

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ

Кафедра гидрогеологии

Степайкина Полина Владимировна

Выпускная квалификационная работа

**АНАЛИЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УЧАСТКА ДЛЯ
РАЗМЕЩЕНИЯ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ
УДОБРЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ГИПСОНАКОПИТЕЛЯ, ЛЕНИНГРАДСКАЯ
ОБЛАСТЬ)**

Основная образовательная программа бакалавриата

СВ.5018.2017 «Геология»

Научный руководитель: канд. техн. наук

Страупник Игорь Альбертович

_____ « » _____ 2021

Рецензент: канд. геол.-минерал. наук

Поспехов Георгий Борисович

_____ « » _____ 2021

Санкт-Петербург

2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	2
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК	3
1.1 Рельеф.....	3
1.2 Гидрография	7
1.3 Климат	11
ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ .	15
2.1 Стратиграфия.....	15
2.2 Гидрогеологические условия.....	23
ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА.....	30
3.1 Общие сведения об объекте.....	30
3.2 Геолого-литологическое строение участка	32
3.3 Гидрогеологические условия участка.....	35
3.4 Физико-механические свойства грунтов	36
3.5 Геологические процессы и явления	38
ГЛАВА 4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	50
Приложение	52

ВВЕДЕНИЕ

По мере роста численности населения и развития научно-технического прогресса увеличивается потребление природных ресурсов. Ежегодно из недр Земли извлекается около ста миллиардов тонн ресурсов. В связи с чем одной из главных проблем современного мира является рациональное использование ресурсов.

При увеличении производительности горнодобывающих предприятий, возрастает количество промышленных отходов, которые следует размещать, рационально используя имеющиеся земельные ресурсы (без отчуждения новых земель и больших капитальных вложений).

Исходя из этого *целью* данной выпускной квалификационной работы является:

- изучение инженерно-геологических условий реконструкции и наращивания гипсонакопителя в г. Волхов.

Для её достижения были поставлены следующие *задачи*:

1. Изучить геологическое строение участка работ;
2. Изучить инженерно-геологические и гидрогеологические условия участка работ;
3. Выявить опасные инженерно-геологические процессы или зоны развития специфических грунтов;
4. Произвести расчёт устойчивости гипсонакопителя.

Данная работа основана на материалах инженерно-геологических изысканий ЦИИ НМСУ «Горный» гипсонакопителя на территории Волховского филиала АО «Апатит» Группы «ФосАгро».

Выражаю благодарность за предоставленные материалы и консультации во время написания бакалаврской работы своему научному руководителю канд. тех. наук Страупник И.А.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Территория исследуемого объекта – гипсонакопителя, находится в черте города Волхов Ленинградской области в 130 км от Санкт-Петербурга.

1.1 Рельеф

Ленинградская область располагается на северо-западе Восточно-Европейской платформы, где породы осадочного чехла залегают почти горизонтально, что, в совокупности со слабой тектонической активностью региона, определяет равнинный характер рельефа. (Вербицкий, 2012)

Современный рельеф в значительной степени является моногенетическим – ледниковым. Однако, так как он в свою очередь накладывался на поверхность дочетвертичных отложений, исходя из особенностей геологических структур и литологии горных пород, можно выделить две зоны: выход кристаллического щита и осадочный чехол. Первая располагается на севере Карельского перешейка и на юго-западном побережье Онежского озера, представляющими собой выход Балтийского кристаллического щита. Для этой зоны характерен ориентированный холмисто-грядовый рельеф. Высота гряд достигает 115-130 м абсолютной высоты. По направлению с севера на юг рельеф понижается и выполаживается от абсолютных отметок 60-130 до 5-10 м. (Кофман, 1971)

Южнее кристаллический щит перекрывается осадочным чехлом с различными литологическими характеристиками. Рельеф на данной территории Ленинградской области представлен ступенчатой равниной, самая низкая ступень с абсолютными отметками +10 – -75 м – «Кембрийская» равнина, расположенная на Карельском перешейке и южном побережье Финского залива и Ладожского озера. Поверхность расчленена древними долинами с абсолютными отметками до минус 100-150 м. (Кофман, 1971)

К юго-востоку рельеф повышается до 60 м над уровнем моря в долинах рек Мги и Волхов и до 130 – 150 м на водоразделе Луги и Ижоры, образуется

«Ордовикское» плато, в состав которого входят Ижорская возвышенность и Волховское плато высотой от 20 до 120 м. «Ордовикское» плато отделено от предыдущей структуры Балтийско-Ладожским глинтом, который простирается в субширотном направлении, ширина и высота его различны. В районе Копорья его ширина составляет 4,5-7 км, а высота 60-80 м. На междуречьях Мги и Тосны, Нарвы и Луги глинт выражен слабо: высота – 60-80 м, ширина 1-2 км. «Ордовикское» плато наклонено полого к югу.

С юга к нему примыкает «Девонская» равнина, которая протягивается с северо-востока на юго-запад. Высоты относительно уровня моря изменяются от 0 до 75 м, а в юго-восточной части – от 50 до 150 м. К долинам рек Волхов и Шелонь приурочены наибольшие понижения рельефа равнины. В состав структуры входит Ильменский глинт, простирающийся вдоль берега оз. Ильмень на юго-западе. Его высота не превышает 25 м.

На востоке рассматриваемой территории располагается «Карбоновое» плато, являющееся верхней ступенью рельефа. Оно имеет уклон в восточном направлении, таким образом, абсолютные высоты с запада на восток понижаются с 200-225 м до 75-100 м. «Девонскую» равнину и «Карбоновое» плато разделяет Валдайско-Онежский уступ, высотой – 75-125 м и шириной – 10-15 км.

Вышеописанный дочетвертичный рельеф был расчленен палеодолинами рек, имеющими V-образный поперечный профиль.

В четвертичное время рельеф претерпевает изменения, связанные с чередованием ледниковых и межледниковых эпох. Происходила экзарация поверхности, образовывались новые понижения рельефа, а уже имеющиеся углублялись. Всю территорию можно разделить, по преобладающим на них процессам, на две геоморфологические провинции: денудационную и аккумулятивную. К первой относится север Карельского перешейка (выход Балтийского кристаллического щита), а ко второй – остальная территория (осадочный чехол Восточно-Европейской платформы). (Вербицкий, 2012)

В пределах Карельского перешейка гряды-сельги, межгрядовые понижения, линейные аккумулятивные ледниковые образования, речные долины и озерные впадины имеют преимущественно северо-западную ориентировку, что связано с направлением движения покровного ледника и с простираем тектонических разломов фундамента. Также на формирование рельефа влияли петрографические и структурные особенности горных пород, так, метаморфизованные и интенсивно складчатые архейские гранито-гнейсы и парагнейсы, выходящие на поверхность восточнее р. Вуоксы, способствовали образованию сильно расчлененного и четко ориентированного рельефа. В отличие от сглаженного и менее ориентированного рельефа по гранитам рапакиви, выходящим западнее р. Вуоксы. (Вербицкий, 2012)

Высота образованных сельг колеблется от 15-20 м до 50-60 м, в ширину они достигают 200 м, а в длину – до 2 км. Также на территории распространены озы высотой до 10 м и протяженностью до 8 км. На выходах кристаллических пород наблюдается ледниковая штриховка, образуются «бараньи лбы».

В аккумулятивной провинции можно выделить три зоны:

- Главный конечноморенный пояс, где происходит собственно ледниковое осадконакопление;
- Дистальная зона или внешняя (осадконакопление за счет водных потоков);
- Проксимальная зона или внутренняя (озерная аккумуляция).

Зона краевых ледниковых образований распространена от южного берега Онежского озера до р. Ловати. Она приурочена к северо-западному краю «Карбонового» плато и его склону. В её состав входит Вепсовская возвышенность и Тихвинская гряда. От проксимальной зоны отделяется Валдайским скатом, высоты которого варьируются от 150 до 220 м, а ширина – 4-7 км. Понижения с крутыми склонами, плоским днищем и U-образным поперечным профилем указывают на ледниковое выпаживание дочетвертичных отложений. Также для зоны

краевых ледниковых образований характерен интенсивно пересеченный холмисто-озерный ландшафт с абсолютными высотами 100-200 м. Развиты озы, камы, моренные гряды и холмы, флювиогляциальные дельты и т.д. Холмистые образования разделены сравнительно плоскими зандровыми, озерно-ледниковыми и моренными равнинами.

Зона краевых ледниковых образований постепенно переходит в дистальную, холмистый рельеф становится более пологим, сменяется зандровым, а затем озерно-ледниковыми равнинами.

Большую часть территории занимает проксимальная зона. Рельеф зоны разнообразен, однако имеются общие черты: основные возвышенности приурочены к выступающей кровле коренных пород; широко развит термокарст – бессточные воронкообразные котловины; широко развиты эрозионные формы рельефа – овраги и сухие ложбины; террасированность склонов. В пределах зоны выделяется три области: Балтийско-Ладожская (аккумулятивные изолированные возвышенности; абразионные и аккумулятивные равнины); Волхово-Ловатская (аккумулятивно-абразионные равнины с аккумулятивными линейными образованиями; денудационное плато); Ижорско-Бежаницкая (изолированные аккумулятивные и денудационные возвышенности и аккумулятивно-абразионные равнины с участками камов и грядами). (Вербицкий, 2012)

1.2 Гидрография

Ленинградская область почти целиком относится к бассейну Балтийского моря, за исключением района, отделенного с северо-запада Вепсовской возвышенностью, который относится к бассейну Каспийского моря.

Суммарная протяженность речной сети области составляет около 50 тыс. км. Главной водной артерией считается р. Нева (длина – 74 км, площадь водосбора 281000 кв. км, в том числе частного водосбора – около 5 тыс. кв. км, средний расход воды – 2500 м³/с), она соединяет Финский залив и Ладожское озеро и протекает по Приневской низменности. Около 10 тыс. лет назад в послеледниковый период на территории низменности находилось Балтийское ледниковое озеро, его спуск привел к обособлению Ладожского озера, которое изначально соединялось с Финским заливом через Гейнийокский пролив. В результате трансгрессии Ладожского озера, которое связывают с возникновением стока из системы Большой Саймы, произошел прорыв Балтийско-Ладожского водораздела в его южной части, вследствие чего образовалась р. Нева. Река судоходная и является частью Беломорско-Балтийского канала и Волго-Балтийского водного пути. ("Институт Озероведения Российской академии наук "электронный ресурс).

Реки Свирь (длина – 224 км, площадь водосбора 84000 кв. км, средний расход воды - 785 м³/с) и Волхов (длина – 224 км, площадь водосбора 80200 кв. км, средний расход воды - 593 м³/с) также, как и Нева протекают на месте палеозер и являются, по сути, протоками между Онежским – Ладожским и Ильменем – Ладожским озерами соответственно. В нижнем течении Волхова и среднем – Свири существовали пороги, однако из-за постройки ГЭС их уровень поднялся, пороги затопило. Реки стали судоходными, сформировалось Верхнесвирское водохранилище. Сток воды р. Волхов из-за колебаний уровня озера Ильмень характеризуется неравномерным режимом. В то же время сток Свири отличается равномерным режимом, так как зависит от уровня Онежского озера.

Река Вуокса (длина – 156 км, площадь водосбора 68500 кв. км, средний расход воды - 648 м³/с) берет своё начало в озере Сайма и является озёрно-речной системой, включающей ряд озёр и протоков. На реке построены две гидроэлектростанции. Вуокса имеет выход в Ладожское озеро близ города Приозерск. ("Институт Озероведения Российской академии наук "электронный ресурс).

Река Сясь (длина – 260 км, площадь водосбора 7300 кв. км, средний расход воды – 53 м³/с) берёт своё начало из болот западного склона Валдайской возвышенности, протекает по Приладожской низменности и впадает в Волховскую губу Ладожского озера. Вода имеет красно-бурый оттенок из-за большой концентрации оксида железа.

Выше перечисленные реки относятся к бассейну Ладожского озера, помимо них следует рассмотреть реки бассейна Финского залива: р. Нарва и р. Луга.

Река Нарва (длина – 77 км, площадь водосбора 56200 кв. км, средний расход воды - 399 м³/с) берёт свой исток в Чудском озере и впадает в Нарвскую губу Финского залива. В русле реки находятся Нарвские водопады и Омутские пороги. Также в нижнем течении реки построена Нарвская гидроэлектростанция, плотина которой образует Нарвское водохранилище, которое является судоходным.

Река Луга (длина – 353 км, площадь водосбора 13200 кв. км, средний расход воды - 93 м³/с) имеет сток в Тесовских болотах Новгородской области и впадает в Лужскую губу Финского залива. Река судоходна на отдельных участках. Нарва и Луга связываются рекой Россонь, которая течёт то в одну сторону, то в другую, в зависимости от количества воды в Луге и Нарве. На р. Луге расположена Кингисеппская гидроэлектростанция, которая в настоящий момент консервирована. ("Институт Озероведения Российской академии наук "электронный ресурс).

Реки питаются, в основном, за счет атмосферных осадков и снегового таяния, а также за счет подземных вод. В связи с чем для них характерно весеннее половодье, а зимой и летом наблюдается меженный период. Осенью и летом при обилии атмосферных осадков происходят паводки.

Реки Ленинградской области покрыты льдом с ноября – декабря по апрель – май.

Ленинградская область отличается большим количеством озер, что связано с ледниковой деятельностью на территории. Таким образом образовались крупные озера: Ладожское, Онежское, Рощинские. Они, как правило, имеют большие глубины, в отличие от озёр, образовавшихся за счет подпруживания моренными холмами и грядами талых ледниковых вод. Многие озёра соединены протоками, образуя озёрно-речные системы.

Помимо озёр ледникового происхождения, на территории Ленинградской области расположены старичные и пойменные озера. На побережье Финского залива есть лагунные солоноватые озера. На востоке территории находятся карстовые озера, которые могут исчезать в засушливое время.

На территории области, в общей сложности, находится более 6800 водоёмов и 90% из них естественного происхождения, остальные – различные пруды, водохранилища и котлованы (см. Таблица 1). Общие ресурсы лимнических вод – около 334 куб. км.

Крупнейшим озером области является Ладожское, оно используется как основной источник водоснабжения, а также как основной промысловый водоём. Здесь добывается до 90% пресной рыбы в области.

Таблица 1. Распределение водоемов Ленинградской области (включая искусственного происхождения) по градациям площадей (N – число водоемов, относящихся к данной градации, S- суммарная площадь водного покрытия. кв. км). ("Институт Озероведения Российской академии наук "электронный ресурс).

Градации площади, кв. км		>100	50-100	10-50	5-10	1-5	0,2-1	0,05-0,2	<0,05	Итого
Северо-Запад	N		2	12	21	77	230	290	1070	1700
	S		154	268	148	156	102	31	13,3	872
Юго-Запад	N	1		5	6	49	110	150	1260	1580
	S	191		114	43	116	50	15	11	540
Восток	N	1		5	10	87	340	540	2520	3500
	S	182		83	69	190	150	56	23,4	753

Различия в геохимических и гидрологических режимах озёр обуславливают своеобразие ихтиофауны. В хорошо прогреваемых мелководных озёрах в основном живут окуневые и карповые рыбы, а в холодных глубоководных – сиговые.

1.3 Климат

Ленинградская область находится в умеренном климате, переходящим от морского к континентальному. Морские воздушные массы обеспечивают умеренно-тёплое лето и мягкую зиму с частыми оттепелями. Из-за частой смены воздушных масс (морских, арктических и континентальных) погода изменчива, что является особенностью региона. Морские воздушные массы приходят с юго-запада, северо-запада или запада и приносят ветреную, пасмурную погоду с осадками. Летом они несут прохладу, а зимой – потепление. Континентальные воздушные массы, приходящие с юга, востока или юго-востока обуславливают сухую малооблачную погоду, летом жаркую, зимой холодную. Арктические воздушные массы приходя с северо-востока и севера, являются причиной резкого понижения температуры воздуха и ясной погоды. (ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» электронный ресурс).

Помимо изменчивости погодных условий, на территории наблюдаются опасные метеорологические явления такие как: гололёд, метели, снегопады, шквальные ветра и смерчи, туман, град, продолжительные дожди и кратковременные ливни, грозы, наводнения, засуха и лесные пожары.

Максимальная амплитуда колебаний среднегодовой температуры составляет 26-30°. ("Институт Озероведения Российской академии наук" электронный ресурс). На большей части территории самым холодным месяцем в году является январь, а вблизи крупных водоемов и на западе – февраль; самым тёплым – июль (см. Таблица 2). Данные климатических параметров теплого и холодного периодов приведены в таблицах 2-4.

Таблица 2. Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С (ГОСТ 131.13330.2018 Таблица 5.1).

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
-6,6	-6,3	-1,5	4,5	10,9	15,7	18,3	16,7	11,4	5,7	0,2	-3,9	5,4

Таблица 3. Климатические параметры холодного периода года. (ГОСТ 131.13330.2018)

Температура воздуха		Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С	Продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха						Количество осадков за ноябрь-март, мм
наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью	°С, обеспеченностью 0,94			0°С		8°С		10°С		
				продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура	
0,98	0,92	-11	5,3	131	-4,6	213	-1,3	232	-0,4	202
-32	-27	-36								

Таблица 4. Климатические параметры тёплого периода года. (ГОСТ 131.13330.2018)

Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,95	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,98	Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С	Количество осадков за апрель - октябрь, мм
22	25	22,1	37	8,0	423

Согласно климатическому районированию по ГОСТ 131.13330.2018 (см. Таблица 5) территория Санкт-Петербурга и Ленинградской области относится к подрайону ПВ.

Таблица 5. Климатическое районирование ГОСТ 131.13330.2018

Климатические районы	Климатические подрайоны	Средне-месячная температура воздуха в январе, °С	Средняя скорость ветра за три зимних месяца, м/с	Средне-месячная температура воздуха в июле, °С	Средне-месячная относительная влажность воздуха в июле, %
II	IIА	От -4 до -14	5 и более	От +8 до +12	Более 75
	IIБ	От -3 до -5	5 и более	От +12 до +21	Более 75
	IIВ	От -4 до -14	-	От +12 до +21	-
	IIГ	От -5 до -14	5 и более	От +12 до +21	Более 75

Наибольшее количество осадков – в августе, наименьшее – в феврале. Глубина сезонного промерзания 1,4 м. Средняя высота снежного покрова 33 см, наибольшая 61 см (см. рис. 1).

Нормативная глубина сезонного промерзания грунтов вычисляется в соответствии с п. 5.5.3 СП 22.13330.2016 и т. 5.1 ГОСТ 131.13330.2018 по формуле:

$$d_{fn} = d_0 \sqrt{M_t}$$

Где d_0 - величина, принимаемая равной для суглинков и глин 0,23 м; супесей, песков мелких и пылеватых - 0,28 м; песков гравелистых, крупных и средней крупности - 0,30 м; крупнообломочных грунтов - 0,34 м;

M_t - безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за год в данном районе, принимаемых по СП 131.13330.2016.

Таким образом, нормативная глубина сезонного промерзания составляет:

- для суглинков и глин – 0,98 м;
- для супесей, песков мелких и пылеватых – 1,28 м;
- для крупнообломочных грунтов – 1,45

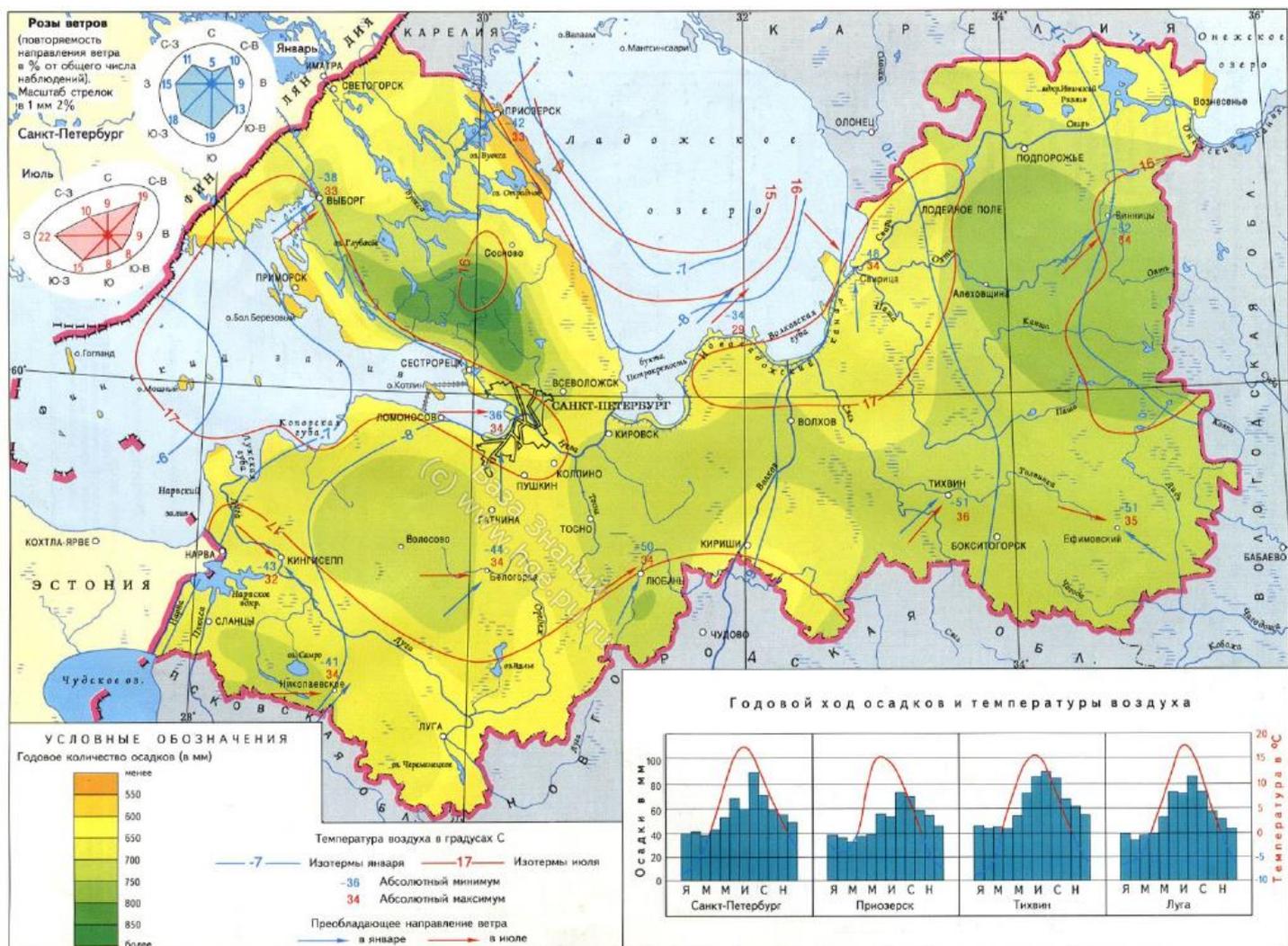


Рисунок 1. Климатическая карта Санкт-Петербурга и Ленинградской области. ("СПБО ИГЭ РАН и МНЦ Гидрогеоэкологии" электронный ресурс)

ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

2.1 Стратиграфия

В геологическом строении региона участвуют архей-нижнепротерозойские магматические и метаморфические породы, которые слагают кристаллический фундамент, а также верхнепротерозойские-фанерозойские образования платформенного чехла общей мощностью до 2500 м.

На севере Карельского перешейка обнажается Балтийский кристаллический щит, где с поверхности развиты древние метаморфизованные толщи, сложенные слюдяными, биотитовыми и амфиболо-биотитовыми гнейсами, а также кристаллическими сланцами с интрузиями основных и кислых пород. В западной части – на территории Выборгского района находится Выборгский плутон, сложенный щелочными гранитами-рапакиви, датированный 1640 ± 4 млн лет. Более молодыми считаются граниты-рапакиви восточного берега Ладожского озера (1530 млн лет). (Бискэ, 2019)

Осадочные породы, заполняющие Пашско-Ладожский авлакоген, представлены грубозернистыми красноцветными и серыми песчаниками приозерской свиты. Выше залегают салминские песчаники с покровами щелочных базальтов и далее песчаники пашской свиты. В осадочный разрез внедрен силл габбро-монзонитов с возрастом 1458 млн лет. (Бискэ, 2019)

Верхний рифей на территории Карельского перешейка представлен аргиллитами, песчаниками, доломитистыми известняками и реже конгломератами.

Вендские образования представлены старорусской и василеостровской свитами. Старорусская свита в основании сложена разнозернистыми полевошпатово-кварцевыми песчаниками с прослоями мелкогалечниковых конгломератов и гравелитов. Выше залегают глины зеленовато-серые уплотнённые гидрослюдистые и коричневые монтмориллонитовые, местами с прослойками витрокластических туфов. Кровля выветрелая, ожелезнённая, табачно-жёлтой окраски, с

трещинками усыхания. Свита несогласно залегает на кристаллическом фундаменте.

В разрезе василеостровской свиты отражен трансгрессивный характер осадконакопления. Таким образом, нижняя подсвита (V_{2vO1}) сложена песчаниками разнозернистыми зеленовато-серыми полевошпато-кварцевыми, слюдистыми, косослоистыми, переслаивающимися с алевролитами и глинами зеленовато-серыми, розовыми, коричневыми. Мощность нижней на западе территории составляет 10–25 м, увеличивается до 30–45 м к югу и востоку, на севере, в районе Красного Бора достигает 60 м. Верхняя подсвита (V_{2vO2}) в основании слагается песчаниками глинистыми, выше плотными тонкослоистыми «ляминаритовыми» глинами. Подсвита имеет максимальную мощность до 138 м.

Регрессивной стадии соответствует воронковская свита (V_{2vr}), распространена на западе Лужско-Ладожской моноклинали, сложена внизу пестроцветными тонкослоистыми глинами и алевролитами, вверху – белыми мелкозернистыми кварцевыми алевритами и песками. Мощность до 20 м.

Суммарная мощность поздневендских отложений достигает 250 м.

Отложения кембрийской системы (Є) в пределах данной структурно-фациальной зоны представлены следующими свитами: ломоносовской, сиверской, люкатинской, тискреской, саблинской, ладожской.

Ломоносовская свита ($Є_{1lm}$) в основании сложена разнозернистым гравелистым песчаником, выше – мелкозернистый кварцевый песчаник, который переслаивается алевролитами и глинами песчано-алевритовой зеленовато- и голубовато-серой окраски. Свита залегает с размывом на породах воронковской и василеостровской свит венда. Мощность с северо-запада на восток и юго-восток увеличивается с 4 до 23 м.

Сиверская свита ($Є_{1sv}$) представлена глинами голубовато-зеленовато-серыми алевритистыми, гидрослюдистыми, редко монтмориллонитовыми. В основании прослой песчаника мелкозернистого кварцевого и алевролита. В кровле

глины местами коричневые, фиолетово-серые, в кровле часто выветрелые – до белых каолиновых. Мощность свиты с запада на юг уменьшается с 120 до 70 м.

Люкатинская свита (E_{1lk}) распространена на западе территории – от р. Нарвы до р. Сума, также выходит на поверхность в обнажениях рек Нарвы и Луги. Она сложена переслаивающимися алевролитами, глинами и глинистыми тонкозернистыми песчаниками. В основании глины голубовато-зеленовато-серые гидрослюдистые с глауконитом, алевритовые тонкослоистые. В верхней части разреза преобладают песчаники и алевролиты кварцевые с примесью полевых шпатов и слюды. Мощность свиты до 5-6 м. (Вербицкий, 2012)

Тискреская свита (E_{1ts}) простирается на западе, в пределах участка Гатчина-Ивангород. Представлена алевритами и песчаниками светло-серыми мелкозернистыми палевошпатово-кварцевыми с прослойками голубых гидрослюдистых глин. Мощность свиты до 20 м.

Саблинская свита (E_{2sb}) сложена слабо литифицированными песчаниками светло-серыми, иногда розоватыми и желтоватыми мелкозернистыми кварцевыми, редко полевошпатово-кварцевыми, горизонтально- и косослоистыми, с линзами грубозернистых гравелитистых песчаников, а также карбонатных и кремнистых, встречаются гнезда и прослой бурых и красноватых песчаников и «бобовины» окислов железа в кровле. Присутствуют остатки оболусов. Свита с размывом залегает на сиверских глинах. Мощность свиты в приглинтовой зоне 10–17 м, а на юге до 28 м. (Вербицкий, 2012)

Ладожская свита (E_{3ld}) слагает предглинтовую область, представлена песчаниками и песками светло-серыми, желтоватыми кварцевыми ожелезненными, горизонтально- и косослоистыми с прослоями глинистых алевролитов и глин темно-серых, голубоватых и фиолетовых в средней части. В породе содержатся остатки беззамковых брахиопод. Залегает на саблинской свите с размывом. Мощность возрастает в южном направлении с 1-3 м до 14-18,8 м.

Ломашкинская свита (E_3ls) распространена в Ломоносовском районе Ленинградской области. Состоит из мелко- и среднезернистых слабосцементированных кварцевых песчаников, содержащих неравномерное количество целых раковин беззамковых брахиопод и детрита. Окраска пород меняется от подошвы к кровле от коричнево-серой до светло-желтовато-серой. Свита залегает на отложениях люкатинской и тискреской свит с размывом. Мощность до 7 м.

Ордовикские отложения распространены на большей части территории и ограничены с севера линией Балтийско-Ладожского глинта. Разрез отражает трансгрессивное осадконакопление. В пределах Ленинградской области ордовикские отложения отличаются большим разнообразием, но далее будут рассмотрены лишь некоторые из них, а именно следующие свиты: тосненская, копорская, леэтсеская, волховская, обуховская.

Тосненская свита (O_{1ts}) сложена средне-мелкозернистыми светло-коричневыми кварцевыми косослоистыми песками, в подошве есть «карманы», глубиной до 10 см, заполненные фосфатными гальками и детритом. В разрезе наблюдаются детрит и раковины беззамковых брахиопод *Obolus apollinis* Eichw, *Schmidtites celatus* (Volb.) и др., а также конодонты *Cordylodus proavus* Müll. На Ижорской возвышенности и в приглинтовой части выявлены перспективные участки и месторождения ракушечных фосфоритов. Свита залегает на ладожской с размывом, её мощность в среднем 2,5-3 м, иногда достигает до 5 м. (Вербицкий, 2012)

Копорская свита (O_{1kp}) сложена в нижней части разреза переслаивающимися мелкозернистыми песчаниками и почти черными керогенистыми аргиллитами, которые местами могут замещаться сланцеватыми битуминозными глинами, включающими остатки граптолитов. А в верхней – сланцеватыми керогенистыми плотными черными аргиллитами с конкрециями антраконита. Мощность свиты от 2,5-3 м до 6,5 в окрестностях пос. Копорье.

Тосненская и копорские свиты образуют пакерортский горизонт, сланцевая часть которого обогащена ураном, ванадием и платиной. (Бискэ, 2019)

Леэтсеская свита (O_{1lt}) сложена мелкозернистыми глинистыми песчаниками и песками с многочисленными (до 50%) зернами глауконита, что придаёт породе тёмно-зелёный цвет. Ближе к кровле можно встретить стяжения доломитов и известняков, в которых присутствует полуокатанный детрит беззамковых брахиопод. Помимо этого, в отложениях встречаются трилобиты. Мощность свиты не больше 0,5 м. (Вербицкий, 2012)

Волховская свита (O_{2vl}) состоит из глауконитовых известняков, и разделяется на три подсвиты: «дикари», «желтяки» и «фризы». «Дикари» характеризуются наиболее плотными и относительно толстыми пластами пёстрых биотурбированных известняков. На подошве находится «бархат» - скопление зёрен глауконита. Мощность свиты от 0,7-0,8 до 2,2 м.

«Желтяки» сложены тонкоплитчатыми мелкокристаллическими, глинистыми, местами органогенными известняками с яркой пятнистой окраской, преимущественно охристо-желтой и фиолетово-бурой, с прослоями мергелистых глин и доломитов. Присутствуют конодонты и граптолиты. Мощность свиты меняется с 0,3-0,6 м до 1-2 м. (Палеонтолого-стратиграфический музей кафедры динамической и исторической геологии Санкт-Петербургского государственного университета" электронный ресурс)

«Фризы» представлены известняками, переходящими местами в доломиты, тонкослоистые с редкими тонкими прослоями глин и мергелей, зеленовато-серые слегка фиолетовые и с примесью глауконита. Мощность 0,9-4,0 м.

Вся свита характеризуется также наличием брахиопод, наутилоидей, трилобитов и остракод. Суммарная мощность свиты не превышает 6 м.

Обуховская свита (O_{2ob}) распространена совместно с волховской по глинту и прилегающей к нему территории. Сложена тонкоплитчатыми желто-

вато- и светлосерыми, реже – темно-серыми доломитами и известняками с прослоями известковистых мергелей и глин. Как и в волховской свите, в ней содержатся брахиоподы, конодонты, остракоды, трилобиты, наутилоидеи, а также акритархи. Мощность возрастает в южном направлении от 5,5 м до 12 м, изредка до 16,5 м. (Палеонтолого-стратиграфический музей кафедры динамической и исторической геологии Санкт-Петербургского государственного университета" электронный ресурс)

Силурийские отложения на территории Ленинградской области не представлены.

Девонские отложения распространены на юге и юго-востоке территории и представляют собой восточную часть Главного девонского поля. Среднедевонские отложения представлены песчаниками, песками, доломитами и мергелями с прослоями глин и алевролитов. Их мощность 170 м.

Верхний девон сложен пёстрыми микрокристаллическими доломитами с прослоями глинистых мергелей, а также известняками, ракушечниками и глинами. Общая мощность отложений не превышает 100 м.

Каменноугольные образования распространены в юго-восточной части Ленинградской области. Представлены терригенно-карбонатными и карбонатно-терригенными отложениями нижнего и среднего карбона. Общая мощность до 250 м. (Вербицкий, 2012)

Четвертичная система

Четвертичные отложения плащеобразно перекрывают денудированную поверхность палеозойских пород. Распространены повсеместно и имеют различный генезис, но по большей части имеют ледниковое происхождение.

Нижнеплейстоценовые отложения представлены окским ледниковым горизонтом и являются флювиогляциальными и ледниково-озёрные. Горизонт

сложен песками тонко- и мелкозернистыми, с линзами и прослоями крупнозернистого песка с примесью гальки и гравия, суглинками, алевритами, тонкослоистыми глинами и супесями. Мощность достигает 50 м.

Днепровский горизонт представлен моренными отложениями: серыми, зеленовато-серыми суглинками с большим количеством включений валунов гранитов, гранитогнейсов и порфиритов.

Московский горизонт (средний неоплейстоцен) представлен флювиогляциальными, ледниково-озёрными, озёрными и ледниковыми отложениями. Основная московская морена сложена грубыми валунными суглинками, реже валунными супесями и глинами, местами известковистыми. Состав включений зависит от подстилающих пород: гранитов, гранитогнейсов, девонских осадочных пород и т.д. В морене встречаются линзы, прослои и гнёзда водно-ледниковых отложений.

Флювиогляциальными отложениями сложены озы, камы и долинные зандры. Представлены разномышными песками, с примесью гальки и гравия, с линзами и прослоями гравийно-галечного материала. Мощность не более 20 м. Ледниково-озёрные отложения сложены супесями, суглинками, песками и глинами, иногда ленточными. Мощность до 15 м, а в понижениях до 60 м. Озёрные отложения сложены желтовато-зелёными, голубовато-серыми суглинками и глинами, а также алевритами и илистыми песками.

Морские отложения микулинского горизонта (верхний неоплейстоцен) распространены в пределах Ладожского озера и южного берега Финского залива. Они представлены чёрными, тёмно-серыми, зеленовато-чёрными суглинками и глинами, как правило гумусированными, с запахом битума, с включениями раковин морских моллюсков и вивианита. Реже представлены супесями и песками. Общая мощность до 30 м.

На территории Ленинградской области повсеместно распространены отложения валдайского надгоризонта с различным генезисом. В его составе выделяют подпорожский горизонт, слагаемый ледниковыми (красно-бурыми и серовато-коричневыми валунными суглинками) и флювиогляциальными (разнозернистыми песками с включениями гальки и гравия) отложениями.

Ленинградский горизонт средневалдайского мегаинтерстадиала представлен континентальными водными осадками: суглинками, алевритами, тонкозернистыми пылеватыми песками, илами, торфом, гиттием. Мощность достигает 24 м.

В осташковское время происходит похолодание и новое наступание ледника и его последующая деградация, с чем связано генетическое разнообразие осадков: аллювий, лимноаллювий, лимний, лимногляциальный и гляциаллювиальный перлювий. Приледниковый перигляциальный гляциолимний, перлювий образуют валы, сложенные крупногалечно-мелковалунным материалом. Лимноаллювий сложен тонко- и мелкозернистыми песками, с хорошей сортировкой, с мощностью от 3 до 12 м. Лимний сложен мелкозернистыми песками, реже суглинками, глинами, мергелями, сапропелем и торфом. Аллювий слагает первую и вторую надпойменные террасы крупных рек, представлен разнозернистыми песками с горизонтальной и кривой слоистостью. Мощность до 22 м.

Морена осташковского оледенения сложена красновато-коричневыми, серо-бурыми и буро-коричневыми валунными суглинками, супесями и глинами. Она распространена на дне Финского залива, где мощность отложений колеблется от 0 до 60 м.

Голоценовые отложения распространены повсеместно и представлены континентальными осадками водного ряда, биогенными, эоловыми, морскими и техногенными.

2.2 Гидрогеологические условия

В составе территории Ленинградской области выделяются две гидрогеологические структуры: Балтийский гидрогеологический массив и Ленинградский артезианский бассейн. К первому относится северная часть области, а именно, Карельский и Онего-Ладожский перешейки; ко второму – остальная территория. (Грейсер, 2005)

К отложениям неоплейстоцена и голоцена приурочен четвертичный водоносный комплекс (ВК), развит повсеместно, мощность меняется от единиц до 80 м. Литологический состав четвертичных отложений – пески разной зернистости, супеси, алевриты, суглинки, глины, торфы, галечники. Ледниковые валунные суглинки и глины служат относительными водоупорами и разделяют пласты обводнённых пород, которые в свою очередь сложены песками. Безнапорные воды развиты с поверхности и образуют единый надморенный горизонт. К внутриморенным песчаным прослоям и линзам приурочены напорные воды. Таким образом, в зависимости от положения в разрезе, степени проницаемости и литологического состава пород выделяют относительно водоупорные горизонты (ВУГ), межморенные, моренные и надморенные водоносные горизонты (см. рис.2). (Вербицкий, 2012)

Глубина залегания надморенных горизонтов в пределах плоских равнин и болотных массивов не больше 1,0 м, на возвышенностях – 3,5-10 м. Питание происходит за счет инфильтрации метеорных вод, разгружаются горизонты в поверхностные водоёмы и водотоки. По результатам опытно-фильтрационных работ, коэффициент фильтрации вмещающих пород меняется от 0,0025 м/сут (в торфах и глинах) до 25 м/сут (в крупнозернистых песках и галечниках). Воды в основном пресные, с минерализацией до 1 г/дм³, имеют различный химический состав, обусловленный как природными факторами, так и антропогенными, так как воды не защищены от поверхностного загрязнения. (Вербицкий, 2012)

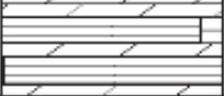
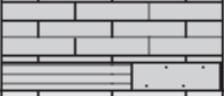
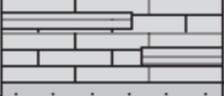
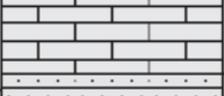
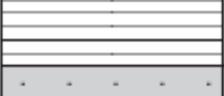
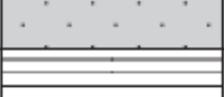
Группа	Система	Отдел	Литологическая колонка	Краткое описание пород	Мощность, м	Гидрогеологическое подразделение, индекс
Кайнозой	Четвертичная			Песок, супесь, суглинок, глина, суглинок валунный	5-80	Четвертичный ВК, Q
Палеозой	Карбон	средний		Известняк, доломит	15-55	Московский ВГ, C ₂ ms
				Глина, мергель	5-10	Верейский ВУГ, C ₂ vr
		нижний		Известняк, доломит, глина	50-80	Веневско-протвинский ВК, C ₁ vp-pr
				Песок, известняк, глина	55-90	Малеовско-михайловский ВК, C ₁ ml-mh
	Девон	верхний		Песок, глина, известняк, песчаник	5-140	Верхнедевонский ВК, D ₃
				Известняк, доломит, глина	10-135	Саргаевско-даугавский ВК, D ₃ sr-dg
		средний		Песок, песчаник, алевролит	15-140	Арукуласко-швянтойский ВК, D ₂ ar-D ₂ sv
				Мергель, доломит, известняк, глина	20-55	Наровский относительно ВУГ (СВУГ), D ₂ nr
	Ордовикский	вер. ср. ниж.		Известняк доломитизированный, доломит	5-130	Ордовикский ВК, O
		Кембро-ордовикский	вер. ср.		Песок, песчаник, глина	2-60
	нижний			Глина	2-130	Лонтоваский ВУГ, E ₁ ln
				Песок, алеврит, глина	5-60	Ломоносовский ВГ, E ₁ lm
Протерозой (верхний)	Венд		Глина	50-130	Верхнекотлинский ВУГ, V kt ₂	
			Песчаник, песок, глина	10-80	Вендский ВК, V	
Архей-нижний протерозой				Гнейсы, граниты, мигматиты	-	Архей-протерозойская водоносная зона, AR-PR

Рисунок 2. Гидрогеологическая стратиграфическая колонка: ВК - водоносный комплекс; ВГ — водоносный горизонт; СВУГ — слабоводоносный горизонт; ВУГ — водоупорный горизонт. (Грейсер, 2005)

В Ленинградской области выделяют *московско-валдайский* (верхний) и *днепровско-московский* (нижний) межморенные водоносные горизонты (ММВГ). Разделяют их отложения московской морены, которые служат относительно водоупорным горизонтом. Напор подземных вод для нижнего ММВГ составляет 40-60 м, а для верхнего – 20-40 м. Пьезометрический уровень залегает на глубинах 10-20 м в пределах водораздела, а в долинах рек и на побережье Финского залива на высоте 1-10 м. Водопроницаемость составляет 20–50 м²/сут.

Воды четвертичного комплекса имеют преимущественно гидрокарбонатный состав с минерализацией 0,2–0,3 г/дм³. Содержание железа, как правило, превышает нормы, при этом содержание фтора оказывается в разы меньше нормы. Воды не отвечают требованиям СанПиН 2.1.4.1074–01. (Грейсер, 2005)

К каменноугольным отложениям приурочены следующие гидрогеологические структуры: московский ВГ, верейский ВУГ, веневско-протвинский водоносный комплекс (ВК), малевско-михайловский ВК. Их воды магниево-кальциевые и карбонатно-кальциевые с минерализацией 0,2–0,4 г/дм³, жёсткие.

Московский водоносный горизонт (ВГ) развит в пределах Карбонового плато. Залегает на глубине 0,5–15 м под четвертичными отложениями. Вмещающие породы сложены закарстованными и трещиноватыми карбонатными породами мощностью 15–55 м. Водопроницаемость составляет 100-200 м²/сут. Воды безнапорные, двигаются в юго-восточном направлении. Глубина залегания подземных вод 0,5-10 м.

Верейский водоупорный горизонт расположен на юго-востоке Ленинградской области, сложен красноцветными глинами с прослоями мелкозернистых песков, песчаников, известняков, доломитов и мергелей. Мощность 5-10 м.

Веневско-протвинский водоносный комплекс развит на западе Карбонового плато. Комплекс содержится в известняках и доломитах с прослоями глин, его мощность составляет 50-80 м. Водопроницаемость возрастает от 400-500

м²/сут до 1500-5000 м²/сут в зависимости от степени закарстованности и трещиноватости пород. Воды напорно-безнапорные, с пьезометрическим уровнем на глубине 0,5-30 м. Водоносный комплекс используется для водоснабжения юго-востока ЛО. (Грейсер, 2005)

Михалевско-михайловский водоносный комплекс сложен переслоением глин и песков, мощностью 55-90 м. Суммарная мощность песчаных прослоев не превышает 20 м. Комплекс практически не эксплуатируется.

Далее рассмотрим водоносные комплексы и водоупорные горизонты, связанные с девонскими отложениями. Воды в них гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией 0,2–0,4 г/дм³. Повышено содержание железа (3 мг/дм³), марганца и бора. В связи с антропогенным загрязнением в районе п. Суйда отмечается примесь нефтепродуктов.

Верхнедевонский водоносный комплекс залегает на глубине 5-60 м в переслаивающихся песках, глинах, песчаниках и известняках. Мощность комплекса с северо-запада на юго-восток увеличивается с 1-5 м до 120-140 м. Водопроницаемость различная, на большей части территории она не превышает 50 м²/сут, в районе Тихвина и Бокситогорска составляет 50-100 м²/сут. Уровень залегания подземных вод 2-7 м. Воды комплекса эксплуатируются.

Саргаево-даугаевский водоносный комплекс расположен в центральной части ЛО. Перекрывается девонскими и четвертичными отложениями, под первыми залегает на глубине 50-150 м, под вторыми – 5-10 м. водовмещающими породами являются переслаивающиеся мергели, известняки, доломиты, глины; в меньшей степени – пески. Мощность комплекса в юго-восточном направлении увеличивается с 10 до 135 м. Водопроницаемость меньше 50 м²/сут. Воды слабо-напорные и безнапорные. Скважины фонтанируют в долине р. Волхов. Комплекс эксплуатируется.

Аракюласко-швянтыйский водоносный комплекс перекрывается по большей части четвертичными отложениями, вблизи юго-западной границы ЛО

погружается под девонские породы. Комплекс залегает в красноцветных песках и песчаниках, переслаивающихся алевролитами и глинами. Мощность комплекса колеблется от 15 до 140 м. Водопроницаемость увеличивается с 50-100 м²/сут до 300-500 м²/сут. Воды слабонапорные, напор не больше 20 м. Пьезометрический уровень, в основном, устанавливается на глубине 5–10 м, местами — 35 м, вблизи водоёмов и в долинах рек устанавливается на высоте 4-8 м над поверхностью. Воды эксплуатируются для водоснабжения г. Луга. (Грейсер, 2005)

Наровский слабоводоносный (водоупорный) горизонт залегает под аракюласко-швянтской ВК и четвертичными отложениями, сложен слаботрещинистыми известняком, доломитом, мергелем и глиной, встречаются прослои песчаников и песков. Его мощность 20-55 м. На большей части территории горизонт является водоупором, кроме тех областей, где его перекрывают четвертичные породы.

Ордовикский водоносный горизонт распространён южнее Балтийско-Ладожского глинта. Водовмещающими породами являются закарстованные и трещиноватые доломиты и известняки. Мощность ВГ возрастает с северо-востока на юго-запад с 5 до 130 м. Водопроницаемость колеблется от 500-2500 м²/сут до 10000 м²/сут (на отдельных участках, где породы наиболее трещиноваты – Ижорский, Клясино, Витино). Воды как безнапорные, так и слабонапорные – фонтанируют в долинах Луга, Волхов и Оредеж на высоту до 17,5 м. Воды ВК широко эксплуатируются. По химическому составу - гидрокарбонатные кальциевомагниевого, реже магниевокальциевого, жёсткие, в пределах Волховского плато – гидрокарбонатно-сульфатные. Минерализация увеличивается с северо-запада на юго-восток от 0,2 до 0,8 г/дм³. В северной части ВГ загрязняется с поверхности, соответственно, не отвечает требованиям СанПиН 2.1.4.1074–01, в отличие от южной части ВГ. (Грейсер, 2005)

Кембро-ордовикский водоносный комплекс распространён к юго-востоку от глинта, под четвертичными породами залегает на глубине 1-10 м, под ордо-

викскими – 10-400 м. водовмещающими породами являются пески и слобосцементированные песчаники с маломощными прослоями алевролитов и глин. Мощность 2-60 м, увеличивается на юго-восток. Водопроницаемость 50-300 м²/сут. Воды напорные и высоконапорные, в приглинтовой полосе – безнапорные. Величина напора увеличивается в южном направлении от первых метров до 340 м. Уровень подземных вод залегает на глубинах 0,7-26 м. В комплекс воды перетекают из ордовикского ВК. Воды эксплуатируются для водоснабжения в риглиновых районах. Воды гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией 0,2–0,5 г/дм³. Отмечается слегка повышенные концентрации марганца, бария и брома.

Лонтоваский водоупорный горизонт сложен голубыми глинами, мощность которой увеличивается в юго-восточном направлении от 2 до 130 м. Является региональным водоупором, который отделяет пресные воды выше залегающих ВК от солоноватых и соленых вод, ниже залегающих ВК.

Ломоносовский водоносный горизонт находится под лонтоваским водоупором, отличается солоноватыми и солёными водами. На побережье Финского залива залегает на глубине 1-14 м, под голубыми глинами – на глубине до 300 м. Водовмещающими породами служат разноместные песчаники, которые переслаиваются алевролитами и глинами, с общей мощностью до 60 м. Водопроницаемость возрастает в западном направлении с 50 до 140 м²/сут. Воды напорные, величина напора увеличивается в юго-восточном направлении с 5 до 300 м. Воды гидрокарбонатно-хлоридные натриевые с минерализацией 0,5–0,7 г/дм³. Соответствуют требованиям СанПиН 2.1.4.1071–01. (Грейсер, 2005)

Верхнекотлинский водоупорный горизонт сложен глинами, мощностью 50-130 м.

Вендский водоносный комплекс залегает в песчаниках и песках с прослоями алевролитов и глин, общей мощностью 7-57 м, распространён повсеместно. Глубина залегания меняется от 27 до 212 м, достигает своего максимума на юго-

востоке ЛО. Водопроницаемость комплекса 50-100 м²/сут, 500 м²/сут в районе г. Подпорожья. Воды напорные, величина напора увеличивается на юг с 30 до 174 м. Воды в пределах Онежско-Ладожского перешейка кальциево-магниевые, гидрокарбонатные натриевые, к западу от р. Важинки — хлоридно-гидрокарбонатные натриевые. Минерализация вод изменяется от 0,2 до 0,6 г/дм³. В пределах Карельского перешейка – воды гидрокарбонатные натриево-кальциевые с минерализацией 0,1–0,4 г/дм³.

Архей-протерозойская водоносная зона развита в зоне трещиноватости и коры выветривания пород кристаллического фундамента, перекрываются четвертичными отложениями или залегают с поверхности. Водовмещающие породы — граниты, кристаллические сланцы и гнейсы. Мощность зоны колеблется от 1–2 до 50 м. Воды пресные (минерализация 0,2-0,5 г/дм³) до глубины 50 м, далее с глубиной их минерализация возрастает. Отмечают повышенную концентрацию железа. Используются только пресные воды. (Грейсер, 2005)

ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА

3.1 Общие сведения об объекте

Исследуемый объект находится в черте г. Волхов Ленинградской области, на территории Волховского филиала АО «Апатит» Группы «ФосАгро». Предприятие является единственным в России производителем триполифосфата натрия, и одним из лидеров в России по производству минеральных удобрений (ПАО «ФосАгро», электронный ресурс).

В результате переработки апатитового концентрата на предприятии в большом количестве образуются промышленные отходы, практически полностью представленные фосфогипсом, который складировается в гипсонакопителе.

Гипсонакопитель является гидротехническим сооружением наливного типа, по отношению к рельефу относится к равнинному типу с четырехсторонним обвалованием. При его сооружении вначале возводят пионерную дамбу, которая служит ограждающей конструкцией. Сложена она малопроницаемым глинистым материалом, который чаще всего представляет собой местный природный глинистый грунт. Последующие дамбы наращивания возводят, отсыпая слежавшийся фосфогипс и постепенно заполняя накопитель пульпой (см. рис. 3).

Площадь гипсонакопителя составляет около 70 га. Его ограждающие дамбы состоят из дамбы первичного обвалования, сложенной супесями и суглинками, и двух дамб наращивания, сооруженных из фосфогипса. Средняя высота ограждающей дамбы около 25 м. По степени ответственности гипсонакопитель относится к III классу.

Результатирующие углы откосов ограждающей дамбы составляют: для северной части около 15° , для восточной около 25° , для южной около 10° , для западной около 25° . Наиболее пологие откосы приурочены к участку размещения пруда-отстойника.

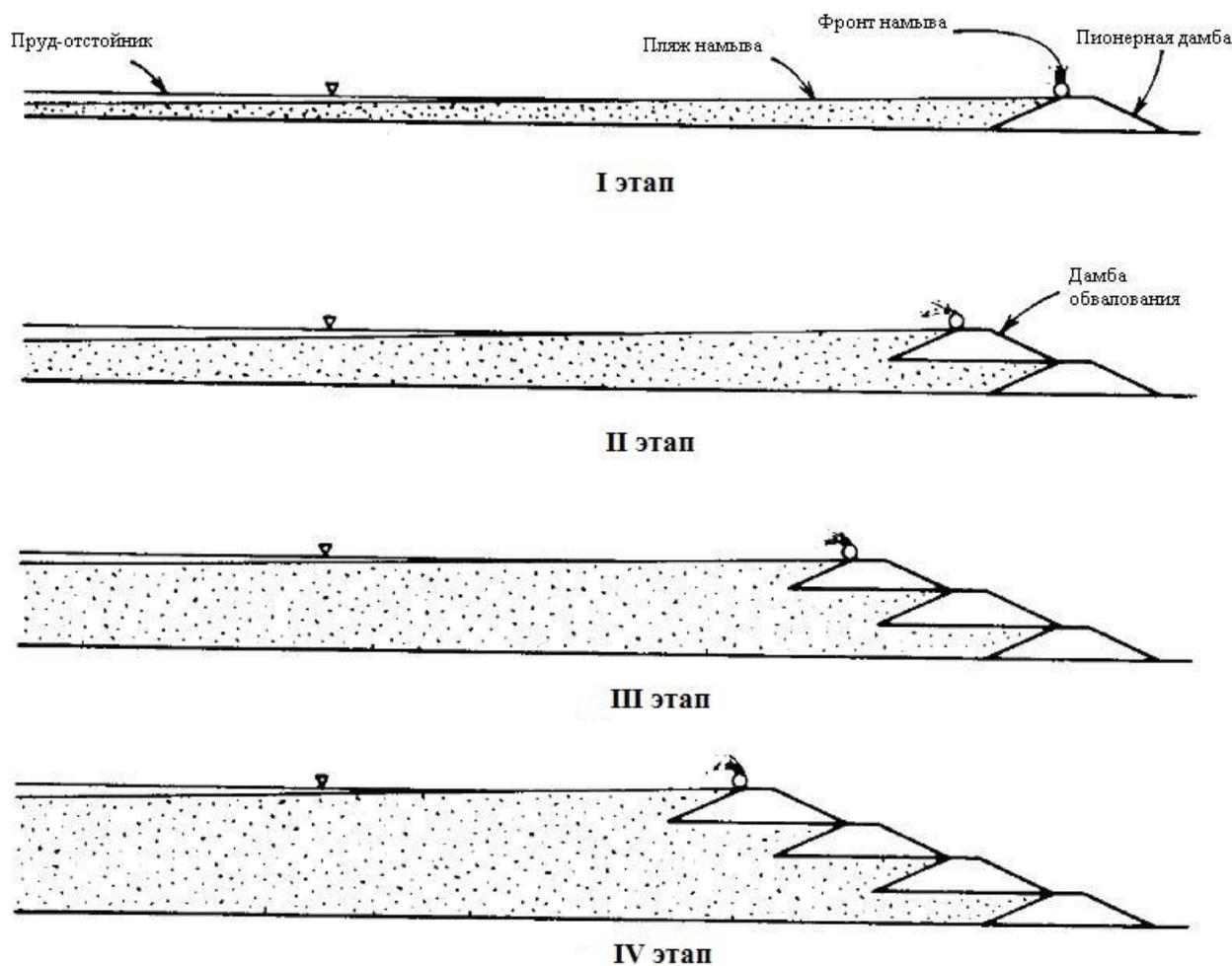


Рисунок 3. Схема формирования гипсонакопителя

Гипсонакопитель расположен в зоне умеренного климата со среднегодовой температурой $2,7^0-3,5^0$ С. Ежегодное количество осадков примерно составляет 517-557 мм. Наибольшее количество осадков – в августе, наименьшее – в феврале. Глубина сезонного промерзания 1,4 м.

Территория гипсонакопителя располагается в пределах Волховского плато, на озерно-ледниковой равнине с абс. отм. 30,20 – 35,10 м. Рельеф площадки низинный – вся территория занята озерами и болотами. Ранее на данной территории находились торфяные разработки.

3.2 Геолого-литологическое строение участка

В геологическом строении данной территории по данным исследований прошлых лет принимают участие современные биогенные (*bIV*) и техногенные (*tIV*) грунты, верхнечетвертичные (*QIII*) отложения озерно-ледникового (*lgIII*) и ледникового (*gIII*) генезисов, подстилаемые ордовикскими (*O₁*) отложениями нижнего отдела.

Четвертичная система Q

Современные отложения Q IV

Техногенные образования t IV

Грунты представлены техногенными несслежавшимися образованиями: обломками бетона, кирпича, стекла, древесины, куски проволоки, резины, галечниковые грунты с гравием и дрсвой известняка, перемешанные с песками. Срок отсыпки не более 2 лет (на момент изысканий). Залегают с поверхности (абс. отм. кровли 33,3-36,7 м), мощность составляет 0,70-3,50 м.

Насыпные грунты слежавшиеся: супеси серые и черные, пластичные и твердые, перемешанные с суглинками от тугопластичных до твердых, со шлаком угля, со щебнем известняка, со строительным мусором, с кусками бетона, с обломками кирпича, древесины, опилками, с отходами производства в виде фосфогипса, с примесью органических веществ, местами пропитанные нефтепродуктами. Срок отсыпки более 20 лет (на момент изысканий). Залегают с поверхности, под почвенно-растительным слоем, а также под насыпными грунтами несслежавшимися на глубинах 0,70-3,50 м (абс. отм. кровли 30,0-35,6 м), мощность составляет 1,20-13,90 м. Распространены повсеместно.

Биогенные отложения b IV

Торф светло-коричневый, слаборазложившиеся, насыщенный водой, с корнями деревьев и остатками неразложившейся растительности, заполнитель песок черный пылеватый. Залегают под насыпными слежавшимися грунтами на глубинах 6,40-8,70, мощность составляет 0,20-1,80 м.

Верхнечетвертичные отложения Q III

Озерно-ледниковые отложения (lgIIIvd)

Озерно-ледниковые отложения валдайского оледенения представлены: суглинками темно-серыми легкими пылеватыми мягкопластичными. Суглинки залегают под насыпными слежавшимися грунтами и торфом. Подошва слоя вскрыта на глубине 2,7 – 16,3 м (абс. отм. 23,30 – 29,00 м). Мощность слоя 0,4 – 2,4 м;

Ледниковые отложения (gIIIvd)

Ледниковые отложения валдайского оледенения на исследуемой территории распространены повсеместно и представлены:

- супесями пылеватыми твердыми темно-серого цвета с включениями гравия и гальки до 15 %. Перекрываются озерно-ледникового суглинками, торфами и насыпными грунтами слежавшимися. Подошва слоя располагается на глубине 4,3 – 18,0 м (абс. отм. 21,7 – 27,4 м), мощность составляет 0,6 – 8,2 м;
- песками пылеватыми светло-серыми водонасыщенными, залегающими под ледниковыми супесями пылеватыми, озерно-ледниковыми суглинками пылеватыми, торфами и насыпными грунтами слежавшимися, подошва слоя вскрыта на глубине 5,3 – 12,8 м (абс. отм. 22,20 – 26,40 м). Мощность слоя 0,3 – 3,4 м;
- суглинками легкими пылеватыми твердыми темно-серыми с включениями гравия до 20 %. Перекрываются супесями пылеватыми пластичными, песками пылеватыми, а в местах их выклинивания – насыпными грунтами слежавшимися. Подошва слоя располагается на глубине от 14,6 – 16,9 м (абс. отм. 17,9 – 20,4 м), мощность составляет 0,9 – 7,3 м.

Ордовикская система – О

Средний отдел – О₂

Среднеордовикские отложения залегают под верхнечетвертичными ледниковыми отложениями (gIIIvd) и представлены:

- щербенистыми грунтами известняка, с дресвой до 10-20%, серыми, заполнитель – суглинок легкий пылеватый до 40-45%. Подошва на глубинах 6,20-18,30 м (абс. отм. кровли 16,60-25,50 м), мощность составляет 0,1-2,50 м.
- известняками средней прочности, неразмягчаемыми, сильно выветрелыми, кавернозными, пестроцветными, трещиноватыми (трещины до 4 см выполнены супесями пластичными и твердыми), влажные. Кровля залегает на глубинах 6,20-18,30 м (абс. отм. кровли 16,60-25,50 м), вскрытая мощность составляет 1,80-14,70 м.

3.3 Гидрогеологические условия участка

Гидрогеологические условия исследуемого участка характеризуются наличием трёх водоносных горизонтов: два естественного происхождения, один – техногенного.

Верхний водоносный горизонт безнапорный, распространён повсеместно в четвертичных породах, а именно: 1) в песчаных отложениях ледникового генезиса с глубиной залегания 3,5-28,7 м с абс. отметками 20,98-27,60 м, коэффициент фильтрации 0,1 м/сут; 2) в торфах среднеразложившихся с глубиной залегания 0,5-28,8 м с абс. отметкой 21,28-29,40 м, коэффициент фильтрации 0,01 м/сут. Питание водоносного горизонта происходит, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков. Химический состав грунтовых вод гидрокарбонатно-кальциевый. Разгрузка верхнего безнапорного водоносного горизонта происходит в р. Волхов.

Нижний безнапорный водоносный горизонт относится к Ордовикскому водоносному горизонту. Водовмещающими породами являются среднеордовикские трещиноватые известняки, залегающие на глубине 5,0-22,0 м на абс. отметках 25,0-10,0. Коэффициент фильтрации колеблется от 7,0 до 70,0 м/сут. Питание производится за счет инфильтрации атмосферных осадков. Воды гидрокарбонатно-кальциевые. Разгрузка производится в р. Волхов.

Максимальный уровень подземных вод будет наблюдаться в период интенсивного снеготаяния и выпадения значительного количества атмосферных осадков и его можно ожидать на отметках дневной поверхности.

В теле гипсонакопителя вследствие применения гидротранспорта постоянно существует техногенный безнапорный водоносный горизонт, который также осуществляет питание грунтовых вод на прилегающей территории. Коэффициент фильтрации водовмещающей части фосфогипса составляет 0,01 м/сут. Глубина залегания водоносного горизонта увеличивается с юга на север с 7 до 15 м.

3.4 Физико-механические свойства грунтов

Учитывая возраст, генезис, литологические и физико-механические свойства пород, на территории участка работ на глубину бурения до 30 м было выделено 9 инженерно-геологических элемента (ИГЭ).

Четвертичная система Q

Современные отложения Q IV

Техногенные образования t IV

ИГЭ 1а. Насыпные грунты неслежавшиеся.

ИГЭ 1б. Насыпные грунты слежавшиеся.

Биогенные отложения b IV

ИГЭ 2. Торф слаборазложившийся, насыщенный водой, светло-коричневый.

Верхнечетвертичные отложения Q III

Озерно-ледниковые отложения (lgIII)

ИГЭ 3. Суглинками легкие пылеватые мягкопластичные темно-серые.

Ледниковые отложения (gIII)

ИГЭ 4а. Супеси пылеватые твердые темно-серо-серые с гравием и галькой до 15 %.

ИГЭ 4б. Пески пылеватые светло-серые водонасыщенные.

ИГЭ 4в. Суглинки легкие пылеватые твердые темно-серого цвета с гравием до 20 %.

Ордовикская система – O

Нижний отдел – O₁

ИГЭ 5а. Щебенистые грунты известняка, с дресвой до 10-20%, серые, заполнитель – суглинок легкий пылеватый твердый до 40-45%.

ИГЭ 5б. Известняки средней прочности, неразмьгаемые, пестроцветные.

Показатели нормативных и расчетных значений физико-механических свойств грунтов представлены в приложении 1, основанном на данных полученных из «Технического отчёта».

Экспериментально определялись следующие характеристики грунтов:

- плотность (ρ) методом режущего кольца или методом взвешивания грунта в воде (согласно ГОСТ 5180-2015);
- влажность естественная (W_e) и гигроскопическая (W_g) путем высушивания в печи до постоянной массы (согласно ГОСТ 5180-2015);
- плотность частиц грунта (ρ_d) пикнометрическим методом (согласно ГОСТ 5180-2015);
- гранулометрический состав ситовым и ареометрическим методами (согласно ГОСТ 12536-2014);

Расчетным путем были получены следующие характеристики: плотность скелета (ρ_s), пористость (n), коэффициент пористости (e), коэффициент водонасыщения (S_r).

Прочностные и деформационные характеристики дисперсных грунтов определялись методом одноплоскостного среза и методом компрессионного сжатия (согласно ГОСТ 12248-2010), а также в ходе полевых прессиометрических испытаний (согласно ГОСТ 20276-2012). Прочностные и деформационные характеристики скальных пород – известняков определялись в ходе испытаний на одноосное сжатие (согласно ГОСТ 21153.2-84).

3.5 Геологические процессы и явления

В связи с залеганием среднеордовикских известняков близко к поверхности, территория объекта относится к району распространения карбонатного карста.

При рекогносцировочном обследовании карстово-суффозионных воронок и других карстовых форм не выявлено. При буровых работах провалы бурового снаряда не фиксировались (по данным тех. отчёта ЦИИ НМСУ «Горный»). На основании изложенного, территорию можно отнести к V категории - территория относительно устойчивая. (Саваренский, 1995).

Таким образом, согласно СП 116.13330.2012 при строительстве необходимо предусмотреть профилактические противокарстовые мероприятия (водорегулирующие) исключая активизацию карстовых процессов в результате строительства и эксплуатации объекта.

На исследуемом участке возможно пучение грунтов. Оно связано с сезонным промерзанием. Нормативная глубина сезонного промерзания в соответствии со СП 22.13330.2016 составляет 1,45 м. По степени морозоопасности техногенные грунты слежавшиеся (ИГЭ 1б) относятся к практически непучинистым грунтам, а техногенные грунты несслежавшиеся (ИГЭ 1а) – к среднепучинистым грунтам, что необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации объекта, согласно СП 116.13330.2012.

ГЛАВА 4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ

Согласно техническому заданию предполагается реконструкция гипсонакопителя с последующим его наращиванием до высоты 49 м с результирующим углом откоса 18° , и коэффициентом запаса устойчивости не меньше 1,2. Для чего были произведены различные изыскания, на основании результатов которых, был произведён расчёт устойчивости откоса.

Для выполнения расчётов методом алгебраического суммирования сил, были построены круглоцилиндрические поверхности скольжения методом Феллениуса.

Для начала необходимо построить профиль откоса (см. рис. 4). Его параметры: высота – 49 м, результирующий угол α - 18° . Откос сложен техногенными грунтами слежавшимися (ИГЭ 1б) мощностью 49 м, которые подстилаются слоем торфа (ИГЭ 2) мощностью 20 см, ниже залегают грунты в соответствии с результатами бурения (см. рис. 5).

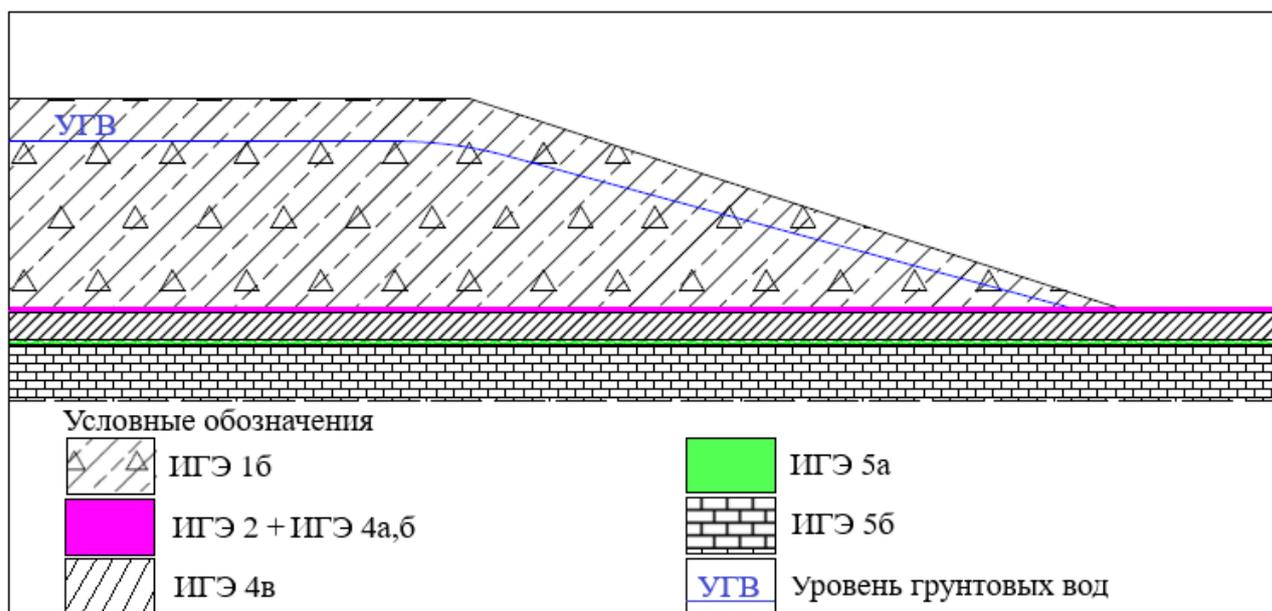


Рисунок 4. Профиль откоса. (Примечание: ИГЭ 2, ИГЭ 4а и ИГЭ 4б, в связи с малой мощностью относительно масштаба построения, объединены в один слой и обозначаются розовым цветом, для наглядности. ИГЭ 5а также обозначен цветом, а не крапом по той же причине.)

Геологический индекс	Мощность слоя, м	Глубина слоя, м	Абс. отметка подошвы слоя, м	Геолого-литологический разрез	Наименование пород и их характеристика
tv	7,80	7,80	27,00		Насыпные грунты слежавшиеся: суглинки твердые, легкие пылеватые и песчанистые, коричневые, перемешанные с супесью пластичной и твердой, со щебнем и гравием известняка, со строительным мусором и отходами производства. Срок отсыпки более 20 лет.
biv	0,20	8,00	26,80		Торфы слаборазложившиеся, светло-коричневые, насыщенные водой, с корнями деревьев.
	0,60	8,60	26,20		Супеси твердые, пылеватые, темно-серые, с гравием и галькой до 15-20%.
	0,40	9,00	25,80		Пески пылеватые, неоднородные, плотные, светло-серые, насыщенные водой, с гравием и галькой изверженных пород до 20%.
gIII	6,70	15,70	19,10		Суглинки твердые, легкие пылеватые, темно-серые, с прослоями супеси пластичной, с гравием и галькой до 15-20%.
	1,00	16,70	18,10		Щебенистые грунты известняка, серые, заполнитель суглинков твердый легкий пылеватый до 40-45%.
o	13,30	30,00	4,80		Известняки средней прочности, неразмываемые, сильноветрелые, кавернозные, пестроцветные, трещиноватые (трещины до 4 см выполнены супесью пластичными и твердыми), влажные.

Рисунок 5. Колонка инженерно-геологической скважины кромки откоса гипсо-накопителя до наращивания.

Для построения наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения необходимы углы β_1 и β_2 , которые мы узнаем из таблицы, предварительно вычислив котангенс угла откоса: $\text{ctg}\alpha = 3,08$. Таким образом, углы β_1 и β_2 равны 25° и 35° , соответственно.

Таблица 6. Значение углов β

$\text{ctg}\alpha$	β_1	β_2
1.0	28	37
1.5	26	35
2.0	25	35
3.0	25	35
5.0	28	37

Далее, откладываем отрезок из нижней бровки (т. А) под углом β_1 к склоновой поверхности и отрезок из верхней бровки (т. В) под углом β_2 к горизонтальной поверхности. Их пересечение т. О будет центром дуги скольжения. Для установления положения дополнительных центров из нижней бровки вертикально вниз откладывается точка С на расстоянии $h=49$ м, после чего на расстоянии $4.5h=220.5$ м строится точка D. Из точки D через точку О строится луч, на котором на расстоянии $0.3h=14.7$ м по обе стороны от точки О строятся точки O_1 и O_2 (Иванов, 2001). Строим круглоцилиндрические поверхности (см. рис. 6). Их радиусы по построению равны следующим значениям: $R_O=129.5$ м, $R_{O1}=130.2$ м. и $R_{O2}=130.4$ м.

Как уже было сказано, точки О, O_1 и O_2 являются центрами круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Однако, поверхность скольжения будет проходить несколько иначе. Исходя из особенностей геологического строения, гипсонакопитель представляет собой откос на «слабом основании», так как техногенные грунты ИГЭ 1б обладают более высокими прочностными свойствами, чем некоторые разновидности четвертичных отложений, залегающих в основании сооружения. В таких условиях поверхность скольжения в основании сооружения проходит по слою пород, характеризующихся наименьшим сопротивлением сдвигу, который представлен торфами ИГЭ 2 (см. рис. 7).

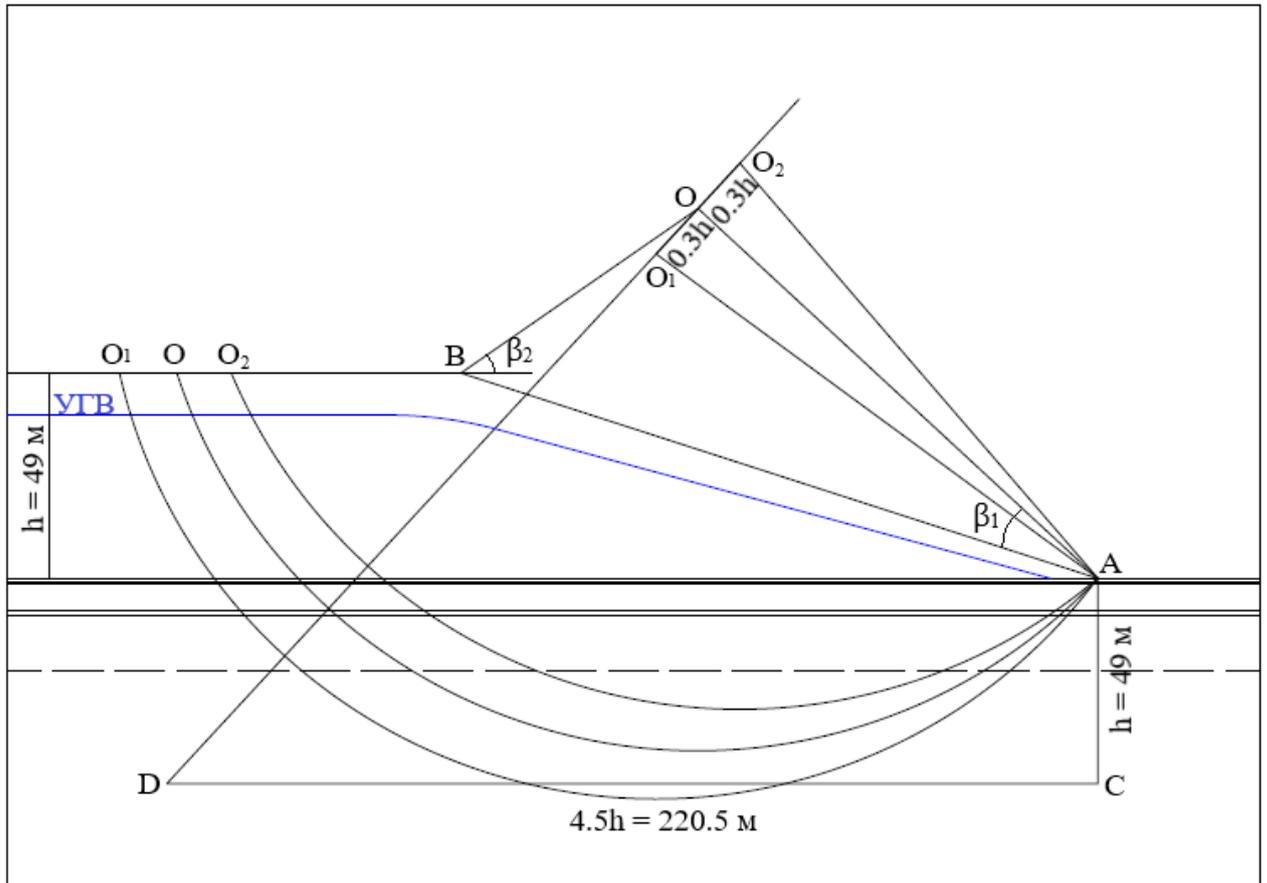


Рисунок 6. Построение круглоцилиндрических поверхностей скольжения методом Феллениуса.

Тело откоса внутри поверхности скольжения делим на блоки шириной $b = 0,1R$. Для поверхности «О» $R_O = 129,5$ м (по построению), следовательно, $b = 0,1 * 129,5 = 12,95$ м (см. рис. 7).

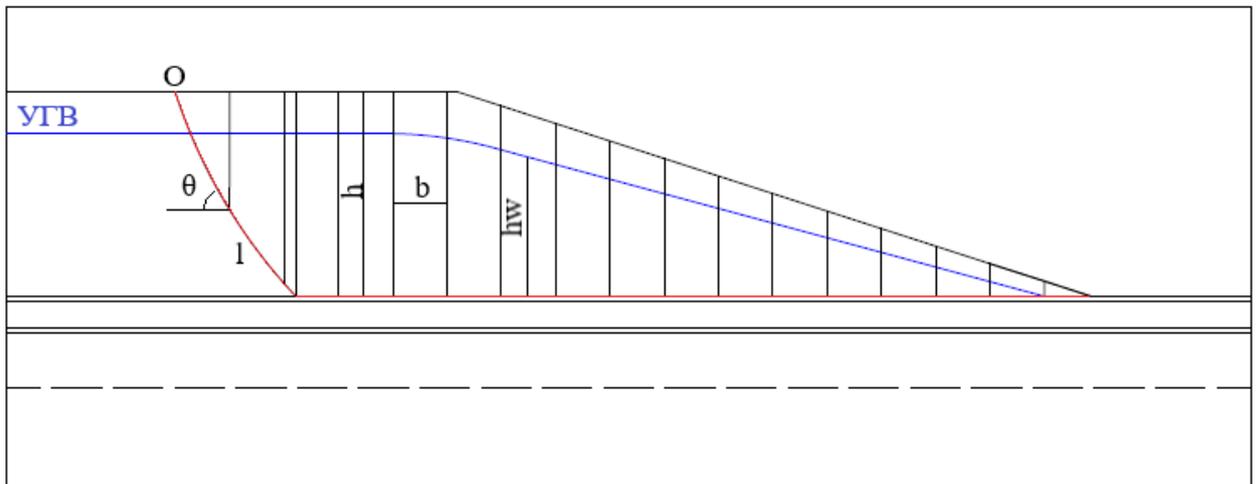


Рисунок 7. Разбитие на блоки поверхности скольжения «О»

Определяем коэффициент запаса устойчивости по следующей формуле:

$$\eta = \frac{\Sigma(N_i - D_i) * \operatorname{tg} \varphi + \Sigma(c_i * l_i)}{\Sigma T_i}$$

$$D_i = \gamma_{\text{воды}} * h_{\text{воды}} * l_i$$

где N_i – нормальные составляющие сил P_i : $N_i = P * \cos \theta$, кН;

T_i – касательные составляющие сил P_i : $T_i = P * \sin \theta$, кН;

φ - угол внутреннего трения грунтов, град;

c_i – сцепление, кПа;

l_i – длина дуги скольжения в пределах блока, м;

P_i – вес расчетного блока, кН;

θ – угол между направлением силы P_i и нормальной составляющей N_i , град.

D_i – величина гидростатического давления, кН;

$\gamma_{\text{воды}}$ – удельный вес воды, Н/м³;

$h_{\text{воды}}$ – обводнённая мощность блока, м.

По построению измеряем параметры h , h_w , l и θ . После чего производим расчёты по вышеуказанным формулам (см. табл. 7).

Таблица 7. Расчет коэффициента устойчивости для поверхности скольжения «О».

h, м	h _w , м	l, м	θ, град.	P _i , кН	N _i , кН	D _i , кН	T _i , кН	c _i *l _i , кПа*м	(N _i - D _i)*tgφ
16.39	9.79	31.12	61	3910.50	1895.85	304.66	3420.20	840.24	579.14
37.85	27.85	21.84	54	9030.66	5308.09	608.24	7305.96	589.68	1710.60
47.37	37.37	4.17	48	2417.50	1617.63	155.83	1796.56	112.59	532.05
49.00	39.00	10.18	0	9190.26	9190.26	397.02	0.00	274.86	3200.48
49.00	39.00	12.95	0	11690.95	11690.95	505.05	0.00	349.65	4071.33

Таблица 7 (продолжение).

h, м	hw, м	l, м	θ, град.	Pi, кН	Ni, кН	Di, кН	Ti, кН	ci*li, кПа*м	(Ni-Di)*tgφ
49.00	38.44	12.95	0	11690.95	11690.95	497.80	0.00	349.65	4073.97
47.73	36.49	12.95	0	11387.94	11387.94	472.55	0.00	349.65	3972.88
43.50	33.33	12.95	0	10378.70	10378.70	431.62	0.00	349.65	3620.44
39.29	29.81	12.95	0	9374.23	9374.23	386.04	0.00	349.65	3271.43
35.09	26.29	12.95	0	8372.15	8372.15	340.46	0.00	349.65	2923.30
30.88	22.78	12.95	0	7367.68	7367.68	295.00	0.00	349.65	2574.25
26.67	19.26	12.95	0	6363.22	6363.22	249.42	0.00	349.65	2225.24
22.46	15.74	12.95	0	5358.75	5358.75	203.83	0.00	349.65	1876.24
18.25	12.33	12.95	0	4354.28	4354.28	159.67	0.00	349.65	1526.71
14.05	8.71	12.95	0	3352.20	3352.20	112.79	0.00	349.65	1179.05
9.84	5.19	12.95	0	2347.73	2347.73	67.21	0.00	349.65	830.04
5.64	1.72	12.95	0	1345.65	1345.65	22.27	0.00	349.65	481.67
1.77	0	11.16	0	363.93	363.93	0.00	0.00	301.32	132.46
СУММА							12522.72	6664.14	38781.29

$$\eta_0 = \frac{\sum(N_i - D_i) \operatorname{tg} \varphi + \sum c_i * l_i}{\sum T_i} = \frac{38781.29 + 6664.14}{12522.72} = 3.63$$

Далее проделываем те же построения и расчеты для поверхностей O₁ и O₂.

Для поверхности «O₁» R_O=130.2 м (по построению), следовательно, b = 0,1*130.2=13.02 м (см. рис. 8).

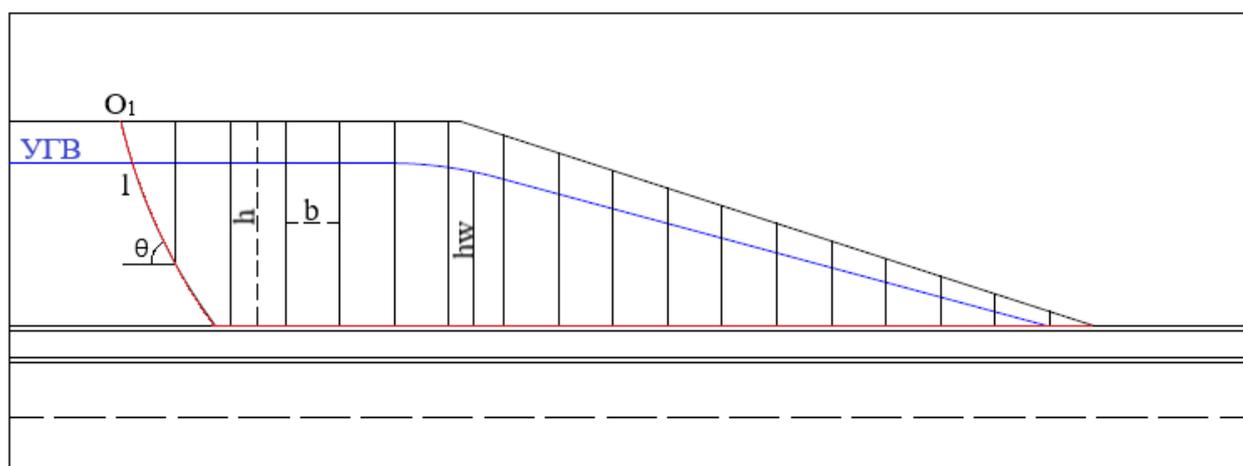


Рисунок 8. Разбитие на блоки поверхности скольжения «O₁»

Значения параметров, измеренных и рассчитанных приведены в Таблице 8.

Таблица 8. Расчет коэффициента устойчивости для поверхности скольжения «О₁».

h, м	hw, м	l, м	θ, град.	P _i , кН	N _i , кН	D _i , кН	T _i , кН	c _i *l _i , кПа*м	(N _i - D _i)*tgφ
20.51	12.19	36.76	69	4919.95	1763.15	448.10	4593.17	992.52	478.64
44.99	34.99	19.58	54	10792.22	6343.51	685.10	8731.09	528.66	2059.49
49.00	39.00	13.02	0	11754.14	11754.14	507.78	0.00	351.54	4093.34
49.00	39.00	13.02	0	11754.14	11754.14	507.78	0.00	351.54	4093.34
49.00	39.00	13.02	0	11754.14	11754.14	507.78	0.00	351.54	4093.34
49.00	39.00	13.02	0	11754.14	11754.14	507.78	0.00	351.54	4093.34
47.75	36.75	13.02	0	11454.29	11454.29	478.49	0.00	351.54	3994.87
43.56	33.36	13.02	0	10449.19	10449.19	434.35	0.00	351.54	3645.11
39.27	29.82	13.02	0	9420.11	9420.11	388.26	0.00	351.54	3287.32
35.05	26.29	13.02	0	8407.81	8407.81	342.30	0.00	351.54	2935.61
30.82	22.75	13.02	0	7393.12	7393.12	296.21	0.00	351.54	2583.06
26.63	19.22	13.02	0	6388.02	6388.02	250.24	0.00	351.54	2233.97
22.39	15.68	13.02	0	5370.92	5370.92	204.15	0.00	351.54	1880.55
18.14	12.14	13.02	0	4351.43	4351.43	158.06	0.00	351.54	1526.26
13.96	8.61	13.02	0	3348.73	3348.73	112.10	0.00	351.54	1178.04
9.69	5.07	13.02	0	2324.44	2324.44	66.01	0.00	351.54	822.00
5.48	1.65	13.02	0	1314.55	1314.55	21.48	0.00	351.54	470.64
1.67	0	10.3	0	316.91	316.91	0.00	0.00	278.10	115.35
СУММА							13324.26	7072.38	43584.26

$$\eta_{O1} = \frac{\sum(N_i - D_i)tg\varphi + \sum c_i * l_i}{\sum T_i} = \frac{43584.26 + 7072.38}{13324.26} = 3.80$$

Для поверхности «О₂» R₀=130.4 м (по построению), следовательно, b = 0,1*130.4=13.04 м (см. рис. 9).

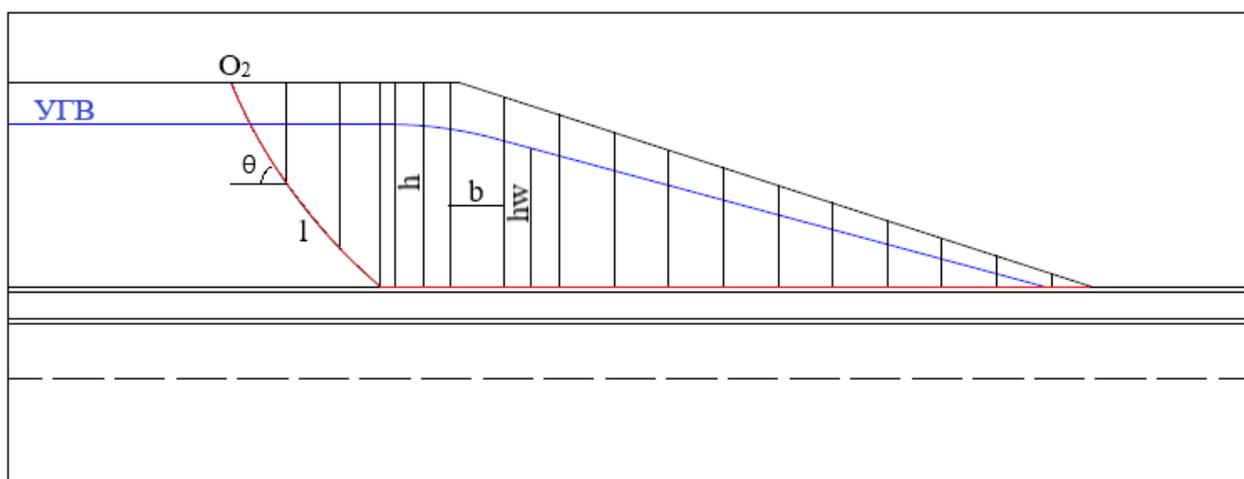


Рисунок 9. Разбитие на блоки поверхности скольжения «O₂»

Значения параметров, измеренных и рассчитанных приведены в Таблице 9.

Таблица 9. Расчет коэффициента устойчивости для поверхности скольжения «O₂».

h, м	h _w , м	l, м	θ, град.	P _i , кН	N _i , кН	D _i , кН	T _i , кН	c _i *l _i , кПа*м	(N _i -D _i)*tgφ
13.45	7.36	27.24	58	3231.35	1712.35	200.49	2740.34	735.48	550.27
32.53	22.53	20.65	51	7815.30	4918.33	465.24	6073.63	557.55	1620.79
44.75	34.75	13.18	43	7890.22	5770.54	458.01	5381.11	355.86	1933.60
49	39	3.47	0	3132.63	3132.63	135.33	0.00	93.69	1090.93
49	39	13.04	0	11772.20	11772.20	508.56	0.00	352.08	4099.63
47.55	36.42	13.04	0	11423.84	11423.84	474.92	0.00	352.08	3985.08
43.36	33.21	13.04	0	10417.19	10417.19	433.06	0.00	352.08	3633.93
39.12	29.67	13.04	0	9398.54	9398.54	386.90	0.00	352.08	3279.97
34.88	26.13	13.04	0	8379.88	8379.88	340.74	0.00	352.08	2926.01
30.65	22.59	13.04	0	7363.63	7363.63	294.57	0.00	352.08	2572.93
26.41	19.04	13.04	0	6344.98	6344.98	248.28	0.00	352.08	2219.01
22.17	15.5	13.04	0	5326.32	5326.32	202.12	0.00	352.08	1865.06
17.94	11.96	13.04	0	4310.07	4310.07	155.96	0.00	352.08	1511.97
13.69	8.42	13.04	0	3289.01	3289.01	109.80	0.00	352.08	1157.14
9.46	4.88	13.04	0	2272.76	2272.76	63.64	0.00	352.08	804.05
5.22	1.65	13.04	0	1254.10	1254.10	21.52	0.00	352.08	448.62
1.65	0	9.56	0	290.62	290.62	0.00	0.00	258.12	105.78
СУММА							14195.08	6225.66	33804.78

$$\eta_{02} = \frac{\Sigma(N_i - D_i)\text{tg } \varphi + \Sigma c_i * l_i}{\Sigma T_i} = \frac{33804.78 + 6225.66}{14195.08} = 2.82$$

Во всех трёх случаях коэффициент запаса устойчивости выше 1.2, что соответствует техническому заданию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы было изучено геологическое строение, а также инженерно-геологические и гидрогеологические условия участка работ.

Исследуемая территория сложена современными техногенными и биогенными отложениями, верхнечетвертичными озёрно-ледниковыми и ледниковыми, которые подстилаются среднеордовикскими известняками. На участке работ выделяется 3 водоносных горизонта: два естественного происхождения, один – техногенного.

На основе данных лабораторных исследований было выделено 9 ИГЭ:

- **ИГЭ 1а.** Насыпные грунты неслежавшиеся.
- **ИГЭ 1б.** Насыпные грунты слежавшиеся.
- **ИГЭ 2.** Торф слаборазложившийся, насыщенный водой, светло-коричневый.
- **ИГЭ 3.** Суглинками легкие пылеватые мягкопластичные темно-серые.
- **ИГЭ 4а.** Супеси пылеватые твердые темно-серые с гравием и галькой до 15 %.
- **ИГЭ 4б.** Пески пылеватые светло-серые водонасыщенные.
- **ИГЭ 4в.** Суглинки легкие пылеватые твердые темно-серого цвета с гравием до 20 %.
- **ИГЭ 5а.** Щебенистые грунты известняка, с дресвой до 10-20%, серые, заполнитель – суглинок легкий пылеватый твердый до 40-45%.
- **ИГЭ 5б.** Известняки средней прочности, неразмягчаемые, пестроцветные.

На данной территории были выявлены следующие опасные геологические процессы и явления, которые необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации объекта: карст и пучинистость грунтов.

Произведён расчёт устойчивости откоса гипсонакопителя, при его наращивании до 49 м, с результирующим углом откоса 18° , методом алгебраического

суммирования сил по круглоцилиндрической поверхности, которая была построена методом Феллениуса.

Расчёты показали, что при заданных условиях откос устойчив, так как коэффициенты запаса устойчивости на поверхностях «О», «О1» и «О2» равны соответственно 3.63, 3.80 и 2.82, что, несомненно, превышает минимальное заданное значение $\eta=1.2$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Стандартинформ, 2016 год.
2. ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартинформ, 2011 год.
3. ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Стандартинформ, 2019 год.
4. ГОСТ 20276-2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартинформ, 2013 год.
5. ГОСТ 21153.2-84 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 год.
6. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2017 год.
7. СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. – М.: Минрегион России, 2012 год.
8. СП 131.133330.2018 Строительная климатология. – М.: Стандартинформ, 2019 год.
9. Бискэ, Ю. С. Геология России. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2019. – 228 с.
10. Вербицкий, В. Р. Объяснительная записка. Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36/ В. Р. Вербицкий, И. В. Вербицкий, О. В. Васильева, В. В. Саванин // Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000.– Санкт-Петербург. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.- 510 с.
11. Грейсер, Е.Л. Пресные подземные воды: состояние и перспективы водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов/ Е.Л.Грейсер, Н.Г.Иванова //Разведка и охрана недр.- 2005 г., вып. №5. – С.36-42.

12. Иванов, И.П., Тржцинский, Ю.Б. Инженерная геодинамика. – Спб.: Наука, 2001. – 416 с.
13. Кофман, В. С. Геология СССР. Том 1. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание/ В. С. Кофман, В. А. Селиванова //М.: Недра, 1971. – 504 с.
14. Саваренский, И.А., Миронов, Н.А. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. – М.: Изд-во ПНИИС, 1995. – 167 с.
15. Официальный сайт "СПБО ИГЭ РАН и МНЦ Гидрогеоэкологии" [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://hge.spbu.ru/mapgis/subekt/spb/spb.html>
16. Официальный сайт "Институт Озероведения Российской академии наук" [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://win.limno.org.ru/db/lrus.htm>
17. Официальный сайт "Палеонтолого-стратиграфический музей кафедры динамической и исторической геологии Санкт-Петербургского государственного университета" [Электронный ресурс] Режим доступа: http://paleostratmuseum.ru/stud_coll_balt_geol_edu_1.html
18. Официальный сайт ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2>
19. Официальный сайт ПАО «ФосАгро» [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.phosagro.ru/about/holding_volkhov/

Приложение

Нормативные значения характеристик грунтов

Приложение 1 (начало)

№	Номенклатурное название грунтов	Геологический индекс	Число пластичности I_p	Прир. влажность, W , д.е.	Плотность грунта ρ , г/см ³			Коэффициент пористости	Показатель консолидации I_L	Показатели прочности						Модуль общей деформации, E , МПа кгс/см ²	Методы определения характеристик
					ρ_n	ρ_l	ρ_{II}			φ , град			C , МПа кгс/см ²				
										φ_n	φ_l	φ_{II}	C_n	C_l	C_{II}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1а	Насыпные грунты неслежавшиеся	<i>t IV</i>	-	влажные	1.80	1.75	1.78	0.75	-	34.0	32.0	34.0	$\frac{0.006}{0.06}$	$\frac{0.005}{0.05}$	$\frac{0.006}{0.06}$	$\frac{20}{200}$	е, ρ - пол. данные С, Е-ф лаб. данные с учетом СП 22.13330.2011
1б	Насыпные грунты слежавшиеся	<i>t IV</i>	-	-	1.88	1.83	1.85	-	-	20.0	18.0	20.0	$\frac{0.027}{0.27}$	$\frac{0.025}{0.25}$	$\frac{0.027}{0.27}$	$\frac{7}{70}$	С, φ , ρ , Е - лаб. данные - с учетом стат. зондирования и прессиометрии
2	Торф слаборазложившийся	<i>b IV</i>	-	>2.0	1.15	1.13	1.14	3.50	-	10.0	8.5	10.0	$\frac{0.030}{0.30}$	$\frac{0.027}{0.27}$	$\frac{0.030}{0.30}$	$\frac{3}{30}$	по данным СП 22.13330.2011
3	Суглинок легкий мягкопластичный	<i>lg III</i>	0.084	0.347	1.87	1.86	1.86	0.955	0.64	18.0	16.0	18.0	$\frac{0.017}{0.17}$	$\frac{0.015}{0.15}$	$\frac{0.017}{0.17}$	$\frac{7}{70}$	W, е, ρ , I_p , I_L - лаб. данные С, Е-ф СП 22.13330.2011 с учетом стат. зондирования
4а	Супесь твёрдая	<i>g III</i>	0.056	0.117	2.19	2.17	2.18	0.374	-0.72	25.0	23.5	25.0	$\frac{0.025}{0.25}$	$\frac{0.023}{0.23}$	$\frac{0.025}{0.25}$	$\frac{20}{200}$	С, φ , W, е, ρ , I_p , I_L Е - лаб. данные с учетом СП 22.13330.2011 с учетом стат. зондирования и прессиометрии

Нормативные значения характеристик грунтов

Приложение 1 (окончание)

№	Номенклатурное название грунтов	Геологический индекс	Число пластичности I_p	Прир. влажность, W , д.с.	Плотность грунта ρ , г/см ³			Коэффициент пористости	Показатель консолидации I_L	Показатели прочности						Модуль общей деформации, E , МПа кгс/см ²	Методы определения характеристик
										φ , град			C , МПа кгс/см ²				
					ρ_n	ρ_l	ρ_{II}										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4б	Песок плотный пылеватый	$g III$	-	насыщенный водой	2.08	2.04	2.06	0.50	-	31.0	29.5	31.0	$\frac{0.006}{0.06}$	$\frac{0.004}{0.04}$	$\frac{0.006}{0.06}$	$\frac{20}{200}$	C, φ, ρ, E - лабораторные с учетом стат.зондирования и прессиометрии
4в	Суглинок лёгкий твёрдый	$g III$	0.116	0.181	2.13	2.12	2.12	0.512	-0.34	18.0	17.0	18.0	$\frac{0.045}{0.45}$	$\frac{0.040}{0.40}$	$\frac{0.045}{0.45}$	$\frac{20}{200}$	$C, \varphi, W, e, \rho, I_p, I_L, E$ - лабораторные с учетом СП 22.13330.2011 с учетом стат.зондирования и прессиометрии
5а	Щебенистые грунты известняка	O_2	0.083*	0.110*	2.23	2.22	2.22	0.350*	-0.65*	$R_0 = 0,45$ МПа (4,5 кгс/см ²)						W, e, ρ, I_p, I_L - лабораторные R_0 - по СП 22.13330.2011	
5б	Известняк средней прочности	O_2	-	-	2.56	2.53	2.54	-	-	Предел прочности на одноосное сжатие в воздушно-сухом состоянии $R_{c \text{ сух}} = 40.96$ МПа Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии $R_{c \text{ вод}} = 35.79$ МПа Коэффициент размягчаемости $K_{soft} = 0.87$						ρ, R_c, K_{soft} - лабораторные	

*) показатели приведены для заполнителя крупнообломочного грунта.