

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт наук о Земле

Направление 05.03.01 Геология

Кафедра инженерной геологии и гидрогеологии

Орловский Александр Андреевич

**Анализ инженерно-геологических условий для капитального ремонта
железных дорог Северо-Запада России**

Выпускная квалификационная работа

Научный руководитель:

к. г.-м. н. Еремеева Анастасия Александровна

_____ 2023 г.
«_____» _____

Заведующий кафедрой:

к г.-м. н. Бурлуцкий Станислав Борисович

_____ 2023 г.
«_____» _____

Санкт-Петербург

2023

Содержание

Введение.....	3
Физико-географическое описание Псковской области.....	4
Геоморфологические условия.....	4
Климат	8
Гидрография	9
Геологическое строение	14
Стратиграфия.....	14
Гидрогеологические условия	28
Инженерно-геологические условия объекта	29
Описание участка работ	29
Рельеф, растительность, почвы, гидрография участка изысканий	30
Геологическое строение участка	30
Гидрогеологические условия участка.....	31
Свойства грунтов.....	32
Специфические грунты.....	35
Прогноз изменения инженерно-геологических условий	41
Расчет критического диаметра провала и свода обрушения	42
Рекомендации для проектирования.....	44
Список литературы	46
Приложения	49
Приложение 1. Физическая карта Псковской области.....	49
Приложение 2. Карта дочетвертичных отложений	50
Приложение 3. Легенда к карте дочетвертичных отложений	51
Приложение 4. Схема распространения карстов	52
Приложение 5. Инженерно-геологический разрез по трассе капитального ремонта (продольный)	53
Приложение 6. Таблица физических характеристик грунтов	57
Приложение 7. Сводная таблица нормативных и расчетных значений физико-механических характеристик грунтов	59
Приложение 8. Категории опасности карста.....	60

Введение

Территория северо-западной части России имеет свои характерные геологические, геоморфологические, климатические условия, а также, исходя из перечисленного, и инженерно-геологические. Объект, рассматриваемый в данной работе – участок железной дороги «Порхов-Луново-Подсевы».

Цель: выполнить анализ инженерно-геологических условий территории железной дороги, в том числе рассмотреть возможность активизации карстообразования.

Задачи:

- рассмотреть геологическое строение Псковской области;
- проанализировать инженерно-геологические условия участка;
- оценить возможность деформаций земного полотна за счет развития процесса карстообразования;
- дать рекомендации для проектирования и инженерной защиты территории от карстовых процессов.

Материалы, на которых основана данная работа, предоставлены проектно-изыскательской компанией «SAXUM», по результатам производственной практики и дальнейшей трудовой деятельности.

Физико-географическое описание Псковской области

Геоморфологические условия

Формирование рельефа (приложение 1) на подавляющей части территории Ленинградской, Новгородской и Псковской областей обусловлено главным образом аккумулятивной и экзарационной деятельностью последнего ледникового покрова. При этом преимущественно распространены формы аккумулятивного происхождения, возникшие не только в результате собственно ледниковой аккумуляции, но и деятельности талых ледниковых вод.

Морфологическое многообразие и размещение ледниковых и водно-ледниковых форм рельефа определялось динамикой ледникового покрова, а также особенностями доледниковой поверхности.

Таким образом под действием ледника возник холмисто-моренный рельеф, некоторые положительные его формы были созданы с участием конечной морены, также встречаются и другие формы гляциального происхождения (озы, камы, звонцы).

Псковская область относится к провинции аккумулятивного ледникового и водно-ледникового рельефа последнего оледенения, а конкретно к Лужско-Бежаницкой области, представленной изолированными аккумулятивными возвышенностями и абразионно-аккумулятивными равнинами с грядами и участками камов. Если говорить более детально, то Псковский район включает озерно-ледниковые и озерные равнины с моренными грядами и озами.

Лужско-Бежаницкая область охватывает восточную часть обширной полосы изолированных холмистых массивов, разделяющих Ильменско-Ловатскую и Даугавскую низины. В ее пределах располагаются такие возвышенности, как Лужская, Отепя, Хаанья, Судомская, Латгальская др., поднимающиеся над окружающими равнинами на 150—200 м. [14]

Рассматриваемая территория характеризуется сложным и разнообразным сочетанием холмистого и равнинного рельефа, чем существенно отличается от остальных областей проксимальной зоны. Благоприятные условия для формирования крупных комплексов холмистых образований здесь создавались благодаря довольно расчлененному рельефу дочетвертичной поверхности, в пределах которой амплитуды высотных отметок достигают 80—120 м. На фоне денудационной равнины с высотами 50—75 м выделяются изолированные возвышенности (высота 130—140 м) и обширные котловины и понижения с отметками 20 м и ниже (до 5 м в северной части котловины Чудского озера). [14]

Древние долины, обычно лишь частично погребенные, широко используются речной сетью и заметно выражены в современном рельефе; минимальные отметки вскрыты в прадолинах р. Луги (—30÷—50 м) и Плюсы (—70 м). Характерной особенностью древних рек этого района является обтекание ими доледниковых возвышенностей. [14]

Поверхность субстрата на большей части территории сложена песчано-глинистыми, реже карбонатными, породами среднего и верхнего девона. [14]

Повышения дочетвертичного рельефа в ряде случаев приурочены к локальным структурам осадочного чехла. Тектоническая природа доледниковых цоколей массивов Хаанья и Латгальского неоднократно отмечалась в литературе.

Лужско-Бежаницкая область характеризуется широким распространением аккумулятивных и абразионных озерно-ледниковых и моренных равнин. В то же время здесь развиты; холмистые аккумулятивные ледниковые и водно-ледниковые образования, которые слагают небольшие группы холмов или крупные массивы изо- метрической формы. Из последних в пределах данной территории расположены возвышенности Лужская, Судомская, Бежаницкая, восточные отроги массивов Хаанья и Латгальского. Все возвышенности, за исключением Судомской, имеют в своем цоколе более или менее значительные выступы доледникового рельефа и образуют две ветви субмеридионального направления: западную (за пределами рассматриваемой территории) — Отепя, Хаанья, Латгальская и восточную — Лужская, Судомская, Бежаницкая возвышенности. [14]

Лужская возвышенность представляет собой комплекс холмистого рельефа, местами довольно контрастного, с высотами до 160—180 м (пос. Подол, 204 м). В ее строении принимают участие разнообразные ледниковые и водно-ледниковые отложения мощностью от 20—30 до 70 м. [14]

Холмисто-моренный и камовый рельеф развит в пределах возвышенности в равной мере. Весьма характерно отсутствие моренных гряд, озов и других линейных аккумулятивных образований; из последних встречаются лишь крупные платообразные флювиогляциальные гряды высотой 30—40 м, длиной около 4—5 км (Княжецкая гора и др.)» вытянутые н меридиональном направлении. Эти гряды занимают наиболее высокое гипсометрическое положение и обычно окаймляются поясом камов, ориентированных в этом же направлении. В центральной части возвышенности наблюдаются участки внутренних высоких озерно-ледниковых равнин, как правило, также вытянутые с севера на юг. Южный и юго- восточный склоны возвышенности выражены в виде пологого ската высотой до 50—60 м. Остальные склоны представляют

собой сочетание плоских и слабо волнистых озерно-ледниковых террас и участков контрастного камового, реже холмисто-моренного, рельефа, причем холмистые образования и равнины развиты на одних и тех же гипсометрических уровнях. [14]

Весьма характерным элементом рельефа Лужской возвышенности являются глубокие (до 40 м) ящикообразные ложбины стока талых ледниковых вод, направленные обычно от ее центра к периферии.

Судомская возвышенность является целиком аккумулятивным ледниковым образованием; в этом районе наблюдается небольшое понижение доледниковой поверхности (до 55—60 м). Поскольку поверхность массива располагается на абсолютных отметках 170—200 м и более (гора Пудома, 293.3 м), средняя мощность четвертичных отложений в его пределах составляет 140—150 м, достигая местами 200—220 м. Возвышенность характеризуется преимущественным развитием пологоволнистого моренного рельефа с превышениями 5—10 м и склонами не более 10°, среди которого возвышаются отдельные крупные холмы высотой до 50—70 м. [14]

Центральная часть массива выше 220 м занята звонцевым рельефом, представляющим чередование платообразных возвышенностей высотой 20—50 м и глубоких плоскодонных котловин, часто занятых озерами. [14]

Камы имеют ограниченное распространение в центральной части возвышенности и весьма характерны для ее периферии; в пределах последней наблюдаются также полосы довольно контрастного холмисто-моренного рельефа, вытянутые параллельно склонам возвышенности. Склоны массива различны по морфологии; на западе и юге переход к равнине постепенный, северный и восточный склоны представляют пологие террасированные абразионные скаты. [14]

Остальная территория области занята озерно-ледниковой равниной с участками холмистого рельефа и грядами, абсолютные высоты которой понижаются от склонов возвышенностей к котловинам Чудского и Псковского озер от 90—110 до 30—40 м. Абрадированная моренная равнина развита на незначительных площадях в пределах абсолютных отметок 70—90 м. Равнина представляет серию аккумулятивных террас, местами разделенных довольно выразительными береговыми формами. [14]

Абразионные уступы наблюдаются главным образом вблизи возвышенностей и на склонах холмистого рельефа; их высота достигает 10—15 м, крутизна 15—25°. Береговые валы широко распространены в бассейне рр. Черехи, Узы и Кеби и вдоль восточного берега Псковского озера. [14]

Их длина составляет 2—6 км, высота не более 1—3 м. Береговые образования обычно располагаются на уровнях 90, 80—85, 70—75, 60, 51 — 53, 40—42 и 35—38 м. Среди равнины встречаются эоловые формы — дюны и бугристые пески, наиболее характерные для восточного побережья Чудского и Псковского озер; форма дюн часто параболическая, ориентировка меридиональная и юго-западная, высота 3—7 м. [14]

Холмистые образования развиты повсеместно среди равнины, отсутствуют лишь в пределах самой низкой озерно-ледниковой террасы (36—37 м). Их высоты постепенно уменьшаются в сторону Псковско-Чудской котловины от 130—140 до 38—40 м. Преобладает камовый рельеф, сложенный большей частью тонкими песками и характеризующийся свежим обликом даже в наиболее пониженной части области. [14]

Так, вблизи восточного берега Псковского озера, на междуречье рр. Черной и Лочкиной и в нижнем течении р. Желчи, на абсолютных отметках 37—45 м, развит контрастный холмисто-грядовый рельеф с бессточными впадинами глубиной до 15—20 м; крутизна склонов здесь достигает 25—30° и более. Наиболее значительные площади камы занимают вблизи возвышенностей и в понижениях между ними, где они местами образуют узкие (2—3 км) полосы, параллельные склонам возвышенностей, вытянутые в широтном направлении: гряда в районе пос. Выбора, на правом берегу р. Сороти и др. Камы, развитые среди низких озерно-ледниковых террас на уровнях от 38 до 50—55 м, слагают небольшие массивы неправильной формы и характеризуются обычно холмисто-грядовым рельефом, в пределах которого отдельные формы ориентированы в различных направлениях. Холмисто-моренный рельеф не имеет широкого распространения и встречается главным образом на юге области, у склонов Латгальской, Бежаницкой и Судомской возвышенностей. Краевые части холмисто-моренных массивов часто выположены и перекрыты тонкими суглинками. [14]

Из линейных форм рельефа преобладают озы, особенно широко развитые на юге области, в среднем и нижнем течении р. Великой. Они характеризуются субмеридиональной, реже северо-восточной, ориентировкой, извилистыми очертаниями в плане; длина гряд изменяется от 2—3 до 10 км, высота 5—20 м, склоны до 25—30°. Развиты термокарстовые котловины. [14]

Моренные гряды встречаются значительно реже. В центральной части Псковской низины прослеживаются серии пологих гряд меридиональной и северо-восточной ориентировки протяженностью до 15 км и высотой не более 8—10 м; последние сильно размыты и местами перекрыты озерно-ледниковыми песками и суглинками. [14]

Своеобразие рельефа данной области создается в первую очередь присутствием крупных изометрических холмистых возвышенностей, образующих своего рода цепочки, параллельные направлению движения льда в этом районе; при этом в пределах массивов отдельные формы рельефа часто также обладают ориентировкой, близкой к меридиональной. Интересно отметить, что все возвышенности располагаются «в тени» двух значительных повышений структурно-денудационного Ордовикского плато — Ижорского и Пандивере. [14]

Линейные аккумулятивные формы ориентированы, за редким исключением, параллельно оси понижений и склонам возвышенностей, образуя две основные ветви, одна из которых пересекает указанную область с севера на юг вдоль Псковско-Чудской котловины и восточного склона Хааньянского массива до верховий рр. Иссы и Утрой; вторая цепь гряд протягивается в широтном направлении вдоль понижения между Лужской и Судомской возвышенностями, затем постепенно поворачивает к юго-западу и в среднем течении р. Великой сливается с меридиональной ветвью; менее значительная цепь гряд обтекает Бежаницкую возвышенность с севера и северо-запада.

Перечисленные гряды, видимо, являются радиальными образованиями ледниковых потоков, проникающих в бассейн р. Великой двумя путями: с севера через Псковско-Чудскую котловину и с северо-востока через понижение в среднем течении рр. Шелони и Сороти. Это представление хорошо согласуется с данными С. В. Яковлевой (1966), которая на основании изучения петрографического состава и ориентировки валунов делает вывод о том, что ладожский ледниковый поток благодаря влиянию Карбонового уступа постепенно отклонялся к юго-западу и обтекал Бежаницкую и Судомскую возвышенности.

Климат

Климат Псковской области характеризуется как умеренно-континентальный, влажный, смягченный сравнительной близостью Атлантического океана. Область расположена на границе зоны переходного климата — от морского к континентальному. Такое расположение обуславливает неустойчивый характер погоды во все сезоны года. На территории Псковской области хорошо заметны некоторые черты морского климата: влажное, умеренно теплое лето, сравнительно мягкая зима.

Территория Псковской области входит в зону повышенной циклонической деятельности атлантических, континентальных и арктических воздушных масс атмосферы. В течение года преобладают южные и юго-

западные ветры (16-21% от повторяемости всех других направлений), а также юго-восточные и западные (12-16%).

Средняя годовая температура воздуха на территории области находится в интервале (+4,3) — (+4,8)°С. Средняя температура самого холодного месяца, января, составляет (-7) – (-10)°С, иногда морозы доходят до - 30°С, а в отдельные годы и до - 40° С. В июле (самом теплом месяце) средняя температура (+16) — (+18)°С, а максимальная достигает +32°С. В среднем по области в течение года насчитывается 178 дней с температурами выше +10°С. Продолжительность безморозного периода составляет от 125 до 150 дней в году. Причем на западе области, благодаря смягчающему влиянию Псковско-Чудского озера, безморозный период продолжительнее, чем на востоке. В отдельные годы зимой при преобладании на территории области антициклонических процессов, способствующих сильному выхолаживанию воздуха, или при частых затоках арктических масс воздуха средний минимум температуры бывает в два-три раза ниже обычного.

Распространение атмосферных осадков по территории области неравномерное. В среднем за год выпадает около 600 мм влаги. Однако на возвышенностях в год выпадает до 855 мм осадков, причем в большей степени увлажнены наветренные юго-западные, южные и западные склоны. На подветренных склонах, равнинах и побережье Псковско-Чудского озера количество осадков уменьшается до 643-681 мм (разница составляет около 170 мм в год). Большая часть осадков (примерно 556 мм) выпадает в теплый период года (апрель-октябрь). [28]

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ср.год.
-6,3	-6,2	-1,3	5,5	12,0	15,9	17,8	16,2	10,9	5,6	0,1	-4,1	5,5

Таблица 1. Среднемесячная и среднегодовая температура в г. Псков, [1]

Гидрография

Речная сеть Порховского района сравнительно густа, но преобладают мелкие реки и ручьи. Из более значительных рек по территории района протекают Шелонь (на севере) и Черёха (на юго-западе).

Густота речной сети обусловлена положительным балансом увлажнения этой территории и довольно заметным уклоном местности. Последнее связано с близостью водораздела, проходящего по Судомским высотам. Не малую роль играет еще сравнительно высокое стояние грунтовых вод.

Реки района относятся к двум бассейнам — озера Ильмень и озера Псковского.

Поверхностные воды района содержат большое количество органических веществ. Поэтому воды даже в крупных реках (Шелонь, Черёха) имеют коричневый оттенок.

Народнохозяйственное значение рек невелико. Некоторые из них используются для лесосплава, а река Шелонь в низовье — судоходна. Мелкие реки осуществляют дренаж местности.

Река Шелонь с притоками принадлежит к бассейну озера Ильмень. Это главная речная артерия района (длина 251 км). Начинается она в Дедовичском районе у деревни Н. Слобода, на высоте 94 м над уровнем моря. Долина и русло Шелони очень извилисты, берега обрывисты, ложе каменистое или песчаное, местами завалуненное, с перекатами (например, у деревни Стрешницы). В ряде мест встречаются пороги, острова и старицы. В южной части района Шелонь течет на северо-запад, а от Порхова — на север и северо-восток. Вдоль берегов Шелони довольно ясно выражены две террасы. Первая аллювиальная терраса поднимается на 2,5—4,5 м. Вторая имеет высоту до 10—11 м, ширину 800—1200 м. Поверхность второй террасы сложена аллювиальными песками, под которыми лежат верхне-девонские известняки. Эти известняки нередко образуют скалистые выходы вдоль берегов реки. В таких местах отсутствуют аллювиальные террасы.

Средние глубины реки не превышают 2–3 м. Весной уровень резко повышается. Поэтому крайние величины расхода воды составляют: в январе — 9,0 м³/сек, в апреле — 98,0 м³/сек. Иногда случаются наводнения. Так, в 1922 г. половодье было настолько высоким, что вода залила улицы и площади города Порхова.

Из притоков Шелони более значительны следующие: река Белка — правый приток, начинается из озера Белого за пределами района (в 30 км к востоку). Имеет 2 террасы; пойменная терраса очень узкая (от 2 до 20 м). В низовьях берега сильно заболочены. Зимой река сильно промерзает и резко мелеет. В 1960 г. наблюдались «заморы» рыбы. В северной части района Шелонь принимает слева еще два притока — реки Узу и Удоху.

Река Уза начинается из мелких озер на высоте 165 м и пересекает конечно-моренную полосу. Этим обусловлено большое падение реки (80 м на расстояние 60 км) и глубокая (до 28 м) долина без террас. В верхнем и среднем течении Уза приобретает вид горной реки, загроможденной валунами. Только в нижнем течении (последние 25 км) река течет в низких берегах довольно спокойно, образуя пойменную и надпойменную террасы (у деревень Жателы, Жаборы). Уза принимает ряд мелких притоков: Туритенка, Веретенка, Ясенка.

Из других рек Шелонской системы следует упомянуть Полонку, Демянку, Шилинку, Тишинку, Бухаровку, Вольшевку. Все они, как и притоки Узы, имеют много сходных черт; истоки их приурочены к области конечной морены, а начало им дают небольшие ключи и родники, часто встречающиеся в этом районе.

Реки юго-западной части района относятся к бассейну Псковского озера. Здесь наиболее значительна река Черёха (правый приток Великой).

Истоки Черехи находятся за пределами района — южнее с. Воронцово. От южной границы района до железной дороги Псков — Дно (ст. Подсевы) река течет с юга на север, а затем резко поворачивает на запад и пересекает территорию района параллельно железнодорожной линии. Большое число притоков Черёха принимает справа — с прилегающих отрогов Судомской возвышенности — это Лиственка с Лучинкой, Дубна, Петёнка, Черная. Слева в Черёху впадают: Лзна, Демянка, Чересок и другие.

Притоки Черехи (за исключением Лиственки) имеют слабоврезанные долины; поэтому территория их бассейна слабо дренируется и поверхность их первой и второй террас обычно сильно заболочена.

В верхнем течении Череха образует широкую пойму (100–200 м), над которой поднимаются две террасы: первая на высоте 3–3,5 и вторая на 12–13 м. В среднем и нижнем течении пойма местами сужается до 50 м, а террасы у Шмойлово и Славковичей расширяются до 1,5–2,0 км.

На участке Крякуша—Рассомухино река Череха прорезает ряд камовых всхолмлений.

Во многих местах дно рек Черехи, Лзны и других загромождено валунами. Они скапливаются в результате размыва донной морены. На большем протяжении реки дно покрыто песчаными отложениями, а, например, у деревень Бухарово и Ермолово наблюдаются выходы доломитизированных известняков, которые образуют в русле мели и перекааты. Берега Черехи здесь сравнительно круты. Река образует много излучин и течет медленно, так как падение ее невелико (менее 0,5 м на 1 км).

Череха и ее притоки сравнительно мелководны. Обычные глубины 1–2 м, в редких местах 3–4 м. Ширина русла в верхнем течении 15–25 м, в среднем 30–45 м (Славковичи). Вода в Черехе имеет светло-желтоватый оттенок, мягкая. Во время половодья, которое бывает обычно между 10 и 18 апреля, уровень воды в реке поднимается на 3–4 м, затопляя некоторые прибрежные деревни. Резкий спад воды начинается в середине мая. Следует отметить, что Череха вскрывается раньше, чем реки, текущие в соседних восточных, более лесистых, районах.

Река Петенка имеет широкую долину (до 2 км), с двумя террасами высотой 2–8 м над средним уровнем воды. Ширина реки 8–10 м, а глубина 1–1,5 м. Река Лиственка в отличие от других притоков имеет резко выраженную узкую долину. В верхнем течении Лиственки ее долина принимает даже коньконообразный характер; крутые берега достигают высоты 12–15 м. Падение реки довольно большое (около 2 м на 1 км). С этим связано быстрое течение и интенсивная глубинная эрозия.

Все реки района замерзают, как правило, в середине ноября и вскрываются в середине апреля. Некоторые притоки Черехи зимой промерзают до дна.

Озера Порховского района по своему генезису относятся к двум основным типам:

- а) озера области конечно-моренного рельефа;
- б) озера камовых участков и зандровых полей.

К первой группе относятся озера Грамулино и Плотишно (в северной части района). Они имеют небольшой сток на север, дают начало малым притокам реки Узы. Берега их почти не заболочены. Мелкие озера такого же типа разбросаны среди моренных холмов на крайнем юге района.

Другая группа озер сосредоточена в южной части района, в области моренно-холмистого рельефа.

Это озера: Лучно (12,8 кв. км), Сосонье (7,3 кв. км), Каменное, Белое, М. Сево, Черное. Большая часть таких озер приурочена к бессточным котловинам, берега у них пологие, песчаные и часто заболоченные.

В полосе флювиогляциальных песков расположены озера Гвозно, Черное, Щучно и западнее села Павы — озеро Радиловское. Берега их сильно заболочены. Возникли они, видимо, при заполнении грунтовыми водами котловин донной морены, так как зандровые пески здесь имеют малую мощность и значения при образовании озер не имели. Озера Тепениково и Глухое представляют собой остатки озерной цепи, ныне превращенной в болота, на участке Заозерье—Мехи. Вся эта цепь озер вероятнее всего, запрудно-моренного происхождения. Здесь камовая гряда перегораживает продольную древнюю ложбину, вытянутую от деревни Веретенье до реки Шелони.

Большая часть озер района сильно засорена и заболочена. После тщательной очистки озера могут быть использованы для рыболовства.

Подземные воды в районе имеют 3 основных горизонта:

а) воды среднедевонского горизонта (между лужскими и снетогорскими слоями) на глубинах свыше 100 м;

б) верхнедевонский водоносный горизонт — глубже 20 м (между снетогорскими пластами и глинами четвертичного возраста). Этот горизонт является основным источником минеральных вод Хиловского курорта;

в) воды четвертичных отложений, не имеющие сплошного горизонта. Средняя глубина залегания 7–8 м.

Большой интерес представляют минеральные источники, распространенные в бассейне Шелони. Наиболее известны из них Хиловские, в 2,5 км к северу от разъезда Сосонье, на берегу реки Черной у впадения ее в реку Узу. Хиловские минеральные источники открыты в 1865 году.

Источники — сероводородные, гипсовые; вода прозрачная, с желтоватым оттенком, с сильным запахом сероводорода. Минерализация воды достигает 2,5 мг на 1 л. Вода выходит по трещинам девонских известняков. Всего используются 4 источника: Ивановский, Петровский (старый), Петровский (новый) и Надеждинский. Западнее деревни Хилово расположено небольшое озеро Худыкино, из которого используются целебные грязи. В Хилово создан курорт (в 1895 г.) для лечения органов дыхания, нервной системы, кожных заболеваний, болезни периферических сосудов и др.

В одной из новых скважин фонтанирует натриевая вода с минерализацией до 4 мг на 1 л. Анализы показали, что эта вода может успешно применяться при желудочно-кишечных заболеваниях. На берегу озера Лунево, в 12 км к западу от курорта Хилово, обнаружены хлоридно-сульфатные натриево-магнезиевые источники. Здесь же возле источников образуются конусовидные скопления черной пластичной минеральной грязи.

Известны соленые источники у деревни Красново на правом берегу Полонки. Похожи на них и Демяновские источники у берегов рек Шелони и Демянки. Последние пока никак не используются. [29]

Геологическое строение

Стратиграфия

В геологическом строении Порховского района (который является частью Псковской области), находящегося в пределах главного девонского поля, принимают участие отложения северо-западной части Русской платформы.

Кристаллический фундамент представлен породами архея (гнейсами, гнейсо-гранитами, мигматитами, выветрелых в верхних частях разреза).

Протерозойская акрогема

Верхняя эонотема

Вендская система

Верхний отдел

Котлинский горизонт

Вендский комплекс объединяет самые молодые подразделения верхнего протерозоя. Абсолютный возраст этого комплекса 560—650 млн. лет. [16]

В пределах Псковской области к вендскому комплексу отнесена валдайская серия, включающая гдовский и котлинский горизонты.

Глубина залегания котлинского горизонта увеличивается с севера на юг, юго-восток в направлении от Балтийского щита к Московской синеклизе, от 40—70 м в предглинтовой низменности до 1250 м в районе г. Валдая и 1430 м в районе г. Пестово. [16]

Котлинский горизонт характеризуется сравнительным постоянством разреза. Он представлен однообразной толщей плотных глин в различной степени алевритовых, серого и зеленовато-серого цвета, на отдельных участках с буроватым оттенком. Характерной особенностью их является тонкая слоистость, обусловленная частым, через 1—3 мм, переслаиванием глинистых и в различной степени алевритистых прослоек. На плоскостях напластования присутствуют многочисленные бурые пленки тонкозернистого пирита и органического вещества. Последние обычно называют ляминаритовыми пленками. Слоистость в глинах горизонтальная и мелковолнистая, косая. Кроме

того, в глинах наблюдаются по всему разрезу складочки подводного оползания. Характерным является присутствие в глинах котлинского горизонта прослоев и линз (от 1 мм до 3 см, редко до 10—20 см), а также отдельных желваков и пленок сидерита желто- бурого цвета. В шлифах видно, что это мелкокристаллический железистый карбонат бурого и светло-коричневого цвета, иногда с включениями отдельных мелких зерен кварца и тонкозернистого хлорита.

На некоторых участках в глинах наблюдаются трещинки, заполненные алевритовым материалом. По трещинкам и по слойкам часто заметны смещения.

Глины котлинского горизонта гидрослюдистые, частично монтмориллонито-гидрослюдистые и в меньшей мере каолиновые. [16]

Мощность 164 м. [27]

Фанерозойская эонотема

Палеозойская эратема

Кембрийская система

Нижний отдел

Томмотский ярус

Лонтоваский горизонт

Балтийская серия

Лонтоваская свита (Ст₁ln) (горизонт «синих глин»).

Скважинами эти отложения вскрываются в северных частях северо-запада России на глубинах от 20—30 до 150—200 м. В более южных районах Псковской и Новгородской областей в направлении к Московской синеклизе глубина залегания достигает от 595 м до 1360 м.

Мощность 85 м. [27]

Лонтоваская свита представлена сравнительно однообразной толщей глин, содержащих местами маломощные редкие прослои песчаников и алевролитов. Глины голубовато- или зеленовато-серые, на отдельных участках с фиолетовыми, красноватыми и коричневыми полосами и пятнами, в различной степени алевритистые и песчанистые, массивные и неравномернослоистые, пластичные. Слоистость обусловлена присутствием

тончайших, в доли миллиметра, слюдисто-алевритовых пропластков и присыпок на плоскостях напластования. Цвет алеврита — светло-серый и зеленоватый. Характерным признаком глин является присутствие присыпок темно-бурого порошковидного пирита, образующих короткие лентовидные прерывистые полосы миллиметровой ширины. Пирит встречается, кроме того, по всей толще глин в отдельных кристаллах или в конкрециях. В сухом состоянии глины сланцеватые, но наряду с этим встречаются и массивные с полураковистым изломом.

Глины гидрослюдистые, реже монтмориллонитовые. [16]

В верхней части свиты глины часто каолинизированы.

Средний отдел

Атдабанский - Амгинский ярусы

Представлен *цирмской* (C_{1-2cr}) *толщей*, которая сложена песками и слабощементированными светлосерыми песчаниками с прослоями глин. Мощность 33 м. [27]

Верхний отдел

Аюсокканский сакский ярус

Представлен *петсериской* (C_{3pt}) *свитой*, сложенной в свою очередь песками и песчаниками с прослоями глин и алевритов, с детритом беззамковых брахиопод. Мощность – 18 м. [27]

Ордовикская система

Нижний отдел

Аренигский ярус

Латорпский горизонт

Леэтсеская свита (O_{1lt}). В силу особенностей литологического состава и характерного ярко-зеленого цвета леэтсский горизонт является маркирующим для разреза ордовикских отложений.

В большинстве разрезов леэтский горизонт имеет довольно однообразное строение и состав. Он сложен в основном глауконитовыми мелкозернистыми песчаниками и песками, сильноглинистыми, слабоизвестковистыми, с тонкими прослоями глин. [16]

Мощность варьирует от 3,5 м (?) в г. Порхов до 5 м. [16], [27]

Волховский горизонт

Волховская свита (O₁vl). Имеет сплошное распространение; с резким контактом, а иногда с постепенным переходом залегает на леэтском горизонте. Известняки и доломиты волховского горизонта характеризуются обилием зерен глауконита. [16]

Мощность волховского горизонта довольно постоянна. Варьирует от 5 до 10 м. [16], [27]

Средний отдел

Ланвирнский ярус

Кундаский горизонт

Обуховская свита (O₂ob₂₊₃). Сложена известняками слабоглинистыми, преимущественно средне-толстослоистыми, разных оттенков светло-серого цвета, с тонкими прослоями глин. Известняки в разной степени доломитизированы, местами доломитизация сопровождается появлением красноватых и красных окрасок. В нижней половине свиты постоянно присутствуют очень мелкие зерна глауконита. [22]

Ланвирнский - Ландейловский ярусы

Азериский - ухакусский горизонты

Медниковская свита (O₂md). Сложена глинистыми известняками, содержащими в нижних частях разреза оолиты гидрогетита. Мощность составляет 26 метров. [27]

Кукрузеский горизонт

Солецкая свита (O_{2sl}). Сложены красновато-серыми известняками с линзовидными прослоями доломитизированных и ожелезненных горючих сланцев (Ленинградская область), глинистыми известняками, битуминозными с прослоями мергелей. Мощность – 40 м. [27] , [20]

Карадокский ярус

Идавереский - оандуский горизонты

Межциемская свита (O_{2mž}). Сложена мергелями с прослоями глинистых, в верхней части доломитизированных известняков. Мощность – 65 м. [27]

Раквереский горизонт

Рягаверская свита (O_{2rg}). Сложена доломитами крепкими с узорами пиритизации. Мощность – 8 м. В пределах южного побережья Финского залива могут переходить в крепкие и плотные микро- и скрытокристаллические известняками. [27], [15]

Набалаский горизонт

Паэчнаская свита (O_{2pkn}). Сложена доломитами кавернозными, местами песчанистыми. Мощность – 10 м.

Девонская система

Средний отдел

Эйфельский ярус

Наровский горизонт

Отложения, относящиеся к среднему и верхнему отделам девонской системы, распространены на рассматриваемой территории почти повсеместно. Они отсутствуют только в северной и северо-западной частях Ленинградской области. Залегая на большей части площади своего распространения, под четвертичными отложениями, они образуют так называемое Главное девонское поле, которое охватывает всю Псковскую и большую часть Новгородской и Ленинградской областей. В восточной и юго-восточной частях региона (в пределах Валдайской возвышенности) девонские отложения скрываются под каменноугольными породами. Залегают они большей частью на ордовикских отложениях, в южной части Псковской и на северо-востоке Ленинградской области — на кембрийских породах, а в бассейне Свири, восточнее и севернее г. Подпорожья — на верхнепротерозойских образованиях. [16]

Наровская свита (D_{2nr}). Развита повсеместно на территории Псковской, Новгородской и юго-западной части Ленинградской областей.

Мощность горизонта в непосредственной близости от полосы выходов его на поверхность составляет 20—38 м, увеличиваясь в южном направлении. Так, в районе г. Луги она составляет 40—55 м, у г. Сольцы 80—100 м, в Локновской, Порховской, Невельской и Валдайской опорных скважинах 100—125 м. Максимальная мощность, равная 143 м, зафиксирована в разрезе Крестецкой опорной скважины. [16]

Сложена переслаивающимися доломитами и доломитовыми мергелями с подчиненными прослоями глин. В верхних частях разреза — пестроцветные глины и алевролиты с прослоями мергелей и песчаников, в основании — брекчиевидные доломиты с гипсом. [27]

Арукюлаский горизонт

Арукюлаская свита (D_{2ar}). Красноцветные косослоистые мелкозернистые песчаники с прослоями среднезернистых песчаников, содержащих окатанные глинистые галечки, встречаются единичные прослои и линзы белых песчаников. Возможны прослои глинистых алевролитов. Мощность — 80 м. [27], [23]

Живетский ярус

Буртниецкий горизонт

Буртниецкая свита (D_{2brt}). Сложена песками и песчаниками с подчиненными прослоями глин и алевроитов. Мощность – 92 м. [27]

Верхний отдел

Франский ярус

Швянтыйский горизонт

Отложения швянтыйского горизонта развиты почти на всей территории распространения верхнедевонских осадков, за исключением бассейна р. Сясь, где они отсутствуют.

На соседней территории Латвии, где швянтыйский горизонт наиболее детально изучен, он представлен толщей разноцветных песков и песчаников с прослоями глин и алевролитов общей мощностью 100—125 м. По остаткам ихтиофауны горизонт подразделяется на гауйские (нижние) и аматские (верхние) слои. Возможен гравий кварца в подошве. Мощность – 65 м. [16], [27]

Саргаевский горизонт

К аналогам саргаевского горизонта относятся объединенные снетогорские, псковские и чудовские слои.

Общая мощность *снетогорских* слоев в стратотипическом разрезе, составляет 7,55 м. Несколько южнее, в центральной части Псковской области (скважины 4-Горшихино, Порховская, Черская и др.), снетогорские слои имеют мощность 9—13 м и сложены чередующимися слоями серых с фиолетовыми и зеленоватыми пятнами кавернозных доломитов и мергелей. На юге Псковской области (скв. 1-Кунья и др.) снетогорская толща почти целиком сложена серыми и темно-серыми песчанистыми доломитами мощностью от 3 до 12 м, содержащими тонкие глинистые прослои. В северо-восточном направлении от этих районов, на юге Новгородской области, в породах снетогорских слоев увеличивается примесь терригенного материала. [16]

Псковские слои. В стратотипическом разрезе р. Великой у г. Пскова слои мощностью около 11,5 м представлены в нижней части темно-серыми с фиолетовыми пятнами доломитами, переходящими в неравномерно доломитизированные серые с бурыми и фиолетовыми пятнами известняки, с

прослоями известняков-ракушечников и пестроокрашенных мергелевидных глин.

Разрез псковских слоев не отличается постоянством слагающих типов пород и мощности. Мощность (Псковская область) – 17,5 м. [16], [27]

Чудовские слои ($D_3\check{c}d$). На востоке Ленинградской и Новгородской областей чудовские слои представлены толщей прибрежно-морских пестроцветных, неравномерно-карбонатных глин, алевролитов и песчаников с карбонатным цементом. На юге Псковской области чудовские слои сложены почти однородной толщей карбонатных пород (доломитов). Возможны известняки с прослоями глин и мергелей (Псковская обл.).

Мощность в пределах Псковской области – 15 м, на западе Новгородской области, в бассейне нижнего течения р. Шелони мощность чудовских слоев увеличивается до 21—24 м. [27], [16]

Дубниковские слои (D_3db). Сложены глинами и мергелями с прослоями и линзами гипсов и доломитов. [27]

Даугавский горизонт

Порховские слои (D_3prh). Сложены известняками с прослойками глин. Мощность – 8 м.

Свинордские слои (D_3sv). Сложены чередующимися слоями известняков и глин. Мощность – 12 м.

Ильменские слои (D_3il). Сложены глинами с прослоями известняков-ракушечников. Мощность – 27 м.

Бурегские слои (D_3br). Сложены известняками и доломитами. Мощность – 13 м. [27]

Снежский горизонт

Снежская свита ($D_3sn\check{z}$). Представлена песчаниками, алевролитами и глинами. В стратотипическом районе (р. Снежа в восточной части Главного девонского поля) мощность свиты составляет 55–69 м. Редко могут встречаться мергели и доломиты. [27], [21]

Памушский горизонт

Приловатская свита (D_{3prl}). Сложена песками и песчаниками с прослоями глин и алевролитов, редко – мергелей. Мощность – 26 м. [27]

Стипинайский горизонт

Смотинско-ловатская свита (D_{3sl}). Сложена серыми крепкими мергелями, известняками и доломитами с прослоями карбонатных глин и алевролитов. Мощность – 12 м. [27], [19]

Амульский горизонт

Куньинская свита (D_{3kn}). Представлена терригенными песчано-глинистыми породами с редкими прослоями мергелей, залегающих на размытой поверхности смотинско-ловатских карбонатных образований. Мощность – 30 м. [27], [19]

Кайнозойская эратема

Четвертичная система

Отложения данной системы распространены повсеместно на территории Северо-Запада России, залегают с поверхности и имеют разные мощности. Исходя из этого, можно сказать, что эти отложения наиболее важны, т.к. именно они принимают нагрузки большинства зданий и сооружений, тем более линейных транспортных.

Плейстоцен

Средний подотдел

Ледниковые моренные отложения днепровского горизонта (gII_{dn}). Может быть суглинистая, глинистая, серовато-бурая, с зеленоватым оттенком

мощностью от 0,25 до 22,2 м. В составе крупнообломочного материала отмечаются как кристаллические породы докембрия, так и палеозойские плотные глины и песчаники. [27], [26]

Озерные отложения горкинского горизонта (Шgk). Залегают на моренных отложениях днепровского оледенения, представлены супесями и алевритами, песками, глинами, суглинками озерного и озерно-аллювиального происхождения. [11]

В сложении **московского горизонта** участвуют осадки ледникового, флювиогляциального и озерно-ледникового происхождения.

Ледниковые моренные отложения московского горизонта (gIms). На юге Онежско-Ладожского перешейка московская морена представлена валунными глинами, суглинками, супесями красно-бурого и серовато-бурого цвета. Порода имеет комковатую текстуру, обычно плотная, со значительным содержанием крупнообломочного материала, главным образом кристаллических пород. В разрезе на р. Тукше это валунная супесь темно-серого цвета, обогащенная гравием и галькой из диабазов и кварцита. Содержит обломки палеозойских пород. [16]

В некоторых частях Ленинградской, а также Псковской и Новгородской областях, морена московского ледника сохранилась лишь в понижениях рельефа дочетвертичных пород и полностью денудирована там, где рельеф имеет равнинный характер. Более широко распространена эта морена в пределах аккумулятивных возвышенностей, в строении которых она принимает участие и которые обтекались более поздними ледниками, как, например, центральная часть Карельского перешейка, Судомская возвышенность и др. Мощность морены колеблется в широких пределах, достигая местами 38 м (центральная часть Карельского перешейка), но обычно не более 3—5 м. [16]

Литологический состав морены в значительной степени обусловлен составом развитых в том или ином районе дочетвертичных пород и направлением ледниковых потоков.

В Приильменской низменности и в западной части Валдайской возвышенности состав морены меняется в связи с изменением девонского субстрата. Морена становится более глинистой и повсеместно красного и красно-бурого цвета. Крупнообломочный материал состоит преимущественно из девонских известняков, доломитов, песчаников и алевролитов. Валунные кристаллические породы встречаются в меньших количествах.

На юго-востоке региона также развита карбонатная, глинистая разновидность морены. [16]

Флювиогляциальные отложения московского горизонта (fIIms). Встречаются редко. Это песчаные, валунно- и гравийно-галечные отложения, залегающие в понижениях рельефа дочетвертичных пород на морене московского ледника, замещающая ее на более высоких участках. Их мощность колеблется от 6 до 23 м.

Озерно-ледниковые отложения московского горизонта (lgIIms). Представлены песчаными и алевроитовыми глинами ленточного типа. Глины плотные, темно-серые и темно-коричневые с включениями единичных зерен гравия. [16]

Верхний подотдел

Озерно-аллювиальные межледниковые отложения микулинского горизонта (laIIImk). Мощность микулинских отложений может меняться в широких пределах. Сложены они слоистыми плотными глинами, суглинками, супесями и реже мелкозернистыми песками. В глинах и суглинках местами наблюдаются включения вивианита. Как правило, нижние части толщи слагаются глинами, которые вверх по разрезу постепенно замещаются песчаным материалом. Пески обычно кварцевые, слюдистые, тонко- или мелкозернистые, глинистые. Иногда в них наблюдаются тонкие глинистые пропластки. [16]

В Приильменской низменности сложены глинами с ритмичностью слоистостью.

Озерные отложения ленинградского горизонта (IIIln). Представлены разнозернистыми песками, суглинками серой и зеленовато-серой окраски. Могут встречаться прослойки торфа, а в основании валуны и гальки. [24]

Отложения, сформировавшиеся в эпоху **осташковского** оледенения:

- *моренные отложения (gIIIvp).* Широко развиты в средней и южной частях Северо-Запада России.

Литологический состав морены крайне неоднороден. Отмечаются все разности: от валунных глин до песчано-валунных и валунно-галечных отложений. Цвет морены в значительной мере зависит от окраски подстилающих пород. Количество крупнообломочного материала, включенного в морену, также непостоянно, в среднем 8—12%. Валуны представлены кристаллическими архейскими и протерозойскими, а также осадочными палеозойскими породами.

В западной части Ленинградской и северной части Псковской областей литологический состав морены меняется от валунных супесей до валунных глин. Цвет морены обычно темно-серый, зеленоватый, реже с коричневатым оттенком. Валуны в морене представлены как фенноскандскими кристаллическими, так и местными породами палеозоя.

Мощность морены варьирует в широких пределах— от 1,2 до 55 м. [16]

*Флювиогляциальные отложения **осташковского** горизонта (*fIII_{vp}*). По гранулометрическому составу весьма разнообразны — от валунно-галечных до мелкозернистых песков. Мощность осадков, слагающих озы, определяется высотой этих форм, а в пределах развития зандров редко превышает 6—8 м. [16]*

*Озерно-ледниковые отложения **осташковского** горизонта (*lgIII_{vp}*). Представлены отложениями ленточного типа - глинистого, суглинистого и песчаного состава, слагают равнины-днища и террасы приледниковых озер. Мощность – не больше первых десятков метров. [16]*

Голоцен

Голоценовые отложения на рассматриваемой территории развиты повсеместно, но, за исключением болотных образований, они занимают небольшие площади и сложены как континентальными, так и морскими осадками. Последние относятся к различным стадиям развития Балтийского моря и распространены только вдоль побережья Финского залива. Континентальные отложения представлены болотными, озерными, озерно-аллювиальными, аллювиальными, эоловыми и элювиальными, реже делювиальными, пролювиальными, химическими, оползневыми и техногенными образованиями. [16]

*Хемогенные отложения (*chIV*). Представлены травертином (известковым туфом) или гажой (озерным мелом), развиты спорадически. Залежи травертина встречаются преимущественно по склонам речных долин, где имеются выходы источников.*

Гажа встречается в виде линз внутри озерно-болотных отложений. Мощность линз обычно невелика, не более 0,6—0,7 м, изредка достигает 0,2—3 м. Наиболее крупные залежи известны на водоразделе рек Шелони, Великой и Ловати. [16]

*Эоловые отложения (*vIV*). Представлены хорошо отсортированными мелкозернистыми (фракция 0,25—0,10 мм составляет 70—85%) желтовато-*

серыми песками. Нижнеголоценовые отложения развиты ограниченно. Они встречаются на отдельных водораздельных участках близ городов Тихвина, Пскова, Луги, Сланцы, Кингисеппа и на Карельском перешейке близ оз. Севновского. Сгруппированные в валообразные дюнные гряды и массивы, они имеют мощность от 2 до 10 м. [16]

Биогенные отложения (bIV). Отложения представлены торфом, часто со слоистостью. Мощность колеблется от 0,5 до 12 м и зависит от условий развития типичной болотной растительности. Максимальную же мощность (до 2,8 м) нижнеголоценовые болотные отложения имеют в основании современных торфяников в южной части Псковской и Новгородской областей. [16]

Озерно-аллювиальные отложения (laIV). Образуют дельты некоторых крупных рек района, развиты в пределах проточных озер, озеровидных расширений рек и на отдельных участках древних долин, выраженных в современном рельефе. Основной областью их развития является побережье оз. Ильмень, где реки Мета, Ловать, Пола, Полисть и др. образуют обширные дельты, возвышающиеся на 1 — 1,5 м над водой. Представлены осадки перемежающимися серыми и голубовато-серыми супесями и песками, мощностью до 3,5 м, с многочисленными растительными остатками. [16]

Озерные отложения (IV). Подавляющее большинство голоценовых озер представляют собой реликты существовавших здесь озерно-ледниковых бассейнов. Обычно современные озерные осадки характеризуются голубовато-серым или грязно-желтым цветом, наличием растительных остатков, фауны пресноводных моллюсков и специфическим илистым запахом. Кроме того, отложения типа гиттии и сапропеля также приурочены к голоценовым озерным бассейнам района.

Мощность голоценовых донных отложений крупных водоемов не превышает 1 м, обычно же она колеблется в пределах 0,5—0,7 м. Они представлены глыбами, валунами, гравием, песками и алевропелитовым материалом.

Валунные накопления залегают вдоль южных берегов озера и представляют собой остатки размывших конечных морен. По мере увеличения глубин изменяется также состав осадков от песков до мелкоалевритовых и глинистых илов.

Озерные отложения в пределах Чудско-Псковской котловины представлены преимущественно песчано-алевритовыми накоплениями, мощностью до 5—5,5 м.

В составе отложений мелких современных и ныне исчезнувших ранне- и среднеголоценовых озер большую роль играют сапропель и гиттия, в частности на территории Ленинградской области, где их мощность достигает 2—3 м (оз. Хаболовское и др.). Большой частью органогенные озерные отложения подстилают торфяные залежи верхнеголоценового возраста.

На территории Псковской и Новгородской областей отложения реликтовых, ныне исчезнувших озерных бассейнов встречаются местами с поверхности (в районе г. Пскова и в Приильменской низине), большей частью, однако, перекрыты болотными отложениями — результатом зарастания озер.

Представлены осадки перечисленными выше типами пород. Преобладают среди них голубовато- или зеленовато-серые пески, илы с глинами и растительными остатками, в отдельных случаях также с фауной пресноводных моллюсков. [16]

Аллювиальные отложения (aIV). Современный русловый аллювий большей частью сложен грубообломочными осадками мощностью до 4,5 м (р. Паша). Пойменный аллювий, слагающий высокую и низкую поймы, имеет разнообразный, преимущественно песчано-суглинистый состав, и изменчивую мощность, достигающую 6 м (реки Паша, Оять, Ловать и др.).

Нередко пойменный аллювий включает линзы торфа или хемогенных осадков (реки Великая, Белка, Сороть и др.).

Старичный аллювий развит незначительно. Представлен он, как правило, органогенно-илистыми образованиями позднего голоцена мощностью до 7 м, залегающими в виде крупных линз внутри пойменного аллювия.

Мощность аллювия атлантического возраста достигает 4,5 м (реки Оять, Шелонь, Великая и др.). Наиболее изменчив состав и мощность (до 6 м) верхнеголоценовых русловых и пойменных осадков по рекам Луге, Волхову, Ояти, Ловати, Плюссе, Мете и др. [16]

Исходя из приведенного описания геологического строения территории листа О-35-XXIV государственной геологической карты (приложение 2), в пределах которой расположен рассматриваемый регион, можно сделать вывод, что карбонатные толщи слагают довольно мощный комплекс, и в условиях климата и наличии на северо-западе России факторов для развития некоторых инженерно-геологических процессов (например, затопления), представляют собой потенциально возможную среду для развития карста.

Гидрогеологические условия

Основные водоносные горизонты и комплексы представлены водами четвертичных отложений, дочетвертичных отложений и водами кристаллического фундамента.

Подземные воды четвертичных отложений встречаются во всех генетических разностях. Глубина залегания варьирует в широких пределах и зависит от абсолютных отметок местности. Наибольшее распространение имеют безнапорные воды. По химическому составу в основном пресные.

Комплекс озерно-аллювиальных отложений наиболее распространен вокруг оз. Ильмень, в поймах рек. Водовмещающими породами являются пески разного гранулометрического состава, супеси, реже галечники.

Комплекс озерно-ледниковых отложений представлен глинистыми толщами, развитыми в бассейне р. Великой, что южнее Пскова. Воды приурочены к песчаным прослоям и линзам.

Комплекс отложений, слагающих камы. Водовмещающие породы – пески разной крупности, мощность в южной части Псковской области варьирует от 1,3 м до 25.

Комплекс конечно-моренных отложений, которые имеют незначительное развитие, но тем не менее слагают крупные гряды юго-западнее г. Пскова, незначительные по площади есть и в Порховском районе. Породами сложены разнообразными, водовмещающими являются пески.

Комплекс моренных отложений валдайского ледникового надгоризонта. Развит широко, на большей части территории залегают на поверхности. Широко эксплуатируются шахтными колодцами, буровыми скважинами.

Воды дочетвертичных отложений связаны с водоносными комплексами порово-пластовых и трещинно-пластовых подземных вод в терригенных и подчиненных им карбонатных породах, с трещинно-пластовыми и карстово-трещинно-пластовыми подземными водами карбонатных пород преимущественно, с трещинными подземными водами в кристаллических породах.

Подземные воды девонских отложений представлены верхненадбиловским горизонтом, смотиноловатско-надбиловским комплексом, снежско-надснежским комплексом, бургским горизонтом, снетогорско-ильменским комплексом, подснетогорско-лужским комплексом, наровским горизонтом.

Подземные воды ордовикских отложений включают комплекс, объединяющий стратиграфические горизонты от волховского до везенбергского включительно. Состоит из карбонатных пород, из-за чего на примере Силурийского плато хорошо выражены поверхностные проявления карста. Подземные воды карстово-трещинно-пластовые.

Подземные воды кембро-ордовикских отложений. Разновозрастные песчано-глинистые породы. Воды порово-трещинно-пластовые, напорные. Питание происходит в основном за счет дренирования из выше лежащего ордовикского комплекса. Как источник водоснабжения имеют наибольшее значение в приглинтовой полосе.

Подземные воды нижнекембрийских отложений представлены наднаминаритовым горизонтом и гдовским водоносным горизонтом, которые разделены между собой толщей ламинаритовых глин.

Воды протерозойских отложений представлены верхнепротерозойским приозерским водоносным комплексом. Воды трещинно-пластовые, напорные.

Воды кристаллического фундамента. Петрозаводский водоносный комплекс, Выборгский водоносный комплекс гранитов рапакиви, протерозойско-архейский водоносный комплекс. [9]

Инженерно-геологические условия объекта

Описание участка работ



Рисунок 1. Карта железных дорог Псковской области (зеленым прямоугольником выделен примерный район работ)

Согласно техническому заданию, перед организацией были поставлены задачи провести инженерно-геологические изыскания для капитального ремонта железнодорожного полотна на указанном участке пути.

Район работ расположен в пределах листов О-35-XXIV масштаба 1:200 000 (приложение 2). Комплексное геологическое строение и гидрогеологические условия района работ хорошо изучены при проведении геологических и гидрогеологических съемочных работ.

Рельеф, растительность, почвы, гидрография участка изысканий

Рельеф Порховского района представляет собой преимущественно равнинную, понижающуюся от центра к северу и северо-западу, поверхность. С юга на территорию района заходят западные и северо-западные отроги Судомской возвышенности.

Флора, в основном, представлена сосновыми лесами и болотной растительностью.

Почвы песчаные, известковые спрессованные, суглинистые.

Порховский район расположен в восточной части Псковской области и относится к бассейну озера Ильмень и Псковского озера.

Наиболее значительными являются река Шелонь с 33 притоками, пересекающая большую часть района с севера на юг, и река Череха с 25 притоками, протекающая в меридиональном направлении в юго-западной части района.

Кроме рек имеется 22 больших и малых озера. Наиболее крупные из них - Радиловское, Лучно, Белое.

Для исследуемого участка характерно наличие болотистой местности.

Участок исследований расположен в пределах одного из пяти геоморфологических участков Порховского района – Центрального или Порховско-Туготинского. Для него характерен слабоволнистый сглаженный рельеф ледникового и водно-ледникового происхождения. [25]

Геологическое строение участка

Район исследований находится на Русской платформе, в пределах главного девонского поля, которое сложено преимущественно карбонатными отложениями.

В геологическом строении территории в пределах глубины бурения 5,0 м принимают участие: четвертичные современные техногенные (*tIV*) и биогенные отложения (*bIV*) и верхнечетвертичные – озерно-ледниковые (*lgIIIvp-lz*) отложениями; верхнедевонские отложения (*D_{3br}*).

Современные отложения

Техногенные отложения (*tIV*) – слежавшиеся, представлены:

- грунтами балластного слоя – щебнем, мощностью 0,2 – 0,8 м, с абс. отм. подошвы 55,3 – 63,4 м.

- насыпными грунтами: песками пылеватыми, крупными и гравелистыми коричневыми средней плотности влажными.

Биогенные отложения (*bIV*) представлены:

- почвенно-растительным слоем мощностью до 0.3 м;

- торфом среднеразложившимся. Мощность отложений составляет от 0.2 до 1.4 м., их подошва пересечена на глубинах от 0.2 до 1.5 м., абс. отметки от 50.9 до 57.2 м.

В скв. 160 с поверхности до глубины 0,5 м (абс.отм. 50.9), встречен песок пылеватый слабозаторфованный водонасыщенный.

Верхнечетвертичные отложения

Озерно-ледниковые отложения (*lgIIIvp-lz*) представлены супесями пылеватыми и песчанистыми пластичными и твердыми коричневыми и суглинками легкими пылеватыми полутвердыми серовато-коричневыми. Вскрытая мощность отложений составляет от 0.1 до 4.0 м., их подошва пересечена на глубинах от 3.3 до 4.0 м., абс. отметки от 47.1 до 62.8 м.

Верхнедевонские отложения (*D_{3br}*) представлены суглинками тяжелыми пылеватыми тугопластичными зеленовато-серыми и известняками белыми прочными. Вскрытая мощность отложений составляет от 0.4 до 4.1 м., их подошва пересечена на глубинах от 0.7 до 4.0 м., абс. отметки от 47.9 до 61.4 м.
[25]

Гидрогеологические условия участка

Гидрогеологические условия района работ характеризуются наличием 1 уровня грунтовых вод приуроченных к озерно-ледниковым пескам и супесям.

Первый уровень грунтовых вод в период изысканий – август 2022 г. встречен на глубинах 0,2 – 2,8 м (абс. отм. 51,5 – 62,2 м).

Питание водоносного горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, поверхностных и талых вод. Разгрузка осуществляется в местную гидрографическую сеть (близлежащие водоемы) и понижения рельефа.

В период интенсивного выпадения атмосферных осадков и весеннего снеготаяния, ожидаются грунтовые воды типа «верховодка» и образование открытого зеркала в понижениях рельефа.

Максимальные уровни грунтовых вод ожидаются на глубине 0,1-0,3 м.

По критериям типизации территории по подтопляемости, площадка по условиям развития процесса относится к категории II-A1 – потенциально подтопляемые в результате длительных климатических изменений, согласно приложению И, СП 11-105-97, ч. II.

По данным лабораторных испытаний коэффициенты фильтрации K_f , м/сут:

ИГЭ	Наименование	Рыхлое сложение	Плотное сложение
1	Насыпные грунты: щебень	1,39	0,27
2	Насыпные грунты: пески пылеватые	1,50	0,60
3	Насыпные грунты: пески крупные	2,69	1,09
3а	Насыпные грунты: песок гравелистый	3,04	0,62

Таблица 2. Коэффициенты фильтрации

Свойства грунтов

В геологическом строении исследуемой территории по данным бурения до глубины 5,0 м принимают участие четвертичные отложения, представленные:

- дисперсными, связными, осадочными, биогенными, органическими грунтами – торфом среднеразложившимся;

- дисперсными, несвязными, осадочными, биогенными, органоминеральными грунтами – торфом среднеразложившимся;

- дисперсными, связными, осадочными, озерно-ледниковыми, минеральными, глинистыми грунтами – супесями пылеватыми и песчанистыми пластичными и твердыми, суглинками тяжелыми пылеватыми полутвердыми.

- дисперсными, несвязными, осадочными, озерно-ледниковыми, минеральными, песчаными грунтами - песками пылеватыми;

- перемещенными насыпными грунтами, планомерно возведенными в насыпи, образованными – щебнем, песками пылеватыми, крупными и гравелистыми.

- скальными грунтами – известняками прочными;

Техногенные отложения (tIV) распространены на всем протяжении железнодорожного полотна, а также на застроенных участках (ж/д платформы).

Показатели физико-механических свойств грунтов получены по результатам исследований, проведенных в грунтово-химических лабораториях согласно действующих ГОСТов. Лабораторные исследования грунтов включали:

– определение физико-механических свойств глинистых и песчаных грунтов;

В результате анализа пространственной изменчивости частных значений показателей физико-механических свойств грунтов, условий залегания литологических слоев, в соответствии с ГОСТ 20522-2012, ГОСТ 25100-2020 на инженерно-геологическом разрезе участка изысканий выделено 12 инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

Расчетные значения характеристик определены с учетом стандартных коэффициентов безопасности по грунту согласно п. 5.3.18 СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» и с учетом расчетных коэффициентов безопасности по грунту в соответствии с ГОСТ 20522-2012.

Ниже в соответствии с ГОСТ 25100-2020 приведено описание выделенных элементов:

Почвенно-растительный слой (ПРС).

Балласт и грунты тела земляного полотна

ИГЭ-1 – насыпной грунт: щебень гранитный. Среднее содержание частиц Среднее значение загрязненности щебеночного балласта – 55,0% (прил. И). По степени пучинистости согласно ГОСТ 25100-2020 – непучинистый ($\epsilon_{fh} < 0,01\%$).

ИГЭ-2 – насыпной грунт: пески пылеватые. По степени пучинистости согласно ГОСТ 25100-2020 – непучинистые ($\epsilon_{fh} < 0,01\%$).

ИГЭ-3 – насыпной грунт: пески крупные. По степени пучинистости согласно ГОСТ 25100-2020 – непучинистые ($\epsilon_{fh} < 0,01\%$).

ИГЭ-3а – насыпной грунт: пески гравелистые. По степени пучинистости согласно ГОСТ 25100-2020 – непучинистые ($\epsilon_{fh} < 0,01\%$).

Биогенные отложения (bIV)

ИГЭ-4 – Торф черный среднеразложившийся водонасыщенный.

ИГЭ-4а - Пески пылеватые слабозаторфованные. По степени пучинистости согласно ГОСТ 25100-2020 – сильнопучинистые ($\epsilon_{fh} > 0,07\%$).

Озерно-ледниковые отложения (lgIIIvp-lz)

ИГЭ-5 - Супеси пылеватые пластичные. По степени пучинистости согласно ГОСТ 25100-2020 – сильнопучинистые ($\epsilon_{fh} > 0,07\%$).

ИГЭ-5а - Супеси песчанистые твердые. По степени пучинистости согласно ГОСТ 25100-2020 – непучинистые ($\epsilon_{fh} < 0,01\%$).

ИГЭ-6 – Суглинки легкие пылеватые полутвердые. По степени пучинистости согласно ГОСТ 25100-2020 –слабопучинистые ($0,01\% < \epsilon_{fh} < 0,035\%$).

ИГЭ-9 - Пески пылеватые средней плотности с примесью растительных остатков. По степени пучинистости согласно ГОСТ 25100-2020 – сильнопучинистые ($\epsilon_{fh} > 0,07\%$).

Верхнедевонские отложения (D3br)

ИГЭ-7 - Суглинки тяжелые пылеватые полутвердые. По степени пучинистости согласно ГОСТ 25100-2020 –слабопучинистые ($0,01\% < \epsilon_{fh} < 0,035\%$).

ИГЭ-10 - Известняки прочные.

Характер залегания выделенных инженерно-геологических элементов показан в геолого-литологических колонках скважин, на поперечных профилях и продольном профиле. [25]

Специфические грунты

На участке изысканий в соответствии с СП 47.13330.2016 и СП 11-105-97 часть III к специфическим грунтам относятся техногенные и биогенные грунты.

Техногенные грунты имеют повсеместное распространение. Грунты относятся к планомерно возведенной насыпи с уплотнением, стабилизировавшейся. Насыпь подвергается постоянным динамическим нагрузкам от подвижного состава.

На участке изысканий техногенные грунты представлены:

ИГЭ-1 – насыпной грунт: щебень гранитный.

ИГЭ-2 – насыпной грунт: пески пылеватые.

ИГЭ-3 – насыпной грунт: пески крупные.

ИГЭ-3а – насыпной грунт: пески гравелистые.

Техногенные грунты слежавшиеся, уплотненные. Срок отсыпки более 10 лет. (табл. 9.1 СП 11-105-97 (часть III)).

Биогенные грунты представлены торфом среднеразложившимся (ИГЭ-4) встреченном в скв. 151, 155, 156, 301, 305, 385, 386 и песком пылеватым слабозаторфованным (ИГЭ-4а) вскрытым локально в скв. 160.

Биогенные грунты характеризуются малой прочностью и большой сжимаемостью, существенным изменением деформационных, прочностных и фильтрационных свойств при нарушении естественного сложения, а также под воздействием динамических и статических нагрузок, анизотропией прочностных, деформационных и фильтрационных характеристик.

Геологические и инженерно-геологические процессы

Сейсмичность. В соответствии «Общим сейсмическим районированием территории Российской Федерации ОСР–2015» (СП 14.13330.2018) расчетная сейсмическая интенсивность для района проведения изысканий не превышает 6 баллов шкалы MSK–64 для степеней сейсмической опасности А (10%) и В (5%).

Морозное пучение. Нормативная глубина сезонного промерзания составляет: суглинки, глины – 0,95 м; супеси, пески мелкие – 1,16 м; пески крупные и средней крупности – 1,24 м; Крупнообломочные грунты – 1,41 м (рассчитаны согласно СП 22.13330, п. 5.5.3).

В соответствии с табл. Б. 27 ГОСТ 25100-2020, по степени морозного пучения, грунты, находящиеся в пределах сезоннопромерзающего слоя.

ИГЭ-1, 2, 3, 3а, 5а – непучинистые;

ИГЭ-4а, 5, 9 – сильнопучинистые;

ИГЭ -6, 7 – слабопучинистые.

Подтопление. В неблагоприятные периоды года (периоды дождей и снеготаяния) максимальный уровень грунтовых вод ожидается близким к дневной поверхности с образованием открытого зеркала грунтовых вод.

По критериям типизации территории по подтопляемости, площадка по условиям развития процесса относится к категории II-A1 – потенциально подтопляемые в результате длительных климатических изменений, согласно приложению И, СП 11-105-97, ч. II. Коэффициенты фильтрации грунтов представлены в таблице 2. [25]

Карст – совокупность следует понимать совокупность геологических процессов и явлений, вызванных *растворением* и *выщелачиванием* подземными и (или) поверхностными водами горных пород и проявляющихся в образовании в них пустот, нарушении структуры и изменении свойств.

Карстовый процесс сопровождается размывом пород, суффозией, деформациями поверхности земли и оснований зданий и сооружений (провалы, оседания, воронки), изменением свойств грунтов покрывающей толщи, формированием особого характера циркуляции и режима подземных и поверхностных вод и специфического рельефа местности (согласно п. 5.1.1 [2]) и разнообразными его формами. [12]

Карст может быть карбонатным, сульфатным и соляным; по времени образования – древний и современный.

Значение карстовых явлений можно охарактеризовать двумя главными, но не единственными, критериями: распространенностью и угрожаемостью жизнедеятельности. Распространение карста определяется масштабами и частотой встречаемости водорастворимых (карстующихся) карбонатных, сульфатных и соляных пород в приповерхностной части земной коры. [12]

Карст является очень важным и сложным объектом для изучения с целью оценки инженерно-геологических условий осваиваемых и освоенных человеком территорий. Первые сведения о негативном влиянии карста на условия железнодорожного строительства были отмечены в конце прошлого века (1897— 1898 гг.). Но, по всей вероятности, это были не единственные тревожные сигналы, так как в 1905 году была составлена специальная инструкция по наблюдениям за появлением карстовых воронок около железных дорог и вблизи Нижнего Новгорода. С ростом темпов и масштабов освоения территорий все чаще давали о себе знать неблагоприятные последствия

взаимодействия закарстованных массивов пород с инженерными сооружениями. Иногда это было связано с незнанием геологической обстановки осваиваемых территорий, в других случаях строительство ускоряло процесс нарушения устойчивости закарстованных пород в результате изменения их напряженного состояния. [12]

Карбонатный карст опасен появлением провалов, представляющих собой быструю деформацию участков земной поверхности (оснований сооружений) в результате обрушения горных пород в карстовые пустоты, залегающие под ними. Главное отличие провалов заключается в неожиданности и скорости их проявления. Чувствительность закарстованных территорий к техногенному воздействию определяется потенциальной возможностью возникновения и развития провалов. В этом, очевидно, заключается угрожаемость жизнедеятельности на закарстованных территориях, а также риск при их освоении. [12]

Изменение физического состояния горных пород при карсте приводит к увеличению их проницаемости и уменьшению прочности, что снижает их несущую способность. Изменения свойств закарстованных пород приводят к значительным сложностям изучения их взаимодействия с техногенной средой. Большое количество техногенных сооружений построено на закарстованных известняках с применением противокарстовых мероприятий (завес, тампонажа, цементации и др.). [12]

Для развития карстового процесса необходимо наличие водопроницаемых растворимых горных пород и движущейся воды, способной их растворять. Однако интенсивность карстового процесса, его масштабы и угрожаемость устойчивости сооружений зависят от целого ряда природных и техногенных факторов, среди которых основными являются:

- неоднородность литологического состава и строения карстующихся пород;
- трещиноватость пород, в том числе генезис, пространственное расположение и раскрытость трещин;
- тектонические структуры, определяющие пути движения подземных вод;
- новейшая геологическая история региона, неотектоническая обстановка, определяющая базис дренирования подземных вод;
- рельеф и растительный покров района, которые определяют поверхностный и подземный стоки;

— климатические и гидрологические факторы, определяющие гидрохимический и гидродинамический режимы подземных вод;

— техногенные факторы, изменяющие природную обстановку и интенсивность действия природных факторов.

Карст развивается в результате функционального взаимодействия, т. е. взаимодействия между элементами геологической среды — горными породами и природными водами. В связи с этим можно строго выделить условия, в которых развивается процесс, и факторы, которые его вызывают. Карст происходит в горных породах под воздействием вод, находящихся во взаимодействии с этими породами. [12]

Также важно отметить, что карбонатный карст представляет опасность своими уже сформировавшимися формами проявления. [12]

Условия и факторы развития карстового процесса приводят к характерным закономерностям его распространения, интенсивности и форм. Наиболее важной закономерностью, включающей целый ряд особенностей карста, является **гидродинамическая зональность**, которая прослеживается вглубь и по горизонтали. По вертикали выделяют четыре зоны: аэрации, сезонных колебаний, полного водонасыщения с подзоной разгрузки и глубокого замедленного водообмена и движения. По горизонтали выделены три зоны: присклоновая, придолинная и приводораздельная. [12]

Наиболее интенсивно карстовые процессы происходят в зонах сезонных колебаний и присклоновой, в которых вода является пресной и агрессивной, а градиенты потока — значительными. На форму и размеры зон существенно влияют тектонические нарушения (разломы, трещины), которые могут служить путями движения грунтовых и глубинных напорных вод. С увеличением глубины и расстояния от речной долины интенсивность карста ослабевает из-за замедленного водообмена, малых градиентов потоков, низкой водопроницаемости пород и т. д. [12]

Выявлена закономерность карстового процесса, регулируемая геоморфологией закарстованных районов, а именно чем круче уклон поверхности — тем меньше плотность карстовых воронок на единицу площади. Этими данными подчеркивается влияние инфильтрации атмосферных осадков в карбонатный массив. На влияние инфильтрационных вод, но по другой причине, указывает пример распространения карстовых воронок на площадях разной степени защищенности карстующихся пород четвертичным покровом. Например, при большой мощности глинистых грунтов и рельефе с большими уклонами развитие карстовых воронок может быть минимально. [12]

Влияние современных и новейших тектонических движений на карстовый процесс обнаруживается при изучении изменения базисов разгрузки подземных вод, их градиентов, уклона поверхности рельефных форм и т. д. Колебательные движения положительного знака увеличивают контрастность рельефа и его энергию, что приводит к большой интенсивности карстового процесса. [12]

В заключении можно выделить *общие закономерности* развития карста:

- связь закарстованности с особенностями геологического строения и геологической историей района, определяющими унаследованный характер карстового процесса;
- ослабление закарстованности массива с глубиной в связи со снижением трещинной пустотности, скоростей движения и агрессивности подземных вод;
- более высокая степень закарстованности придолинных зон карстующихся массивов;
- рост интенсивности карста при переходе от районов с сухим климатом к тропикам и субтропикам;
- зависимость интенсивности карстопроявления от условий дренирования подземных вод. [12]

Важно отметить, что в условиях интенсивного техногенеза многие закономерности карстового процесса изменяются под влиянием разнообразной деятельности человека. [12]

В пределах участка изысканий возможен карбонатный (труднорастворимый) карст (согласно п 5.1.5 СП 11-105-97).

Категории устойчивости территории относительно интенсивности образования карстовых провалов	Интенсивность провалообразования (среднегодовое количество провалов на 1 км ² территории (случаи/км ² в год)
I	Свыше 1,0
II	Св. 0,1 до 1,0
III	Св. 0,05 до 0,1
IV	Св. 0,01 до 0,05
V	До 0,01
VI	Провалообразование исключается

Примечание – к шестой категории устойчивости относятся территории, на которых возникновение карстовых провалов земной поверхности невозможно (из-за отсутствия растворимых горных пород или благодаря наличию надежной защитной покрывающей толщи нерастворимых водонепроницаемых или скальных пород

Таблица 3. Зависимость категории устойчивости территории от интенсивности образования карстовых провалов, табл. 5.1 СП 11-105-97 Часть II

Поэтому основное внимание должно быть направлено на выявление уже сформировавшихся карстовых форм (их положения и параметров), поскольку время, необходимое для образования новых значительных по размеру карстовых пустот, не соизмеримо, как правило, со сроком службы инженерных сооружений (согласно п. 5.1.6 СП 11-105-97).

Категории устойчивости территории относительно средних диаметров карстовых провалов	Средние диаметры карстовых провалов, м
А	Свыше 20
Б	Св.10 до 20
В	Св.3 до 10
Г	До 3

Таблица 4. Зависимость категории устойчивости территории от среднего диаметра провалов, табл. 5.2 СП 11-105-97 Часть II

Опираясь на данные из [18], по Псковскому карстовому округу [17], таблицы 3 и 4, можно говорить, что Псковская область имеет категорию устойчивости территории относительно средних диаметров карстовых провалов – V-V.

Таким образом **ИГЭ 10** – карстующиеся.

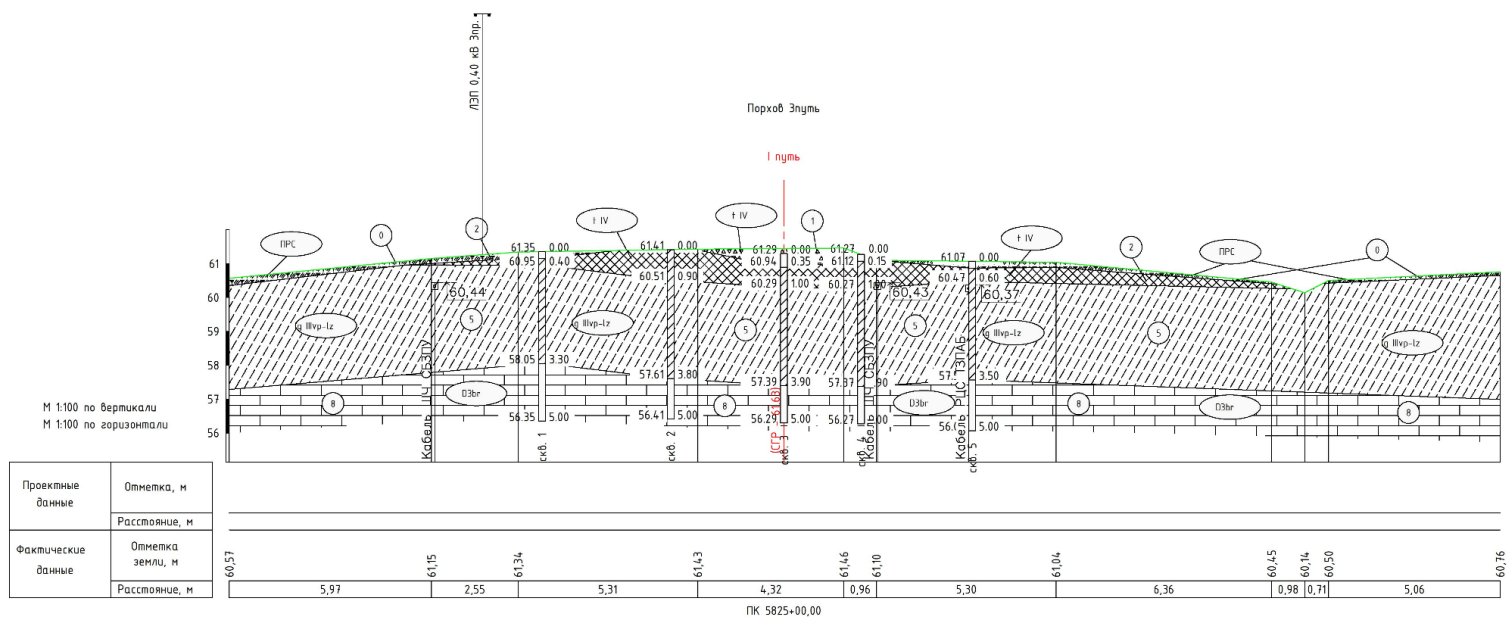


Рисунок 2. Поперечный разрез, [25]

Прогноз изменения инженерно-геологических условий

Категория инженерно-геологических условий по совокупности факторов, согласно Приложению Г СП 47.13330.2016 - II (средняя).

Во время проведения работ инженерно-геологические условия (состав, состояние и свойства грунтов, рельеф, подземные воды, геологические и инженерно-геологические процессы) не менялись.

Строительство и эксплуатация объектов изысканий не приведет к значительному изменению природной обстановки рассматриваемой территории.

Глинистые (дисперсные) породы в открытых траншеях, при значительном их увлажнении могут разжижаться и терять свои прочностные и деформационные характеристики.

Динамические и вибрационные нагрузки на грунты при строительстве и эксплуатации сооружений, также могут привести к ослаблению структурных связей в грунтах и снижению их прочностных и деформационных характеристик. [25]

Оценку категории опасности карста следует проводить по таблице из приложения 8.

При капитальном ремонте для оценки опасных природных воздействий требуется использовать результаты инженерных изысканий, выполненных для архитектурно-строительного проектирования (разработки проектной документации) зданий и сооружений (п. 6.4.1 СП 115.13330.2016).

Для прогноза развития карстовых процессов считаются «ожидаемые размеры провалов на поверхности земли или в основании сооружений (их глубина, диаметры, конфигурация и т.п.)» (п. 5.2.12 СП 11-105-97 Часть II). По методике же, описанной в приложении А п. 7.3 СП 499.1325800.2021, определяется диаметр критического провала и соответствующая ему высота свода обрушения.

Таким образом, данный подсчет можно условно назвать «моделью», говорящей о том, что если диаметр провала достигнет полученного в расчетах значения, то произойдет обрушение с размерами свода, также получаемыми из расчетов.

Расчет критического диаметра провала и свода обрушения

Расчет диаметра критического провала и свода обрушения проводился по схеме, указанной в приложении А СП 499.1325800.2021 (п. А.7.3). Согласно приложению А п. 7.1 СП 499.1325800.2021, «формирование свода обрушения возможно, при условии, когда полость не достигает критической величины».

Свод параболический и его высота определяется по следующей формуле:

$$b_{\text{св}} = \frac{D}{2 \operatorname{tg} \varphi_1},$$

где D – диаметр критического провала, φ_1 – угол внутреннего трения связных грунтов.

$$D = 2G \cdot m \left[\sqrt{1 + \frac{2 \cdot (\gamma_1^* \cdot m \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \xi_1 + 2c) \cdot \operatorname{tg} \varphi_2}{\gamma_2 \cdot G^2 \cdot m}} - 1 \right],$$
$$G = \frac{(\gamma_1^* \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 - 2\gamma_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \xi_1)}{\gamma_2},$$

где m – толщина перекрывающего слоя связных грунтов, м;

γ_1^* – вес связных грунтов, кг/м³;

ξ_1 – коэффициент распора связных грунтов;

c – сцепление связных грунтов, кПа;

φ_2 – угол внутреннего трения взвешенных в воде несвязных грунтов, град.;

γ_2 – объемный вес взвешенных в воде несвязных грунтов, кг/м³;

$$\gamma_2 = (\gamma_{s2} - \gamma_w)(1 - n_2),$$

где γ_{s2} – объемный вес минеральной части несвязных грунтов, кг/м³;

γ_w – вес воды, кг/м³;

n_2 – пористость несвязных грунтов, %.

Т.к. над потенциально карстующимися известняками залегают супеси (а на них пески пылеватые техногенные), то требуется взять характеристики данных грунтов.

№ ИГЭ	$\rho_s, \text{кг/м}^3$	n, %	$\rho, \text{кг/м}^3$		W, %	$\rho_d, \text{кг/м}^3$
			min	max		
2	2630	38,2	1510	1780	9,5	1626
5			2050			

Таблица 5. Физические характеристики грунтов, [25]

$$\gamma_2 = (2630 - 1000)(1 - 0,382) = 1007,5 \text{ кг/м}^3$$

$$G = \frac{2050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,36 - 2 \cdot 1007,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,49 \cdot 0,4}{1007,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 0,35$$

$$D = 2 \cdot 0,35 \cdot 3 \text{ м} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{2 \cdot \left(2050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3 \text{ м} \cdot 0,49 \cdot 0,4 + 2 \cdot 15 \text{ кПа} \right) \cdot 0,364}{1007,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,35^2 \cdot 3 \text{ м}}} - 1 \right]$$

$$= 1,78 \text{ м}$$

$$b_{\text{св}} = \frac{1,78 \text{ м}}{2 \cdot 0,49} = 1,83 \text{ м}$$

$b_{\text{св}}$ (при минимальной плотности песков) = 1,72 м; D (также при ρ_{min}) = 1,68 м

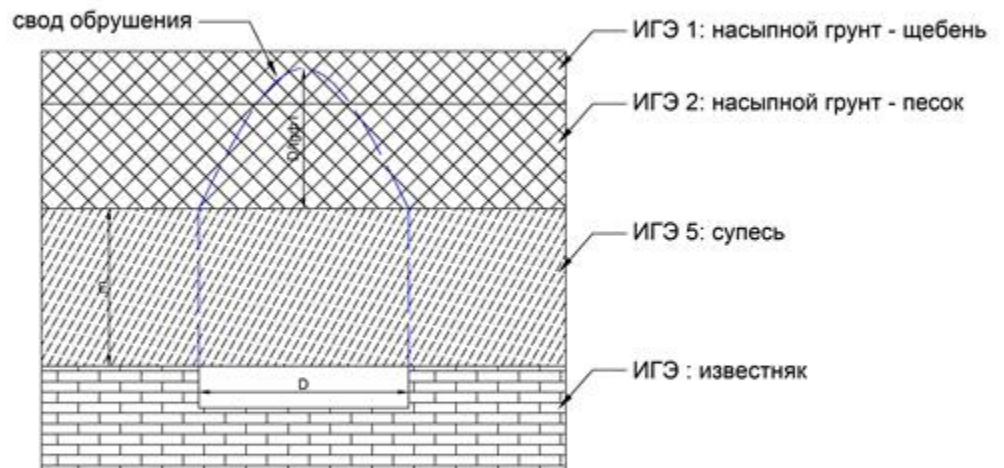


Рисунок 3. Приблизительная схема расчета устойчивости экранящего слоя связных грунтов с формированием свода в вышележащих несвязных грунтах [4]

По результатам лабораторных исследований грунтов (в составе инженерно-геологических изысканий) для песков были приведены две плотности: минимальная и максимальная. В дальнейшем по обоим этим значениям были подсчитаны диаметр провала (D) и высота свода обрушения ($b_{св}$).

Таким образом, формирование свода обрушения возможно, когда полость не достигает критической величины.

Рекомендации для проектирования

При проектировании необходимо учесть и предусмотреть:

- предусмотреть при строительстве методы работ, не приводящие к ухудшению свойств грунтов неорганизованным водоотливом и замачиванием, размывом поверхностными водами, промерзанием, повреждением механизмами и транспортом;

- наличие специфических грунтов в разрезе;

- морозную пучинистость грунтов и исключить их промораживание;

- учесть возможность образования в приповерхностных слоях вод типа «верховодка» в периоды весеннего снеготаяния и обильных дождей;

- земляные работы выполнять в соответствии с СП 45.13330.2017.

Для инженерной защиты зданий и сооружений от карста применяют следующие противокарстовые мероприятия или их сочетания:

- планировочные;

- водозащитные и противofiltrационные;

- геотехнические (укрепление оснований);

- конструктивные;

- технологические;

- эксплуатационные.

Противокарстовые мероприятия должны:

- предотвращать активизацию, а при необходимости и снижать активность карстовых и карстово-суффозионных процессов или уменьшать (сводить до минимума) его последствия;

- исключать или уменьшать в необходимой степени карстовые и карстовосуффозионные деформации грунтовых толщ;

- обеспечивать возможность нормальной эксплуатации территорий, зданий, сооружений, подземных помещений и горных выработок при допущенных карстовых проявлениях;
- предотвращать недопустимое загрязнение геологической среды;
- минимизировать действие вод, т.е. свести их инфильтрацию до минимума;
- при обнаружении карстовых полостей и трещин, обнаруженных на земной поверхности прибегнуть к их тампонированию, а также необходимо закреплять закарстованные породы и (или) вышележающие грунты инъекцией цементационных растворов или другими способами;
- выполнять технологические мероприятия;

В составе эксплуатационных мероприятий необходимо проводить *мониторинг*:

- 1) постоянный геодезический контроль за оседанием земной поверхности и деформациями зданий и сооружений;
- 2) наблюдения за проявлениями карста, состоянием грунтов, уровнем и химическим составом подземных вод;
- 3) периодическое строительное обследование состояния зданий, сооружений и их конструктивных элементов;
- 4) система автоматической сигнализации на случай появления недопустимых карстовых деформаций;
- 5) устройство (и периодическое наблюдение) глубинных марок, реперов и маяков на трещинах строительных конструкций;
- 6) контроль за выполнением мероприятий по борьбе с инфильтрацией поверхностных, промышленных и хозяйственно-бытовых вод в грунт, запрещению сброса в грунт химически агрессивных промышленных и бытовых вод;
- 7) контроль (и ограничение) за взрывными работами и источниками вибрации. [5]

Список литературы

1. СП 131.13330.2018, Москва: Стандартиформ, 2019.
2. СП 11-105-97 Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов, Москва.
3. СП 115.13330.2016 Геофизика опасных природных воздействий, Министерство строительства и ЖКХ РФ, Москва: Стандартиформ, 2018.
4. СП 499.1325800.2021. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от карстово-суффозионных процессов: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Москва, 2021.
5. СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов, Министерство регионального развития РФ Москва, 2012.
6. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация.
7. Методические рекомендации по сбору инженерно-геологической информации и использованию табличных геотехнических данных при проектировании земляного полотна автомобильных дорог, Министерство транспортного строительства СССР, Москва, 1981.
8. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений.
9. Архангельский Б.Н., Зайцев И.К. Гидрогеология СССР, том III, Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Москва: Недра, 1967. 325 с.
10. Бутаков П. М., Саванин В. В., Кямря В. В. и др., Государственная геологическая карта Российской Федерации. Лист О-36-XXVI (Холм). Объяснительная записка, Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2022.
11. Заррина, Е.П. Четвертичные отложения северо-западных и центральных районов Европейской части СССР. Ленинград: Недра, 1991. 197 с.
12. Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б. Инженерная геодинамика. Санкт-Петербург: Наука, 2001.
13. Кручек С.А., Матвеев А.В., Якубовская Т.В. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: объяснительная записка. Минск, 2010.
14. Малаховский Д.Б., Марков К.К. Геоморфология и четвертичные отложения Северо-Запада Европейской части СССР. Ленинград: "Наука", 1969. 256 с.

15. Пуура В. Геология и полезные ископаемые Раквереского фосфоритоносного района. Таллин: Валгус, 1987. 213 с.
16. Сидоренко А.В., Геология СССР, том I. Москва: Недра, 1971. 504 с.
17. Чикишев А.Г. Карст Русской равнины. Москва: Наука, 1978.
18. Ахмедова Н.С. Морфометрические особенности карстовых озёр Псковской области // Природа и экология. С. 96-101.
19. Бутаков П. М., Саванин В. В., Кямря В. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Лист О-36-XXVI (Холм). Объяснительная записка. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2022.
20. Крылов А.В. Стратиграфия и литология сланценосной толщи кукрузеского горизонта (ордовик) - источника нетрадиционных углеводородов запада Ленинградской области // Нефтегазовая геология. Теория и практика. Т. 11. 2016.
21. Тарасенко А.Б. Особенности строения и обстановки формирования снежской свиты восточной части главного девонского поля. 2014.
22. Федоров П.В. Стратиграфия, геологическая история и тектоника долины реки Поповки // Окружающая среда Санкт-Петербурга. 2019.
23. Цинкобурова М.Г. Об особенностях стратиграфии среднедевонских отложений Ленинградской области // Записки Горного института. Т. 183. 2009.
24. Гей В.П. Плешивцева Э.С., Ауслендер В.Г. Проблемы стратиграфии четвертичных отложений и краевые ледниковые образования Вологодского региона (Северо-Запад России). Москва: ГЕОС, 2000.
25. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий. Участок Порхов-Луново-Подсевы, 1 главный путь, 583 км ПК 6 - 606 км ПК 3 (РС) / SAXUM, 2022.
26. Государственная геологическая карта (четвертичных отложений). Лист О-35-XXIV, 1987.
27. Министерство геологии СССР. Государственная геологическая карта СССР (карта дочетвертичных отложений), лист О-35-XXIV.
28. URL: <https://nbcrs.org/regions/pskovskaya-oblast/klimat>
29. URL: <https://priroda.pskov.ru/porhovskiy-rayon-0>
30. URL: <http://www.prokarst.ru/maps/>
31. URL: <https://gruntovozov.ru/>
32. URL: <https://academic.ru/>

33. URL: <https://www.geokarta.ru>

Приложения

Приложение 1. Физическая карта Псковской области

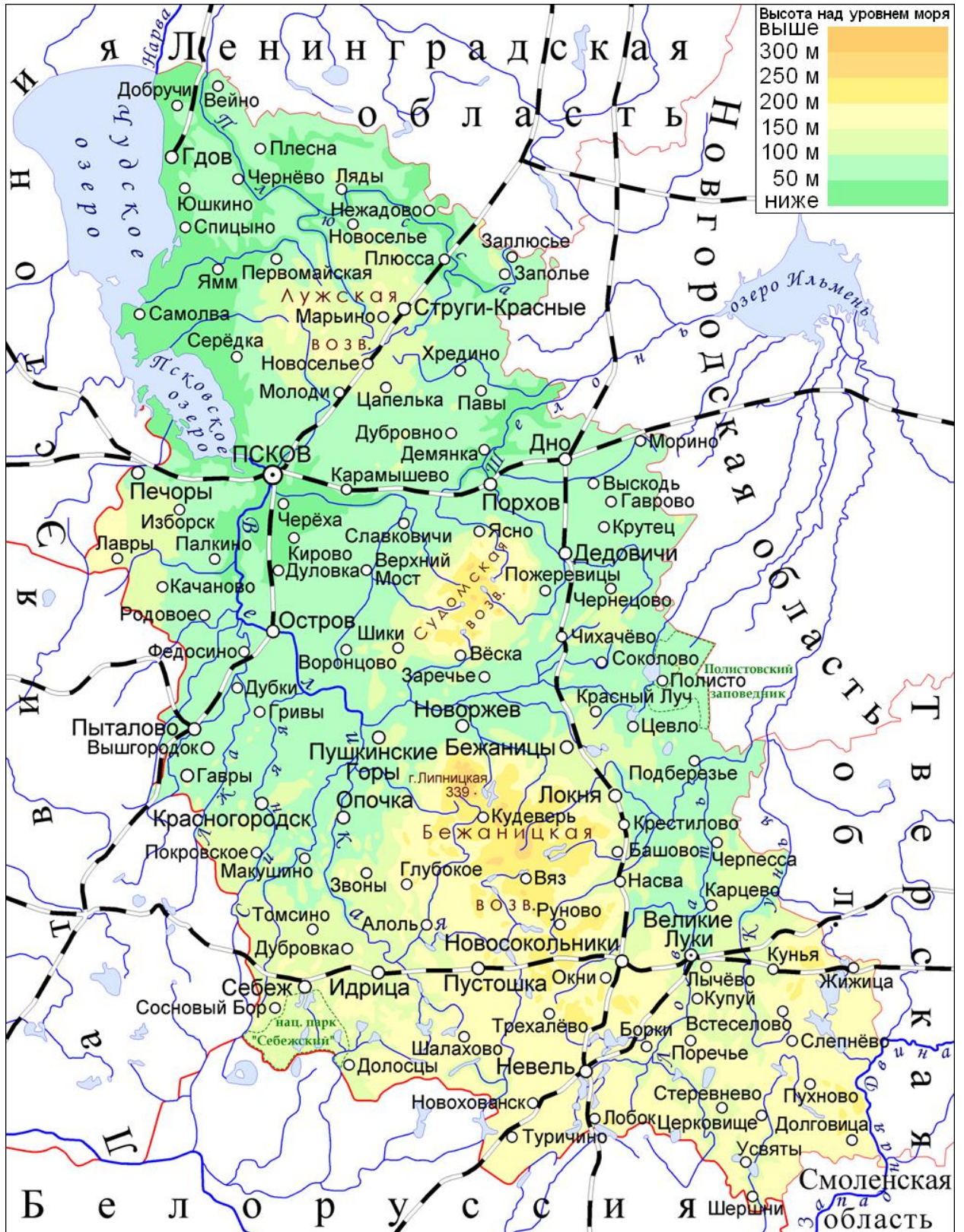


Рисунок 4. Физическая карта Псковской области

Приложение 3. Легенда к карте дочетвертичных отложений

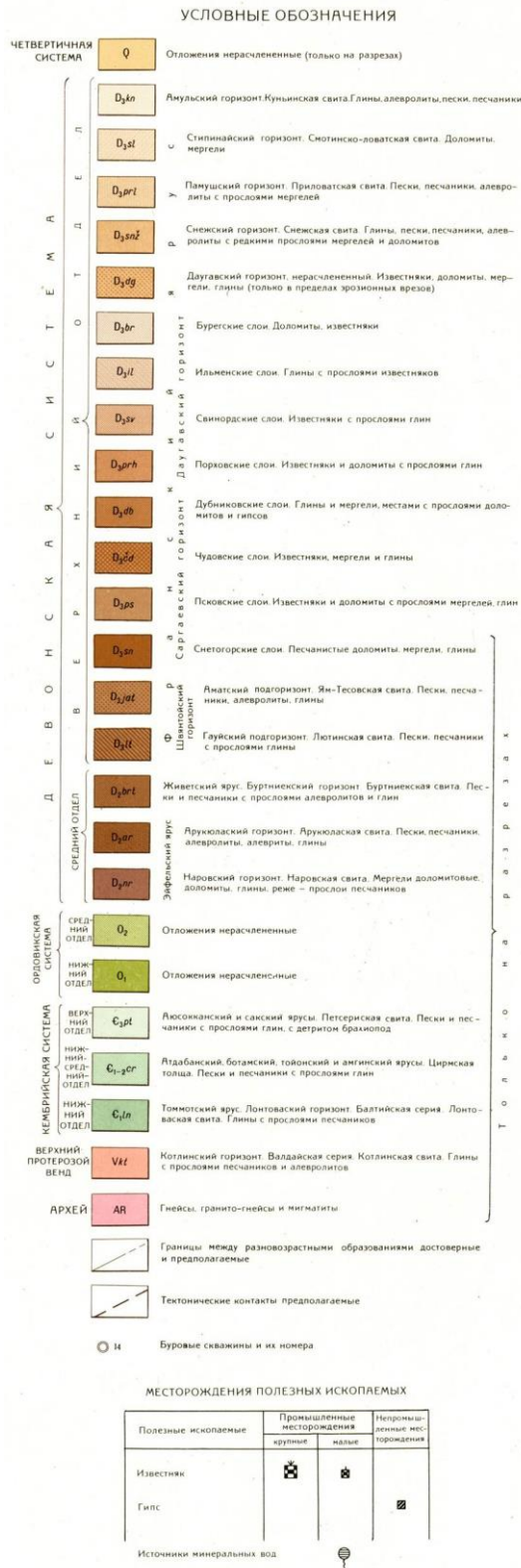


Рисунок 6. Легенда к листу O-35-XXIV Государственной геологической карты СССР, https://www.geolkart.ru/list_200.php?idlist=O-35-XXIV&idlist_d=G_L&gen=1&g=1

Приложение 4. Схема распространения карстов

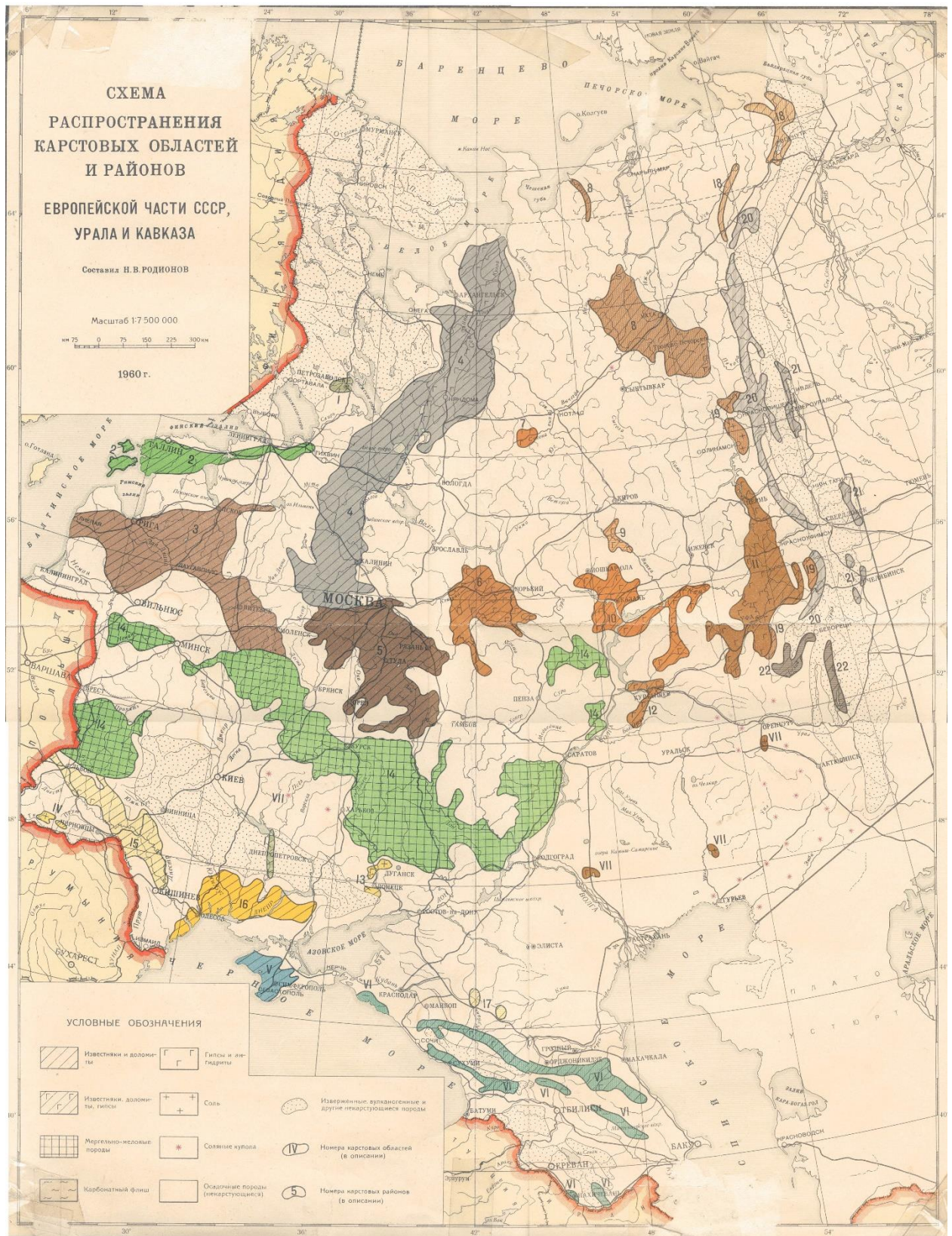


Рисунок 7. Схема распространения карстов, Н. В. Родионов, 1960; [25]

Приложение 5. Инженерно-геологический разрез по трассе капитального ремонта (продольный)

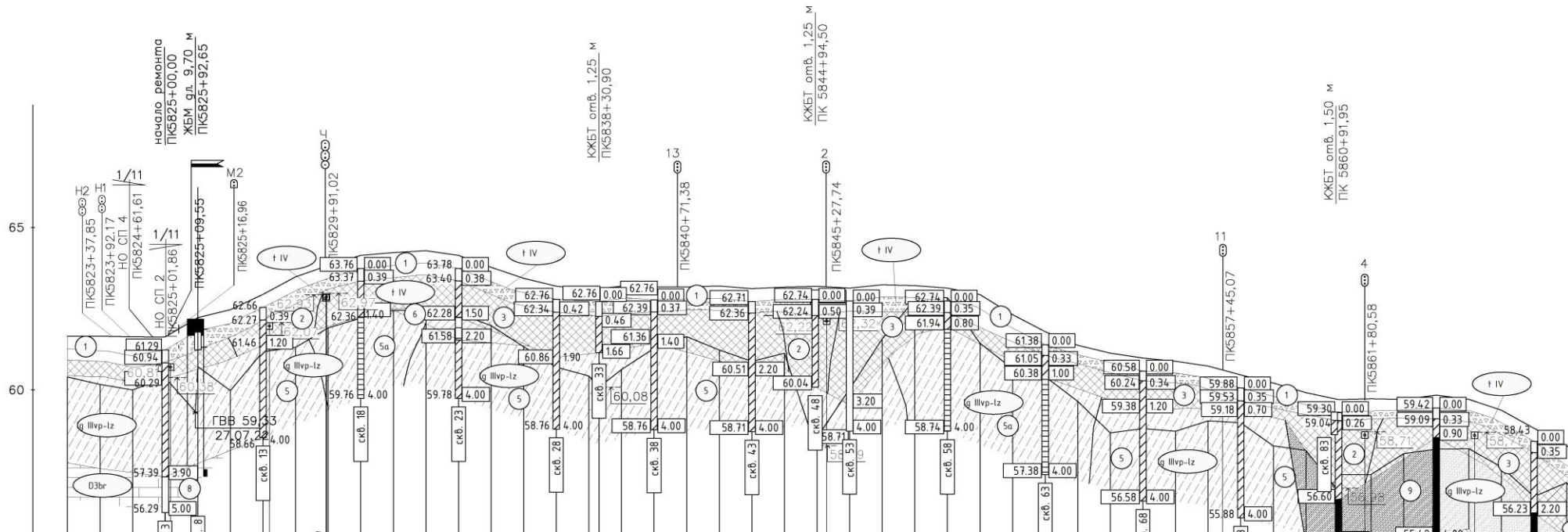


Рисунок 8. Инженерно-геологический разрез (фрагмент), [25]

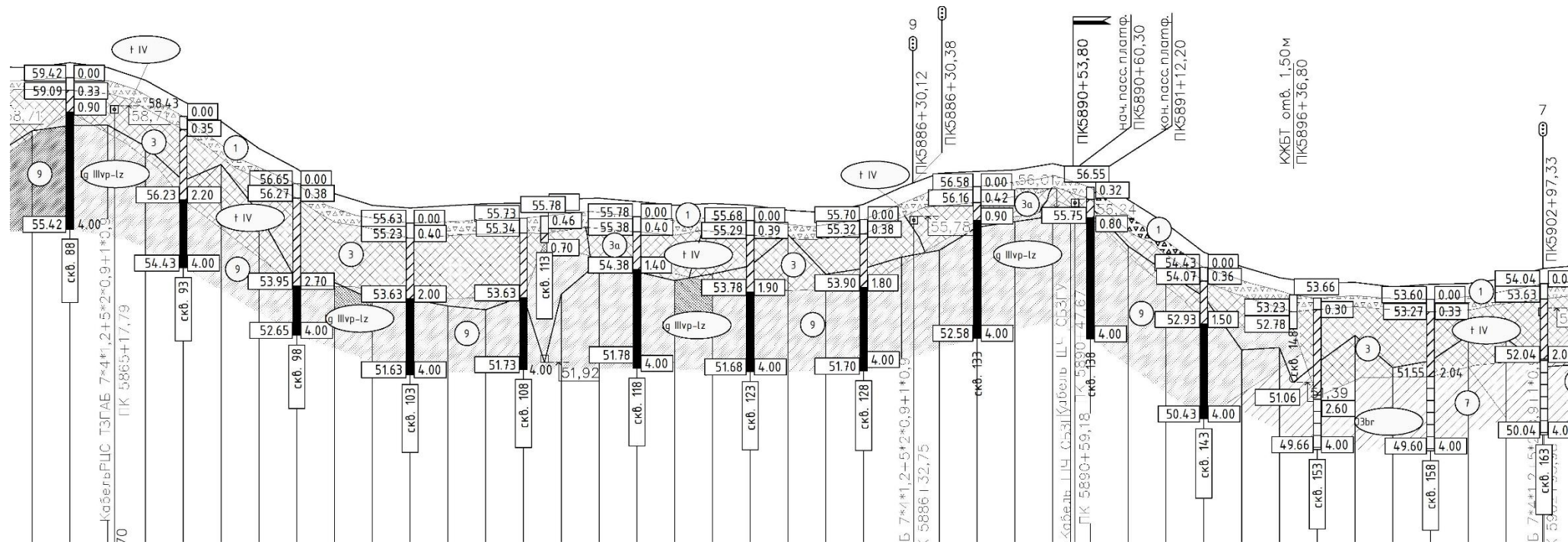


Рисунок 9. Продолжение инженерно-геологического разреза

Условные обозначения

— - литологическая граница

Степень влажности несвязных грунтов

маловлажный влажный насыщенный водой

Консистенция глинистых грунтов

твёрдая полутвёрдая тугопластичная мягкопластичная тугопластичная текучая

а. Литологические

	- Почвенно-растительный слой		- Известняки белые
	- Насыпные глины-щебень		- Пески пылеватые средней плотности насыщенные водой
	- Насыпные глины: пески пылеватые средней плотности влажные		
	- Насыпные глины: пески крупные средней плотности коричневые влажные		
	- Насыпные глины: пески гравелистые средней плотности коричневые влажные		
	- Торф среднеизложившийся насыщенный водой		
	- Пески пылеватые слабодеформованные насыщенные водой		
	- Сугилки пылеватые пластичные коричневые		
	- Сугилки пылеватые твердые коричневые		
	- Сугилки легкие пылеватые полутвердые серовато-коричневые		
	- Сугилки тяжелые пылеватые полутвердые зеленовато-серые		

б. Стратиграфические

Современные отложения Q

	- почвенно-растительный слой
	- техногенные отложения
	- биогенные отложения
	- озёрно-ледниковые отложения

в. Прочие

номер инженерно-геологического элемента

2.88 0.0 Скважина
 слева: абс. отм. подошвы слоя (забоя)
 0.68 2.20 справа: глубина подошвы слоя
 скв. 1 - номер скважины

Приложение 6. Таблица физических характеристик грунтов

Таблица результатов лабораторных определений гранулометрического состава и физических свойств грунтов и их статистическая обработка																																						
№№ п/п	ГК	№№ выработок	Глубина отбора проб, м	Содержание частиц (%) по фракциям (мм)												Повышен. пластичности		Число пластичности	Потеря при прокаливании, %	Плотность грунта, г/см ³		Кф, м/сут		Угол откоса, °		Природная влажность, W	Плотность грунта тм ³	Плотность частиц грунта тм ³	Коэффициент пористости e	Степень влажности	Показатель консистенции I _L	Степень разложения торфа Д _с , %						
				>10.0	10.0-5.0	5.0-2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	<0.005	Граница текучести	Граница раскатывания	ρ _{min}			ρ _{max}	рылое сложение	плотное сложение	сухой	водонасыщ.														
				16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			30	31	32																
Техногенные отложения IV																																						
ИГЭ-1 Насыпные грунты: щебень																																						
1	591нк7	178	0,4-0,7	34,4	8,0	7,9	16,6	7,2	7,3	3,4	11,6	1,7	1,5	0,4				1,65	1,90	1,61	0,31	42	43	0,065		2,65												
2	592нк6	193	0,4-0,7	35,8	10,1	8,4	14,8	7,5	6,8	4,1	9,1	1,6	1,3	0,5				1,66	1,92	1,32	0,21	41	43	0,054		2,65												
3	593нк5	208	0,4-0,7	47,9	9,1	7,5	14,6	3,3	4,4	2,0	8,0	1,4	1,5	0,3				1,66	1,99	1,75	0,44	44	45	0,057		2,65												
4	602нк5	398	0,5-0,8	34,0	10,2	9,2	18,8	5,4	6,9	3,0	10,8	0,4	0,9	0,4				1,75	1,92	1,55	0,27	43	44	0,050		2,70												
5	605нк2	453	0,5-0,8	36,0	11,5	9,5	6,8	4,0	5,9	2,5	13,1	6,1	3,7	0,9				1,82	2,09	0,75	0,13	42	43	0,084		2,71												
6	592нк6	193	0,4-0,7	45,0	7,8	5,1	3,3	5,4	8,9	6,6	11,4	4,1	2,4	0,0				1,48	1,70			37	39	0,075		2,65												
			n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6				6	6	5	5	6	6	6		6												
			An	38,9	9,5	7,9	12,5	5,5	6,7	3,6	10,7	2,6	1,9	0,4				1,67	1,92	1,39	0,27	42	43	0,064		2,67												
ИГЭ-2 Насыпные грунты: пески пылеватые																																						
7	583нк6	1	0,4-0,7	1,7	2,3	4,1	8,3	9,8	14,7	19,0	33,6	5,0	0,4	1,1				1,49	1,75	0,21	0,10	43	39	0,112		2,63												
8	585нк6+10	48	1,7-2,0	0,9	2,8	5,4	12,4	16,5	20,3	14,9	25,7	1,1	0,0	0,0				1,64	1,90	1,95	0,80	40	38	0,053		2,59												
9	586нк3	63	0,4-0,7	0,5	2,2	6,2	11,2	15,8	24,2	11,9	24,9	2,3	0,8	0,0				1,55	1,83	1,85	0,66	40	37	0,061		2,60												
10	587нк2	78	0,3-0,5	1,5	2,2	5,5	12,1	16,2	19,4	19,5	22,5	1,1	0,0	0,0				1,58	1,86	1,89	0,84	39	36	0,057		2,64												
11	600нк10	370	1,0-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	15,0	39,3	42,2	0,9	0,4	0,0				1,43	1,64					0,185		2,67												
12	600нк10	370	4,2-4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	9,0	15,9	58,9	7,1	5,7	1,9				1,39	1,69					0,131		2,67												
			n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6				6	6	4	4	4	4	6		6												
			An	0,8	1,6	3,5	7,3	10,3	17,1	20,1	34,6	2,9	1,2	0,5				1,51	1,78	1,50	0,60	41	38	0,095		2,63												
ИГЭ-3 Насыпные грунты: пески крупные																																						
13	584нк5	23	1,0-1,3	7,3	5,6	10,6	25,8	11,6	12,2	5,4	20,3	0,6	0,6					1,64	1,87	2,95	1,54	38	36	0,064		2,61												
14	584нк9+60	33	1,3-1,6	0,0	6,1	9,0	16,3	17,7	18,1	8,5	22,9	0,6	0,8					1,57	1,77	2,04	0,24	40	36	0,052		2,63												
15	588нк4	103	0,4-0,7	5,3	10,4	14,5	26,7	10,7	9,3	2,9	19,2	0,6	0,4					1,52	1,78	3,39	1,75	39	36	0,045		2,63												
16	590нк8	153	0,4-0,7	6,8	7,3	10,1	14,8	14,3	21,1	5,2	17,0	2,1	1,3					1,59	1,85	2,36	0,83	42	41	0,068		2,61												
			n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					4	4	4	4	4	4	4		4												
			An	4,9	7,4	11,1	20,9	13,6	15,2	5,5	19,9	1,0	0,8					1,58	1,82	2,69	1,09	40	37	0,057		2,62												
ИГЭ-3а Насыпные грунты: Песок гравелистый																																						
17	588нк10	118	0,5-0,8	23,9	8,4	12,4	23,6	7,5	7,2	1,9	13,4	0,3	1,0	0,4				1,67	1,91	8,61	0,74	43	42	0,050		2,60												
18	589нк9	133	0,5-0,8	19,8	10,5	9,5	18,8	8,2	6,4	6,6	13,6	4,6	1,9	0,1				1,68	1,94	3,16	0,54	43	42	0,058		2,62												
19	594нк4	233	0,8-1,0	17,9	8,7	12,9	25,1	6,1	7,3	4,4	15,8	1,6	0,2	0,0				1,61	1,91	1,98	0,54	43	41	0,056		2,64												
20	595нк3	248	0,4-0,7	15,0	9,3	13,6	13,8	8,1	16,0	8,1	12,5	1,2	1,2	1,2				1,81	2,02	1,12	0,12	44	42	0,056		2,65												
21	596нк2	263	0,4-0,7	20,8	12,7	9,4	23,7	8,2	13,5	6,6	2,7	0,7	1,5	0,2				1,59	1,83	2,72	0,21	43	41	0,054		2,65												
22	597нк1	283	0,4-0,7	26,2	9,4	8,7	9,7	9,5	16,1	9,8	10,6	0,0	0,0	0,0				1,44	1,68	8,17	3,25	41	38	0,050		2,63												
23	598нк9	323	0,6-0,9	19,1	4,1	8,3	13,8	8,2	16,4	9,6	15,4	2,2	2,2	0,7				1,59	1,86	1,62	0,28	44	42	0,063		2,64												
24	599нк8	338	0,5-0,8	25,5	6,7	10,6	18,6	6,7	10,6	5,1	14,0	0,5	1,2	0,5				1,67	1,93	1,10	0,22	44	43	0,062		2,66												
25	601нк6	383	0,7-1,0	28,1	7,6	10,6	20,6	7,1	8,4	4,0	11,8	0,4	1,0	0,4				1,66	1,92	1,86	0,31	43	42	0,051		2,70												
26	603нк4	423	0,6-0,9	14,2	6,3	10,6	12,6	9,5	17,2	8,8	19,0	0,6	0,3	0,9				1,65	1,98	1,82	0,37	43	41	0,051		2,68												
27	604нк3	438	0,5-0,8	21,1	8,9	10,5	16,7	8,3	11,7	6,1	14,5	1,1	1,1	0,0				1,72	2,03	1,24	0,19	44	42	0,049		2,63												
			n	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11				11	11	11	11	11	11	11		11												
			An	21,1	8,4	10,6	17,9	7,9	11,9	6,5	13,0	1,2	1,1	0,4				1,64	1,91	3,04	0,62	43	41	0,055		2,64												
Биогенные отложения bIV																																						
ИГЭ-4 Торф среднеразложившийся																																						
28	601нк6	385	0,2-0,4															0,714							4,710	1,10	1,71	7,893	1,02						28			
29	601нк9	386	1,1-1,3															0,839							5,622	1,01	1,64	9,741	0,95						32			
			n															2							2	2	2	2	2									
			An															0,777							5,166	1,055	1,68	8,817	0,98							30		
ИГЭ-4а Пески пылеватые слабозаторфованные																																						

Приложение 7. Сводная таблица нормативных и расчетных значений физико-механических характеристик грунтов

Геологический индекс	Номенклатурное название	№№ ИГЭ	Характеристика	Природная влажность W	Плотность грунта ρ	Плотность грунта, г/см ³		Коэффициент пористости e	Число пластичности Ip	Показатель консистенции ПЛ	Кф, м/сут		Угол откоса, °		Показатели прочности		Модуль общей деформации E ₀ МПа (кг/см ²)	Предел прочности на одноосное сжатие R _c МПа	Расчетное сопротивление R _b МПа
						ρ_{min}	ρ_{max}				рыхлое сложение	плотное сложение	сухой	водонасыщ.	Угол внутреннего терния ϕ , град	Сцепление C, кПа (кг/см ²)			
tIV	Насыпные грунты: щебень	1	X _н	0,06	-	1,67	1,92	-	-	-	1,39	0,27	42	43	-	-	-	-	250
			X _т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			X _п	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
tIV	Насыпные грунты: пески пылеватые	2	X _н	0,09	-	1,50	0,60	-	-	-	1,50	0,60	41	38	-	-	-	-	180
			X _т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			X _п	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
tIV	Насыпные грунты: пески крупные	3	X _н	0,06	-	1,58	1,82	-	-	-	2,69	1,09	40	37	-	-	-	-	250
			X _т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			X _п	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
tIV	Насыпные грунты: песок гравелистый	3а	X _н	0,05	-	1,64	1,91	-	-	-	3,04	0,62	43	41	-	-	-	-	250
			X _т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			X _п	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
bIV	Торф среднеразложившийся	4	X _н	5,17	1,02	-	-	8,817	-	-	-	-	-	-	22	2(0,20)	0,25(2,5)	-	-
			X _т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			X _п	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
bIV	Пески пылеватые слаботорфованные	4а	X _н	0,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60
			X _т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			X _п	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
lgIIIvp-lz	Супеси пылеватые пластичные	5	X _н	0,20	2,05	-	-	0,567	0,056	0,55	-	-	-	-	26	15(0,15)	24(240)	-	100
			X _т	-	1,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	10(0,10)	-	-	
			X _п	-	2,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	12(0,12)	-	-	
lgIIIvp-lz	Супеси песчанистые твердые	5а	X _н	0,16	2,14	-	-	0,457	0,054	-0,11	-	-	-	-	31	22(0,22)	33(330)	-	350
			X _т	-	2,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	15(0,15)	-	-	
			X _п	-	2,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	18(0,18)	-	-	
lgIIIvp-lz	Суглинки легкие пылеватые полутвердые	6	X _н	0,21	2,06	-	-	0,597	0,083	0,16	-	-	-	-	25	34(0,34)	25(250)	-	285
			X _т	-	2,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	23(0,23)	-	-	
			X _п	-	2,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	27(0,27)	-	-	
lgIIIvp-lz		9	X _н	0,20	1,96	1,36	1,61	0,626	-	-	-	-	39	36	30	4(0,04)	15(150)	-	100

Приложение 8. Категории опасности карста

Показатели, используемые при оценке категории опасности природного процесса (ОПП)	Категории опасности процессов			
	чрезвычайно опасные (катастрофические)	весьма опасные	опасные	умеренно опасные
Карст				
Площадная пораженность территории, %	-	5-80	5-50	менее 5
Частота провалов земной поверхности, случаев в год	-	Более 0,1	Менее 0,1	Менее 0,01
Средний диаметр провалов, м	-	Более 20	3-20	Менее 3
Общее оседание территории, мм/год	-	Более 5	Менее 5	Отсутствует

Таблица 6. Категории опасности карста, на основе таблицы 5.1 из СП 115.13330.2016

