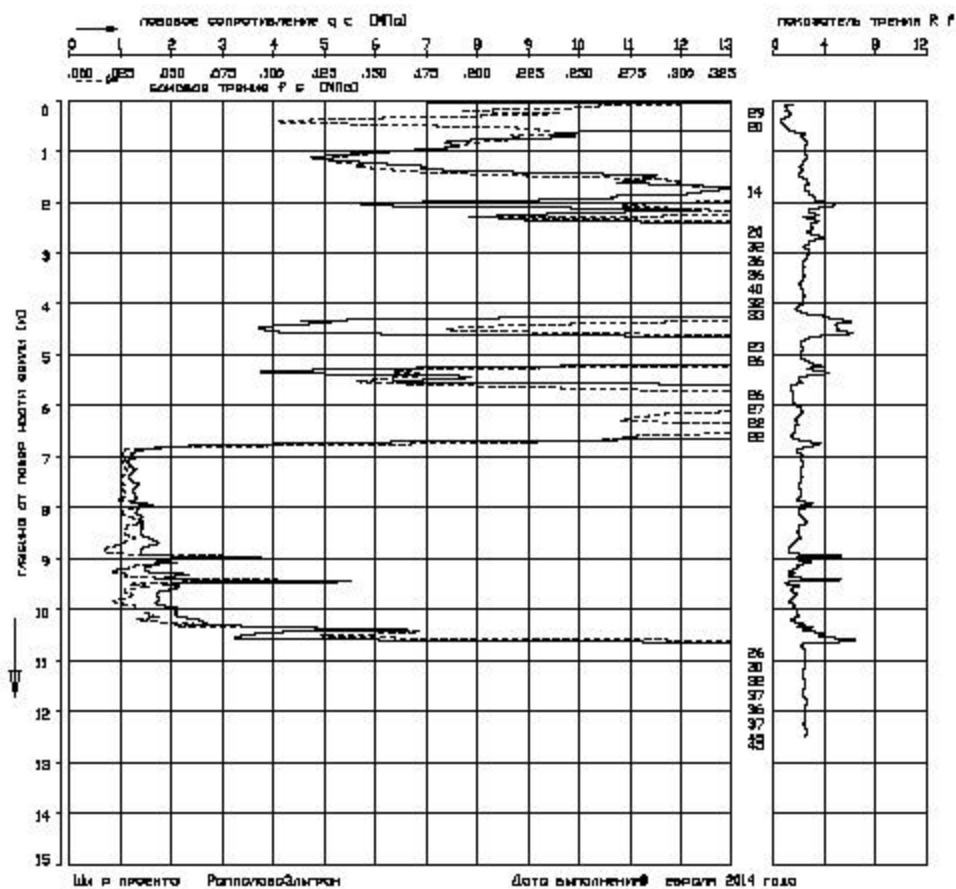


Рис.6. График статического зондирования

Для классификации грунтов существует несколько методов:

- 1) Интерпретация грунтов по П.К. Робертсону.

Классификация по П.К. Робертсону основана на типовых моделях грунтов в виде точечных зональных графиках. (Рис.7)

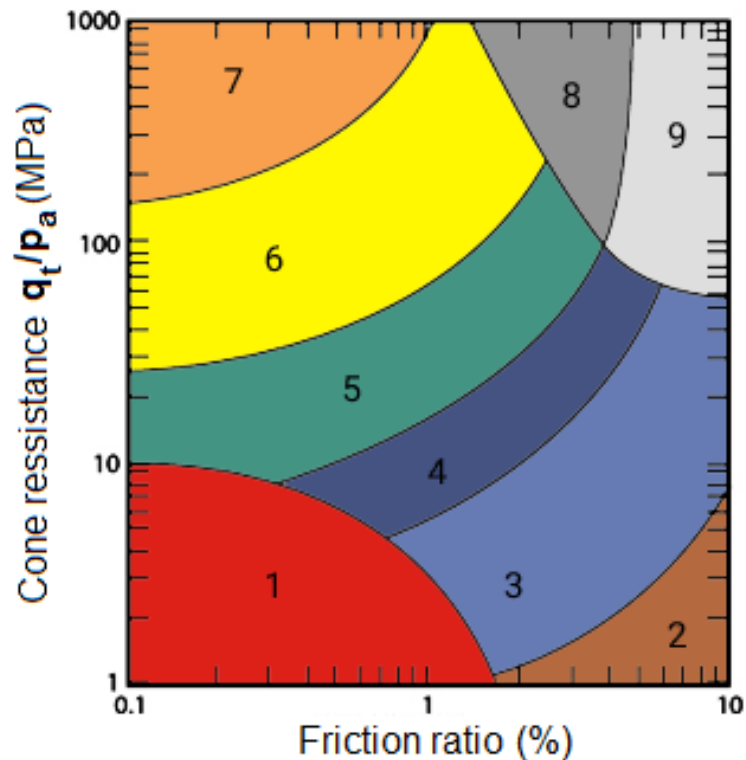


Рис.7 Классификация грунтов по методу Робертсона П.К. (Robertson, P.K. 2010)

1 – Чувствительны тонкодисперсные; 2 – Органо-минеральные грунты; 3 – Глины - илистая глина, глины; 4 – Суглинок - глинистый ил, илистая глина; 5 – Песчаная смесь - илистый песок, песчаный ил; 6 – Пески - чистый песок, илистый песок; 7 – Гравелистый песок, плотный песок; 8 – Очень твёрдый песок, глинистый песок *; 9 – Очень твёрдый тонкодисперсный грунт *>(* переуплотнённый грунт) (<http://www.finesoftware.ru>)

Далее последовал переход к нормализованным моделям (Рис.8), благодаря величине порового давления u_2 , которое измеряется с помощью датчика. Нормализованные модели поведения грунтов - это откорректированные и нормализованные значения лобовых сопротивлений (Q_t) и коэффициента трения (F_r), с учетом величины порового давления.

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \quad (6)$$

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}} * 100\% \quad (7)$$

q_t -откорректированное значение лобовых сопротивлений, f_s -замеренные значения боковых сопротивлений, σ_{v0} -полные вертикальные напряжения, σ'_{v0} - эффективное вертикальное напряжение ($\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0$) (Захаров М.С., 2014)

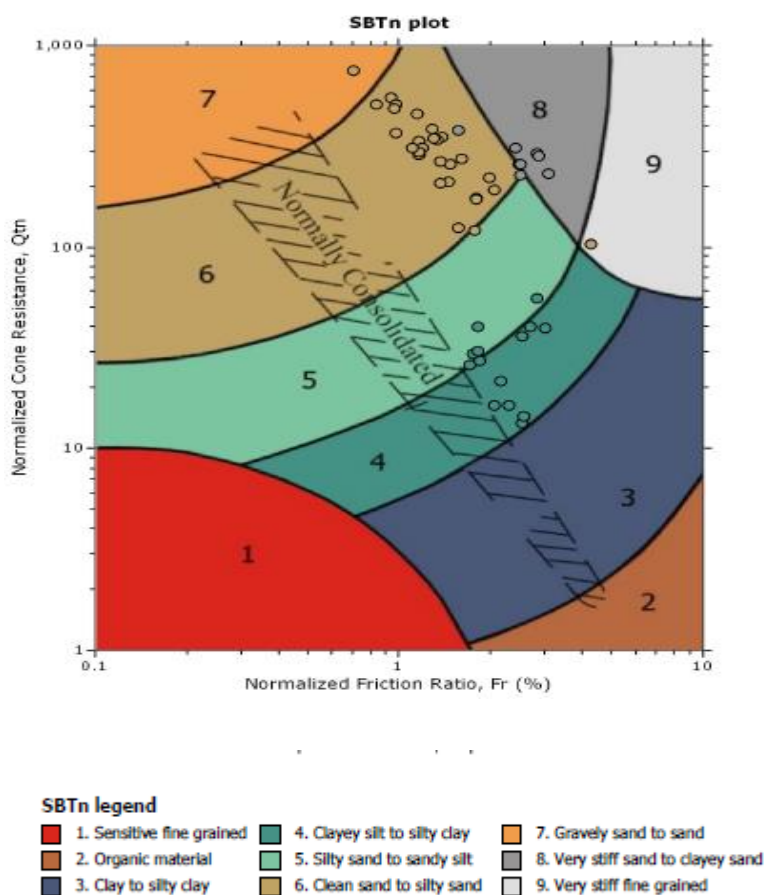


Рис.8 Нормализованная диаграмма типа поведения грунта (Robertson P.К.,2010)

С помощью нормализованных значений параметров можно перейти к зональным классификационным палеткам. (Рис.9). С помощью типологического индекса грунта (I_c) предполагается, как будет вести себя грунт в данном интервале и отражающий свойства и состояние грунта (Захаров М.С.,2012).

$$I_c = [(3,47 - \log Q_t)^2 + (\log Fr + 1,22)^2]^{0,5} \quad (8)$$

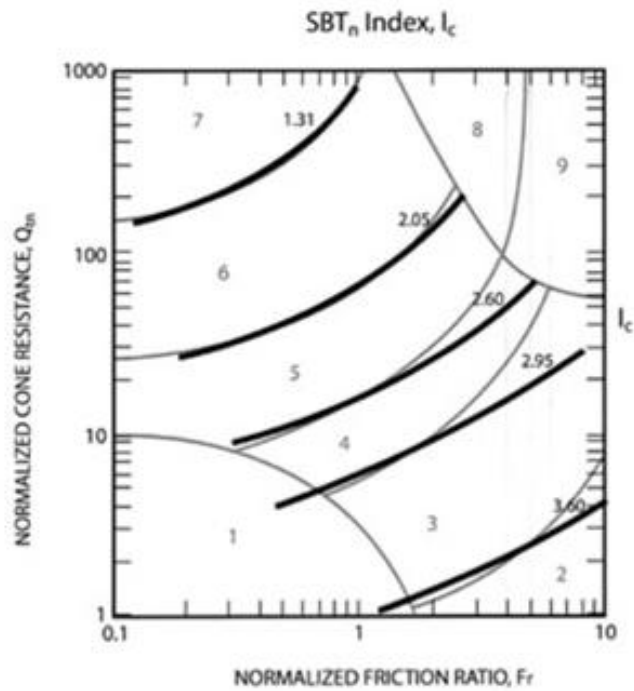


Рис.9 Классификационная зональная диаграмма для определения типа грунта (SBT) в зависимости от показателя I_c. (Robertson P.К.,2010)

Анализ проводится с помощью программы СРет-IT, которая анализирует необработанные данные статического зондирования и выполняет базовую интерпретацию с точки зрения типа поведения грунтов (SBT) и различных других геотехнических параметров (Рис.10), используя работы П.К. Робертсона.

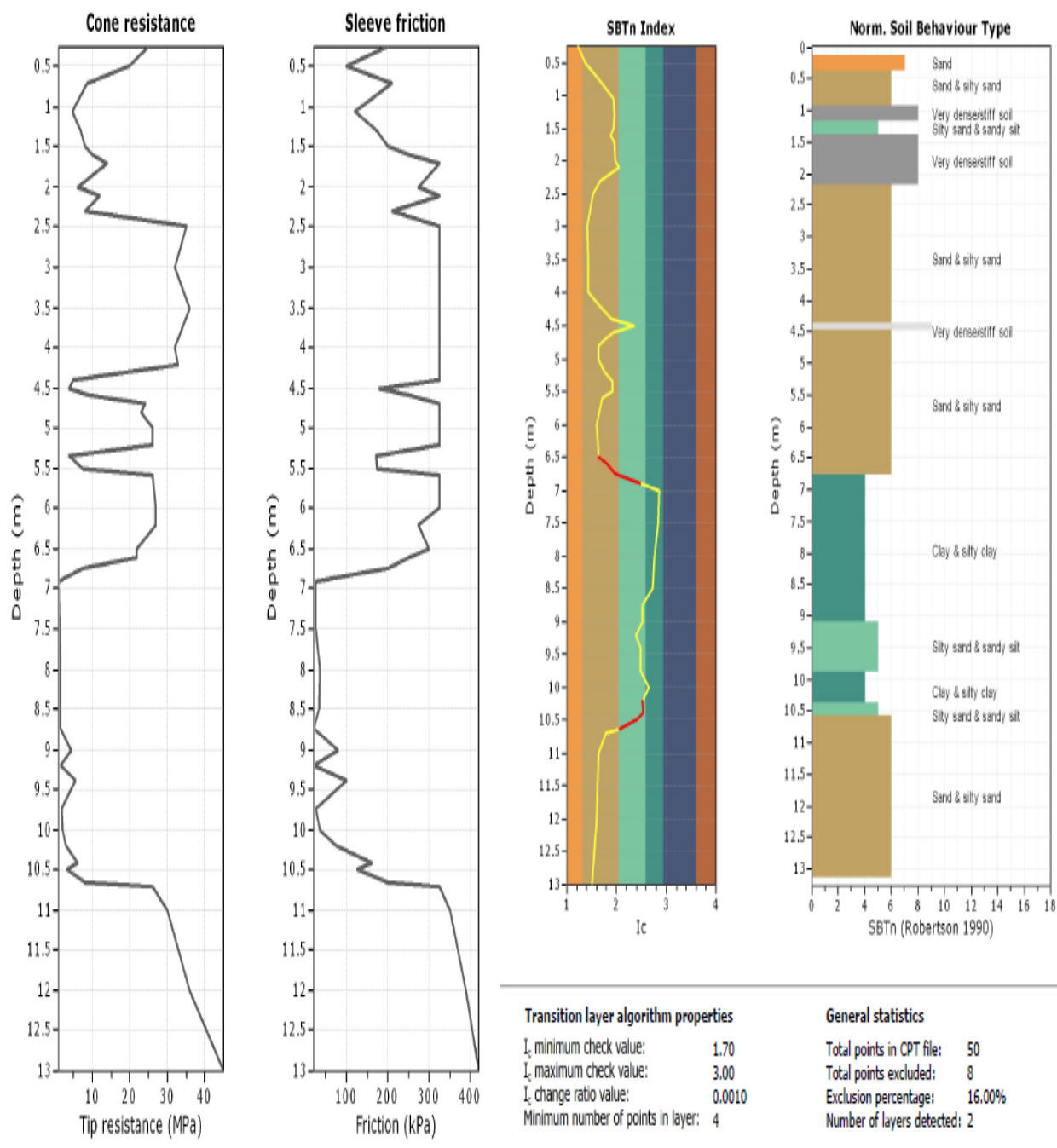


Рис.10 Результаты зондирования с помощью программы СРeТ-IT.(Валеева А.Р.)

2) Интерпретация по отечественным нормативно-техническим документам:

Основным нормативным документом для проведения статического зондирования является ГОСТ-19912-2012, в котором описывается сущность метода, оборудование, проведение испытания и т.д.

Для интерпретации статического зондирования используют следующие документы:

А) СП 11-105-97 и СП 47.13330.2012

Определение физико-механических свойств начинается только с глубины более метра. Для определения характеристик грунтов используют таблицы 1-5 приложения II. С

помощью данного нормативного документа определяются следующие показатели: плотность сложения (Таблица 1), нормативный модуль деформации песчаных грунтов (Таблица 2), нормативный угол внутреннего трения песчаных грунтов (Таблица 3), показатель текучести глинистых грунтов (Таблица 4), нормативные значения модуля деформации, угла внутреннего трения и удельного сцепления суглинков и глин (кроме грунтов ледникового комплекса) (Таблица 5).

Б) ТСН 50-302-2004

Данный нормативный документ применяется для определения характеристик грунтов на территории Санкт-Петербурга. Физико-механические свойства определяются с помощью приложения Е.

2.6. Зависимость результатов статического зондирования с другими показателями

Работы многих исследователей были направлены на изучение зависимостей статического зондирования с различными параметрами.

1. Зависимость модуля деформации грунта от сопротивления грунта под конусом зонда q для установок I (а) и II (б) типов.

Для эмпирического расчета модуля общей деформации, можно использовать обобщенные соотношения лобового и бокового сопротивления.

В своей статье «Взаимосвязь показателей статического зондирования грунтов установками I и II типов» Гольдфельд и Смирнова приводят рекомендуемые в нормативных документах и научно-технической литературе, а также полученные авторами расчетным путем графики зависимости модуля деформации от сопротивления под конусом:

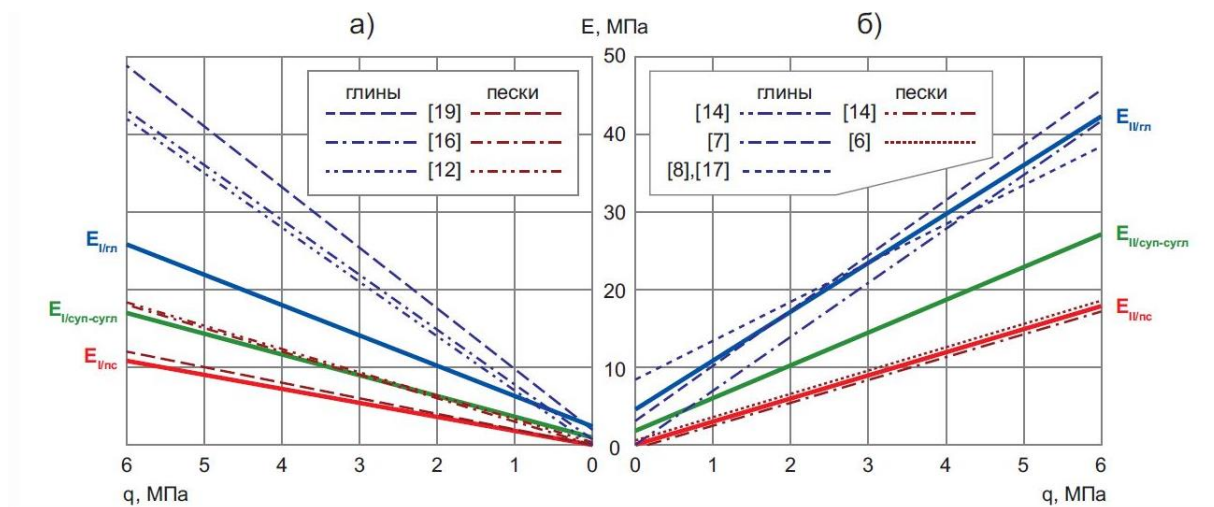


Рис.11 Графики зависимости модуля деформации грунта E от сопротивления грунта под конусом зонда q для установок I (а) и II (б) типов по литературным и

нормативным данным. Цветными жирными линиями показаны соответствующие графики, полученные по результатам расчетов авторов статьи (Гольфельд И.З., Смирнова Е.А., 2012)

Авторы получили два вида зависимостей:

Для модуля деформации песков

$$E_{II/пс}=3,0q \quad (9)$$

Для модуля деформации глин:

$$E_{II/гл}=6,4q+4,3 \quad (10)$$

Третий вид зависимости для модуля деформации супесей и суглинков был получен исходя из принципа пропорционального деления интервала между песками и глинами по числам пластичности супесей и суглинков:

$$E_{II/суп-суг}= 4,24q+1,74 \quad (11)$$

С помощью формулы перехода $E_I=E_{II}(\alpha_{I/ср}/\alpha_{II/ср})$ можно рассчитать зависимости для установки I типа:

$$E_{I/пс}=1.85q \quad (12)$$

$$E_{I/гл}=3.90q+2.62 \quad (13)$$

$$E_{I/суп-суг}=2,59q+1.06 \quad (14)$$

2. Зависимость угла внутреннего трения от нормализованного лобового сопротивления на примере чистого кварцевого песка.

Испытания статическим зондированием позволяют получать зависимости угла внутреннего трения от нормализованного лобового сопротивления. Данную зависимость рассматривает в своей статье Г.Г.Болдырев, предлагая рассчитывать угол внутреннего трения (на примере чистого кварцевого песка) по данным СРТ с помощью формулы:

$$\varphi'=\arctg [0.1+0.38\lg(\frac{q_c}{\sigma'_{vo}})] \quad (15)$$

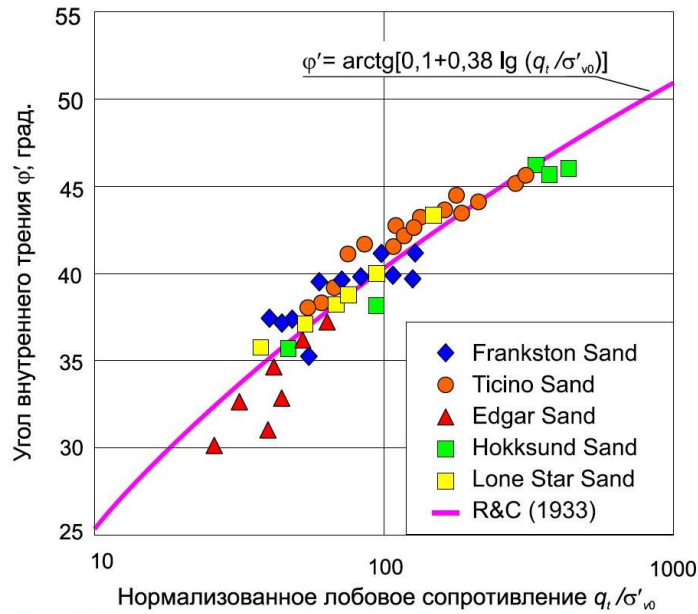


Рис. 12. Значение угла внутреннего трения для чистого песка по данным СРТ-испытаний. (Г.Г. Болдырев и др. 2014)

3. Зависимости, получаемые при консолидировано-дренированных испытаниях пылеватого песка в условиях трехосного сжатия, хорошо совпадает с формулой:

$$\varphi' = 17,6^\circ + 11,0 \lg(q_{c1}) \quad (16)$$

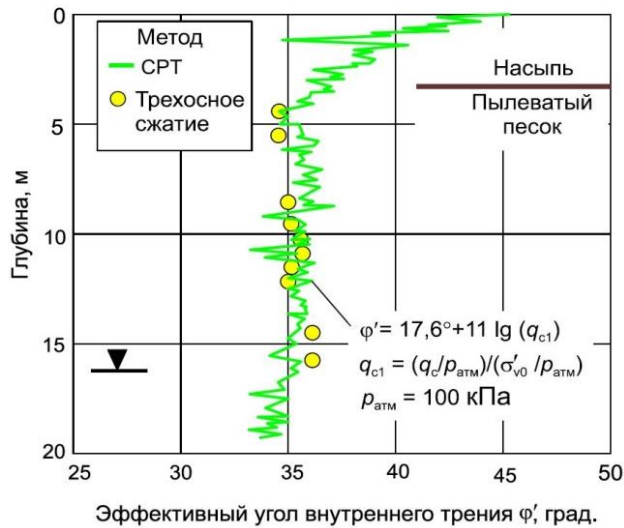


Рис. 13 Профиль эффективного угла внутреннего трения φ' по данным СРТ-испытаний. Горизонтальной чертой со стрелкой показано положение уровня грунтовых вод; $p_{атм}$ -давление от собственного веса грунта. (Г.Г. Болдырев и др. 2014)

4. Зависимость коэффициента переуплотнения от лобового сопротивления:

Коэффициент переуплотнения (OCR) характеризует историю формирования грунтовых отложение и определяется как отношение максимального в прошлом эффективного напряжения от собственного веса грунта, равного давлению

предварительного уплотнения σ'_p к текущему эффективному напряжению от собственного веса грунта (σ'_{v0}) (Г.Г.Болдырев и др, 2014)

Показатель (OCR) используют для классификации глинистых грунтов:

если $OCR=1$, то это нормально уплотненные глинистые грунты;

если $OCR>1$, то это переуплотненные глинистые грунты.

Существует несколько зависимостей статического зондирования с коэффициентом переуплотняемости. В статье «Интерпретация результатов полевых испытаний с целью определения прочностных характеристик грунтов» Г.Г.Болдырев рассматривает зависимость, предложенную Мэйн.

Для первого типа пьезозонда:

$$OCR = 2 \left[\frac{1}{1,95M} \left(\frac{q_t - u_1}{\sigma'_{v0}} + 1 \right)^{\frac{1}{\lambda}} \right] \quad (17)$$

Где u_1 -поровое давление у центра боковой поверхности конуса, кПа; $M=6\sin\varphi'/(3-\sin\varphi')$, безразм.

И для второго типа:

$$OCR = 2 \left[\frac{1}{1,95M+1} \left(\frac{(q_t - u_2)}{\sigma'_{v0}} + 1 \right)^{\frac{1}{\lambda}} \right] \quad (18)$$

Где u_2 -поровое давление у основания конуса, кПа.

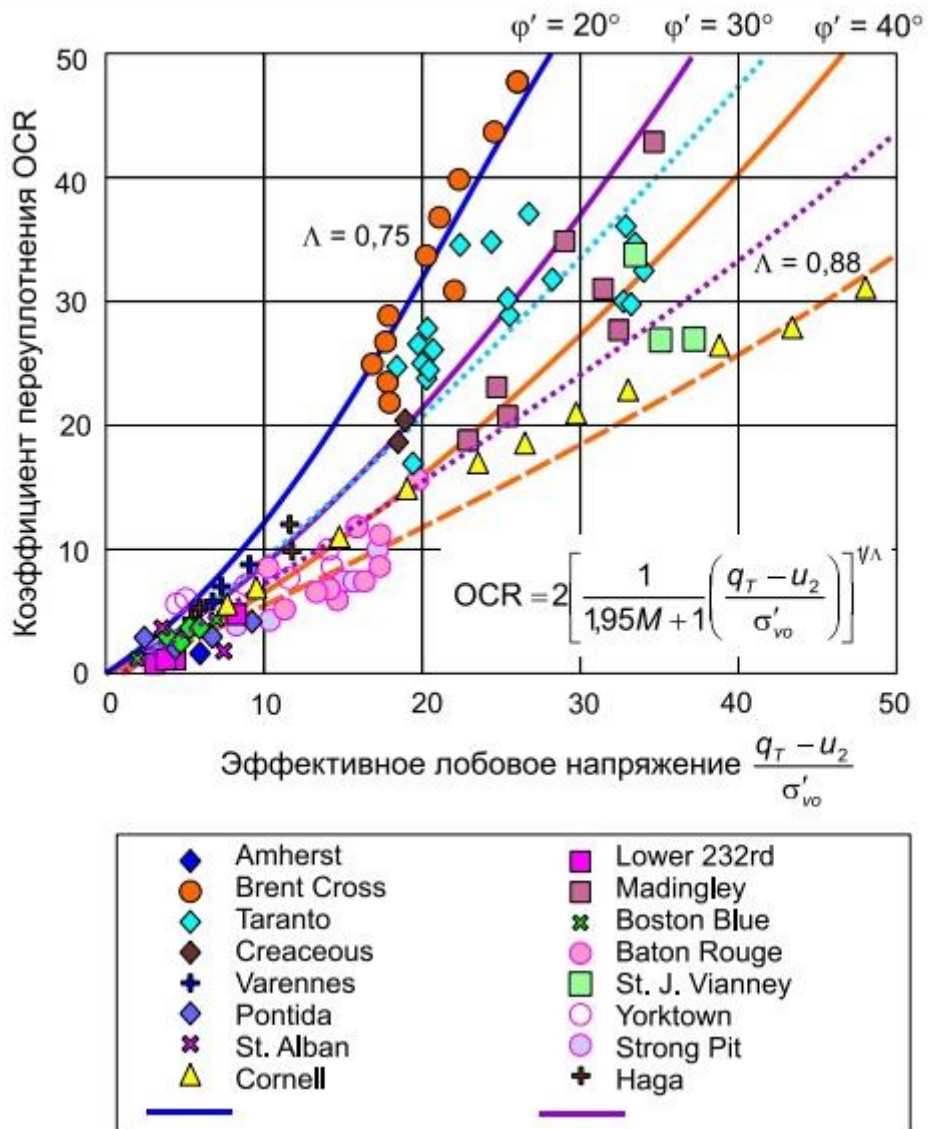


Рис. 14 Аналитическая зависимость для определения OCR при использовании зонда второго типа (Г,Г. Болдырев и др.2014)

Удельное лобовое сопротивление рассчитывается:

$$q_t = \sigma'_{vo} + c_u [4/3(\ln I_r - 1) + \pi/2 + 1] \quad (19)$$

$$I_r = \frac{G}{c_u} \quad (20)$$

Где I_r - коэффициент жесткости, G - модуль сдвига при соответствующем уровне деформации.

Робертсон П.К. предлагает следующую зависимость:

$$OCR = 0,25 (Q_t)^{1,25} \quad (21)$$

Где Q_t -нормализованное лобовое сопротивление, рассчитанное по формуле:

$$Q_t = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo} \quad (22)$$

$$\sigma_{vo} = \rho h \quad (23)$$

$$\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - \sigma' \quad (24)$$

где σ_{vo} -общее напряжение в массиве грунта (МПа), σ'_{vo} -эффективное напряжение грунта (МПа), q_t -откорректированное лобовое сопротивление конуса (МПа), h - глубина, ρ -плотность грунта(г/см³).

Глава 3. Особенности статического зондирования в грунтах с наличием крупных включений:

В Российской Федерации статическое зондирование регламентирует ГОСТ 19912-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием».

Согласно ГОСТу 19912-2012 метод статического зондирования применяется для исследований дисперсных природных, техногенных и мерзлых грунтов, состав и состояние которых позволяют проводить непрерывное внедрение зонда, и устанавливает методы полевых испытаний зондированием при их исследовании для проектирования и строительства.

Однако, существуют некоторые трудности при зондировании и интерпретации моренных грунтов:

1. Ограниченность использования статического зондирования

Обычно, зондирование ледниковых отложений прекращается, когда лобовое сопротивление становится более 20 МПа. Такое сопротивление достигается в верхних горизонтах моренных отложений. В редких случаях, удается пройти верхнюю моренную толщу и углубиться в межморенные отложения до московской морены.

Если в разрезе присутствуют прочные грунты, которые препятствуют внедрению зонда, а проведение испытания статического зондирования необходимо продолжить, то в таких случаях, обычно используют «комбинированное» зондирование. Данная методика предполагает чередование зондирования и бурения. Суть метод заключается в следующем: проводится зондирование грунтов до максимально возможной глубины, затем зонд извлекают и производят разбуривание прозондированного грунта ударно-канатным или колонковым способом, разбуривание плотных грунтов, а далее зонд опускают на забой и возобновляют статическое зондирование до тех пор, пока не будет достигнута требуемая глубина.

2. Ограниченность интерпретации статического зондирования для определения физико-механических свойств морен:

Для интерпретации статического зондирования и определения физико-механических свойств используют следующие нормативно-технические документации:

А) СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ».

Для определения физико-механических характеристик с помощью статического и динамического зондирования, предлагается использовать приложение И. Однако, стоит учесть следующие ограничения:

- Данное приложение действительно только для четвертичных глинистых грунтов с содержанием органических веществ менее 10%, а так же для кварцевых и кварцевополевошпатовых песчаных грунтов четвертичного возраста с величиной удельного сцепления менее 0,01 МПа
- Определение физико-механических характеристик только для грунтов, залегающих глубже 1 метра
- Определение нормативных значений модуля деформаций, угла внутреннего трения и сцепления для грунтов ледникового комплекса невозможно (табл.2, (СП 11-105-97))

Таблица 2

q ₃ , МПа	Нормативные значения модуля деформации E, угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C суглинков и глин (кроме грунтов ледникового комплекса)				
	E, МПа	Суглинки		Глины	
		φ, град.	C, кПа	φ, град.	C, кПа
0,5	3,5	16	14	14	25
1	7	19	17	17	30
2	14	21	23	18	35
3	21	23	29	20	40
4	28	25	35	22	45
5	35	26	41	24	50
6	42	27	47	25	55

Б) ТСН 50-302-2004 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге».

Приложение Е используют для определения нормативных значений прочностных и деформационных характеристик грунтов Санкт-Петербурга. С помощью номограмм можно получить значения угла внутреннего трения, сцепления и модуль деформации для грунтов ледникового генезиса.

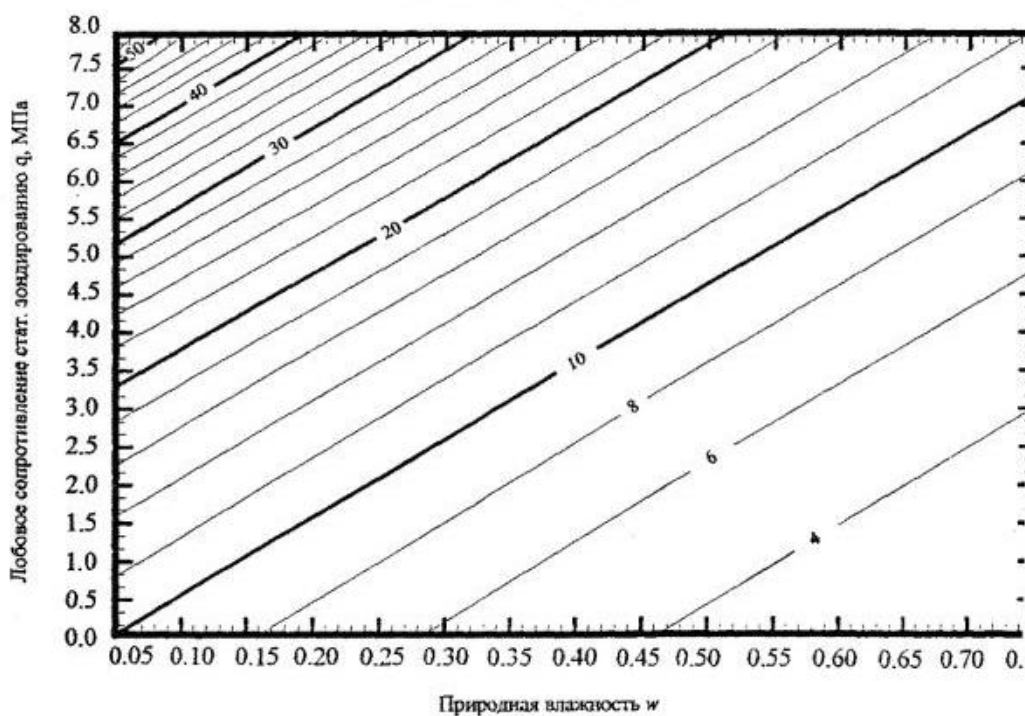


Рис.15 -Номограмма для определения нормативных значений модуля деформации E, МПа, четвертичных глинистых грунтов (ТСН 50-302-2004)

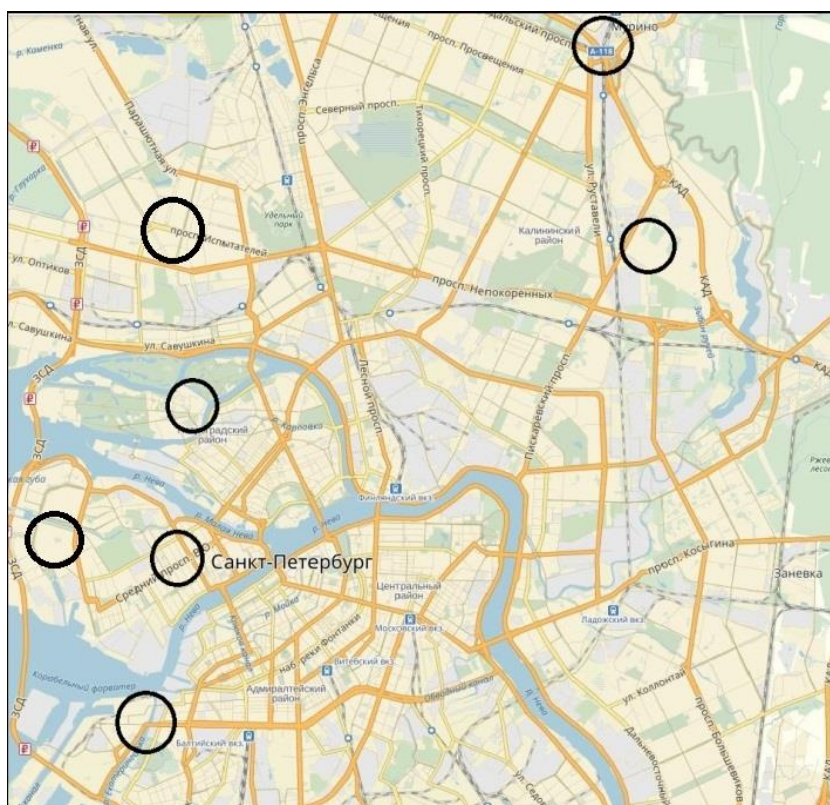
Однако, помимо результатов зондирования, необходимо еще знать значения влажности грунта, что предполагает наличие лабораторных данных, полученных путём исследований образцов ненарушенного сложения

Следовательно, если статическое зондирование прекращается вследствие достижения предельных усилий, отклонения наконечника зонда от вертикали или опасности повреждения зонда, то определить физико-механические характеристики грунта по российским нормативно-техническим документам не представляется возможным.

Глава 4. Определение корреляции физико-механических свойств глинистых грунтов осташковской морены с результатами статического зондирования.

В Санкт-Петербурге первой от поверхности моренной является осташковская. Грунты этой морены являются надежным основанием для строительства. Данные отложения представляет собой песчано-глинистые отложения с включениями гравия, гальки, валунов, что затрудняет интерпретацию из-за завышения боковых и лобовых сопротивлений.

Для достижения поставленной цели нами были собраны и проанализированы 7 объектов на территории Санкт-Петербурга (Рис.16).



Условные обозначения:

○ - район проведения



Рис. 16 Схематическое расположение объектов на территории Санкт-Петербурга.(
основана на <https://yandex.ru/maps/2/saint-petersburg/>)

На данных объектах были проведены в общей сумме 143 испытаний статическим зондированием. Однако, были использованы 37 графиков статического зондирования (Приложение Б), которые достигают моренных грунтов и имеют образцы ненарушенного сложения с проведенными компрессионными и сдвиговыми испытаниями. (Приложение В)

По основным классификационным параметрам согласно ГОСТ 25100-2011 (гранулометрический состав, I_p , I_r) были выделены 4 наиболее часто встречаемые грунты:

1. Суглинки легкие пылеватые тугопластичные (8 образцов с лабораторными исследованиями);
2. Супеси пылеватые текучие с гравием и галькой до 10% (8 образцов с лабораторными исследованиями);
3. Супеси пылеватые пластичные (40 образцов с лабораторными исследованиями);
4. Супеси песчанистые пластичные (12 образцов с лабораторными исследованиями).

Для выделенных групп грунтов проведем статистическую обработку данных для определения корреляционной зависимости физико-механических характеристик от лобового сопротивления грунта статическому зондированию. В обработку включены следующие параметры: модуль общей деформации, определенный в диапазоне нагрузок 0,1...0,2 МПа, в результате компрессионных испытаний образцов ненарушенного сложения, согласно п. 5.4 ГОСТ 12248-2010; сцепление и угол внутреннего трения, определенные в ходе консолидировано-дренированного одноплоскостного среза образцов ненарушенного сложения, согласно п.5.1 ГОСТ 12248-2010.

4.1 Статистическая обработка статического зондирования для суглинков легких пылеватых тугопластичных.

4.1.1. Корреляция лобового сопротивления с углом внутреннего трения.

Таблица 3

Данные для корреляции

ТСЗ	$\varphi, ^\circ$	$q, \text{ МПа}$	$f, \text{ МПа}$
ТСЗ-1	23,2	2,50	0,075
ТСЗ-2	21,1	1,8	0,06
ТСЗ-2	19,2	1,70	0,06
ТСЗ-2	18,3	1,7	0,06
ТСЗ-18	23	3	0,087
ТСЗ-37	21,1	2,00	0,07
ТСЗ-37	22,2	2,00	0,07
ТСЗ-37	21	2,3	0,075

Для наглядного изображения зависимости строим график:

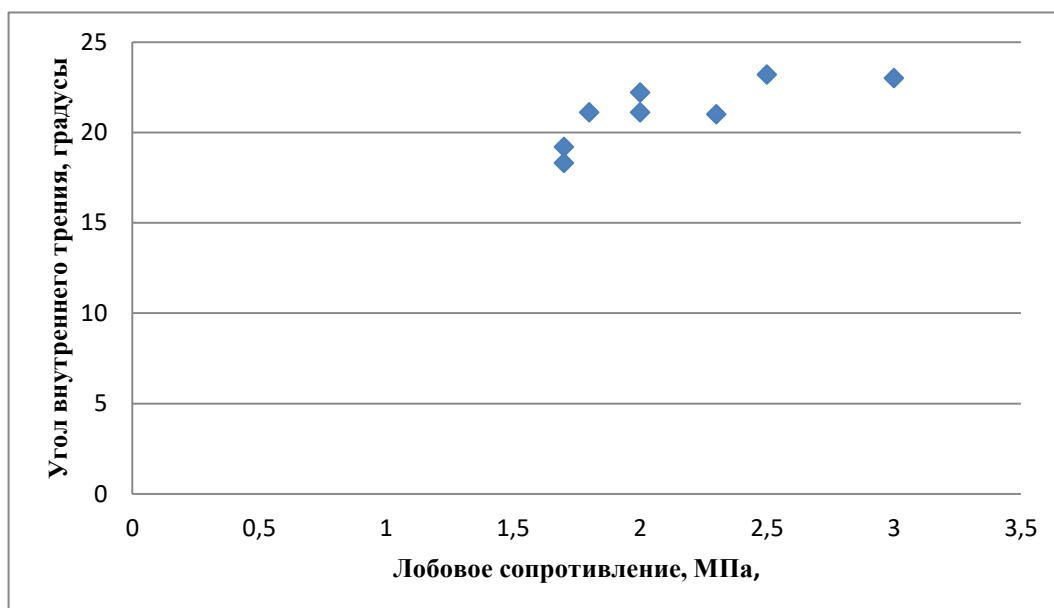


Рис.17 График зависимости угла внутреннего трения от лобового сопротивления

Для начала определим меру тесноты линейной связи между двумя переменными:

Таблица 5

Расчетная таблица для определения параметров регрессии

n	x (значения статического зондирования)	y(значения угла внутреннего трения)	x^2	y^2	$x*y$
1	2,5	23,2	6,25	538,24	58
2	1,8	21,1	3,24	445,21	37,98
3	1,7	19,2	2,89	368,64	32,64
4	1,7	18,3	2,89	334,89	31,11
5	3	23	9	529	69
6	2	21,1	4	445,21	42,2

n	x (значения статического зондирования)	y(значения угла внутреннего трения)	x ²	y ²	x*y
7	2	22,2	4	492,84	44,4
8	2,3	21	5,29	441	48,3
Σ	17	169,1	37,56	3595,03	363,63

Для этого необходимо рассчитать выборочные средние:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{17}{8} = 2,13 \quad (25)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{169,1}{8} = 21,14 \quad (26)$$

$$\overline{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n} = \frac{363,63}{8} = 45,45 \quad (27)$$

Затем выборочные дисперсии:

$$S^2(x) = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2 = \frac{37,56}{8} - 2,13^2 = 0,18 \quad (28)$$

$$S^2(y) = \frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2 = \frac{3595,03}{8} - 21,14^2 = 2,58 \quad (29)$$

А также среднеквадратичное отклонение:

$$S(x) = \sqrt{S^2(x)} = \sqrt{0,18} = 0,424 \quad (29)$$

$$S(y) = \sqrt{S^2(y)} = \sqrt{2,58} = 1,608 \quad (30)$$

Теперь определяем коэффициент корреляции:

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S(x) \cdot S(y)} = \frac{45,45 - 2,13 \cdot 21,14}{0,424 \cdot 1,608} = 0,788 \quad (30)$$

Для оценки силы связи используют шкалу Чеддока, согласно которой наша связь сильная.

Линейное уравнение регрессии имеет вид $y = bx + a$, Рассчитаем параметры регрессии:

Для наших данных система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} 8a + 17b = 169,1 \\ 17a + 37,56b = 363,63 \end{cases} \quad (31)$$

Домножим первое уравнение системы (31) на (-2,125), получим систему, которую решим методом алгебраического сложения:

$$\begin{cases} -17a - 36,12b = -359,34 \\ 17a + 37,56b = 363,63 \end{cases} \quad (32)$$

Получаем:

$$1,44 = 4,29 \quad (33)$$

Откуда $b=2,9913$

Теперь найдем коэффициент «а» из уравнения (32):

$$17a + 37,56b = 363,63 \quad (34)$$

$$17a + 37,56 \cdot 2,9913 = 363,63 \quad (35)$$

$$17a = 251,277 \quad (36)$$

$$a = 14,781$$

Получаем уравнение регрессии:

$$y = 2,9913x + 14,781 \quad (37)$$

Квадрат коэффициента корреляции называется коэффициентом детерминации, который рассчитывается для оценки качества подбора линейной функции.

$$R^2 = 0,788^2 = 0,6209 \quad (38)$$

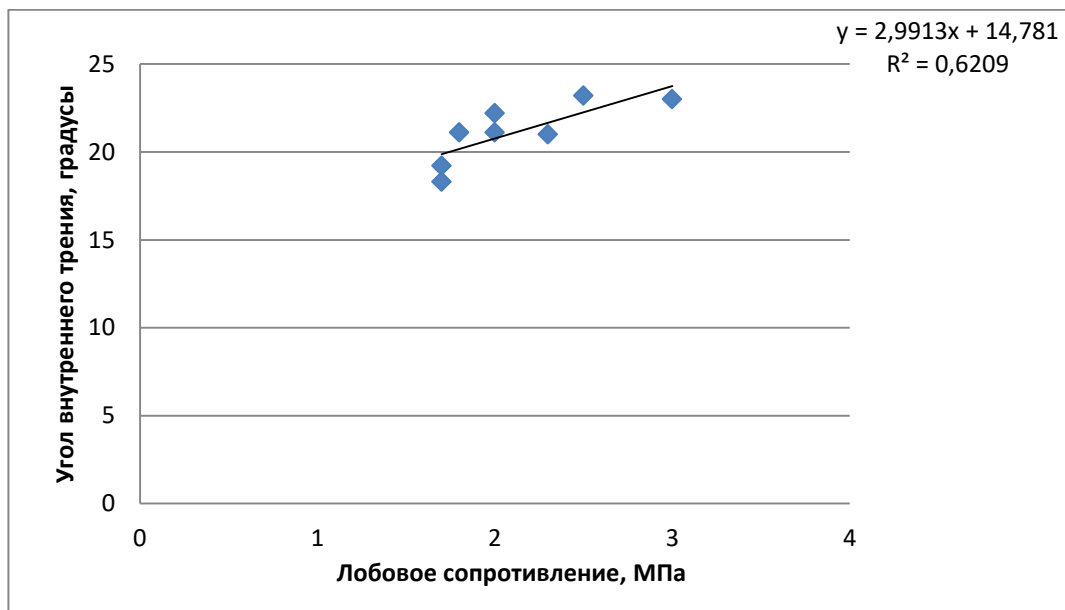


Рис.18 График зависимости угла внутреннего трения от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

4.1.2. Корреляция лобового сопротивления со сцеплением.

Таблица 6

Данные для корреляции

ТСЗ	C, МПа	q, МПа	f, МПа
ТСЗ-1	0,04	2,50	0,075

ТСЗ	C, МПа	q, МПа	f, МПа
ТСЗ-2	0,023	1,8	0,06
ТСЗ-2	0,03	1,70	0,06
ТСЗ-2	0,029	1,7	0,06
ТСЗ-18	0,032	3,0	0,087
ТСЗ-37	0,023	2,00	0,07
ТСЗ-37	0,029	2,00	0,07
ТСЗ-37	0,024	2,3	0,075

Для наглядного изображения зависимости строим график.

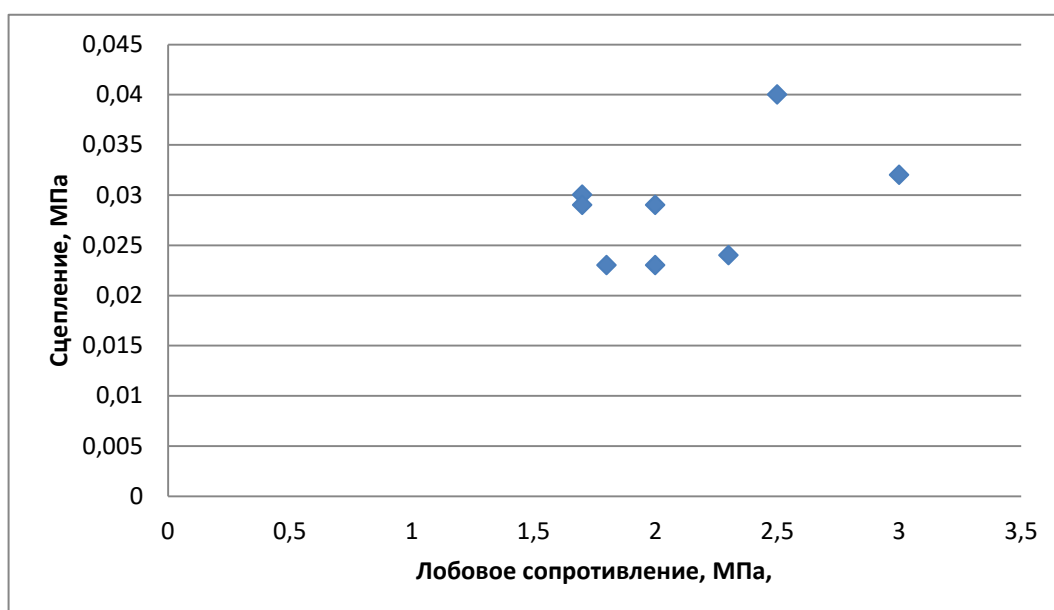


Рис. 19 График зависимости сцепления от лобового сопротивления

Рассчитаем тесноту связи:

Расчетная таблица для определения параметров регрессии

n	x (значения статического зондирования)	y(значения сцепления)	x ²	y ²	x*y
1	2,5	0,04	6,25	0,0016	0,1
2	1,8	0,023	3,24	0,000529	0,0414
3	1,7	0,03	2,89	0,0009	0,051
4	1,7	0,029	2,89	0,000841	0,0493
5	3,0	0,032	9,0	0,00102	0,096
6	2,0	0,023	4,0	0,000529	0,046
7	2,0	0,029	4,0	0,000841	0,058
8	2,3	0,024	5,29	0,000576	0,0552
Σ	17	0,23	37,56	0,00684	0,497

Предварительно рассчитав выборочные средние, выборочные дисперсии и среднеквадратическое отклонение, можно рассчитать коэффициент корреляции:

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S(x) \cdot S(y)} = \frac{0,0621 - 2,13 \cdot 0,0288}{0,424 \cdot 0,00533} = 0,451 \quad (39)$$

Согласно шкале Чеддока наша связь умеренная.

Далее находим параметры регрессии:

$$\begin{cases} 8a + 17b = 0,23 \\ 17a + 37,56b = 0,497 \end{cases} \quad (40)$$

Домножим первое уравнение системы на (-2,125) и получаем систему уравнения, решаемую алгебраическим сложением:

$$\begin{cases} -17a - 36,12b = -0,489 \\ + \quad 17a + 37,56b = 0,497 \end{cases} \quad (41)$$

Получается:

$$1,44b=0,008 \quad (42)$$

Откуда $b=0,00573$

Теперь найдем коэффициент «а» из первого уравнения (40):

$$8a+17b=0,23 \quad (43)$$

$$8a+17*0,00573=0,23 \quad (44)$$

$$8a=0,1331 \quad (45)$$

$$a=0,0167$$

Уравнение регрессии: $y=0,00573x+0,0167$. (46)

Рассчитываем коэффициент детерминации: $R^2=0,451^2=0,2035$. (47)

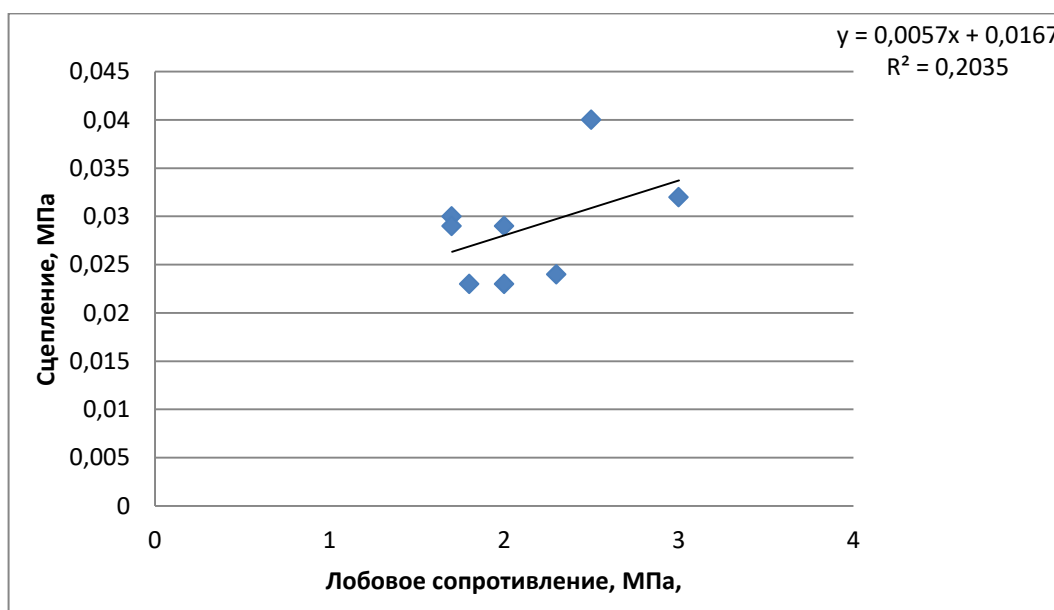


Рис.20 График зависимости сцепления от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации

4.1.3. Корреляция лобового сопротивления с модулем общей деформации.

Таблица 8

Данные для корреляции

ТСЗ	E, МПа	q, МПа	f, МПа
ТСЗ-1	8,5	2,50	0,075
ТСЗ-2	8,3	1,8	0,06
ТСЗ-2	6,9	1,70	0,06
ТСЗ-2	6,8	1,7	0,06

ТСЗ	Е, МПа	q, МПа	f, МПа
ТСЗ-18	8,16	3	0,087
ТСЗ-37	8,3	2,00	0,07
ТСЗ-37	6,8	2,00	0,07
ТСЗ-37	5,4	2,3	0,075

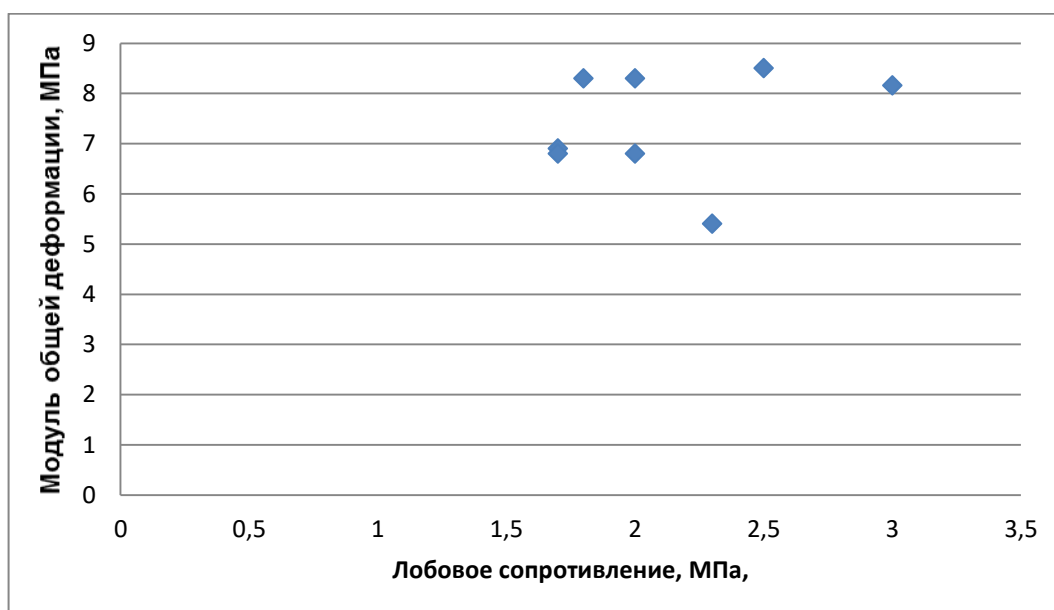


Рис.21 График модуля общей деформации от лобового сопротивления

На графике видны выбросы, можно получить более точные выводы, удалив их.

Таблица 9

Данные для корреляции после исключения выбросов

ТСЗ	Е, МПа	q, МПа	f, МПа
ТСЗ-1	8,5	2,5	0,075
ТСЗ-2	8,3	1,8	0,06
ТСЗ-2	6,9	1,7	0,06
ТСЗ-2	6,8	1,7	0,06

ТСЗ	Е, МПа	q, МПа	f, МПа
ТСЗ-18	8,16	3,0	0,087
ТСЗ-37	8,3	2,0	0,07
ТСЗ-37	6,8	2,0	0,07

Определяем меру тесноты линейной связи:

Таблица 10

Расчетная таблица для определения параметров регрессии

n	x (значения статического зондирования)	y (значения модуля общей деформации)	x ²	y ²	x*y
1	2,5	8,5	6,25	72,25	21,25
2	1,8	8,3	3,24	68,89	14,94
3	1,7	6,9	2,89	47,61	11,73
4	1,7	6,8	2,89	46,24	11,56
5	3,0	8,16	9	66,586	24,48
6	2	8,3	4	68,89	16,6
7	2	6,8	4	46,24	13,6
Σ	14,7	53,76	32,27	416,706	114,16

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S(x) \cdot S(y)} = \frac{16,31 - 2,1 \cdot 7,68}{0,447 \cdot 0,74} = 0,546 \quad (48)$$

В нашем примере связь заметная и прямая,

Далее находим параметры регрессии:

$$\begin{cases} 7a + 14,7b = 53,76 \\ 14,7a + 32,27b = 114,16 \end{cases} \quad (49)$$

Умножим первое уравнение системы на (-2,1):

$$\begin{cases} -14,7a - 30,87b = -112,9 \\ 14,7a + 32,27b = 114,16 \end{cases} \quad (50)$$

Решаем данную систему с помощью алгебраического сложения и получаем:

$$1,4b = 1,26 \quad (51)$$

Откуда $b=0,9029$

Рассчитываем коэффициент a :

$$7a + 14,7b = 53,76 \quad (52)$$

$$7a + 14,7 * 0,9029 = 53,76 \quad (53)$$

$$7a = 40,49 \quad (54)$$

$$a = 5,784$$

$$\text{Уравнение данной модели: } y = 0,9029x + 5,784 \quad (55)$$

Рассчитываем коэффициент детерминации:

$$R^2 = 0,546^2 = 0,2981 \quad (56)$$

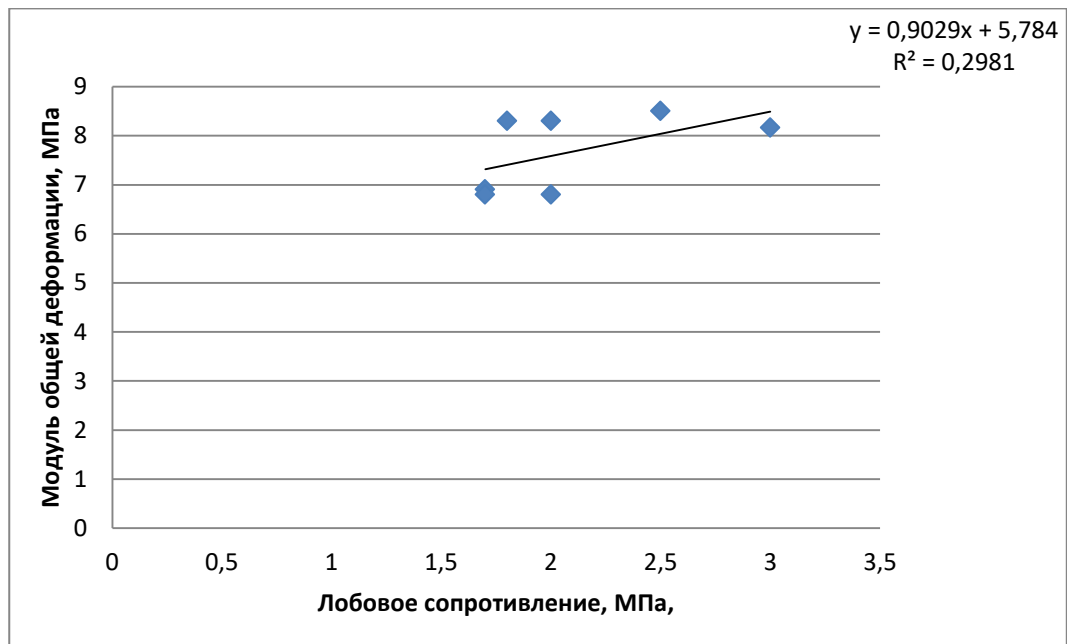


Рис.22 График зависимости модуля общей деформации от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

4.2. Статистическая обработка статического зондирования для супесей пылеватых текучих с гравием и галькой до 10 %

4.2.1. Корреляция лобового сопротивления с углом внутреннего трения.

Таблица 11

Данные для корреляции

ТСЗ	$\varphi, ^\circ$	$q, \text{МПа}$	$f, \text{МПа}$
ТСЗ-3	20	0,4	0,002
ТСЗ-4	20	0,5	0,001
ТСЗ-8	28	0,4	0,015
ТСЗ-9	16	0,5	0,035
ТСЗ-10	16	2,6	0,0805
ТСЗ-11	23	3,5	0,060
ТСЗ-16	16	0,4	0,033
ТСЗ-17	14	0,4	0,001

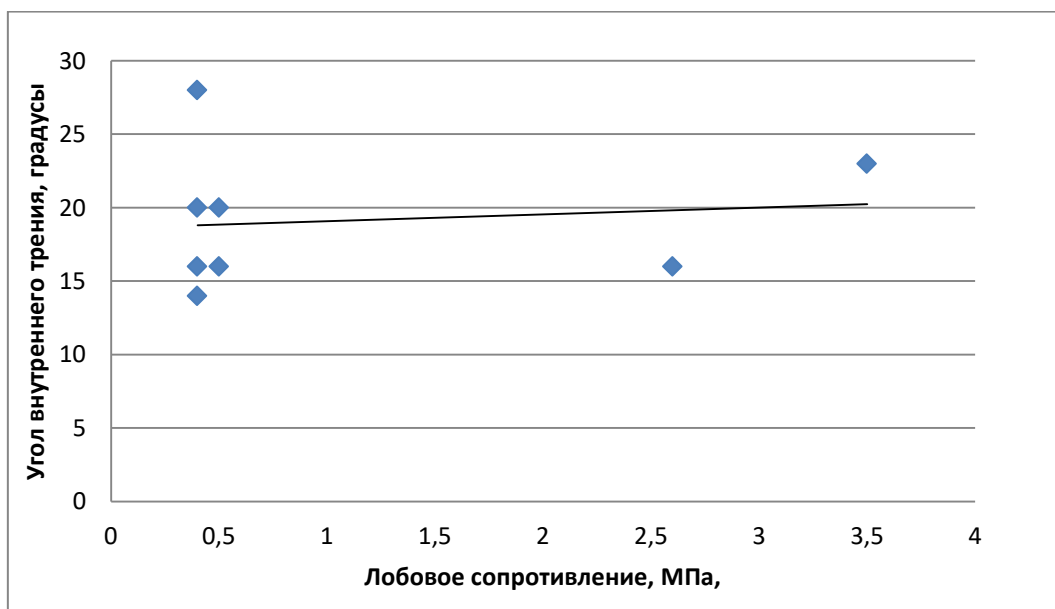


Рис.23 График зависимости угла внутреннего трения от лобового сопротивления

Убираем выбросы:

Данные для корреляции после исключения выбросов

ТСЗ	$\varphi, ^\circ$	$q, \text{ МПа}$	$f, \text{ МПа}$
ТСЗ-3	20	0,4	0,002
ТСЗ-4	20	0,5	0,001
ТСЗ-9	16	0,5	0,035
ТСЗ-10	16	2,6	0,0805
ТСЗ-11	23	3,5	0,06
ТСЗ-16	16	0,4	0,033
ТСЗ-17	14	0,4	0,001

Определяем тесноту связи:

Расчетная таблица для определения параметров регрессии

n	x (значения статического зондирования)	y(значения угла внутреннего трения)	x^2	y^2	$x*y$
1	0,4	20	0,16	400	8,0
2	0,5	20	0,25	400	10,0
3	0,5	16	0,25	256	8,0
4	2,6	16	6,76	256	41,6
5	3,5	23	12,25	529	80,5

n	x (значения статического зондирования)	y(значения угла внутреннего трения)	x ²	y ²	x*y
6	0,4	16	0,16	256	6,4
7	0,4	14	0,16	196	5,6
Σ	8,3	125	19,99	2293	160,1

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S(x) \cdot S(y)} = \frac{22,87 - 1,19 \cdot 17,86}{1,204 \cdot 2,949} = 0,478 \quad (57)$$

По шкале Чеддока связь между углом внутреннего трения и значениями лобового сопротивления умеренная и прямая.

Для того чтобы рассчитать коэффициенты регрессии составим систему уравнений:

$$\begin{cases} 7a + 8,3b = 125 \\ 8,3a + 19,99b = 160,1 \end{cases} \quad (58)$$

Умножаем первое уравнение системы на (-1,19) и решаем систему уравнений:

$$\begin{cases} -8,3a - 9,88b = -148,75 \\ + \quad 8,3a + 19,99b = 160,1 \end{cases} \quad (59)$$

$$10,11b = 11,35 \quad (60)$$

$$b = 1,1712$$

Находим коэффициент «а», подставив во второе уравнение системы (58):

$$8,3a + 19,99b = 160,1 \quad (61)$$

$$8,3a + 19,99 \cdot 1,1712 = 160,1 \quad (62)$$

$$8,3a = 136,6877 \quad (63)$$

$$a = 16,4685$$

Получаем следующее уравнение:

$$y = 1,1712x + 16,4685 \quad (64)$$

Коэффициент детерминации данного уравнения равен:

$$R^2 = 0,478^2 = 0,2287 \quad (65)$$

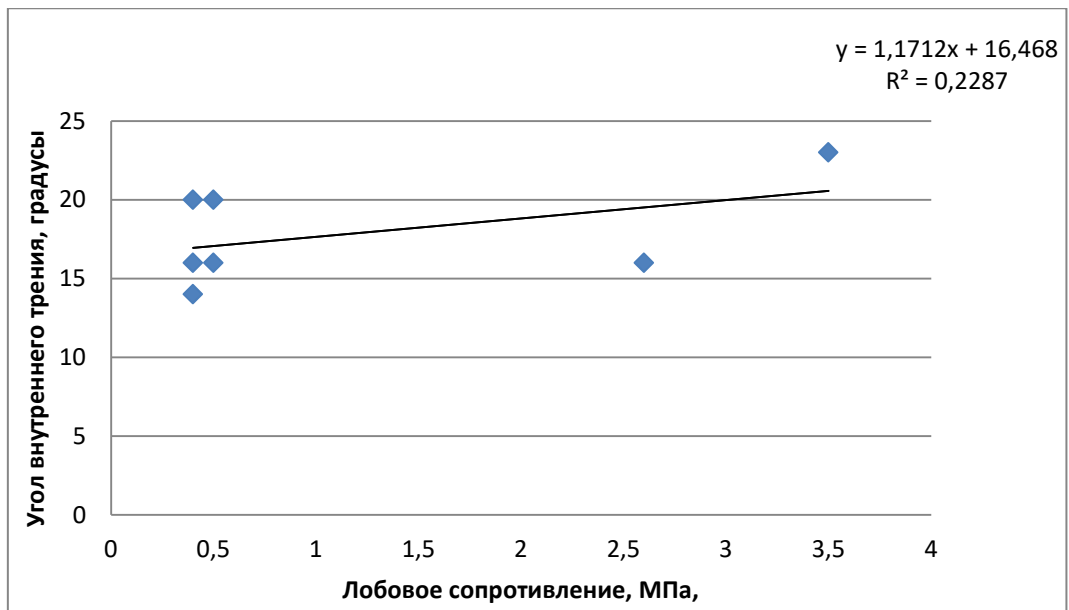


Рис.24 График зависимости угла внутреннего трения от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

4.2.2. Корреляция лобового сопротивления со сцеплением.

Таблица 14

Данные для корреляции

ТСЗ	C, МПа	q, МПа	f, МПа
ТСЗ-3	0,01	0,4	0,002
ТСЗ-4	0,012	0,5	0,001
ТСЗ-8	0,046	0,4	0,015
ТСЗ-9	0,006	0,5	0,035
ТСЗ-10	0,004	2,6	0,080
ТСЗ-11	0,022	3,5	0,06
ТСЗ-16	0,006	0,4	0,033
ТСЗ-17	0,008	0,4	0,001

Для наглядного изображения зависимости строим график.

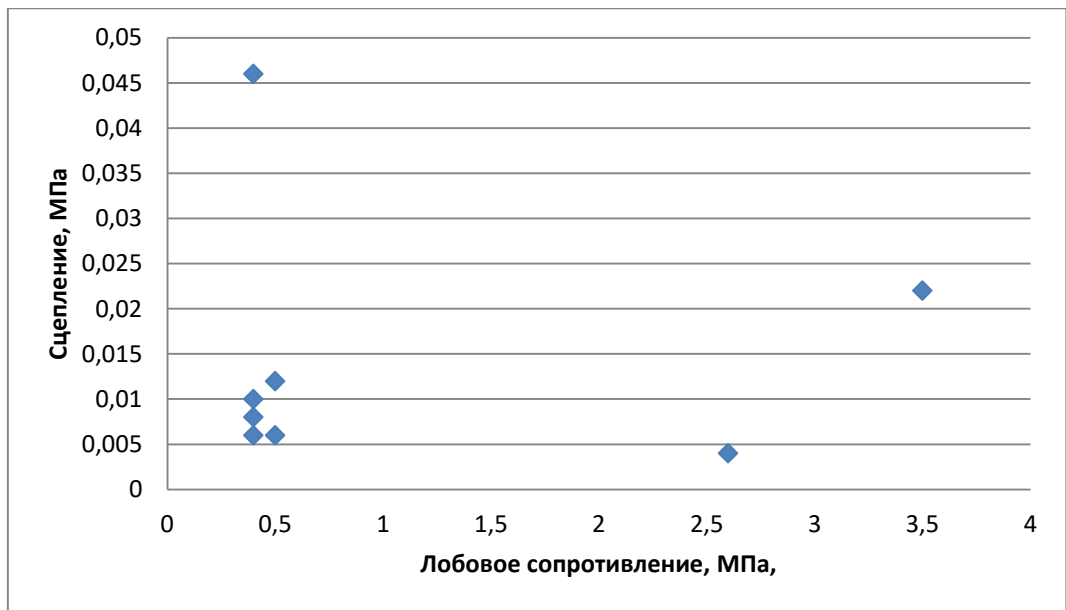


Рис. 25 График зависимости сцепления от лобового сопротивления

Удалив выбросы, рассчитаем тесноту связи:

Таблица 15

Расчетная таблица для определения параметров регрессии

n	x (значения статического зондирования)	y(значения сцепления)	x^2	y^2	$x*y$
1	0,4	0,01	0,16	0,0001	0,004
2	0,5	0,012	0,25	0,000144	0,006
3	0,5	0,006	0,25	3,6E-5	0,003
4	2,6	0,004	6,76	1,6E-5	0,0104
5	3,5	0,022	12,25	0,000484	0,077

n	x (значения статического зондирования)	y(значения сцепления)	x ²	y ²	x*y
6	0,4	0,006	0,16	3,6E-5	0,0024
7	0,4	0,008	0,16	6,4E-5	0,0032
Σ	8,3	0,068	19,99	0,00088	0,106

Предварительно рассчитав выборочные средние, выборочные дисперсии и среднеквадратическое отклонение, можно рассчитать коэффициент корреляции:

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S(x) \cdot S(y)} = \frac{0,0151 - 1,19 \cdot 0,00971}{1,204 \cdot 0,0056} = 0,538 \quad (66)$$

Согласно шкале Чеддока наша связь заметная.

Далее находим параметры регрессии:

$$\begin{cases} 7a + 8,3b = 0,068 \\ 8,3a + 19,99b = 0,11 \end{cases} \quad (67)$$

Домножим первое уравнение системы на (-1,19) и получаем систему уравнения, решаемую алгебраическим сложением:

$$\begin{cases} -8,3a - 9,88b = -0,0809 \\ + \quad 8,3a + 19,99b = 0,11 \end{cases} \quad (68)$$

Получается:

$$10,11b = 0,0251 \quad (69)$$

Откуда $b = 0,0025$

Теперь найдем коэффициент «а» из первого уравнения (64):

$$7a + 8,3b = 0,068 \quad (70)$$

$$7a + 8,3 \cdot 0,0025 = 0,068 \quad (71)$$

$$7a = 0,0473 \quad (72)$$

$$a = 0,00675$$

Уравнение регрессии:

$$y = 0,0025x + 0,00675 \quad (73)$$

Рассчитываем коэффициент детерминации:

$$R^2 = 0,538^2 = 0,2891. \quad (74)$$

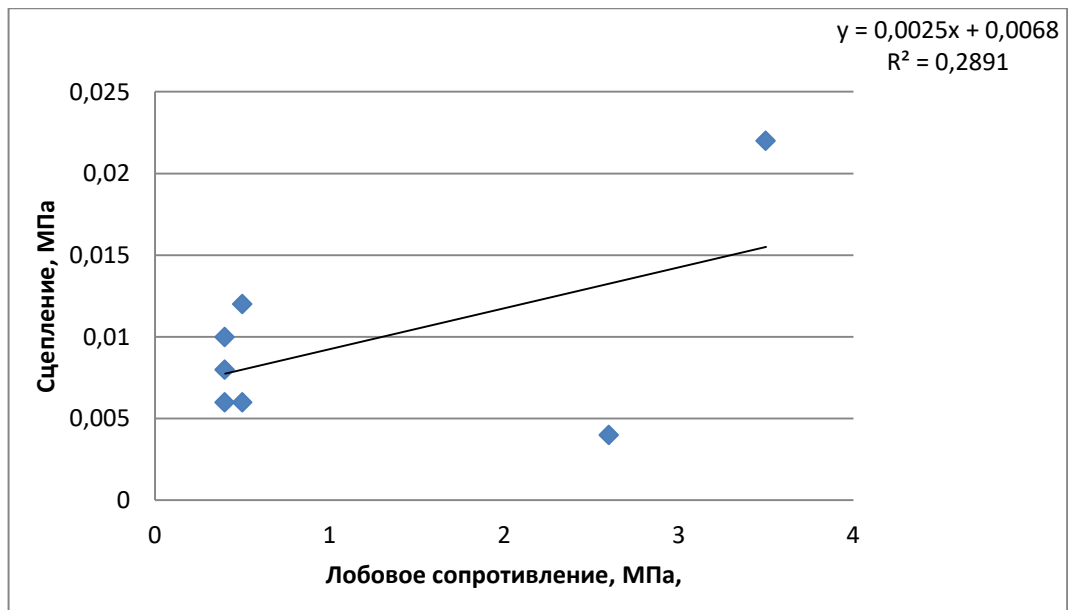


Рис.26 График зависимости сцепления от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации

4.2.3. Корреляция лобового сопротивления с модулем общей деформации.

Таблица 16

Данные для корреляции

ТСЗ	Е, МПа	q, МПа	f, МПа
ТСЗ-3	6,7	0,4	0,002
ТСЗ-4	7,1	0,5	0,001
ТСЗ-8	12,1	0,4	0,015
ТСЗ-9	7,9	0,5	0,035
ТСЗ-10	7,1	2,6	0,0805
ТСЗ-11	9,6	3,5	0,06
ТСЗ-16	7,9	0,4	0,033
ТСЗ-17	7,1	0,4	0,001

Для наглядного изображения зависимости строим график:

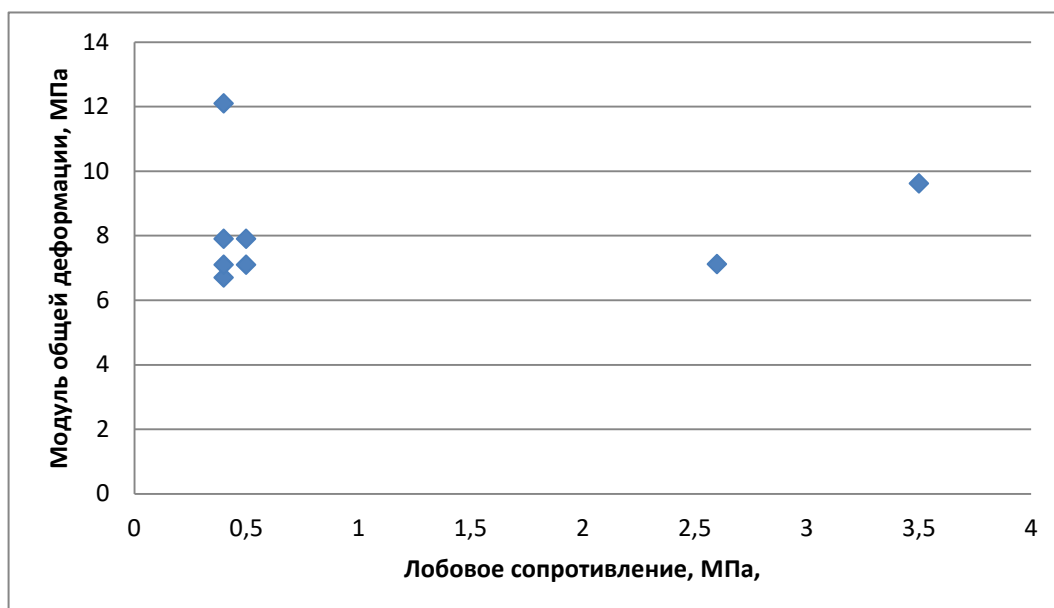


Рис.27 График зависимости модуля общей деформации от лобового сопротивления

На графике видны выбросы, исключив которые, можно получить более точные выводы.

Таблица 17

Данные для корреляции после исключения выбросов

ТСЗ	Е, МПа	q, МПа	f, МПа
ТСЗ-3	6,7	0,4	0,002
ТСЗ-4	7,1	0,5	0,001
ТСЗ-9	7,9	0,5	0,035
ТСЗ-10	7,1	2,6	0,0805
ТСЗ-11	9,6	3,5	0,06
ТСЗ-16	7,9	0,4	0,033
ТСЗ-17	7,1	0,4	0,001

Для начала определим меру тесноты линейной связи между двумя переменными:

Расчетная таблица для определения параметров регрессии

n	x (значения статического зондирования)	y(значения модуля деформации)	x ²	y ²	x*y
1	0.4	6.7	0.16	44.89	2.68
2	0.5	7.1	0.25	50.41	3.55
3	0.5	7.9	0.25	62.41	3.95
4	2.6	7.12	6.76	50.694	18.512
5	3.5	9.62	12.25	92.544	33.67
6	0.4	7.9	0.16	62.41	3.16
7	0.4	7.1	0.16	50.41	2.84
Σ	8.3	53.44	19.99	413.769	68.362

Определяем коэффициент корреляции:

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{s(x) \cdot s(y)} = \frac{9,77 - 1,19 \cdot 7,63}{1,204 \cdot 0,91} = 0,652 \quad (75)$$

Для оценки силы связи используют шкалу Чеддока, согласно которой наша связь заметная и прямая.

Линейное уравнение регрессии имеет вид $y = bx + a$, Рассчитаем параметры регрессии:

Для наших данных система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} 7a + 8,3b = 53,44 \\ 8,3a + 19,99b = 68,36 \end{cases} \quad (76)$$

Домножим первое уравнение системы (31) на (-1,19), получим систему, которую решим методом алгебраического сложения:

$$\begin{cases} -8,3a - 9,88b = -63,59 \\ + 8,3a + 19,99b = 68,36 \end{cases} \quad (77)$$

Получаем:

$$10,11b = 4,77 \quad (78)$$

Откуда $b = -0,4924$

Теперь найдем коэффициент «а» из уравнения (73):

$$7a + 8,3b = 53,44 \quad (79)$$

$$7a + 8,3 * 0,4924 = 53,44 \quad (80)$$

$$7a = 49,35 \quad (81)$$

$$a = 7,0504$$

Получаем уравнение регрессии:

$$y = 0,4924x + 7,0504 \quad (82)$$

Квадрат коэффициента корреляции называется коэффициентом детерминации, который рассчитывается для оценки качества подбора линейной функции.

$$R^2 = 0,652^2 = 0,4248 \quad (83)$$

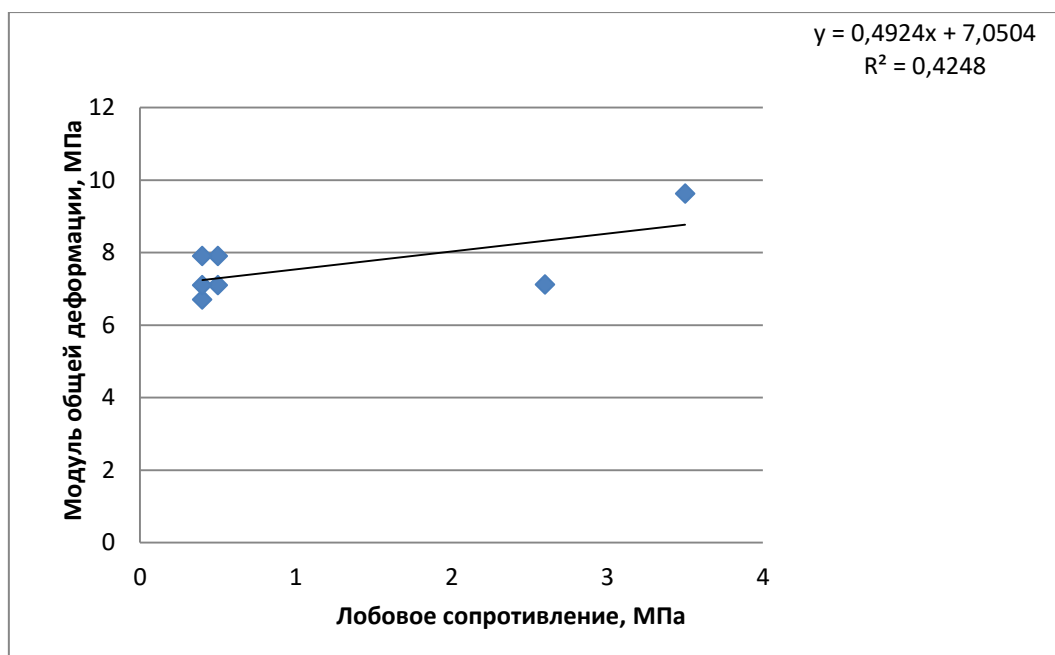


Рис.28 График зависимости модуля общей деформации от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

По такому же принципу были рассчитаны корреляционные зависимости для остальных грунтов.

4.3. Статистическая обработка статического зондирования для супесей пылеватых пластичных:

4.3.1. Корреляция лобового сопротивления с углом внутреннего трения.

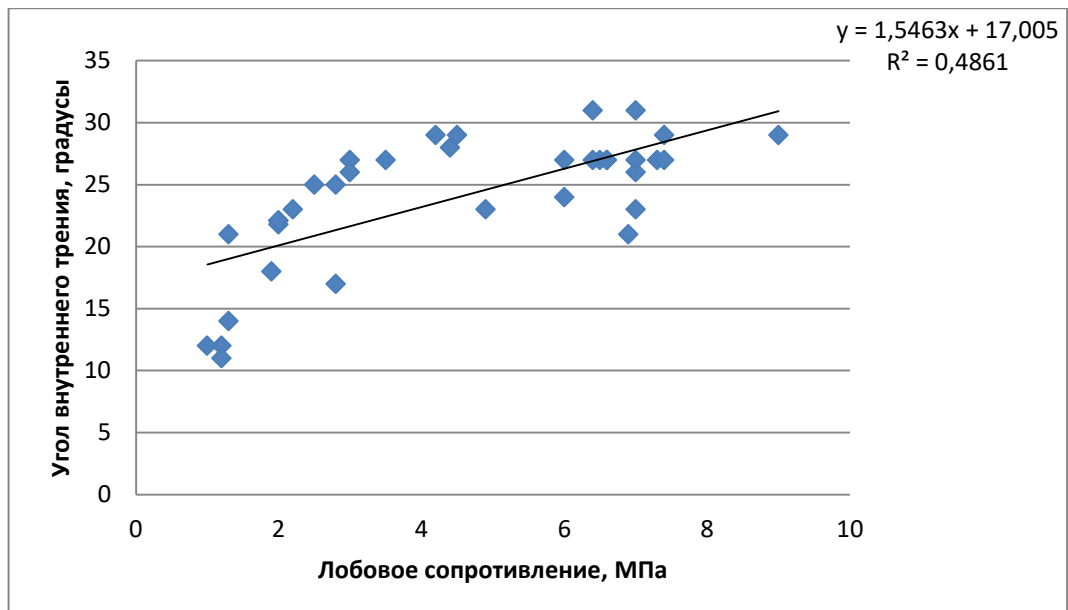


Рис. 29 График зависимости угла внутреннего трения от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

Теснота линейной связи между двумя переменными заметная ($r_{xy}=0,697$). Коэффициент детерминации равен 0,4861 – это значит, что 49% дисперсии зависимой переменной объясняется уравнением регрессии.

4.3.2. Корреляция лобового сопротивления со сцеплением.

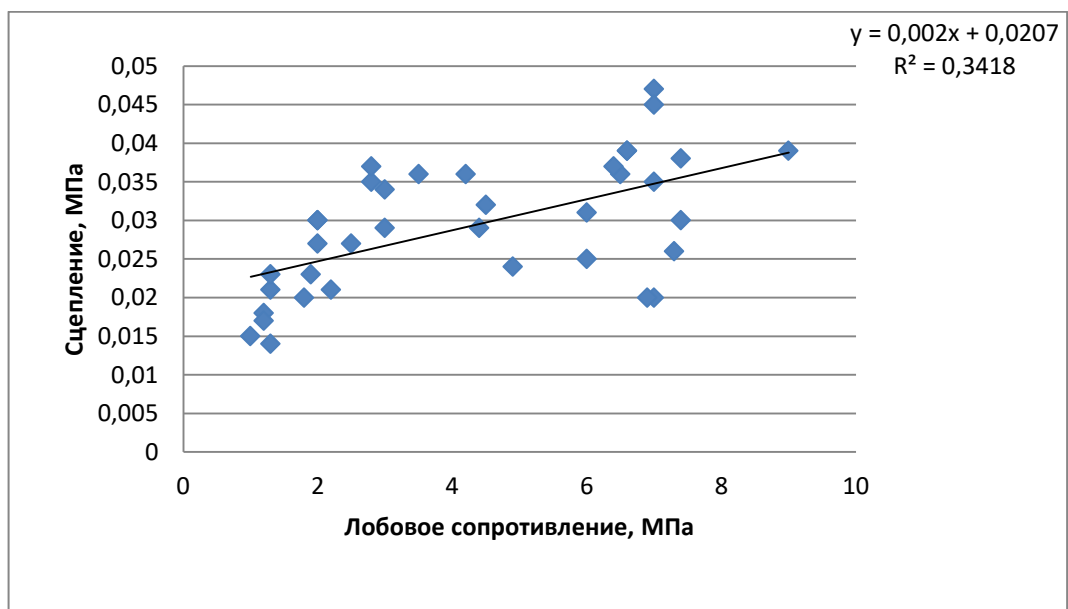


Рис. 30 График зависимости сцепления от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

Согласно шкале Чеддока теснота связи между параметрами заметная, а коэффициент детерминации равен 0,3418.

4.3.3. Корреляция лобового сопротивления с модулем общей деформации.

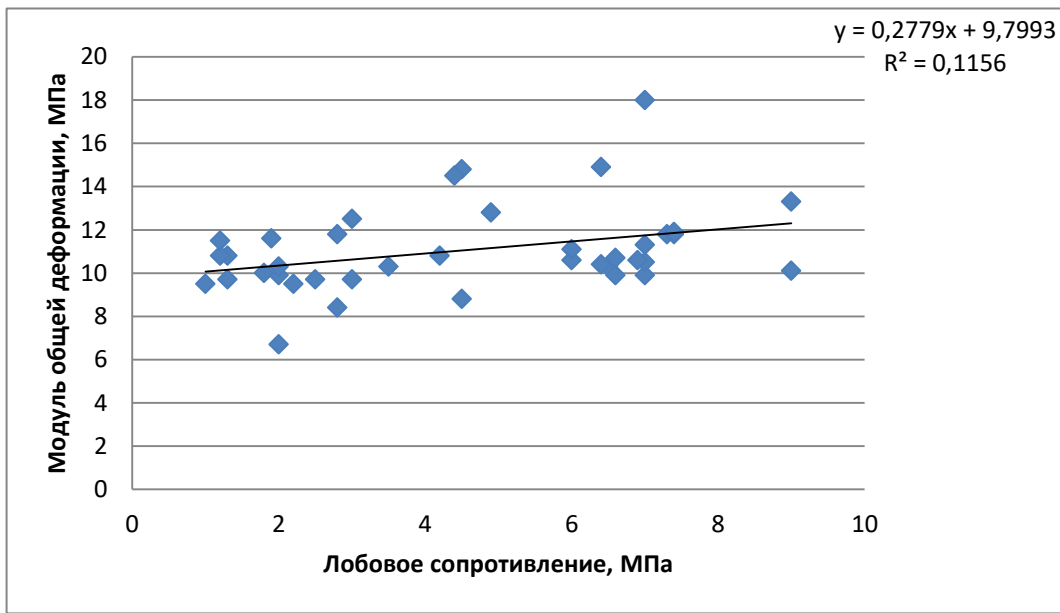


Рис. 31 График зависимости модуль общей деформации от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

Связь между параметрами $r_{xy}=0,34$, следовательно, умеренная. Коэффициент детерминации $R^2=0,1156$.

4.4. Статистическая обработка статического зондирования для супесей песчанистых пластичных.

4.4.1. Корреляция лобового сопротивления с углом внутреннего трения.

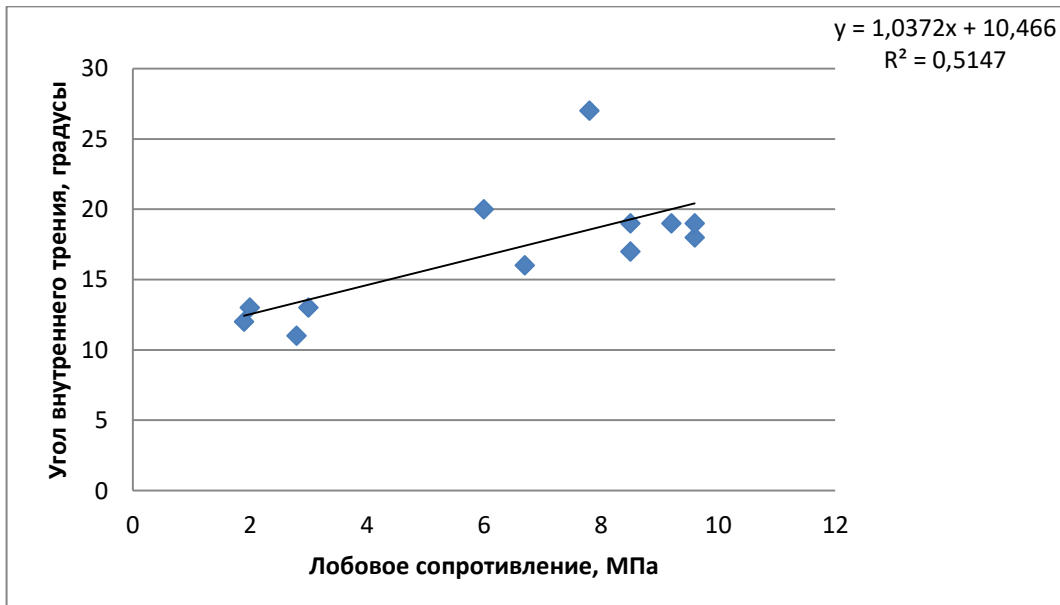


Рис. 32 График зависимости угла внутреннего трения от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

Согласно шкале Чеддока теснота связи между параметрами высокая, а коэффициент детерминации равен 0,5147

4.4.2. Корреляция лобового сопротивления со сцеплением.

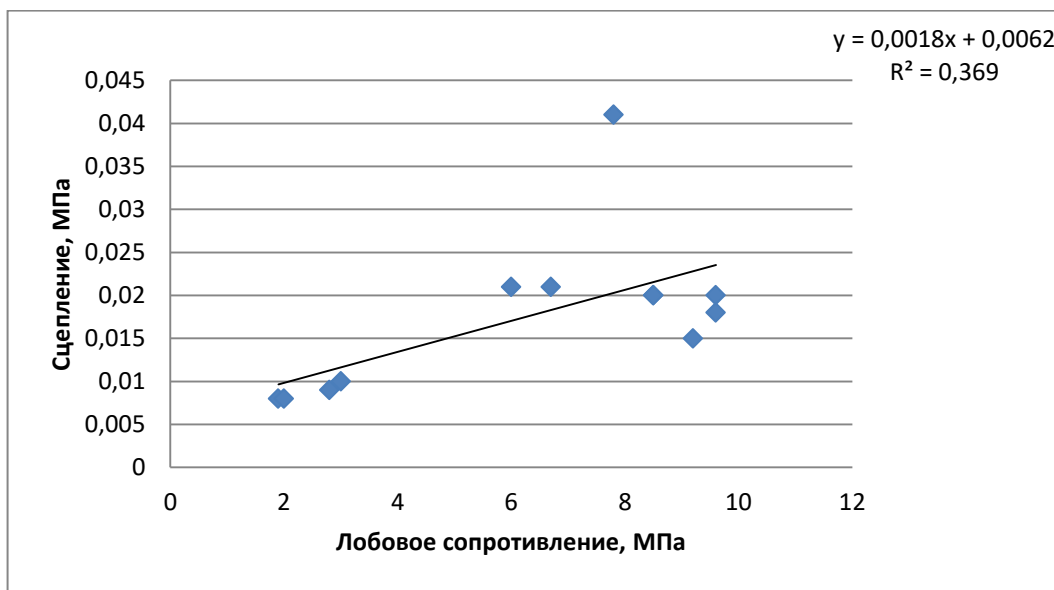


Рис. 33 График зависимости сцепления от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

Теснота линейной связи между двумя переменными заметная ($r_{xy}=0,607$). Коэффициент детерминации равен 0,369

4.4.3. Корреляция лобового сопротивления с модулем общей деформации.

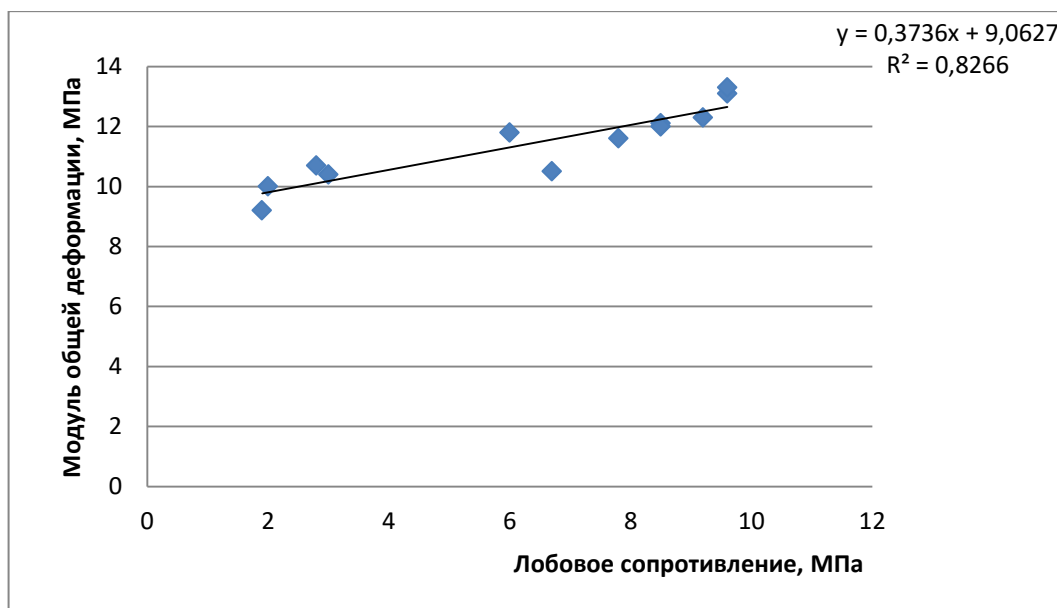


Рис. 34 График зависимости модуль общей деформации от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

Связь между параметрами $r_{xy}=0,909$, следовательно, сильная. Коэффициент детерминации $R^2=0,8266$.

4.5. Статистическая обработка статического зондирования для грунтов ледникового генезиса

4.5.1. Корреляция лобового сопротивления с углом внутреннего трения.

Обобщим все результаты, которые подвергались статистической обработке ранее, и определим уравнения регрессии зависимости сцепления, угла внутреннего трения и модуля общей деформации от лобового сопротивления без учета номенклатурного разделения дисперсных грунтов.

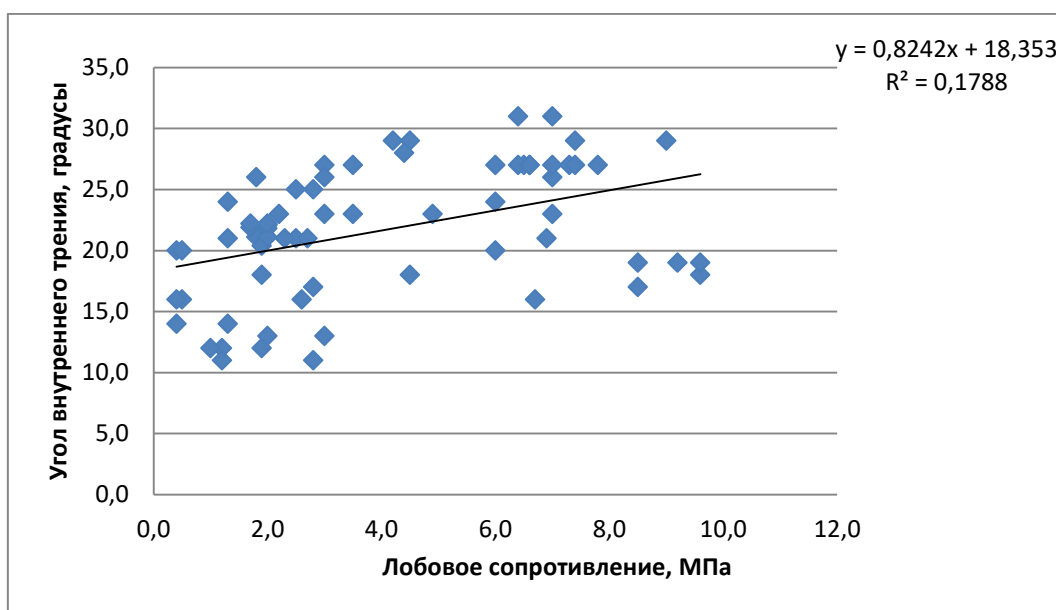


Рис. 35 График зависимости угла внутреннего трения от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

Теснота линейной связи между двумя переменными умеренная ($r_{xy}=0,423$). Коэффициент детерминации равен 0,1788 – это значит, что 17,9% дисперсии зависимой переменной объясняется уравнением регрессии.

4.5.2. Корреляция лобового сопротивления со сцеплением.

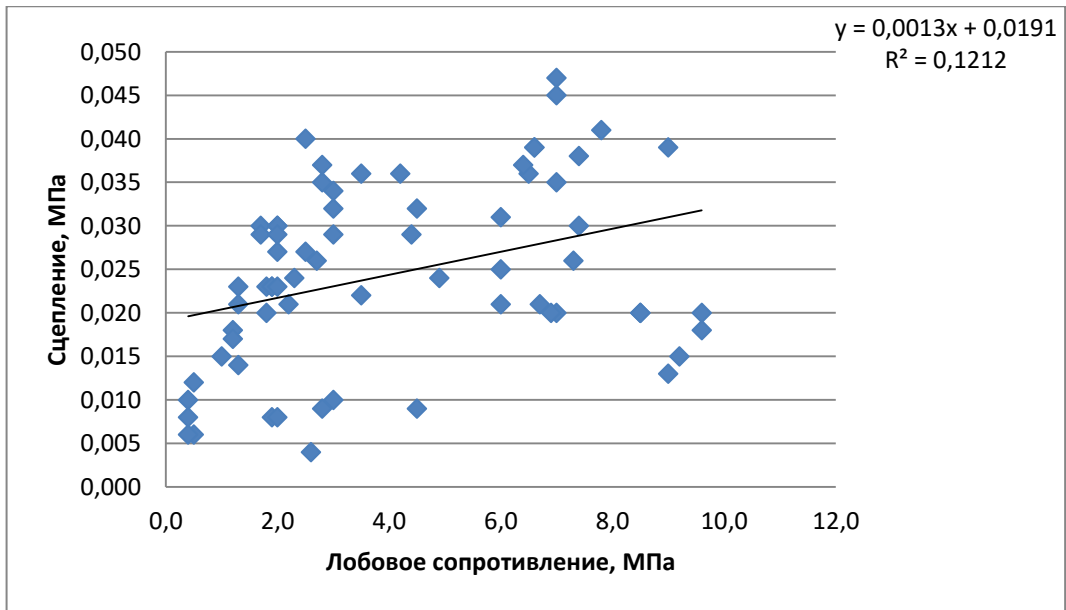


Рис. 36 График зависимости сцепления от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации.

Согласно шкале Чеддока теснота связи между параметрами умеренная, а коэффициент детерминации равен 0,1212.

4.5.3. Корреляция лобового сопротивления с модулем общей деформации.

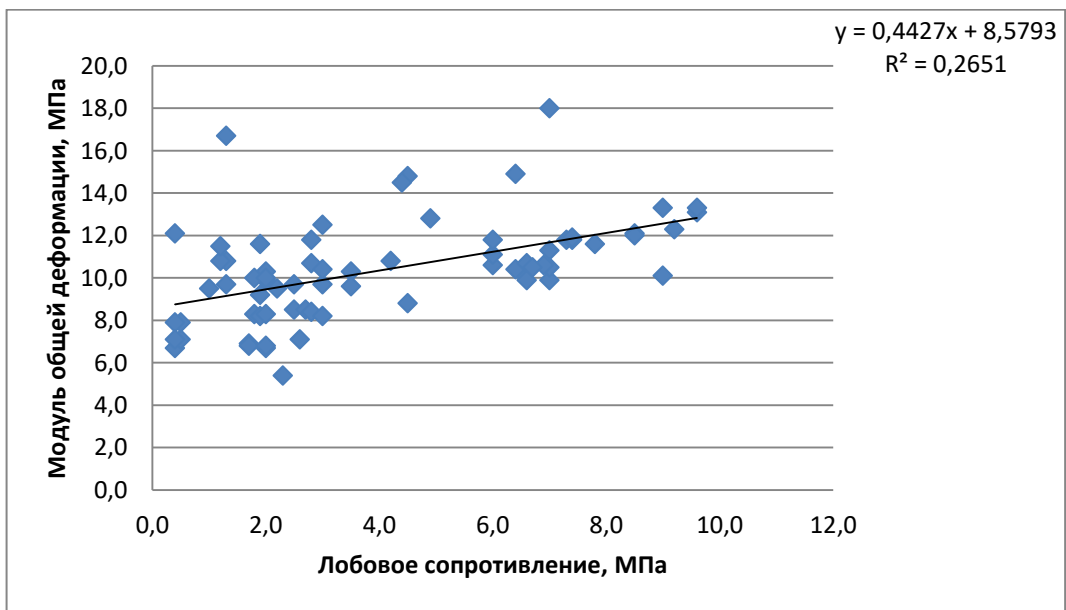


Рис. 37 График зависимости модуль общей деформации от лобового сопротивления, уравнение регрессии и коэффициент детерминации

Теснота линейной связи между двумя переменными заметная ($r_{xy}=0,515$). Коэффициент детерминации равен 0,2651.

Заключение.

Для достижения поставленной цели, нами было рассмотрено 7 объектов, на которых было проведено 143 испытания статическим зондированием. По отобранным точкам статического зондирования были собраны и проанализированы паспорта компрессионных и сдвиговых испытаний, на основе которых была проведена статистическая обработка.

Результаты статистической обработки получились разнообразными. В таблице 19 представлены полученные коэффициенты детерминации:

Таблица 19

Коэффициенты детерминации, полученные в результате статистической обработки

	Суглинки легкие пылеватые тугопластичные	Супеси пылеватые текучие с гравием и галькой до 10%	Супеси пылеватые пластичные	Супеси песчанистые пластичные	Общая корреляция
φ	0,6209	0,2287	0,4861	0,5147	0,1788
C	0,2035	0,2891	0,3418	0,369	0,1212
E	0,2981	0,4248	0,1156	0,8266	0,2651

Таблица 20 составлена на основании коэффициента корреляции и коэффициента детерминации, и показывает качество исследования:

Таблица 20

Качество корреляции

Диапазон R^2	Значения результатов
0-10 %	Недостовверные результаты, для получения более точных данных, необходимо провести дополнительные исследования
10-50 %	Хорошие результаты, однако, недостаточные для применения их в практике
50-100 %	Отличные результаты, на которые можно основываться при дальнейшем изучении

Данные получились разрозненные по следующим причинам:

- 1) Достаточно формализованный подход к процессу сбора данных;
- 2) Отсутствие единого стандарта для интерпретации данных
- 3) Недостаточное количество образцов
- 4) Очень сильно неоднородный разрез с наличием слоистых грунтов

Полученные в главе 4 эмпирические зависимости могут быть использованы на практике для первичной оценки физико-механических свойств грунтов осташковской морены. При этом оценить их возможно в поле в процессе проведения статического зондирования при условии наличия полевого описания грунтов, полученного при бурении рядом расположенной скважины.

Список литературы

Опубликованные материалы:

1. Андерсон Е.Б., Савоненков В.Г., Шабалев С.И. Перспективы создания подземных могильников РАО в нижнекембрийских глинах Ленинградской области// ФГУП «НПО“Радиевый институт им. В . Г. Хлопина”», 2006. С.105-132
2. Болдырев Г.Г., Мельников А.В., Новичков Г.А. Интерпретация результатов полевых испытаний с целью определения прочностных характеристик грунтов
3. Гольдфельд И.З., Смирнова Е.А. Взаимосвязь показателей статического зондирования грунтов установками первого и второго типов//Международный журнал «Геотехника»,2012. №2
4. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга// «Развитие городов и геотехническое строительство» 2011, №1. С.1-47
5. Дашко Р.Э. Карпова Я.А. Инженерно-Геологические особенности моренных отложений в разрезе подземного пространства Санкт-Петербурга// Региональная инженерная геология 2014, №1. С 22-29
6. Захаров М.С. Статическое зондирование в инженерных изысканиях// «СройПРОФИ» 2012, №6
7. Захаров М.С. Развитие методов идентификации и оценки грунтов на основании статического зондирования// «СройПРОФИ» 2014, №1(18). С 8-14
8. Robertson, P.K. Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering., 2010.
9. Геологический атлас Санкт-Петербурга .СПб.: Комильфо, 2009. 57 с

Нормативные документы:

10. ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием
11. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96
12. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ
13. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация
14. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости
15. ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге

Ресурсы сети Интернет

16. <http://www.infoeco.ru>
17. <http://cliplive.infoeco.ru>
18. <http://npp-geotek.com>
19. <http://ecoz.ru>
20. <http://www.meteo.nw.ru>
21. <http://www.finesoftware.ru>

Геологическая карта четвертичных образований суши

Масштаб 1:200 000



Условные обозначения

Стратиграфо-генетические комплексы

- H Голocen. Современные техногенные, биогенные, озёрные, аллювиальные, морские, эоловые отложения
- tH Голocen. Современные. Техногенные (на разрезах).
- aH Голocen. Современные. Аллювиальные (на разрезах).
- plH Голocen. Современные. Биогенные (на разрезах).
- m.lH Голocen. Современные. Морские и озёрные (на разрезах).
- lg III bl Плейстоцен. Осташковский горизонт. Гляциолимнический (ледниково-озёрные) Балтийского ледникового озера.
- flg III os Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые отложения.
- f III os Плейстоцен. Осташковский горизонт. Флювиогляциальные (флювиогляциальные) подморенный (на разрезах).
- III pd-os Плейстоцен. Нерасчлѐнные подморенные отложения (Осташковский, Ленинградский, Подпорожский горизонты) (на разрезах).
- g III os Плейстоцен. Осташковский горизонт. Ледниковые отложения.
- m III mg Плейстоцен. Мгинский горизонт. Мариний (морские) (на разрезах).
- lg II ms Плейстоцен. Московский горизонт. Гляциолимнический (ледниково-озёрные) (на разрезах).
- fl II ms Плейстоцен. Московский горизонт. Флювиогляциал (на разрезах).
- g II ms Плейстоцен. Московский горизонт. Ледниковые отложения (на разрезах).
- f II vl Плейстоцен. Вологодский горизонт. Флювиогляциал времени отступления ледника (на разрезах).
- Дочетвертичные образования.

Литология четвертичных образований

- ТТТ Торф
- Гравийно-валунно-галечные отложения
- Пески разнoзернистые с гравием и галькой
- Пески мелко и тонкозернистые
- Пески средней крупности и крупные
- Супеси
- Супеси валунные
- Глины, суглинки, супеси слоистые и ленточные
- Суглинки, глины валунные

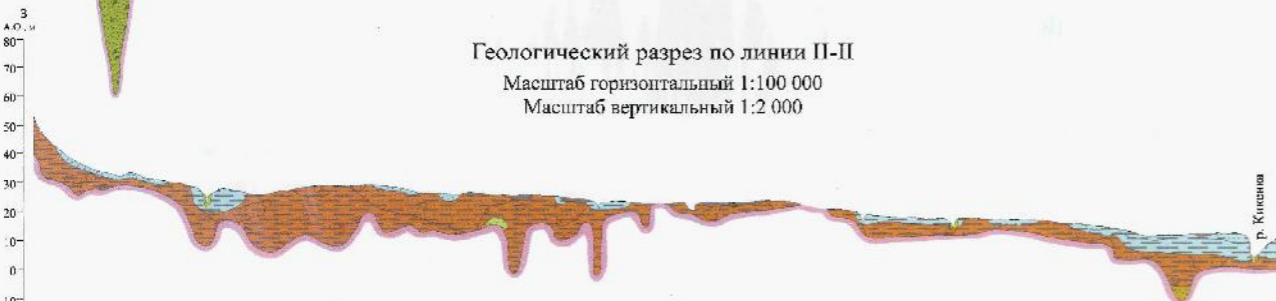
Прочие знаки

- I—I Линии разрезов и их номера

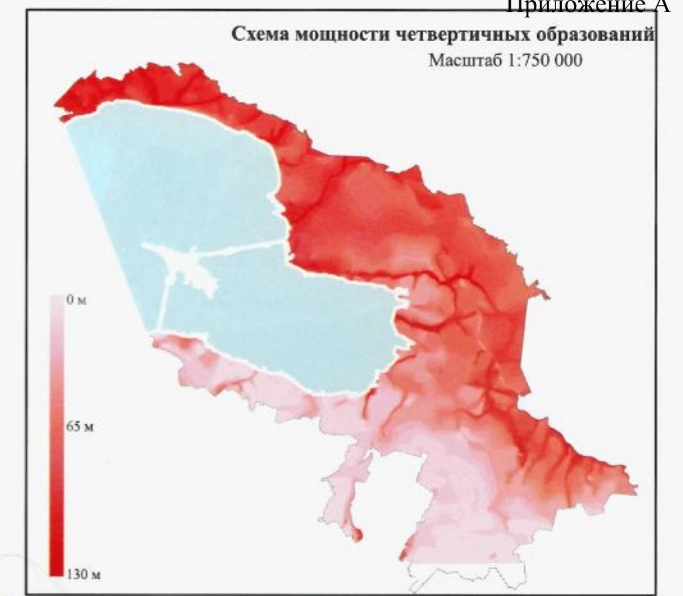
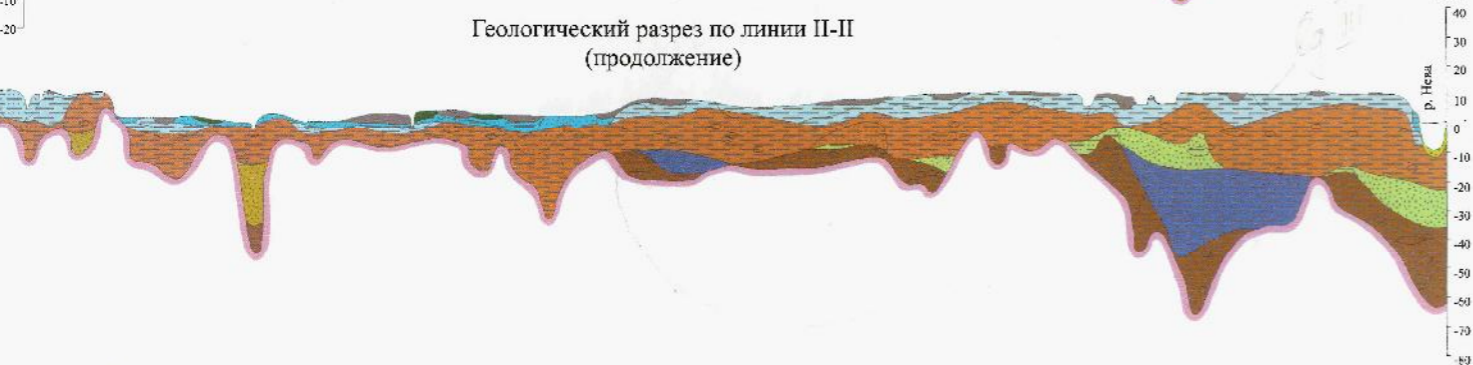
Геологический разрез по линии I-I
Масштаб горизонтальный 1:100 000
Масштаб вертикальный 1:2 000



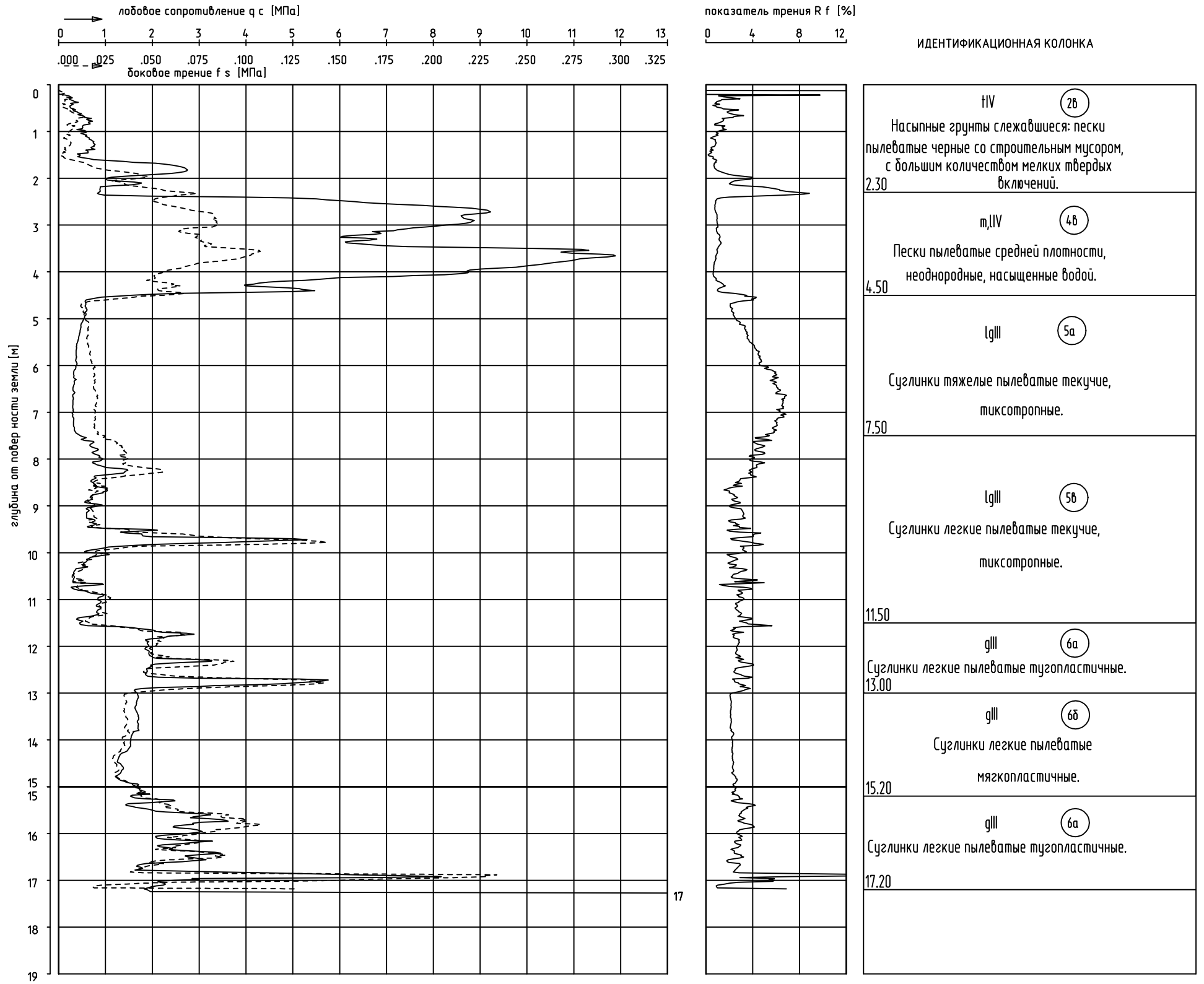
Геологический разрез по линии II-II
Масштаб горизонтальный 1:100 000
Масштаб вертикальный 1:2 000



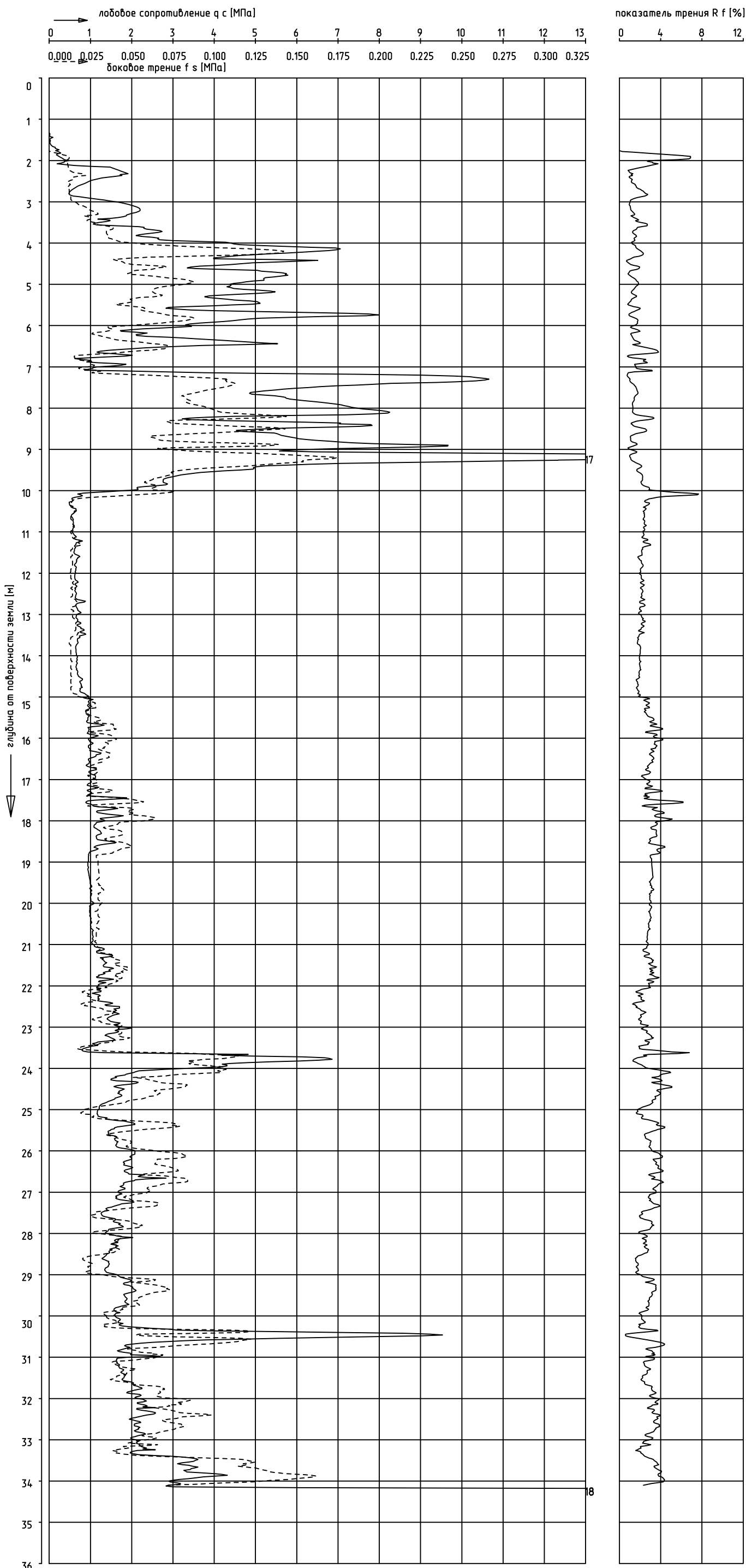
Геологический разрез по линии II-II
(продолжение)



ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-1, абс. отм. 3.30 м



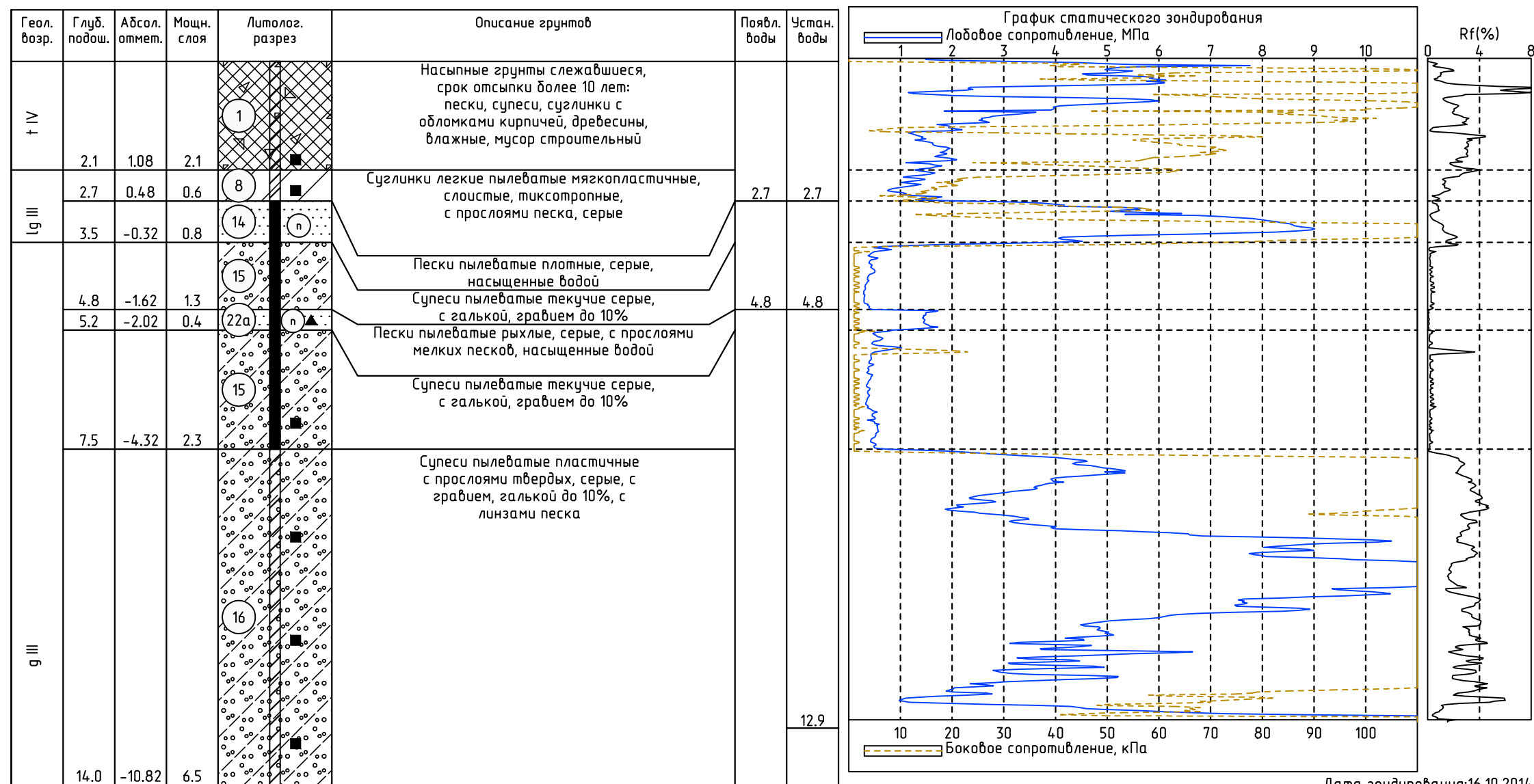
ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-2, абс. отм. 3.05



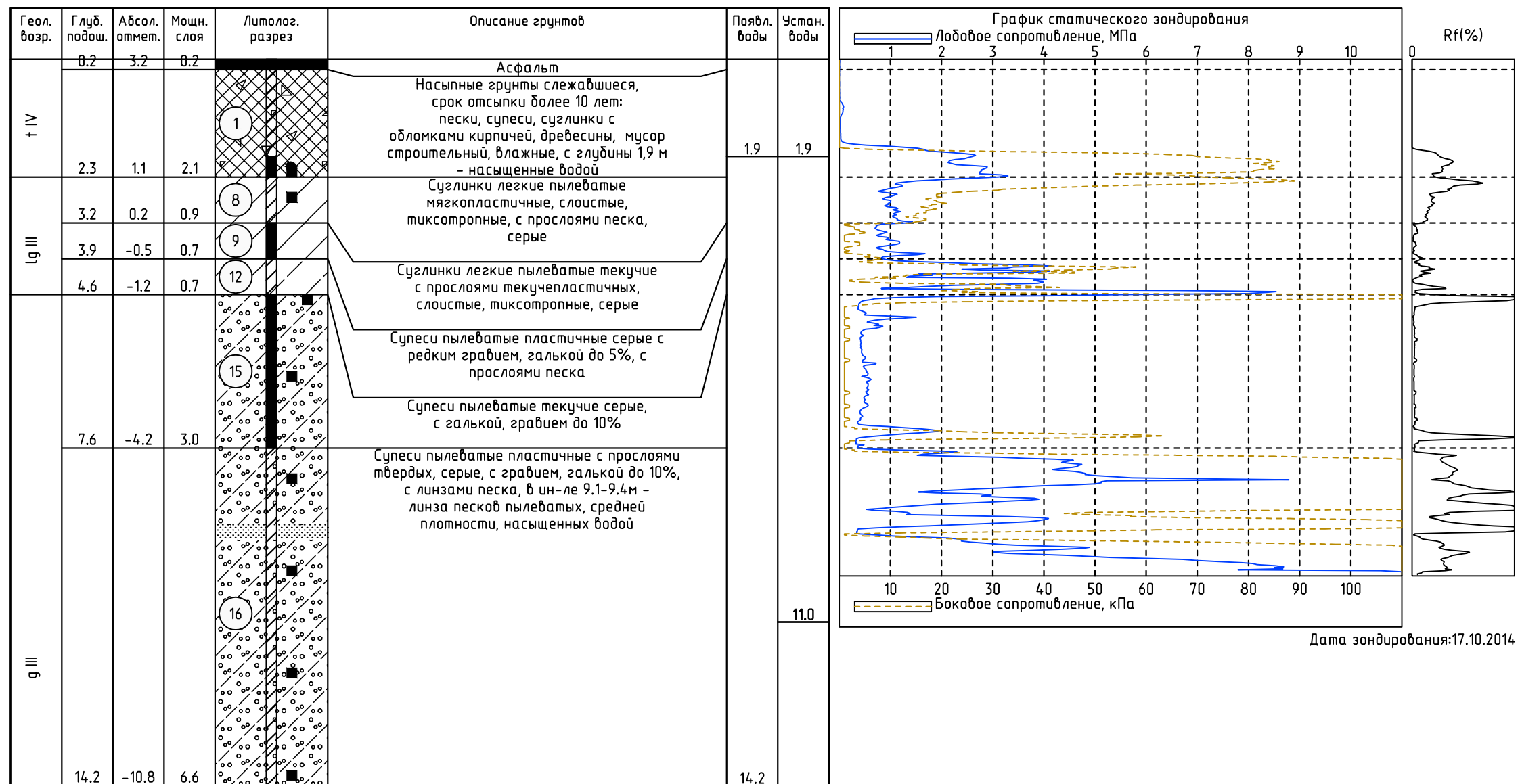
ИДЕНТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОНКА

1	Разбуривание до гл. 1,6 м. Насыпные грунты слежавшиеся: пески пылеватые, влажные, черные.
IV	
2.20	
2	Пески пылеватые с прослоями мелких, рыхлые с прослоями средней плотности, влажные и насыщенные водой, серые.
m,IV	
3.60	
3	Пески пылеватые с прослоями мелких, средней плотности с прослоями плотного, насыщенные водой, серые.
m,IV	
6.00	
4a	Супеси пылеватые, слоистые, пластичные, тиксотропные, в ин-ле гл. 7,2-10,0 м с частыми прослоями /до 0,5 м/песков пылеватых, плотных, насыщенных водой.
m,IV	
10.00	
5	Суглинки легкие пылеватые, текучие, тиксотропные, серые.
m,IV	
18.80	
6	Суглинки легкие пылеватые и тяжелые пылеватые, ленточные, текучие с прослоями текучепластичных, тиксотропные, коричневато-серые.
lgIII	
21.00	
7	Суглинки легкие пылеватые, слоистые, текучие с прослоями текучепластичных, тиксотропные, серые.
lgIII	
24.00	
8a	Суглинки легкие пылеватые, тугопластичные, серые.
gIII	
27.40	
8	Супеси пылеватые, пластичные (по II - тугопластичные), серые.
gIII	
31.60	
8a	Суглинки легкие пылеватые, тугопластичные, серые.
gIII	
34.20	

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-3, абс. отм. 3,18



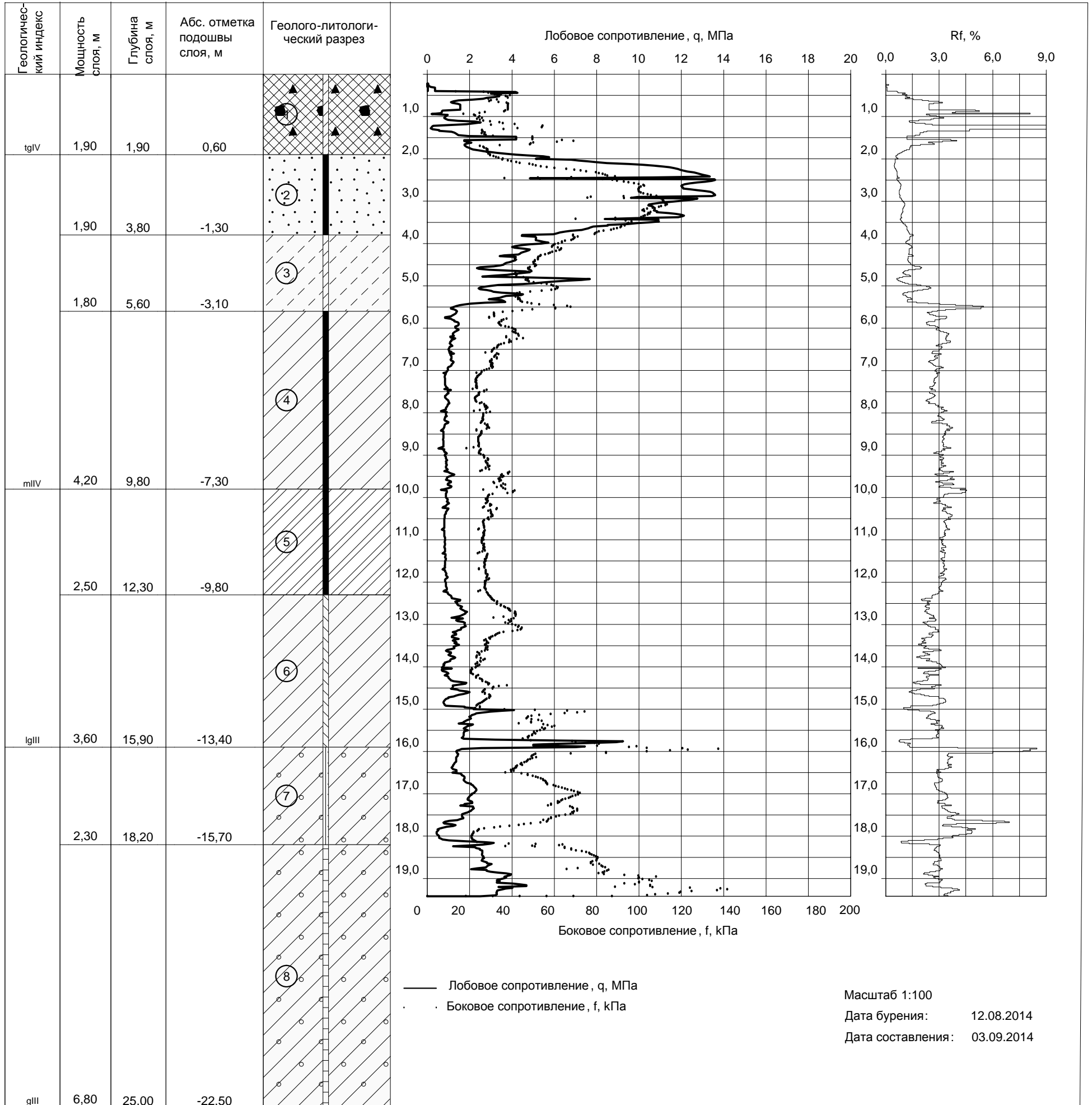
ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-4, абс. отм. 3,40



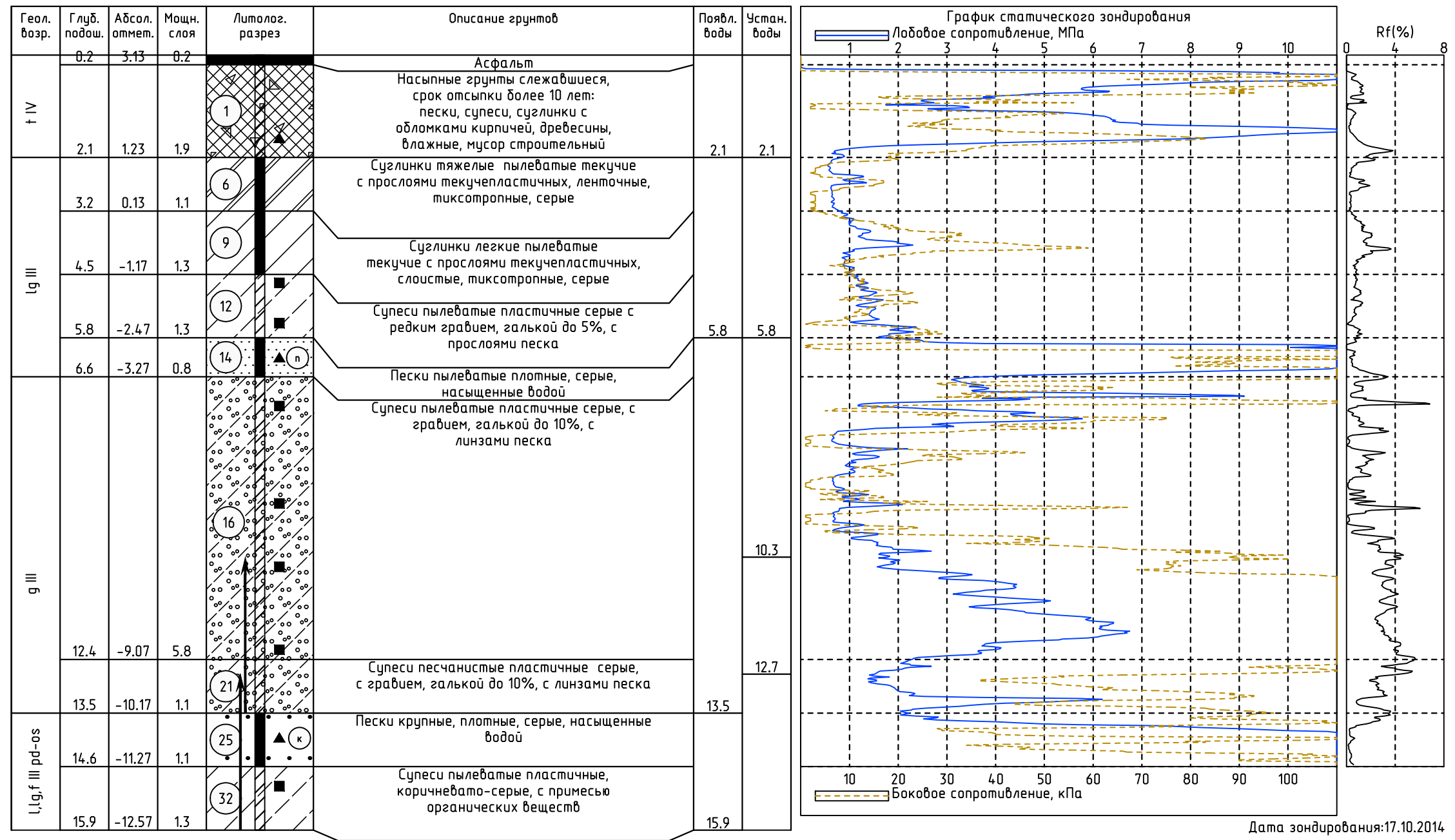
Масштаб 1:100
Дата выработки: 18.11.2014

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-5, абс. отм. 2,50

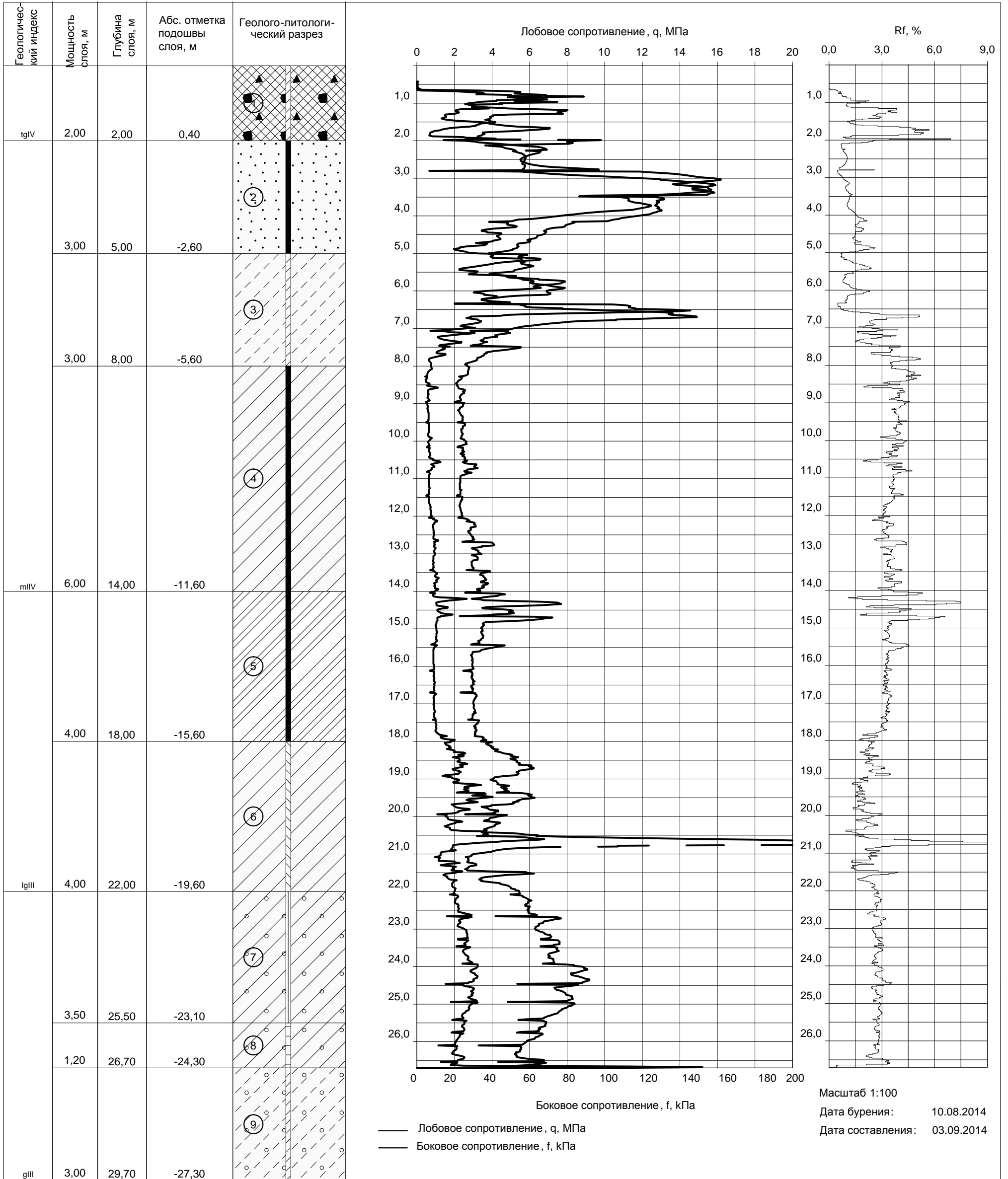
Отметка устья: 2.50 м.
Общая глубина : 19.4 м.



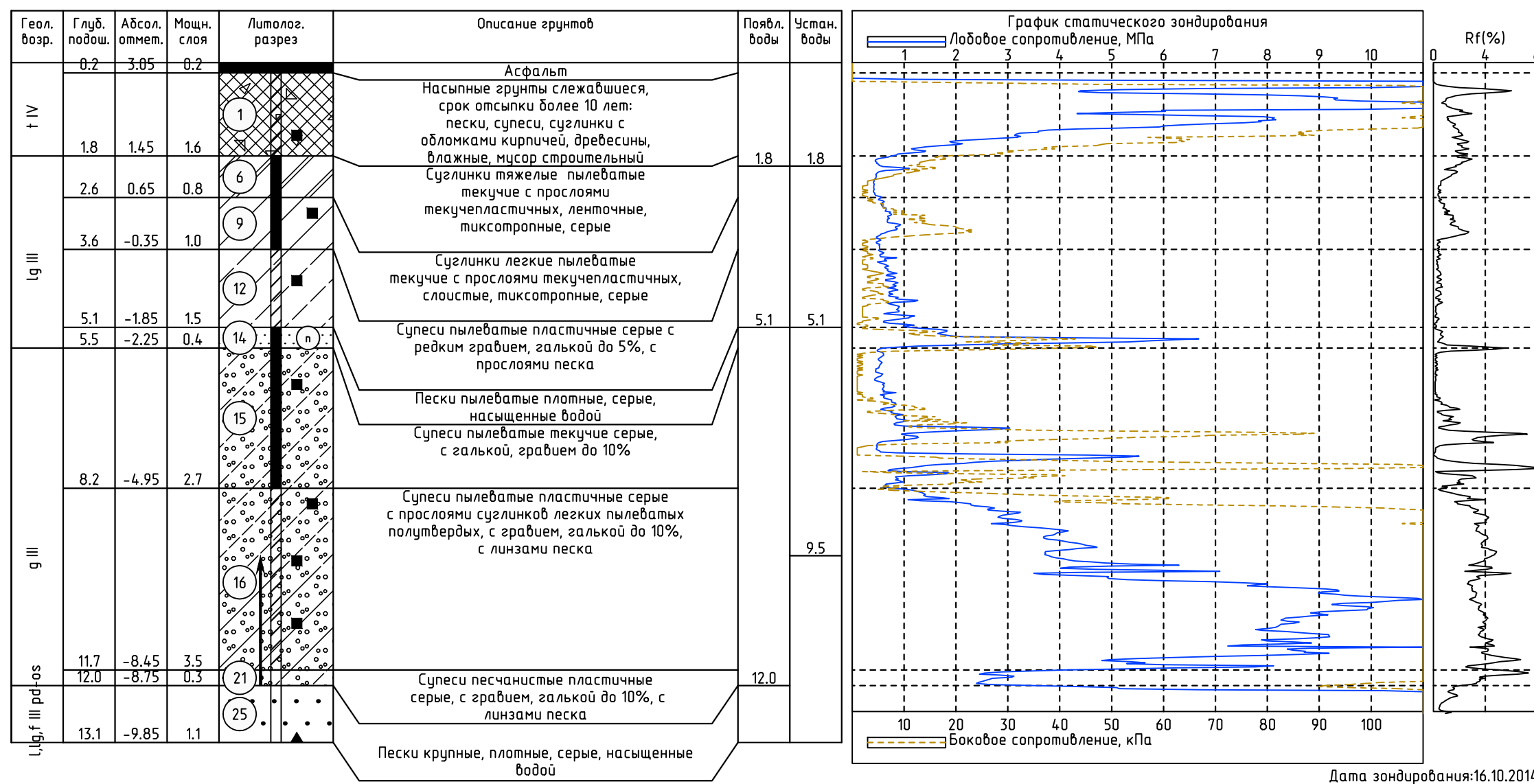
ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-6, абс. отм. 3.33



ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-7, абс. отм. 2,40

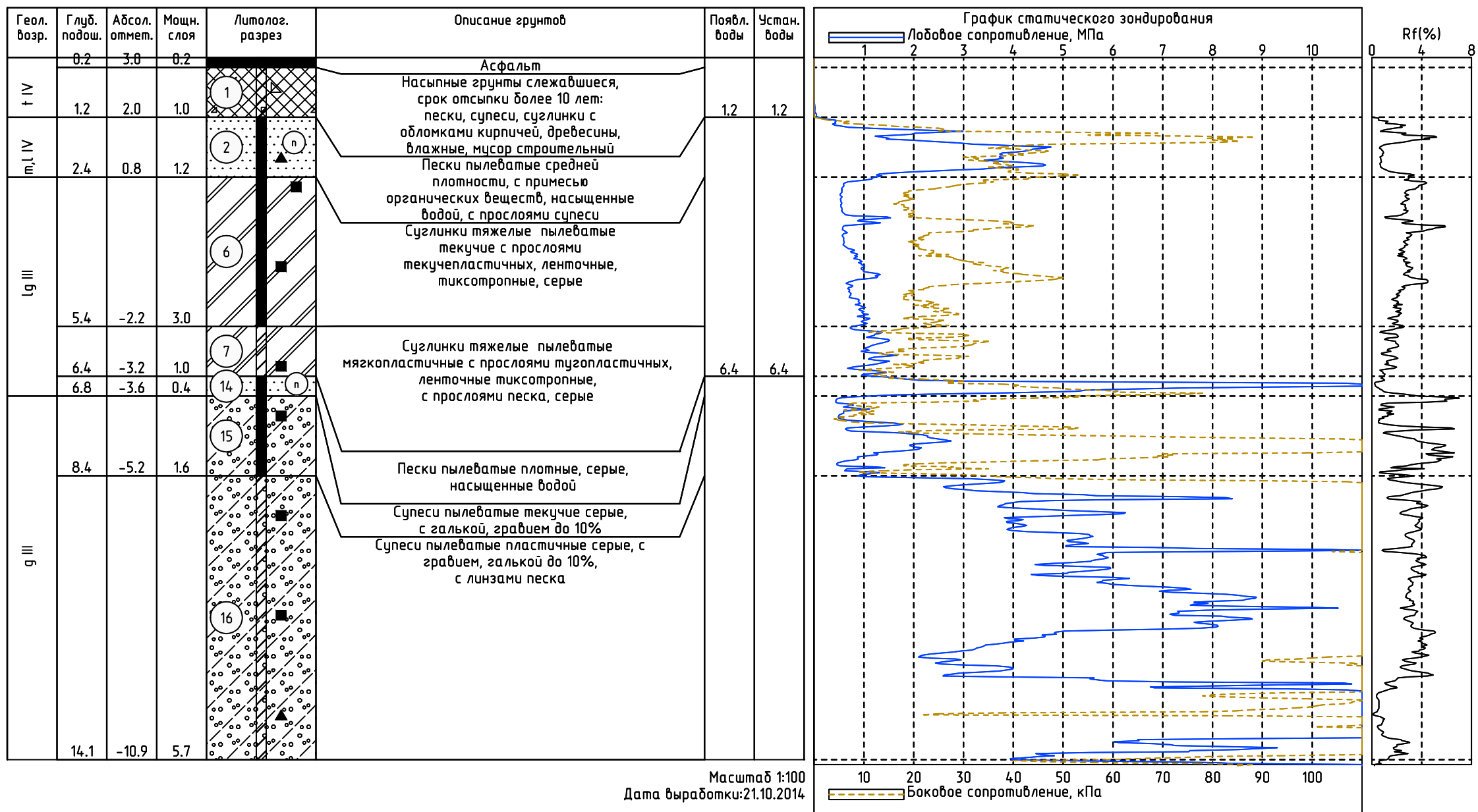


ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-8, абс. отм. 3,25



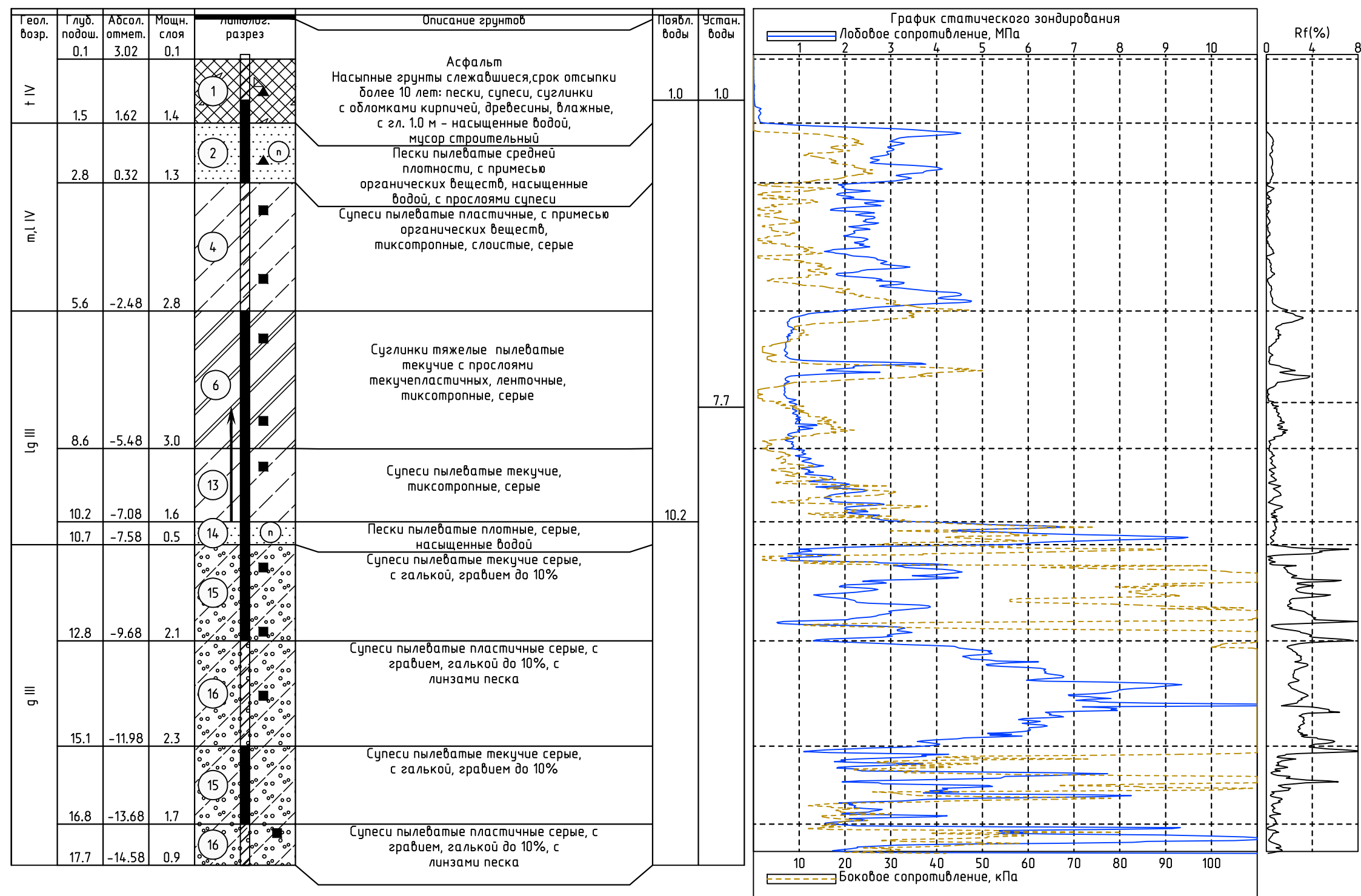
Масштаб 1:100
Дата выработки: 18.10.2014

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-9, абс. отм. 3.20



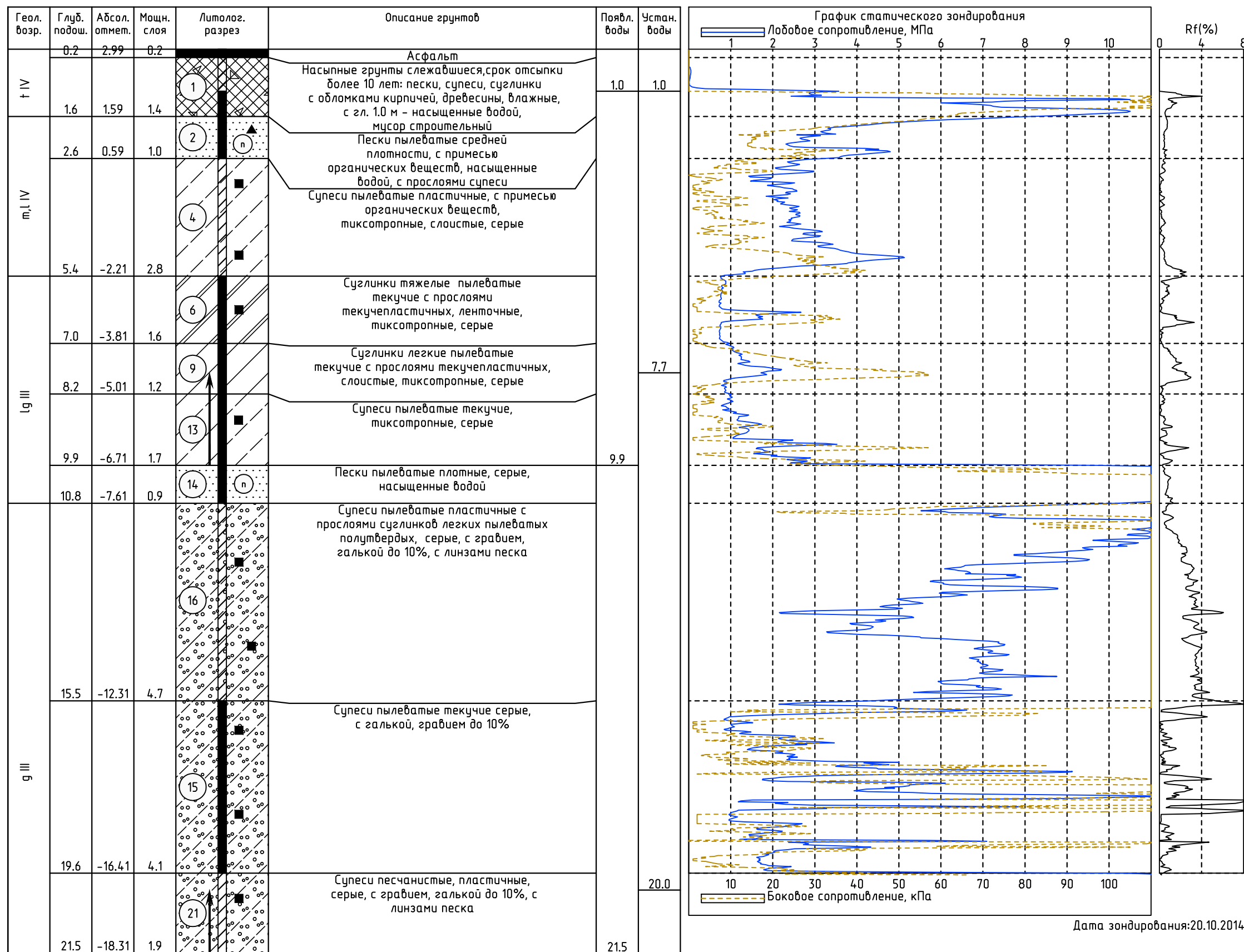
Дата зондирования: 11.11.2014

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-10, абс. отм. 3.12



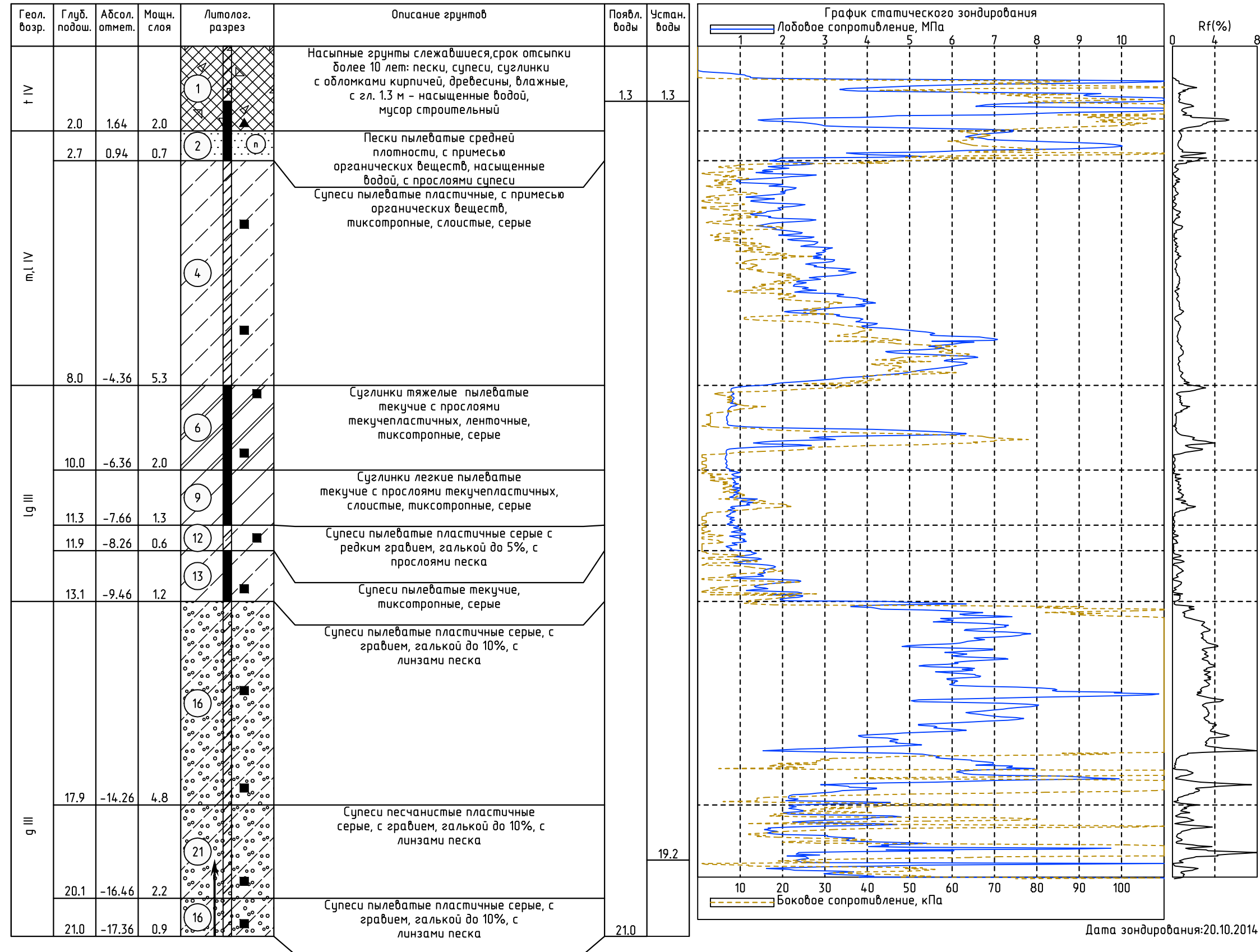
Дата зондирования: 20.10.2014

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-11, абс. отм. 3.19



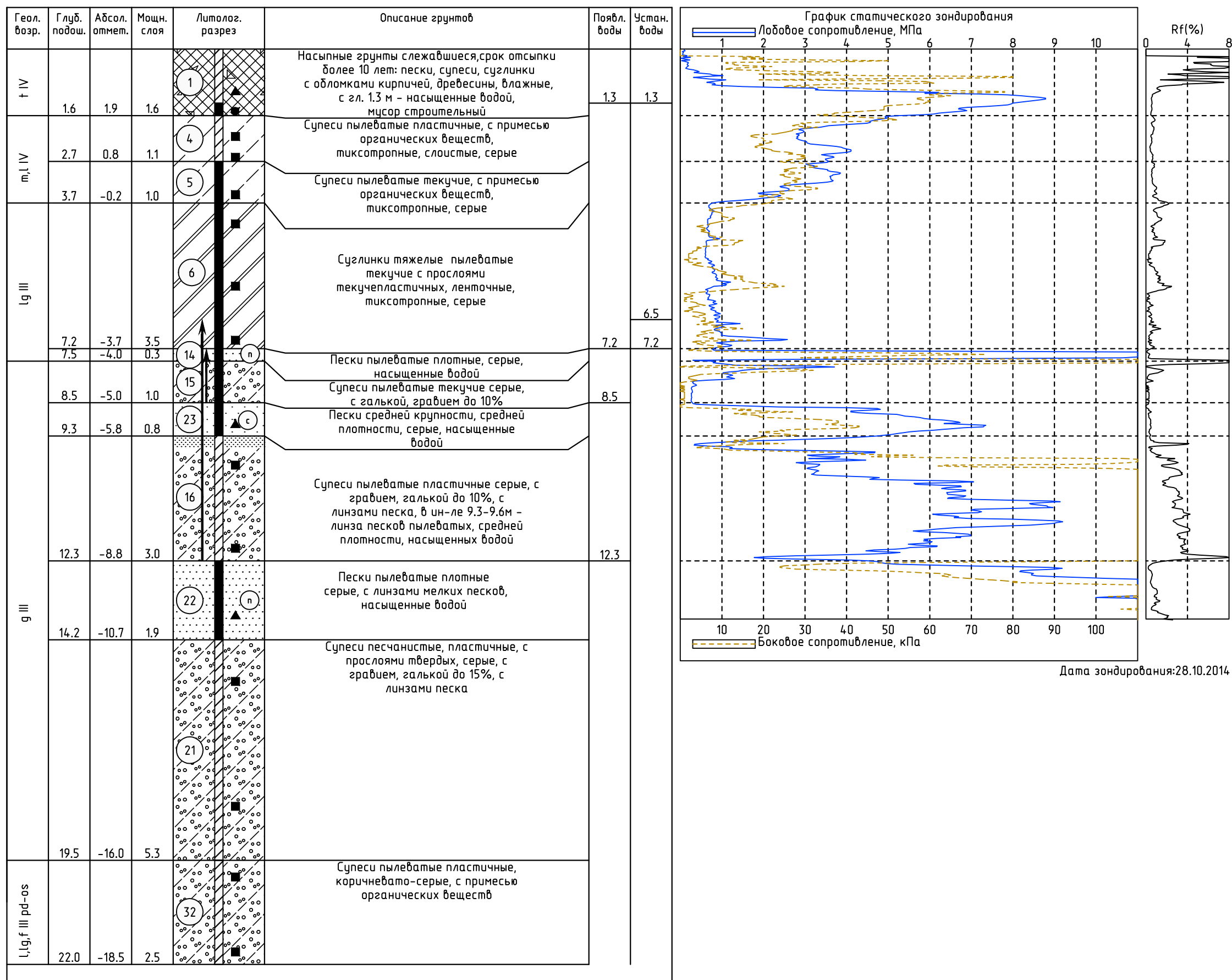
Масштаб 1:100
Дата выработки: 13.10.2014

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-12, абс. отм. 3.64



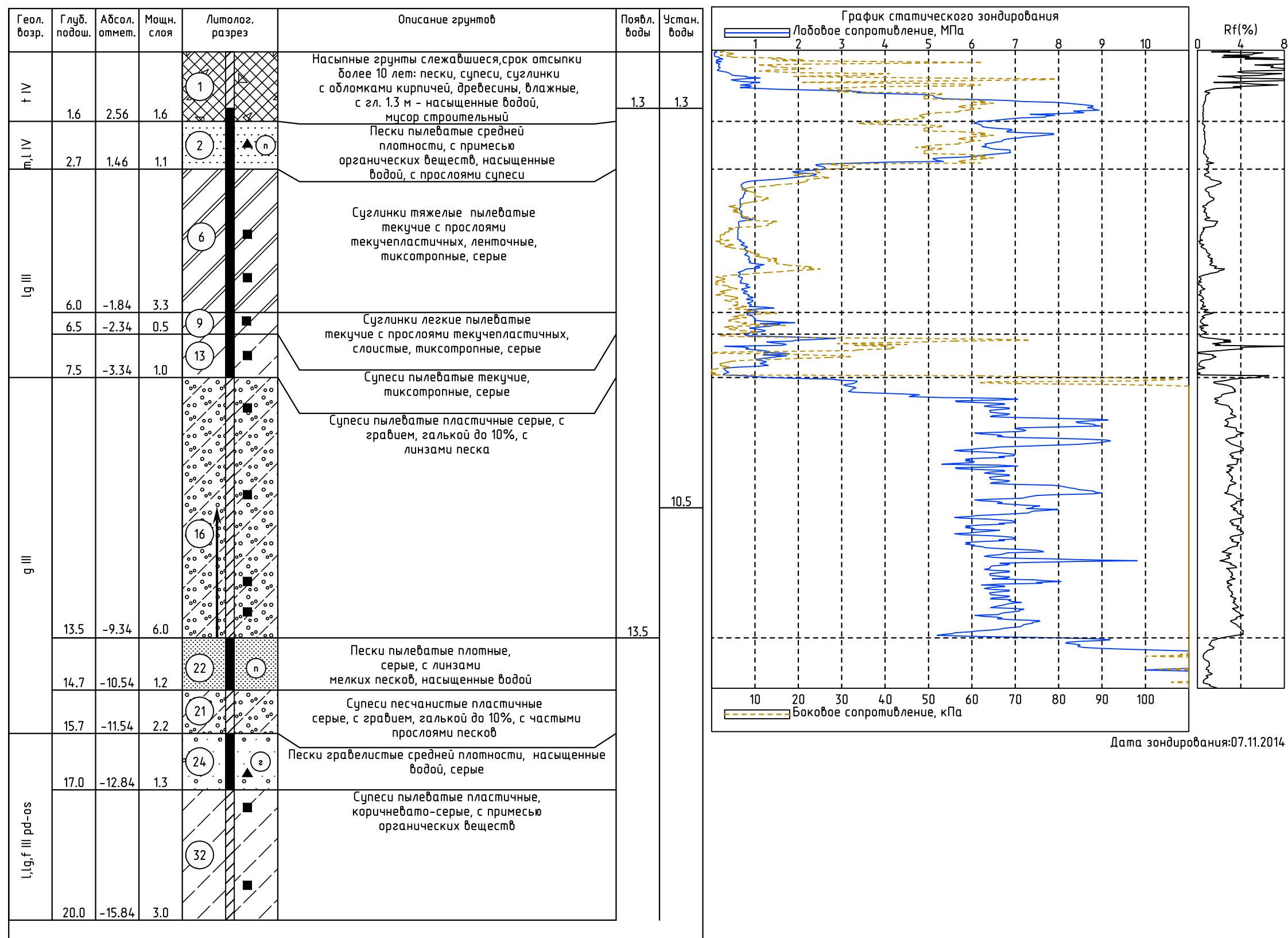
Масштаб 1:100
Дата выработки: 17.10.2014

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-13, абс. отм. 3.50



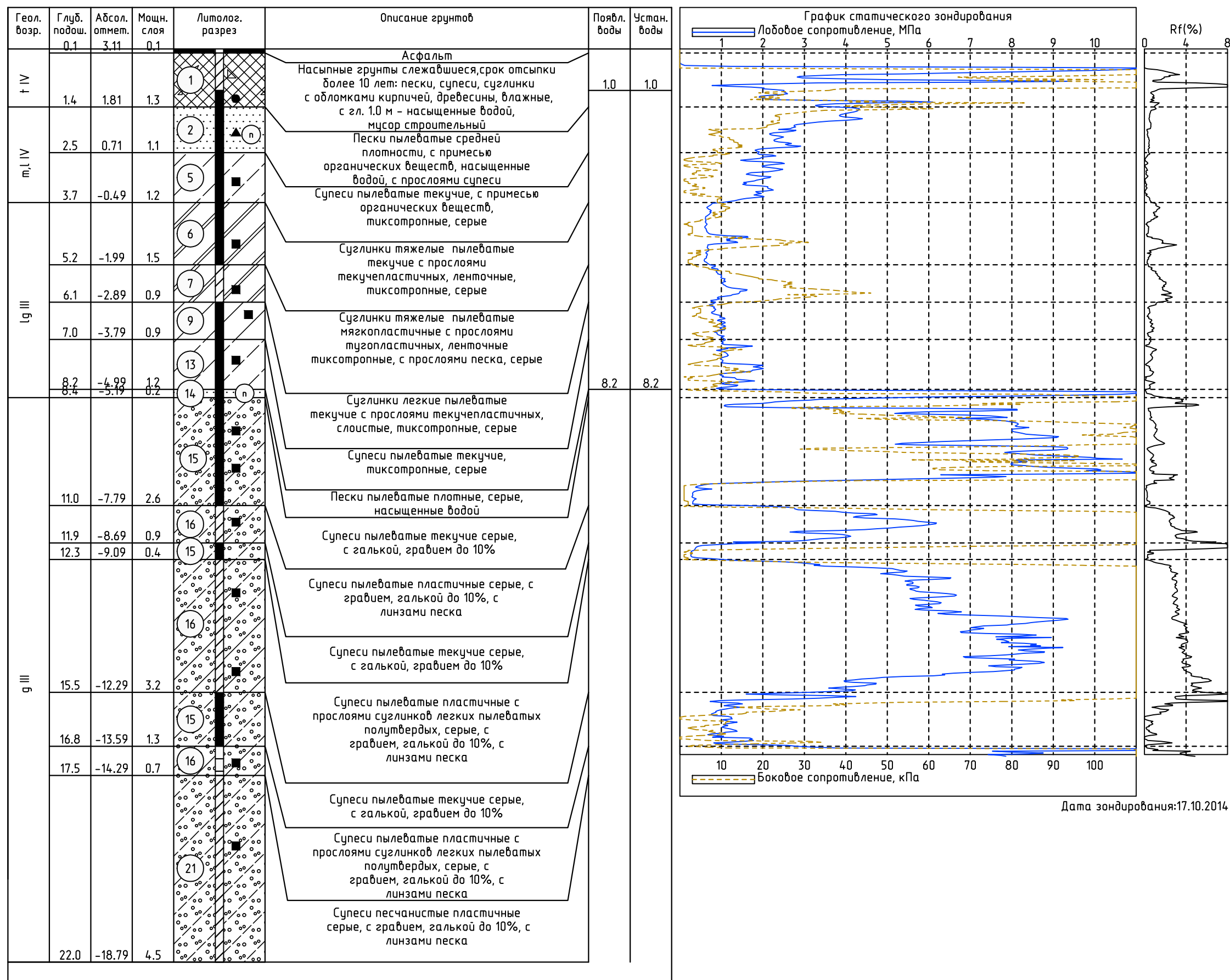
Масштаб 1:100
Дата выработки: 10.10.2014

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-14, абс. отм. 4,16



Масштаб 1:100
Дата выработки: 10.10.2014

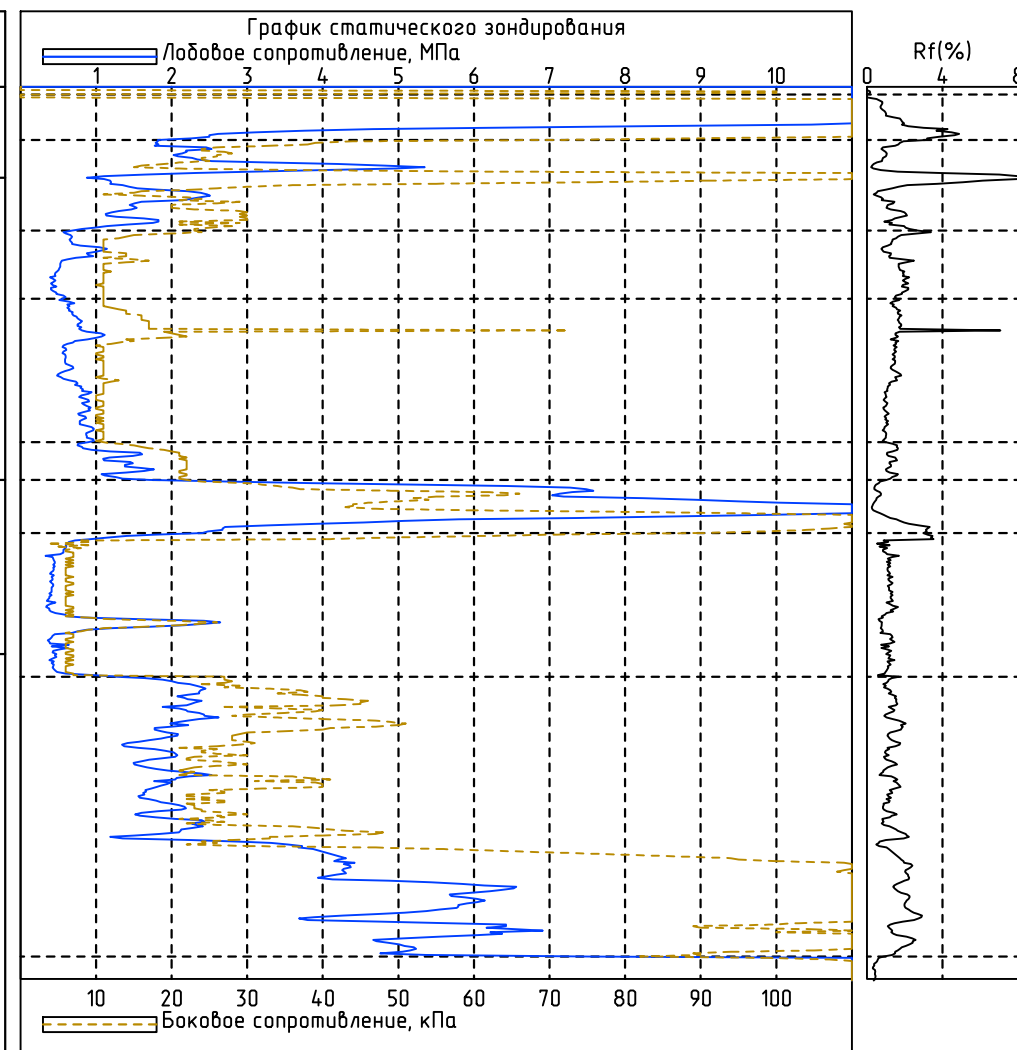
ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-15, абс. отм. 3.21



Масштаб 1:100
Дата выработки: 02.10.2014

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-16, абс. отм. 3.39

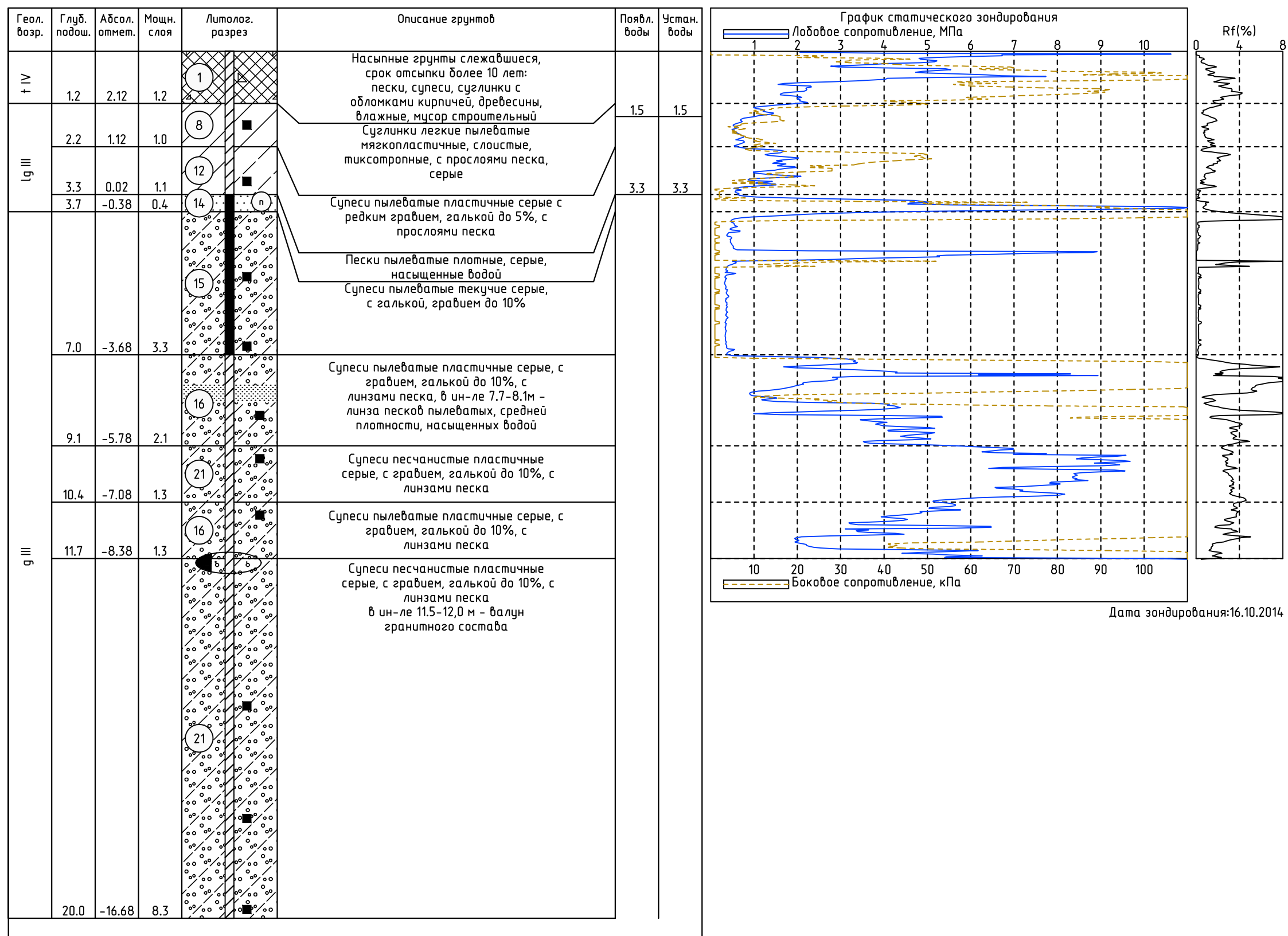
Геол. возр.	Глуб. подш.	Абсол. отмет.	Мощн. слоя	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
† IV	0.1	3.29	0.1	(1)	Асфальт		
m, IV	0.7	2.69	0.6	(4)	Насыпные грунты слежавшиеся, срок отсыпки более 10 лет: пески, супеси, суглинки с обломками кирпичей, древесины, влажные, мусор строительный	1.2	1.2
	1.9	1.49	1.2	(6)	Супеси пылеватые пластичные, с примесью органических веществ, микстопонные, слоистые, серые		
lg III	2.8	0.59	0.9	(9)	Суглинки тяжелые пылеватые текучие с прослоями текучепластичных, ленточные, микстопонные, серые		
	4.7	-1.31	1.9	(13)	Суглинки легкие пылеватые текучие с прослоями текучепластичных, слоистые, микстопонные, серые	5.2	5.2
	5.2	-1.81	0.5	(14)	Суглинки легкие пылеватые текучие с прослоями текучепластичных, слоистые, микстопонные, серые		
	5.9	-2.51	0.7	(15)	Супеси пылеватые текучие, микстопонные, серые		
g III	7.8	-4.41	1.9	(16)	Пески пылеватые плотные, серые, насыщенные водой	7.5	7.5
				(16)	Супеси пылеватые текучие серые, с галькой, гравием до 10%		
				(16)	Супеси пылеватые пластичные серые, с гравием, галькой до 10%, с линзами песка		
	11.5	-8.11	3.7	(22)	Пески пылеватые плотные, серые, с линзами мелких песков, насыщенные водой	11.5	11.5
	12.6	-9.21	1.1	(21)	Супеси песчанистые пластичные с прослоями твердых, серые, с гравием, галькой до 10%, с линзами песка		
	20.0	-16.61	0.5	(21)			



Дата зондирования: . .

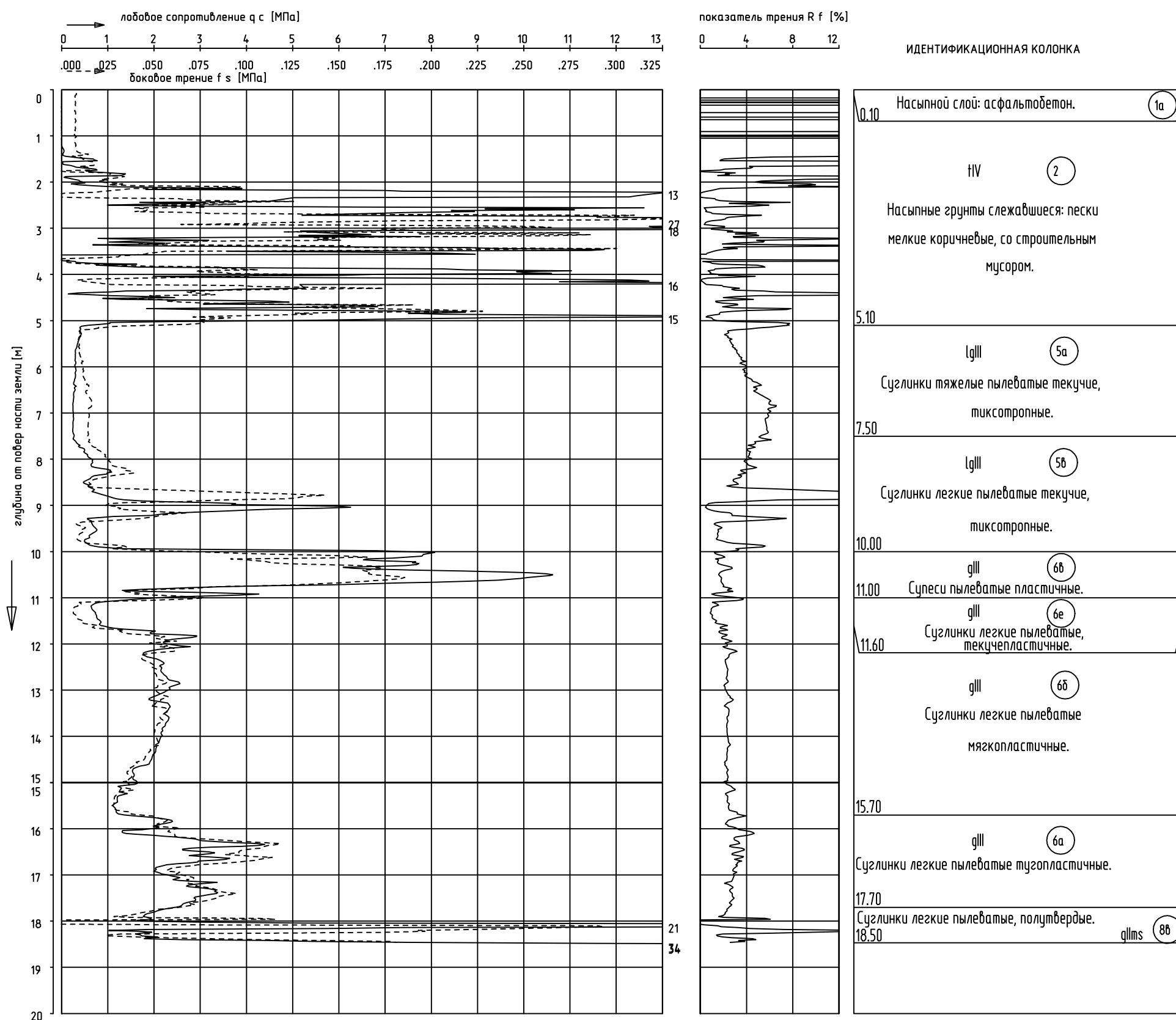
Масштаб 1:100
Дата выработки: 01.10.2014

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-17, адс. отм. 3.32

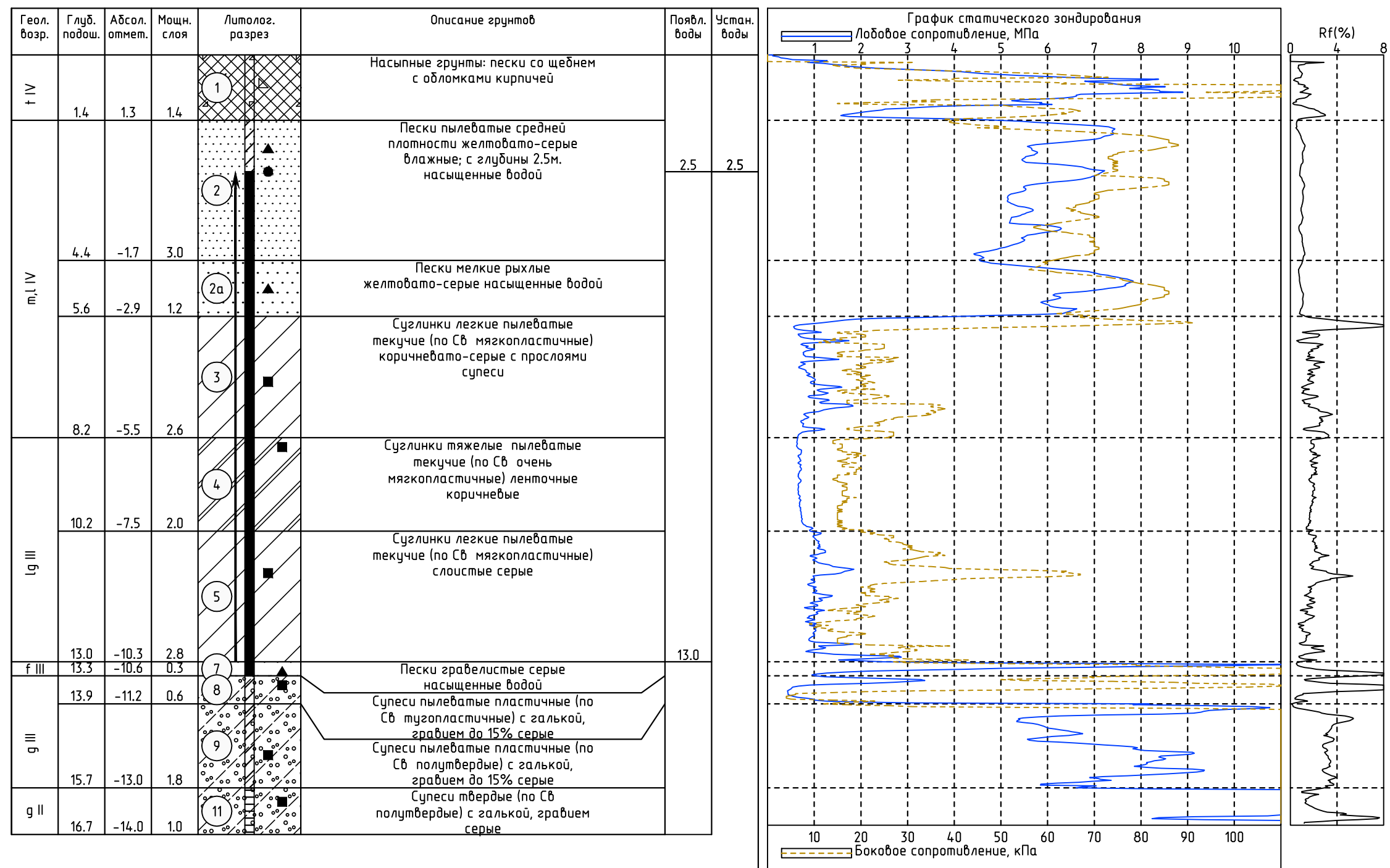


Масштаб 1:100
Дата выработки: 02.10.2014

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-18, абс. отм. 2,98

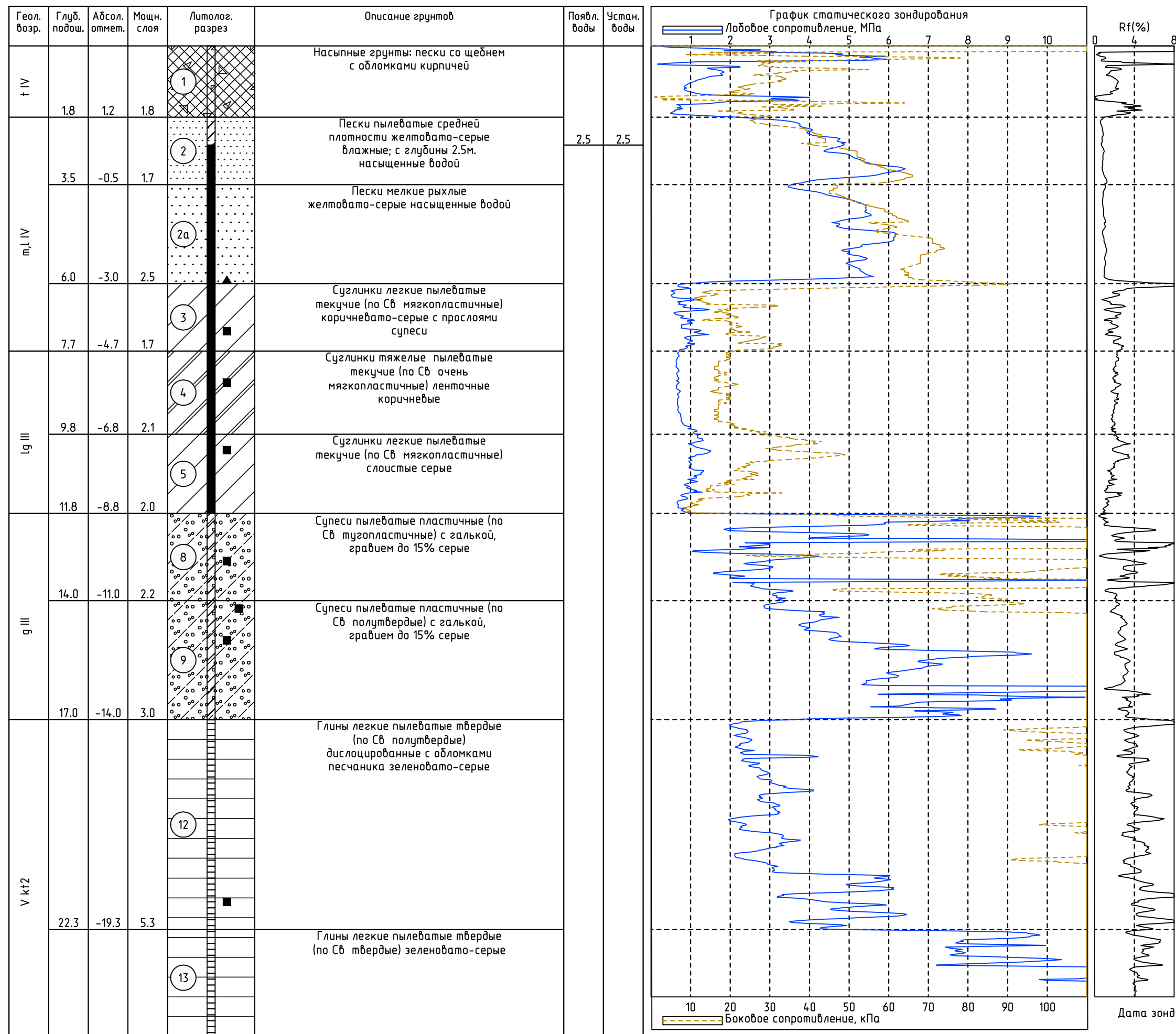


ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-19, абс. отм. 2,70



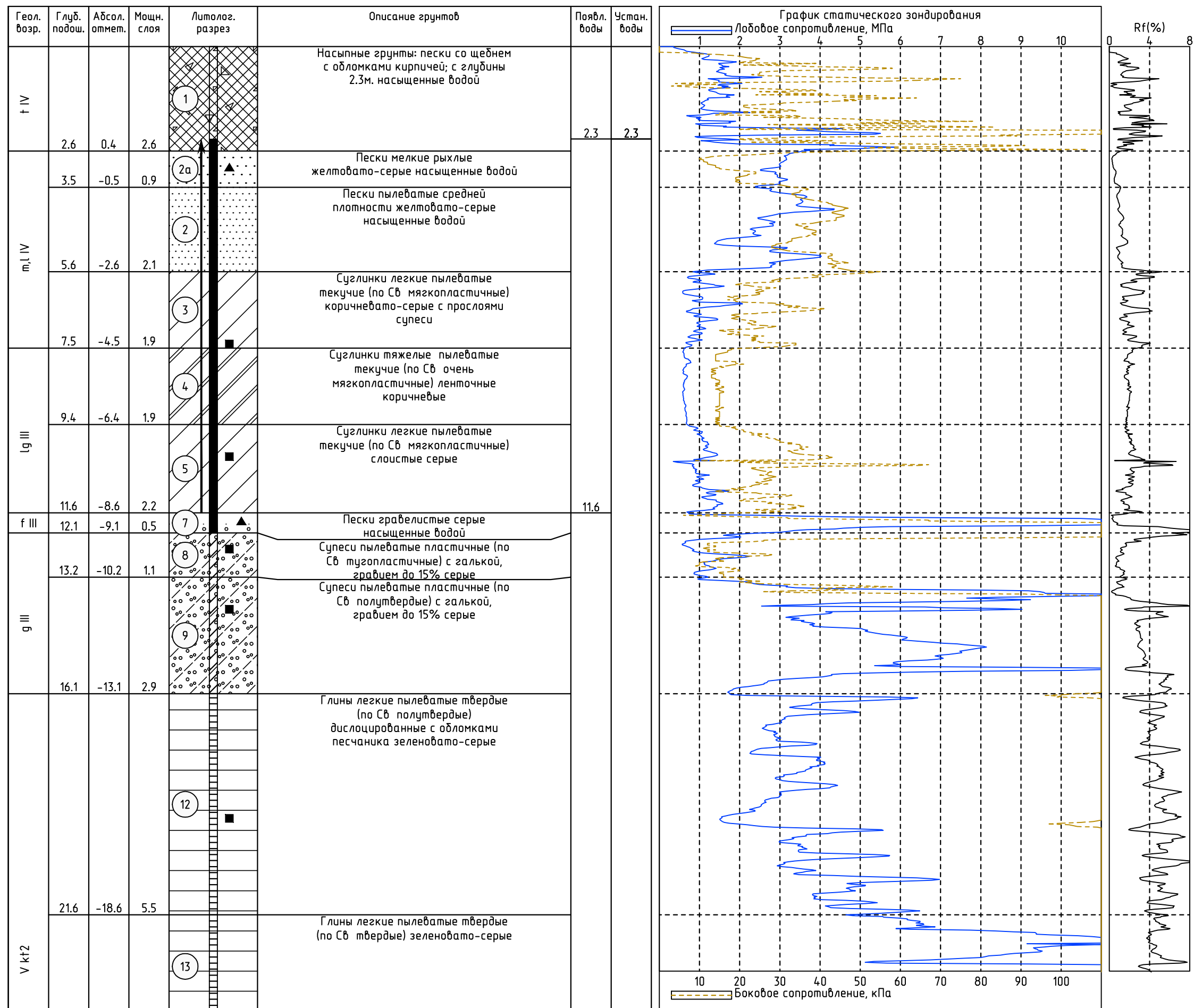
Масштаб 1:100
Дата выработки: 01.12.2016

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-20, абс. отм. 3,00



Масштаб 1:100
Дата выработки: 01.12.2016

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-21, адс. отм. 3,00

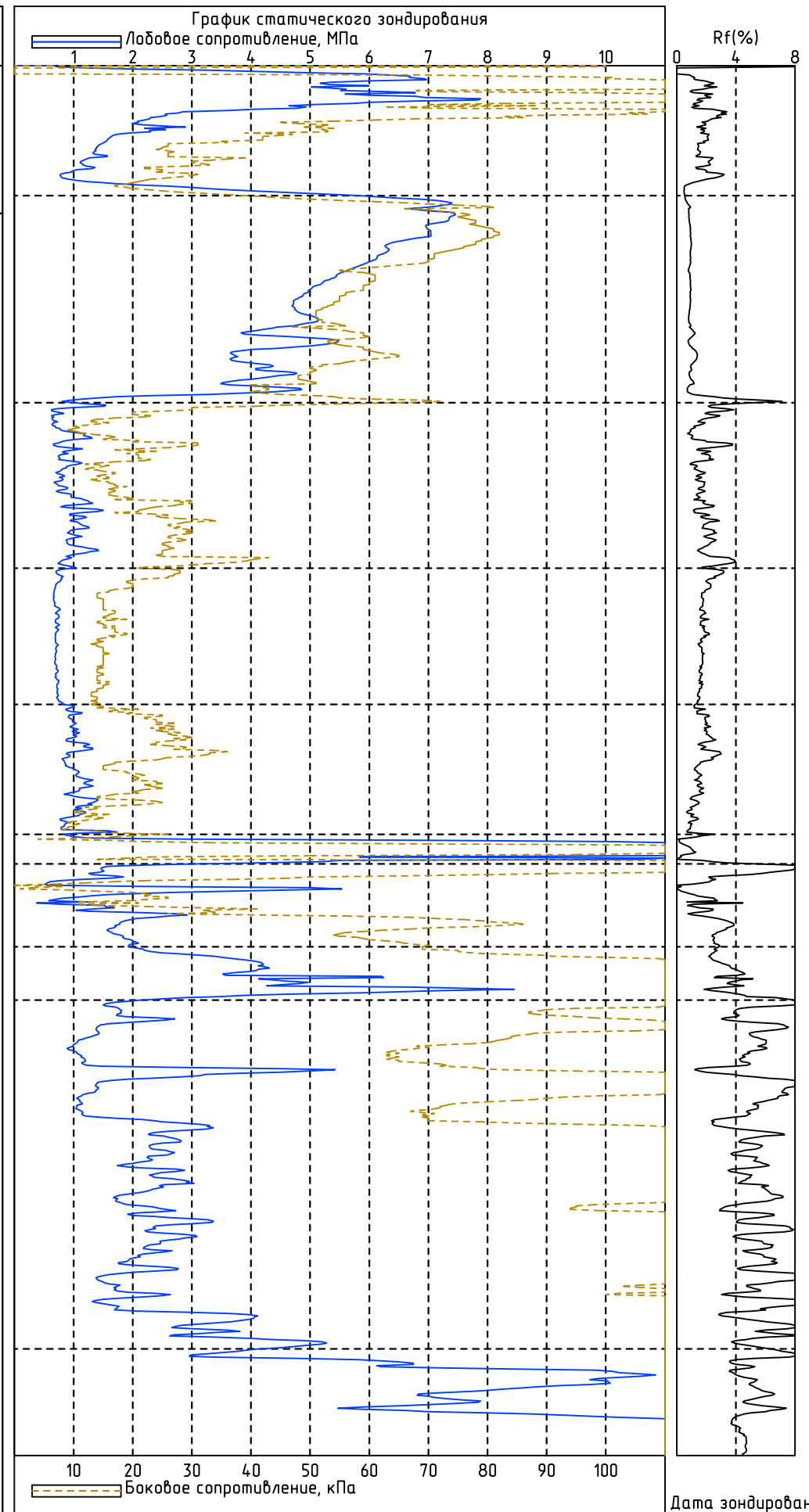


Масштаб 1:100
Дата выработки: 01.12.2016

Дата зондирования: 07.12.2016

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-22, абс. отм. 3.00

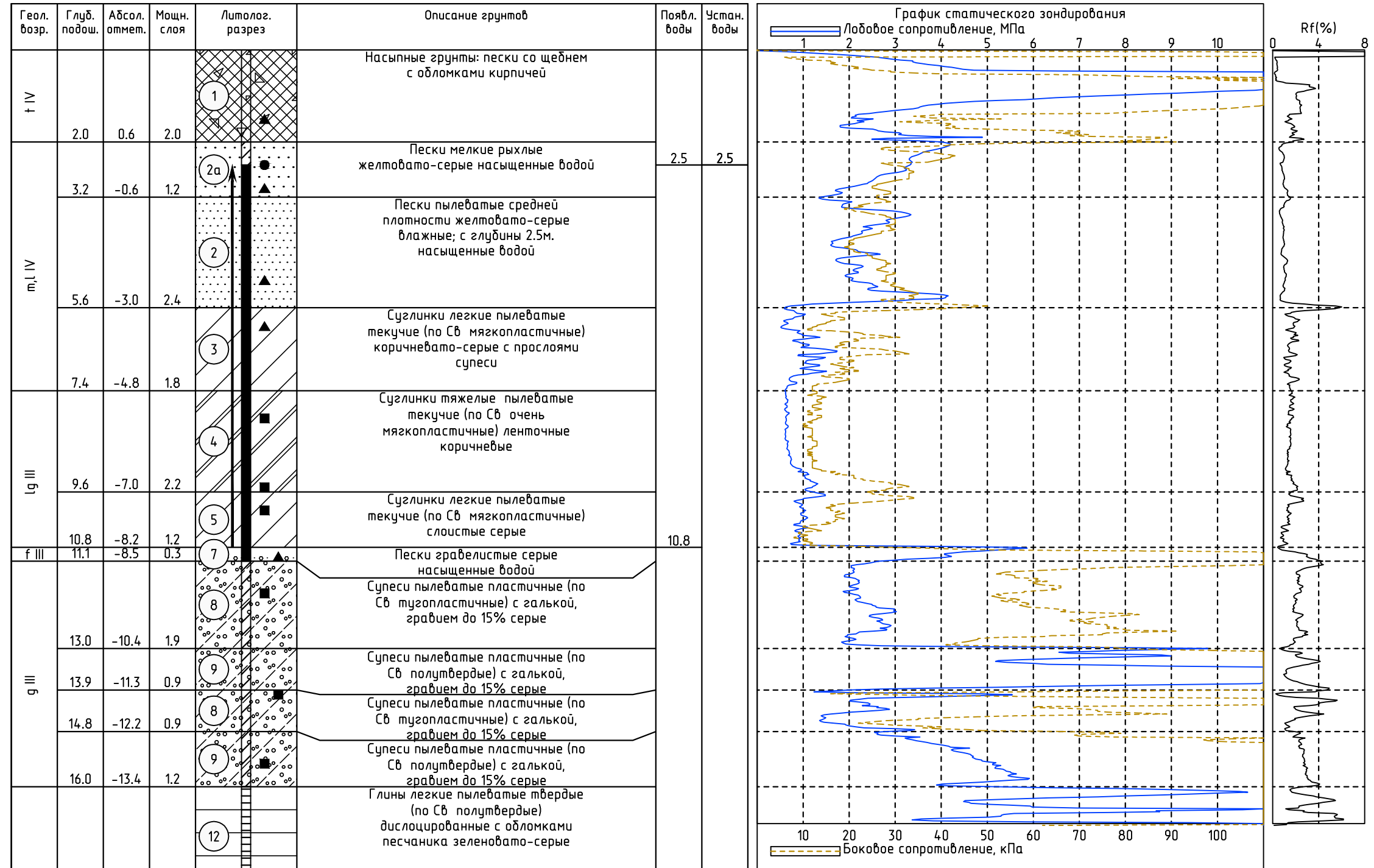
Геол. возр.	Глуб. подш.	Абсол. отмет.	Мощн. слоя	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
t IV	2.2	0.8	2.2	(1)	Насыпные грунты: пески со щебнем с обломками кирпичей		
m, l IV	5.7	-2.7	3.5	(2)	Пески пылеватые средней плотности желтовато-серые влажные; с глубины 2.5м. насыщенные водой	2.5	2.5
	8.5	-5.5	2.8	(3)	Суглинки легкие пылеватые текучие (по Св мягкопластичные) коричневатые с прослоями супеси		
	10.8	-7.8	2.3	(4)	Суглинки тяжелые пылеватые текучие (по Св очень мягкопластичные) ленточные коричневые		
lg III	13.0	-10.0	2.2	(5)	Суглинки легкие пылеватые текучие (по Св мягкопластичные) слоистые серые		
	13.5	-10.5	0.5	(7)	Пески гравелистые серые насыщенные водой	13.0	
g III	14.9	-11.9	1.4	(8)	Супеси пылеватые пластичные (по Св тугопластичные) с галькой, гравием до 15% серые		
	15.8	-12.8	0.9	(10)	Суглинки легкие пылеватые полутвердые (по Св полутвердые) с галькой, гравием до 15% с валунами серые		
V kt2	21.7	-18.7	5.9	(12)	Глины легкие пылеватые твердые (по Св полутвердые) дислоцированные с обломками песчаника зеленовато-серые		
				(13)			



Дата зондирования: 07.12.2016

Масштаб 1:100
Дата выработки: 01.12.2016

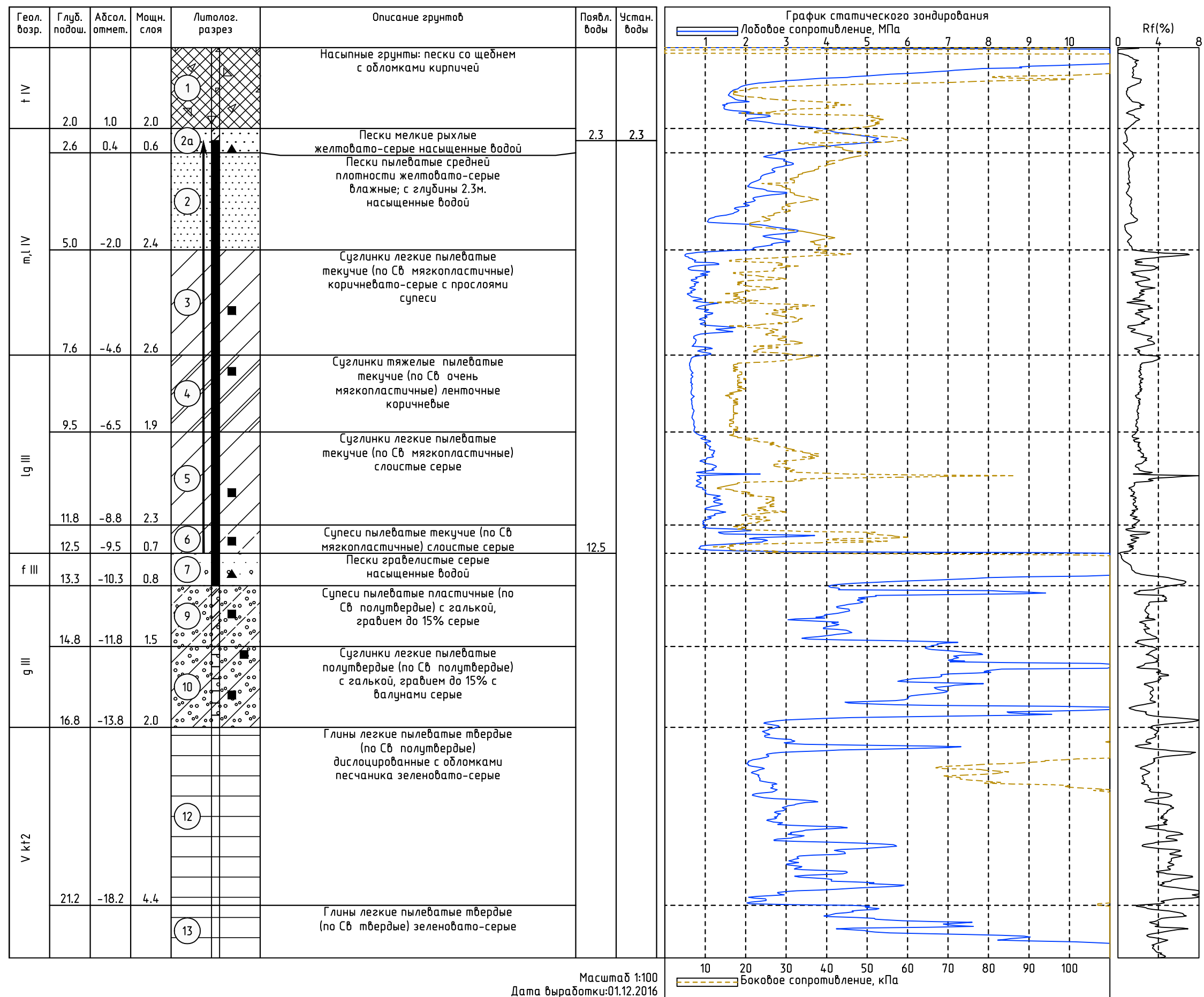
ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-23, абс. отм. 2,60



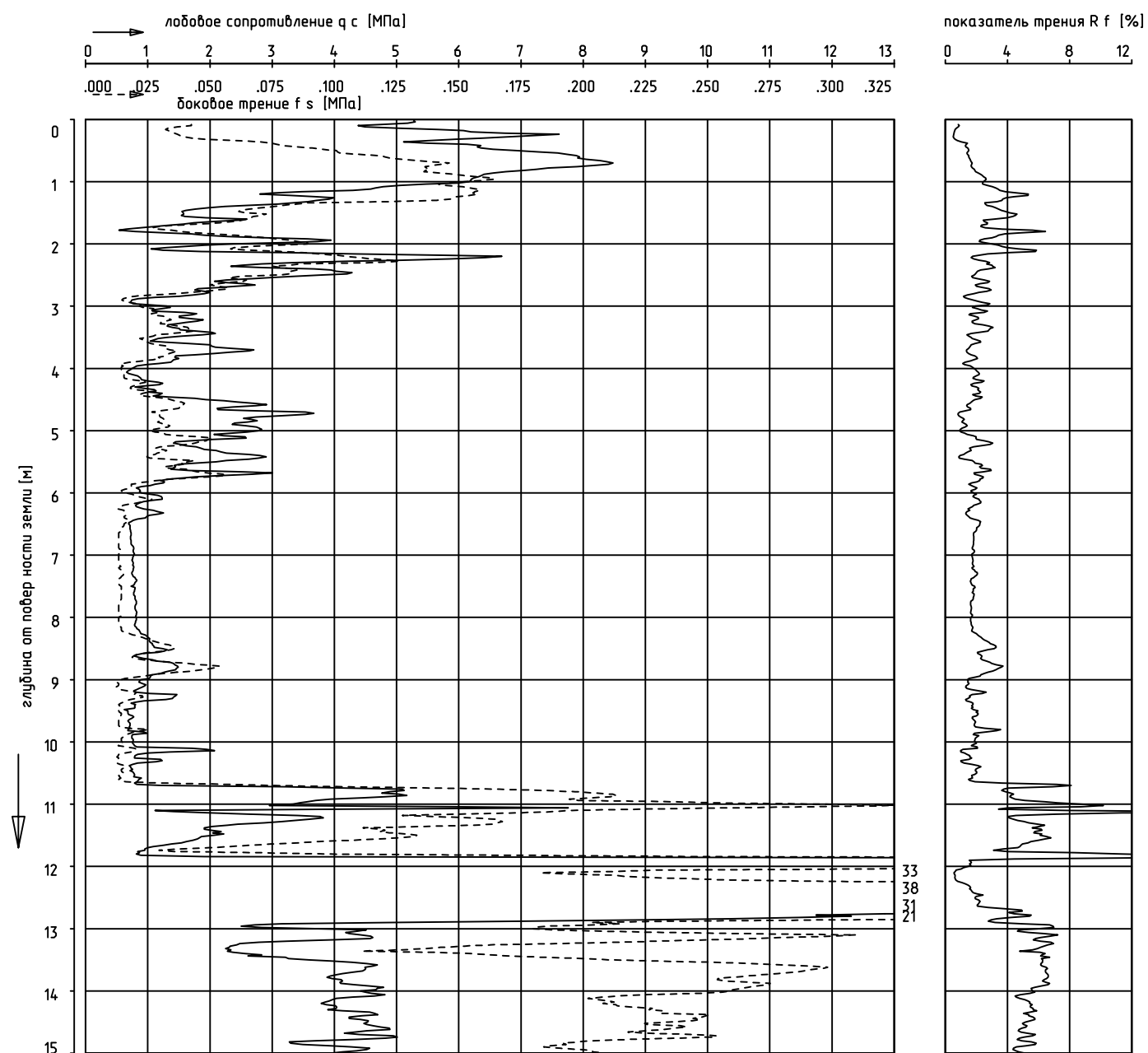
Масштаб 1:100

Дата зондирования: 07.12.2016

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-24, абс. отм. 3.00



ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-25, абс. отм. 14,90



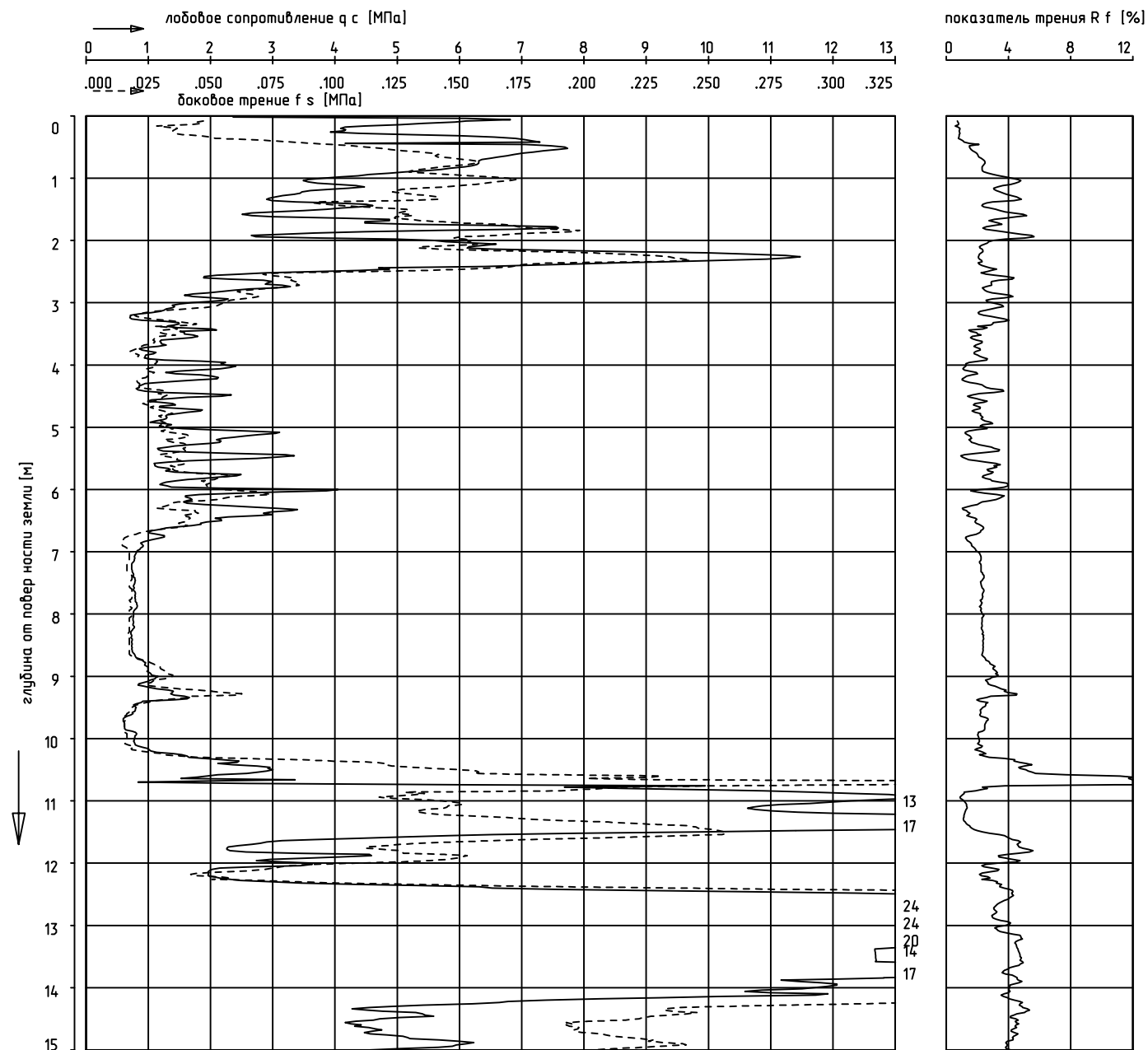
Дата выполнения: 29 февраля 2016 года

ИДЕНТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОНКА	
глубина	абс. отметка 14,9м
	①
3.0	
4.2	①а
	②
6.3	
	③
8.1	
9.2	④
	⑤
10.7	
11.9	⑥
	⑨
13.0	
	⑩

№ ИГЭ ледникового генезиса с описанием.

- ⑤ Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св мягкопластичные)
- ⑥ Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св тугопластичные)
- ⑨ Супеси пылеватые коричневато-серые с гравием, галькой, валунами твердые (по Св полутвердые)

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-26, абс. отм. 15,40



Дата выполнения: 26 февраля 2016 года

ИДЕНТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОНКА	
глубина	абс. отметка 15,4 м
	①
3.0	
	②
6.7	
	③
8.8	
9.9	④
10.5	⑤
	⑥
12.2	
	⑦
	⑧
	⑨
	⑩

№ ИГЭ ледникового генезиса с описанием.

⑤

Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Сб мягкопластичные)

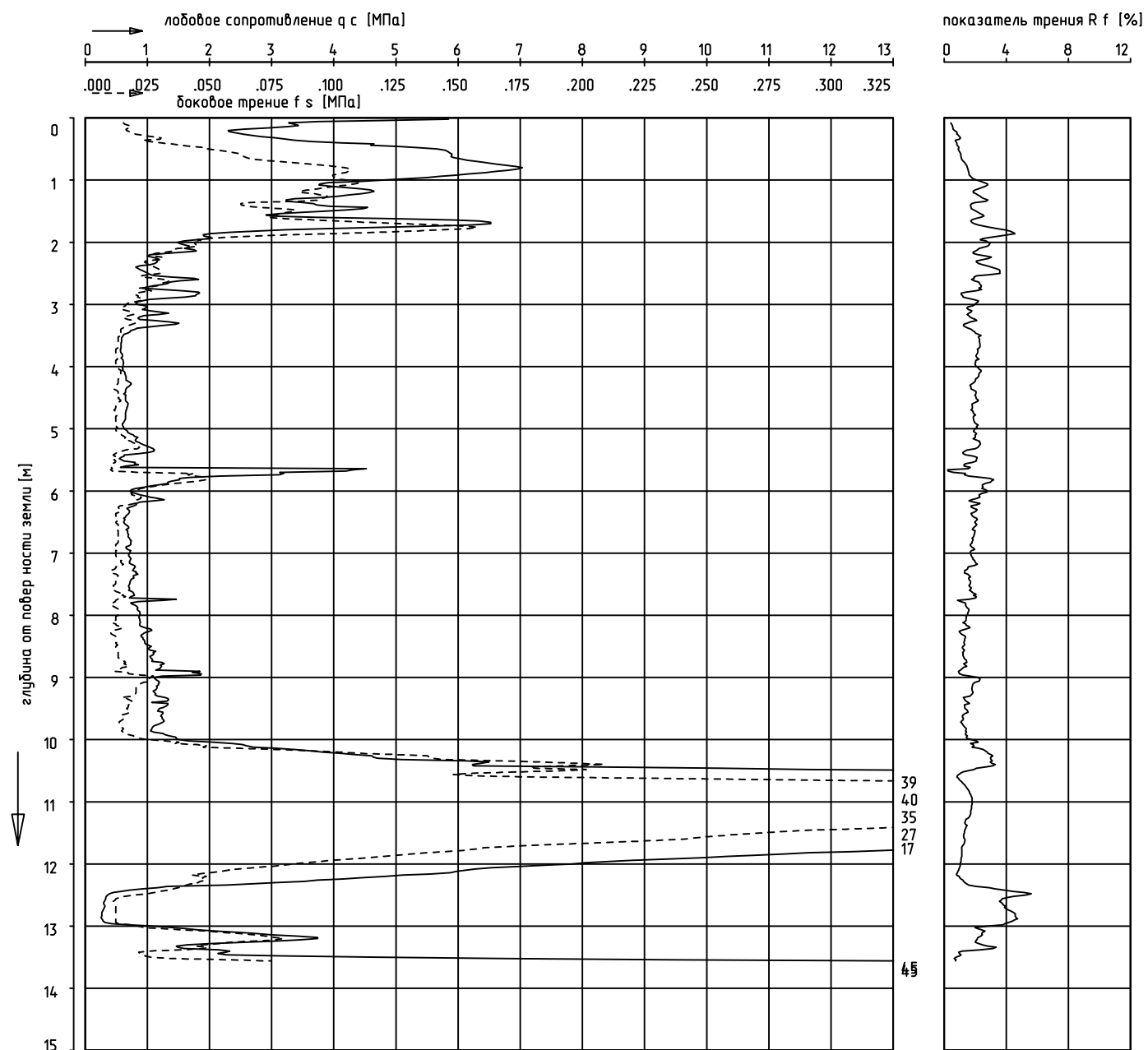
⑥

Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Сб тугопластичные)

⑨

Супеси пылеватые коричневато-серые с гравием, галькой, валунами твердые (по Сб полутвердые)

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-27, абс. отм. 15,40



Дата выполнения: 29 февраля 2016 года

ИДЕНТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОНКА	
глубина	абс. отметка 15,4 м
	①
2.1	②
3.2	③
4.8	④
6.0	⑤
8.3	⑥
10.1	⑦
12.5	⑧
13.5	⑨

№ ИГЭ ледникового генезиса с описанием.

⑤

Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св мягкопластичные)

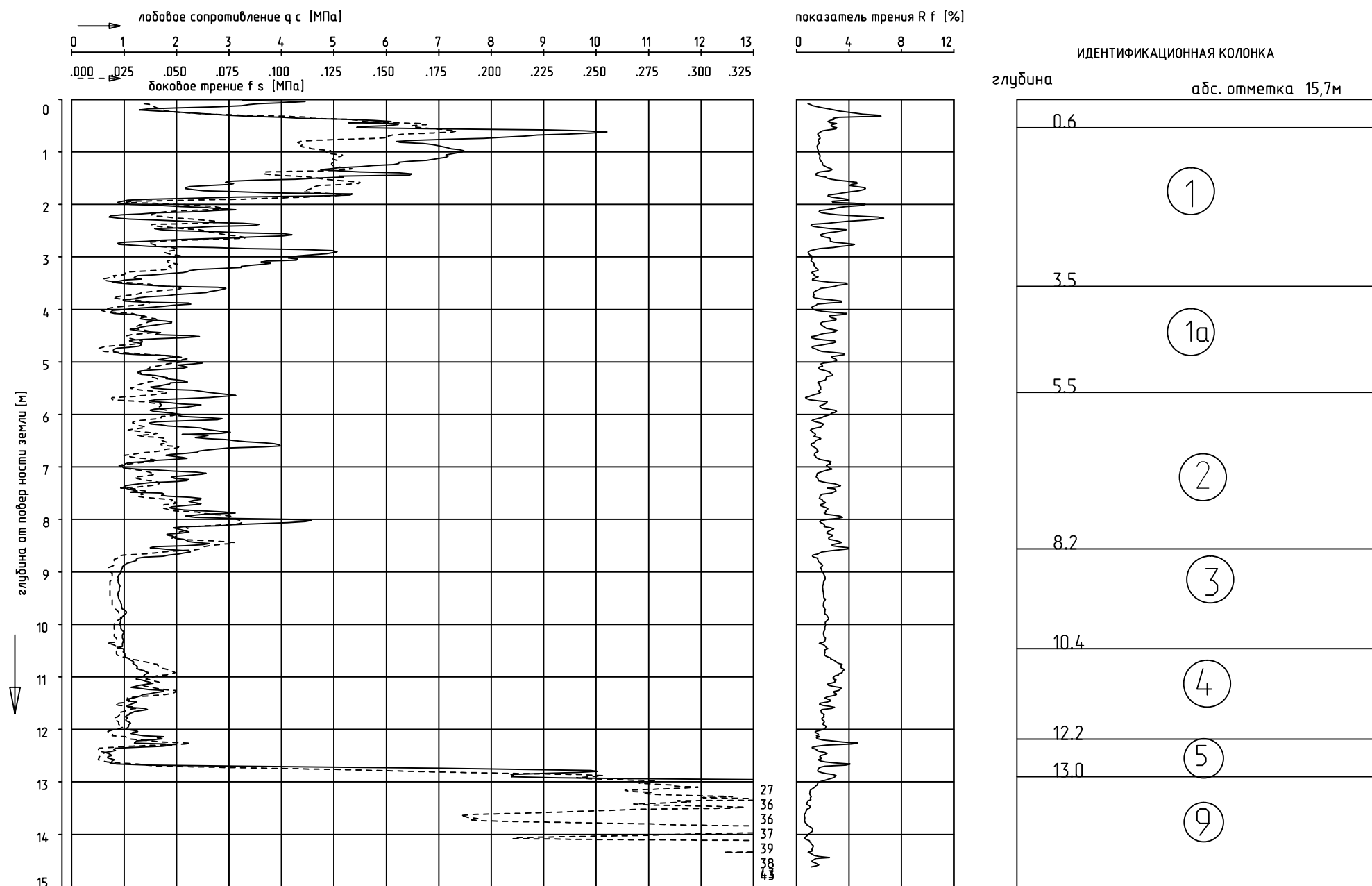
⑥

Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св тугопластичные)

⑨

Супеси пылеватые коричневатые-серые с гравием, галькой, валунами твердые (по Св полутвердые)

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-28, абс. отм. 15,70

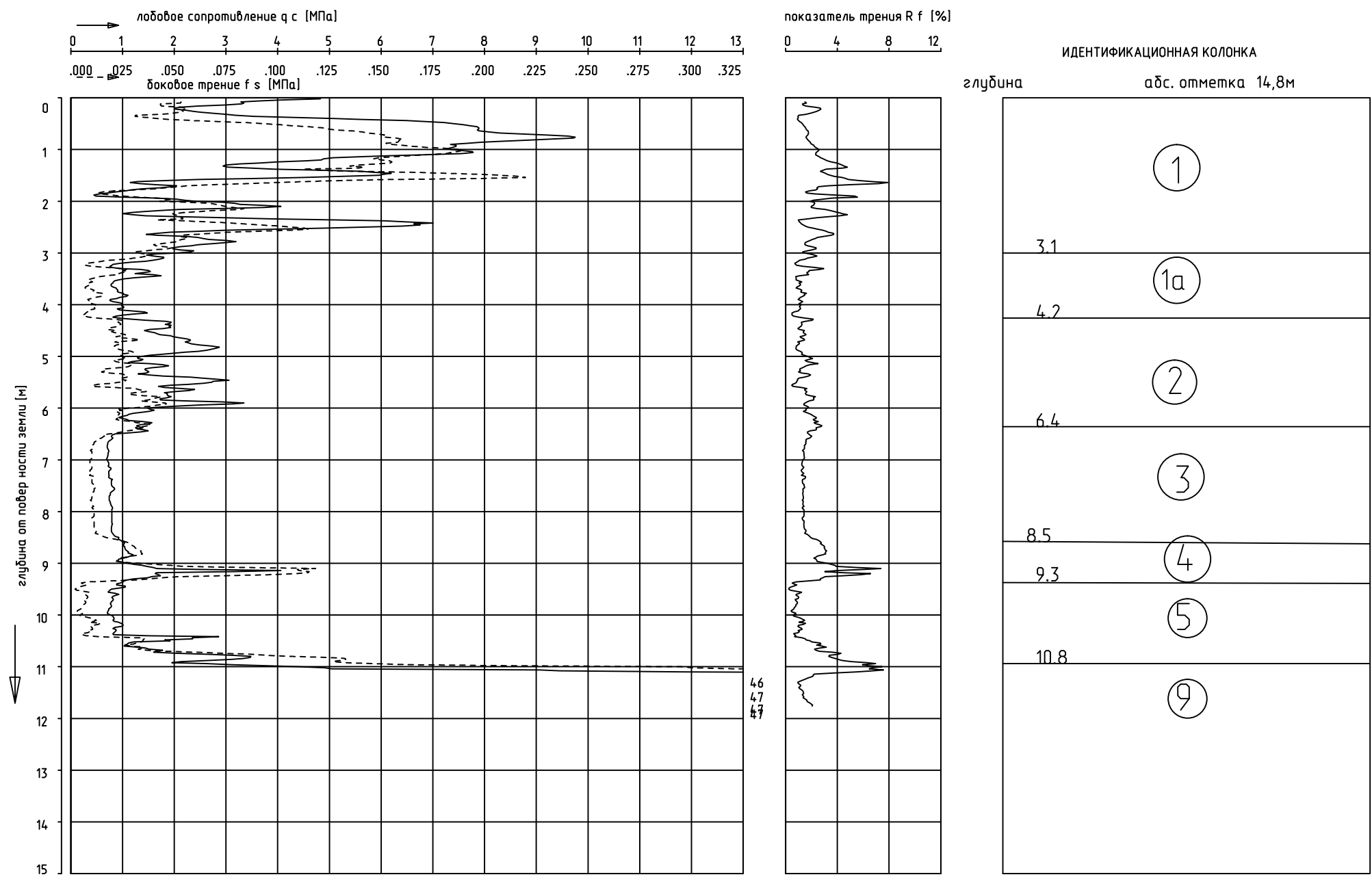


Дата выполнения: 29 февраля 2016 года

№ ИГЭ ледникового генезиса с описанием.

- 5 Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св мягкопластичные)
- 6 Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св тугопластичные)
- 9 Супеси пылеватые коричневато-серые с гравием, галькой, валунами твердые (по Св полутвердые)

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-29, абс. отм. 14,80



№ ИГЭ ледникового генезиса с описанием.

⑤

Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св мягкопластичные)

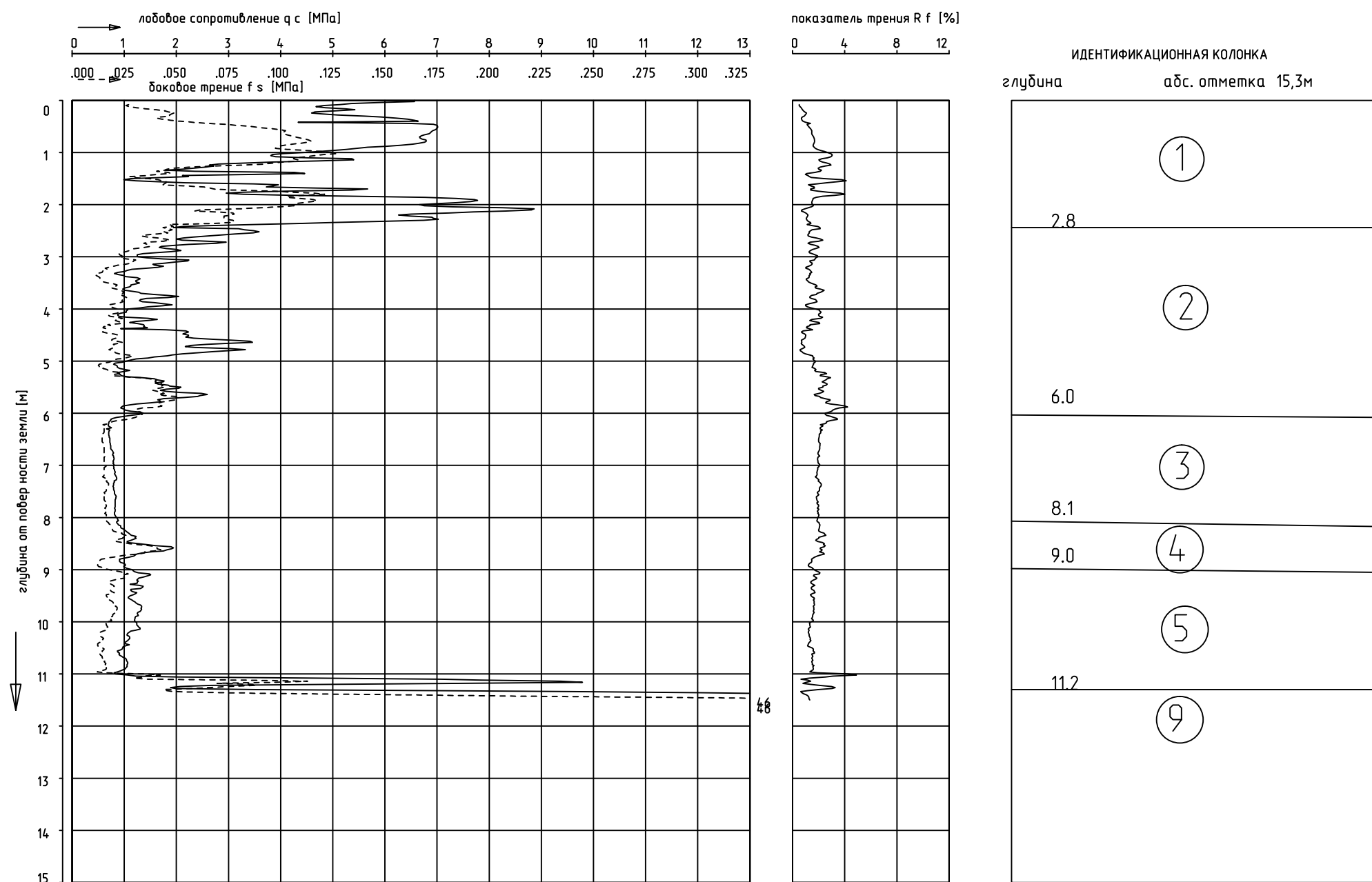
⑥

Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св тугопластичные)

⑨

Супеси пылеватые коричневато-серые с гравием, галькой, валунами твердые (по Св полутвердые)

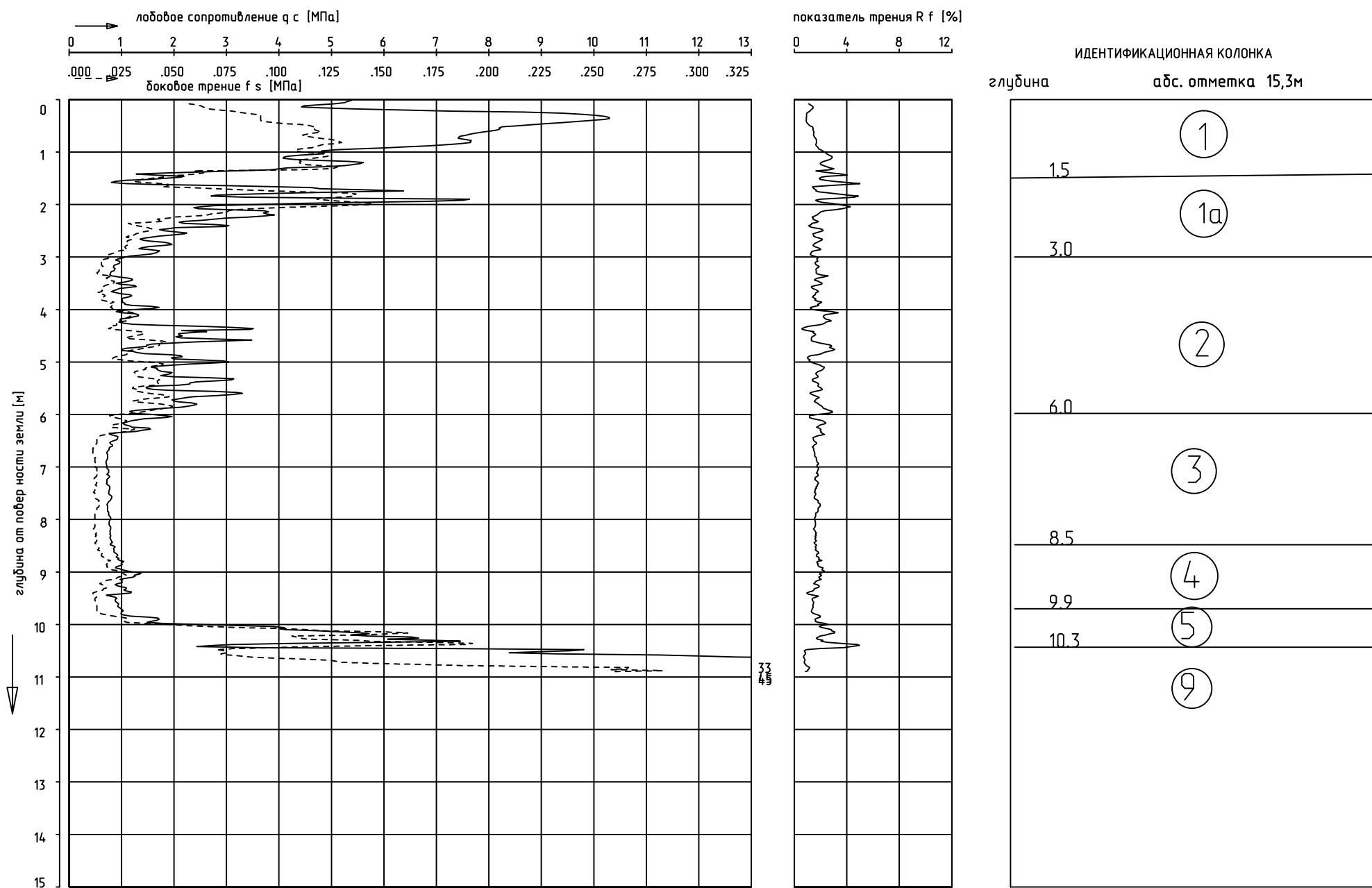
ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-30, абс. отм.15,30



№ ИГЭ ледникового генезиса с описанием.

- ⑤ Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св мягкопластичные)
- ⑥ Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св тугопластичные)
- ⑨ Супеси пылеватые коричневатые-серые с гравием, галькой, валунами твердые (по Св полутвердые)

ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-31, абс. отм. 15,30

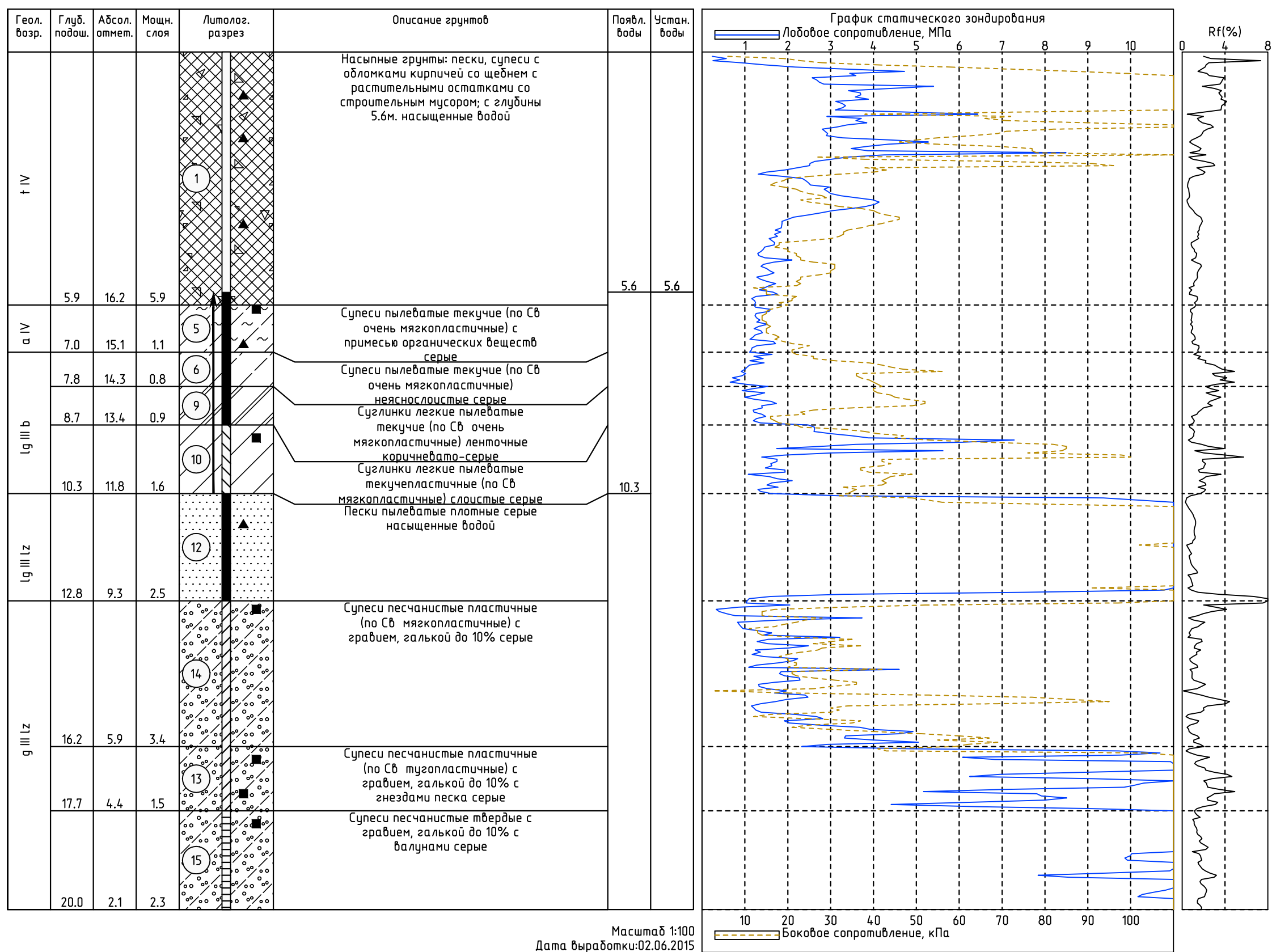


Дата выполнения: 29 февраля 2016 года

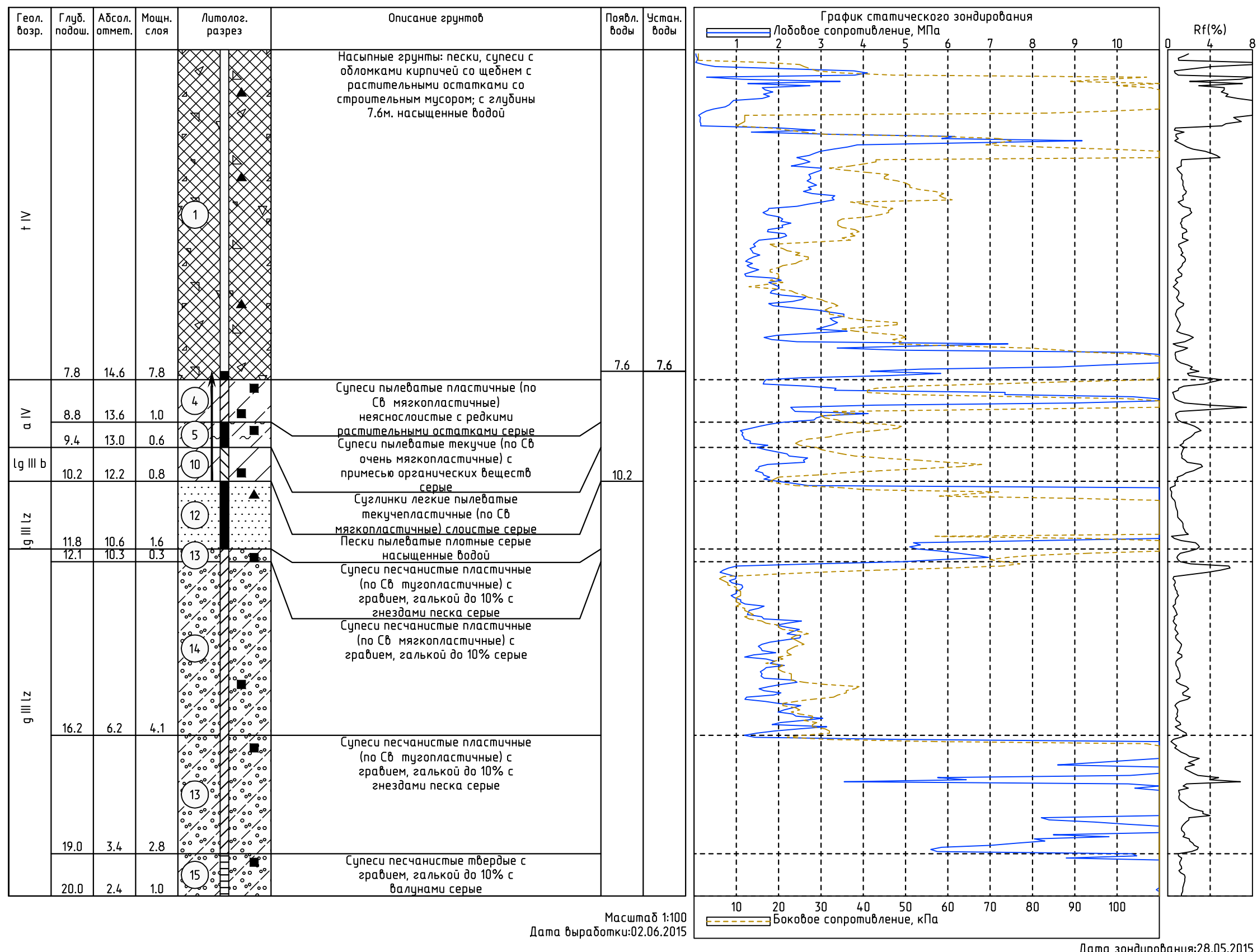
№ ИГЭ ледникового генезиса с описанием.

- 5 Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св мягкопластичные)
- 6 Супеси пылеватые серые с гравием, галькой пластичные (по Св тугопластичные)
- 9 Супеси пылеватые коричневатые-серые с гравием, галькой, валунами твердые (по Св полутвердые)

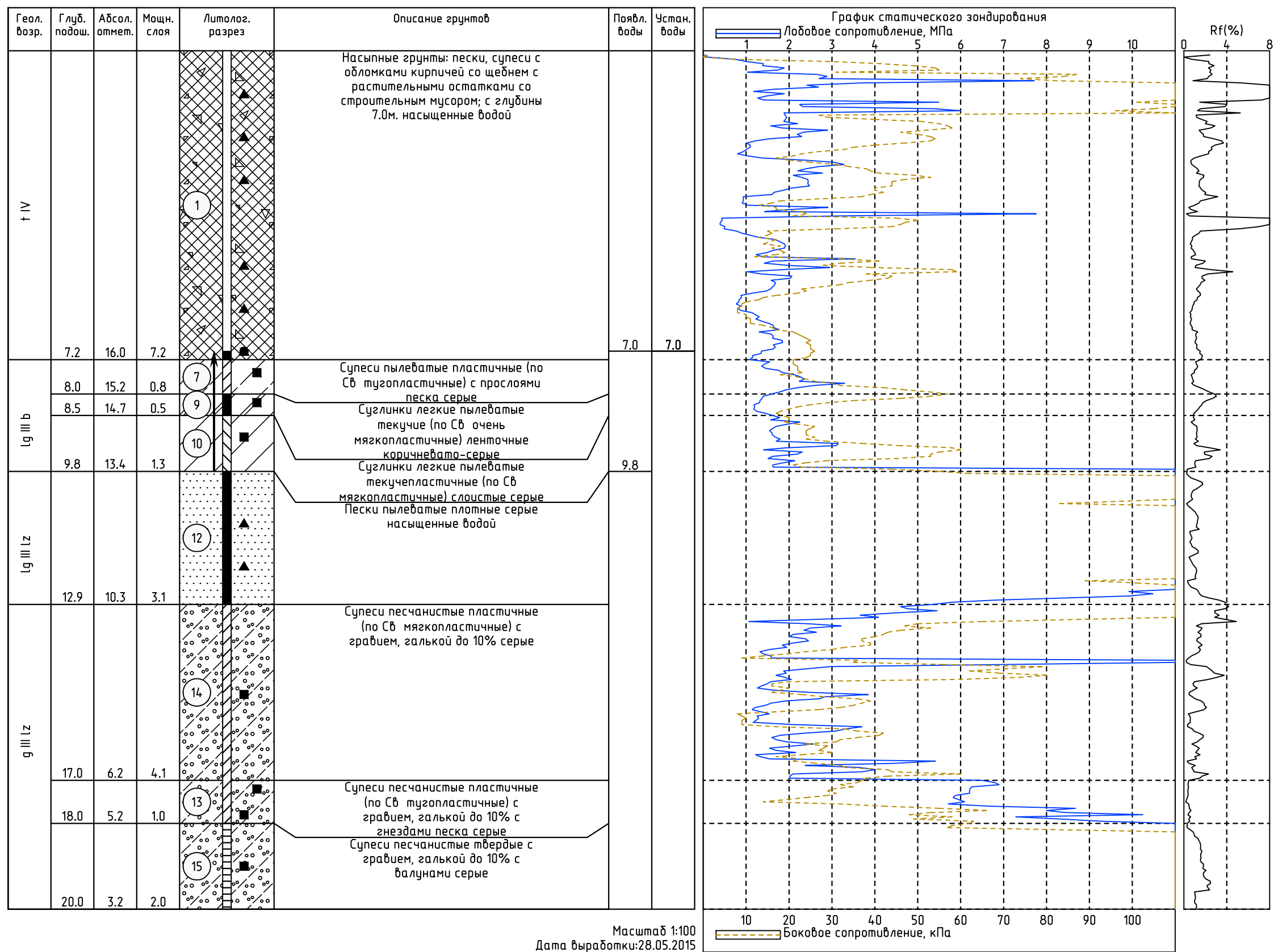
ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-32, абс. отм. 22,10



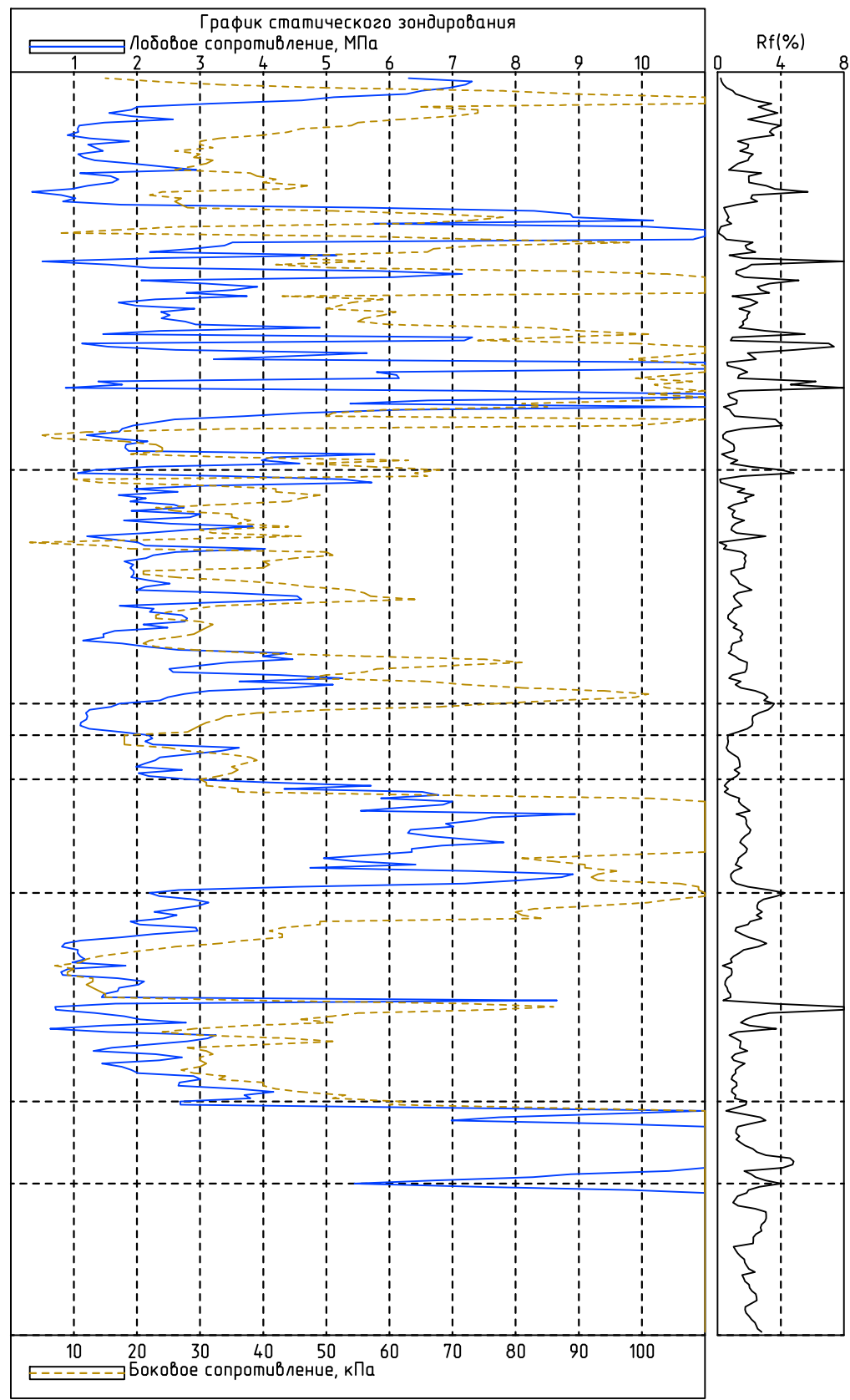
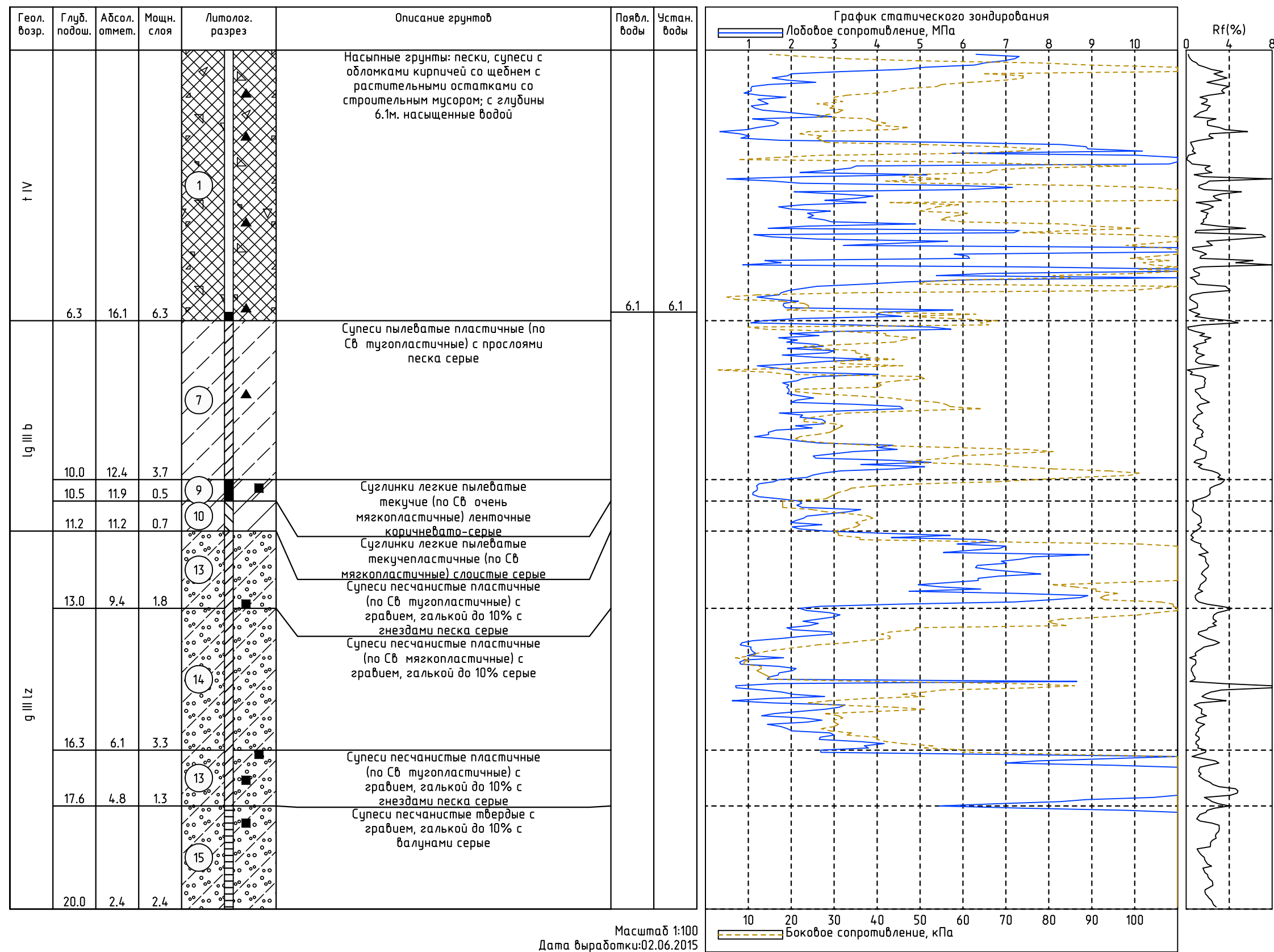
ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-33, абс. отм. 22,40



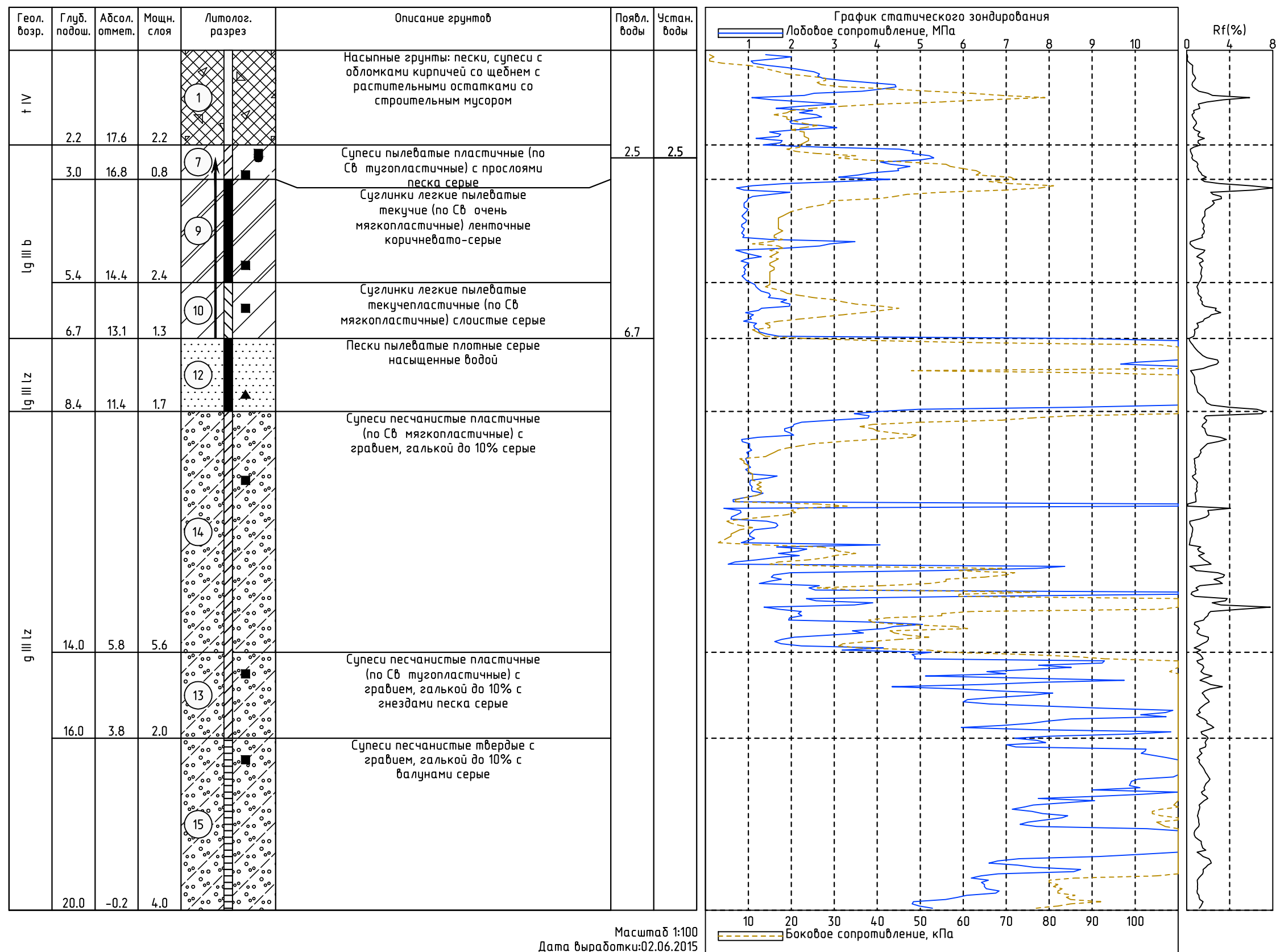
ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-34, абс. отм. 23,20



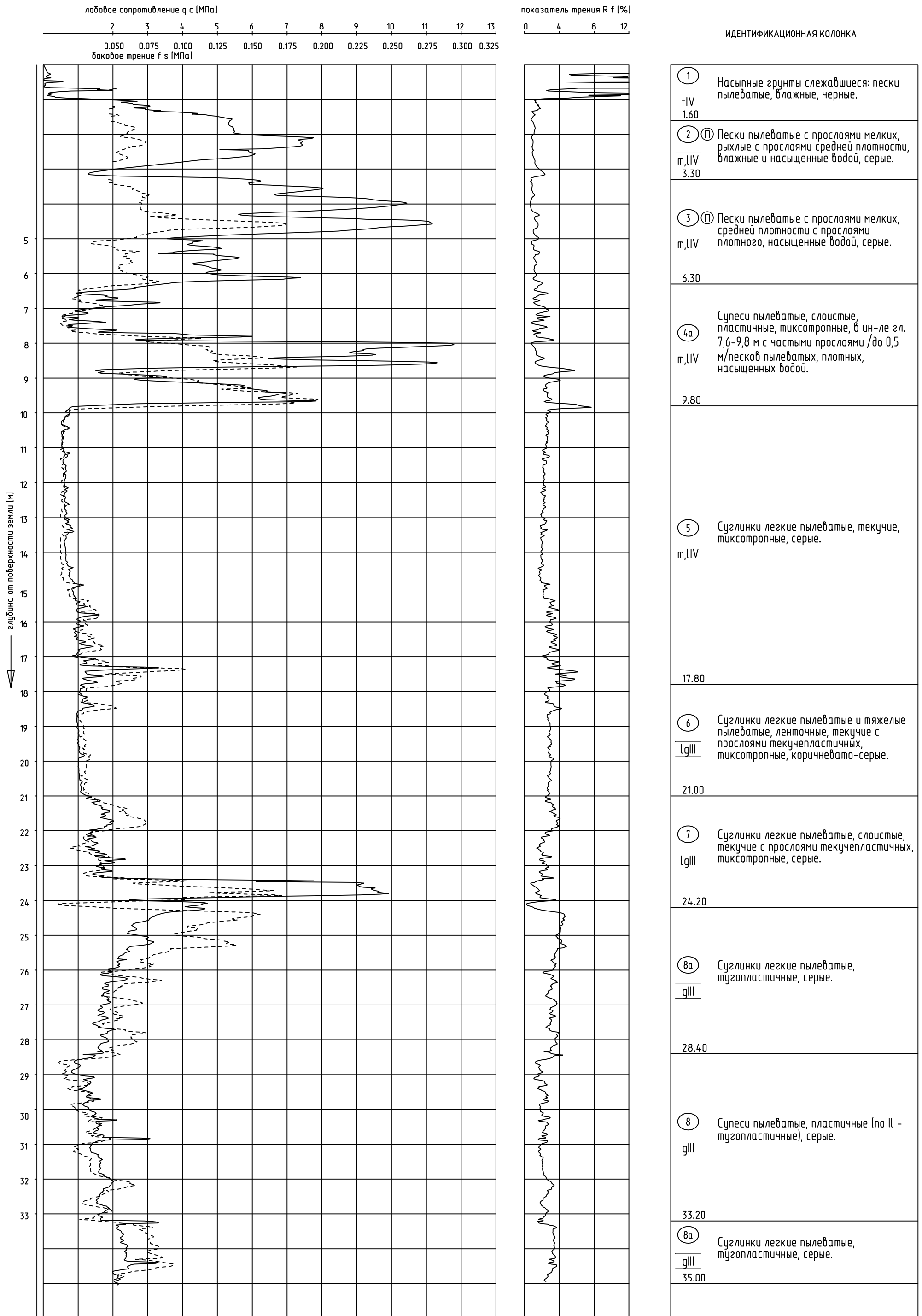
ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-35, абс. отм. 22,40



ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-36, абс. отм. 19.80



ТОЧКА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТСЗ-37, абс. отм. 3.10 м



глубина от поверхности земли [м]

Сводная ведомость гранулометрического состава, физических свойств и физико-механических параметров глинистых грунтов ошашковской морены г. Санкт-Петербурга.

ТСЗ	Глубина отбора образца	W, д.е.	П	I _p	Гранулометрический состав в %											φ, °	C, МПа	E, МПа	q, МПа	f, МПа	
					>25	25-10	10-5	5-2	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
ТСЗ-1	16,50	0,215	0,26	0,102					0,2	1,0	2,2	5,0	13,2	28,0	30,2	20,2	21,0	0,040	8,5	2,5	0,075
ТСЗ-2	24,30	0,230	0,33	0,096		1,0	0,6	0,2	0,3	0,5	2,0	9,8	10,2	21,8	28,1	25,5	21,1	0,023	8,3	1,8	0,060
ТСЗ-2	25,30	0,193	0,26	0,090			0,5	1,0	1,3	2,5	2,8	4,0	9,7	20,3	25,6	32,3	21,9	0,030	6,9	1,7	0,060
ТСЗ-2	27,30	0,191	0,31	0,099			0,5	0,8	3,2	3,6	3,8	5,1	11,5	20,9	19,8	30,8	22,2	0,029	6,8	1,7	0,060
ТСЗ-2	27,70	0,169	0,19	0,063			0,7	1,1	2,7	4,2	4,9	7,2	10,0	19,8	21,3	28,1	22,1	0,030	9,9	2,0	0,063
ТСЗ-2	30,10	0,173	0,31	0,068		1,3	0,4	1,0	2,9	3,8	4,9	7,2	10,6	18,5	21,1	28,3	21,8	0,027	6,7	2,0	0,063
ТСЗ-2	31,40	0,158	0,12	0,069		1,2	1,0	1,1	3,6	4,9	5,7	7,3	10,7	21,0	17,9	25,6	22,1	0,030	10,3	2,0	0,063
ТСЗ-3	7,00	0,160	1,09	0,053			1,6	2,9	4,0	5,0	6,1	11,8	15,4	29,5	14,0	9,7	20,0	0,010	6,7	0,4	0,002
ТСЗ-3	11,10	0,161	-0,65	0,051			0,3	0,3	0,2	1,3	1,7	2,2	8,9	45,5	17,4	22,2	29,0	0,036	10,8	4,2	0,100
ТСЗ-4	6,30	0,140	1,05	0,042				2,6	4,2	7,8	13,5	22,6	16,4	18,3	8,5	6,1	20,0	0,012	7,1	0,5	0,001
ТСЗ-4	9,90	0,165	0,04	0,053				0,4	1,2	1,7	2,4	3,8	17,7	44,5	18,1	10,3	27,0	0,036	10,3	3,5	0,065
ТСЗ-5	18,90	0,213	0,47	0,070													21,0	0,026	8,5	2,7	0,076
ТСЗ-6	7,20	0,150	0,19	0,052													27,0	0,034	12,5	3,0	0,045
ТСЗ-6	10,50	0,175	0,35	0,057													26,0	0,029	9,7	3,0	0,045
ТСЗ-7	22,20	0,204	0,42	0,080													20,4	0,023	8,2	1,9	0,100
ТСЗ-8	7,10	0,155	0,88	0,040				0,9	3,4	4,0	5,2	9,7	13,8	42,7	12,4	7,9	28,0	0,046	12,1	0,4	0,015
ТСЗ-8	8,50	0,175	0,55	0,055			0,6	0,7	2,3	2,6	3,8	6,0	15,9	39,2	18,1	10,8	26,0	0,020	9,9	7,0	0,100
ТСЗ-8	11,10	0,170	0,08	0,070				0,4	1,2	1,5	2,2	3,4	15,9	40,8	21,8	12,8	27,0	0,035	11,3	7,0	0,100
ТСЗ-8	10,80	0,160	0,10	0,082				0,5	1,7	2,0	2,7	4,6	16,2	32,2	23,7	16,4	23,0	0,047	10,5	7,0	0,100
ТСЗ-9	7,00	0,160	1,00	0,040				0,6	0,9	2,1	5,3	12,1	16,6	40,5	13,2	8,7	16,0	0,006	7,9	0,5	0,035
ТСЗ-9	11,10	0,175	0,26	0,058				0,2	0,9	3,5	8,1	11,8	18,6	40,5	10,1	6,3	24,0	0,031	10,6	6,0	0,095
ТСЗ-10	12,60	0,170	1,13	0,040						0,7	1,5	5,6	21,8	40,0	18,3	12,1	16,0	0,004	7,1	2,6	0,081
ТСЗ-11	18,10	0,140	1,00	0,040				0,4	1,7	1,7	2,9	5,6	13,0	31,6	23,7	19,4	23,0	0,022	9,6	3,5	0,060
ТСЗ-12	17,40	0,160	0,08	0,065				0,4	1,2	1,8	2,6	4,1	19,5	48,2	14,4	7,8	27,0	0,036	10,3	6,5	0,080
ТСЗ-13	10,00	0,160	0,45	0,066				0,7	1,8	2,4	5,4	8,3	19,4	34,4	15,6	12,0	27,0	0,037	10,4	6,4	0,090
ТСЗ-13	11,90	0,140	0,11	0,062				0,3	0,8	3,0	7,3	10,2	20,0	28,8	17,9	11,7	31,0	0,060	14,9	6,4	0,090
ТСЗ-14	10,10	0,165	0,42	0,060					0,7	3,5	8,1	12,6	18,2	40,0	9,8	7,1	27,0	0,039	10,7	6,6	0,100
ТСЗ-14	12,80	0,165	0,25	0,060					0,6	3,0	9,1	11,8	17,6	38,5	11,4	8,0	27,0	0,039	9,9	6,6	0,100
ТСЗ-15	11,50	0,200	0,91	0,055			1,4	1,5	3,7	3,7	4,9	8,9	14,7	36,6	15,3	9,3	18,0	0,009	8,8	4,5	0,100
ТСЗ-16	7,00	0,160	1,00	0,040				0,6	0,9	2,1	5,3	12,1	16,6	40,5	13,2	8,7	16,0	0,006	7,9	0,4	0,033
ТСЗ-16	9,00	0,175	0,40	0,062				0,6	1,2	3,4	6,8	9,2	14,7	38,9	15,0	10,2	17,0	0,035	8,4	2,8	0,050
ТСЗ-16	11,00	0,165	0,41	0,061				0,5	1,5	2,7	2,7	4,8	16,4	45,4	15,4	10,6	25,0	0,037	11,8	2,8	0,050
ТСЗ-17	6,80	0,140	1,18	0,040			1,2	2,0	5,5	7,3	8,4	17,0	15,8	25,4	9,8	7,6	14,0	0,008	7,1	0,4	0,001
ТСЗ-17	9,40	0,110	0,40	0,035			1,5	1,6	4,7	6,9	11,0	24,0	18,7	17,1	9,8	4,7	27,0	0,041	11,6	7,8	0,100
ТСЗ-18	10,20	0,190	0,33	0,060						0,2	1,6	3,2	26,6	39,2	19,6	9,6	21,0	0,020	10,6	6,9	0,125

ТСЗ	Глубина отбора образца	W, д.е.	П	I _p	Гранулометрический состав в %											φ, °	C, МПа	E, МПа	q, МПа	f, МПа	
					>25	25-10	10-5	5-2	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
ТСЗ-18	17,50	0,205	0,33	0,075					0,4	1,2	3,3	6,7	19,0	30,2	26,5	12,7	23,0	0,032	8,2	3,0	0,087
ТСЗ-19	15,00	0,105	0,17	0,042	0,6		6,6	4,2	3,0	3,8	8,4	19,4	25,1	19,8	9,1	27,0	0,026	11,8	7,3	0,100	
ТСЗ-19	13,50	0,140	0,38	0,053			6,5	6,6	6,3	7,1	12,3	12,7	18,8	19,2	10,5	26,0	0,020	10,0	1,8	0,070	
ТСЗ-20	13,00	0,146	0,41	0,064												23,0	0,024	12,8	4,9	0,090	
ТСЗ-20	14,20	0,140	0,18	0,056	2,3		2,1	2,1	6,8	6,4	11,7	13,2	21,4	23,1	10,9	27,0	0,030	11,8	7,4	0,100	
ТСЗ-20	15,00	0,110	0,09	0,053	20,2		6,7	6,7	3,3	6,8	8,8	16,1	14,5	10,2	6,7	29,0	0,038	11,9	7,4	0,100	
ТСЗ-21	12,50	0,130	0,38	0,048												24,0	0,021	9,7	1,3	0,020	
ТСЗ-21	14,00	0,115	0,31	0,042			4,7	4,6	9,2	12,4	22,1	16,1	16,5	8,6	5,8	27,0	0,025	11,1	6,0	0,100	
ТСЗ-22	14,00	0,140	0,45	0,040												18,0	0,023	11,6	1,9	0,050	
ТСЗ-23	11,80	0,160	0,45	0,060												25,0	0,027	9,7	2,5	0,070	
ТСЗ-23	14,00	0,155	0,25	0,060												23,0	0,021	9,5	2,2	0,085	
ТСЗ-23	15,50	0,120	0,20	0,050												29,0	0,032	14,8	4,5	0,100	
ТСЗ-24	14,00	0,105	0,10	0,050			1,3	2,0	3,4	5,1	11,4	13,8	30,0	23,8	9,2	28,0	0,029	14,5	4,4	0,100	
ТСЗ-25	12,00	0,090	-0,33	0,050	1,0		4,2	3,3	6,8	10,4	15,1	17,0	18,4	17,3	6,5	31,0	0,045	18,0	7,0	0,325	
ТСЗ-26	10,00	0,150	0,51	0,050			3,4	2,2	6,3	7,5	19,2	17,7	22,2	15,5	6,0	14,0	0,013	10,1	9,0	0,225	
ТСЗ-26	11,00	0,120	-0,11	0,050			3,7	2,1	5,5	6,9	20,2	19,1	19,8	16,1	6,6	29,0	0,039	13,3	9,0	0,185	
ТСЗ-27	10,00	0,120	0,21	0,050	0,7		3,3	2,0	0,3	3,8	9,0	15,2	29,6	17,8	18,3	21,0	0,023	16,7	1,3	0,025	
ТСЗ-29	10,00	0,140	0,64	0,060	1,8		3,1	1,0	1,5	3,3	7,2	12,9	28,7	29,6	10,9	14,0	0,014	10,8	1,3	0,075	
ТСЗ-30	10,00	0,150	0,63	0,050	1,5		5,9	4,2	5,1	10,7	13,5	18,8	20,8	13,0	6,5	12,0	0,018	10,8	1,2	0,017	
ТСЗ-30	10,80	0,140	0,50	0,050			3,3	4,7	8,2	10,8	12,8	16,4	20,8	15,4	7,6	11,0	0,017	11,5	1,2	0,017	
ТСЗ-31	10,00	0,150	0,58	0,050	1,2		3,6	4,5	6,4	10,5	12,5	17,0	21,0	16,0	7,3	12,0	0,015	9,5	1,0	0,120	
ТСЗ-32	13,00	0,114	0,75	0,020												12,0	0,008	9,2	1,9	0,030	
ТСЗ-32	16,50	0,106	0,18	0,022	3,7		6,0	1,4	5,9	9,6	12,1	21,9	18,8	10,0	10,6	19,0	0,020	12,1	8,5	0,100	
ТСЗ-32	17,30	0,102	0,21	0,019												17,0	0,020	12,0	8,5	0,100	
ТСЗ-33	12,00	0,120	0,10	0,041												20,0	0,021	11,8	6,0	0,090	
ТСЗ-33	15,00	0,115	0,60	0,025												13,0	0,008	10,0	2,0	0,025	
ТСЗ-33	16,50	0,111	0,24	0,025	2,8		4,4	2,9	4,9	10,4	11,5	21,3	18,8	10,5	12,5	19,0	0,015	12,3	9,2	0,100	
ТСЗ-34	15,00	0,119	0,95	0,020	6,1		6,8	4,7	15,4	12,6	12,8	8,8	12,3	9,7	10,8	11,0	0,009	10,7	2,8	0,030	
ТСЗ-35	12,90	0,153	0,24	0,051	0,8		0,8	4,4	5,8	12,9	15,5	18,3	10,8	13,3	17,4	16,0	0,021	10,5	6,7	0,095	
ТСЗ-35	16,40	0,139	0,27	0,060	2,5		0,5	5,5	6,3	13,2	14,6	13,6	16,9	10,5	16,4	18,0	0,020	13,1	9,6	0,040	
ТСЗ-35	17,00	0,116	0,26	0,027	7,1		4,7	2,6	4,4	8,1	14,1	21,3	17,6	9,6	10,5	19,0	0,018	13,3	9,6	0,100	
ТСЗ-36	10,00	0,115	0,71	0,021	6,3		6,2	4,1	11,4	9,8	16,4	8,7	16,4	11,8	8,9	13,0	0,010	10,4	3,0	0,040	
ТСЗ-37	24,30	0,230	0,33	0,096		1,0	0,6	0,2	0,3	0,5	2,0	9,8	10,2	21,8	28,1	25,5	21,1	0,023	8,3	2,0	0,070
ТСЗ-37	27,90	0,191	0,31	0,099			0,5	0,8	3,2	3,6	3,8	5,1	11,5	20,9	19,8	30,8	22,2	0,029	6,8	2,0	0,070
ТСЗ-37	33,30	0,180	0,37	0,097			0,5	1,0	2,1	2,7	3,3	4,5	8,3	27,1	20,3	30,2	21,0	0,024	5,4	2,3	0,075