

<https://doi.org/10.53278/2306-9139-2022-1-18-43-49>
УДК 624.139.7

ГРУНТОВЫЕ ТОЛЩИ ХАРАСАВЭЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ХРАНИЛИЩ БУРОВЫХ ОТХОДОВ SOIL MASSES OF THE KHARASAVEY FIELD AS AN OBJECT FOR THE CREATION OF UNDERGROUND STORAGE CAVITIES OF DRILLING WASTE

А. С. Мосина
Anna S. Mosina

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия
Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation*

mosina.a.s@yandex.ru

Аннотация: В статье приведена типизация грунтовых толщ Харасавэйского месторождения по показателям состава, строения и состояния многолетнемерзлых грунтов. Использовались показатели состава, строения и состояния, оказывающие наибольшее влияние на напряженно-деформированное состояние многолетнемерзлой грунтовой толщи. На основе типизации выявлены грунтовые толщи благоприятные для строительства и эксплуатации подземных резервуаров для захоронения буровых отходов. Данный подход может быть распространен на другие территории криолитозоны.

Abstract: The article provides the typification of the soil masses of the the Kharasavey field according to the composition, structure and condition of permafrost soils. The characteristics of composition, structure and condition that have the greatest impact on the stress-strain state of permafrost soil mass were used. Based on the typification, the favorable soil masses for the construction and operation of underground storage cavities for disposal of waste drilling were identified. This approach can be extended to other areas of the permafrost zone.

Ключевые слова: грунтовые толщ; многолетнемерзлые породы; подземные резервуары; буровые отходы; льдистость грунта; засоленность грунта; скважинная гидродобыча; подземное хранение.

Keywords: soil masses; permafrost soils; underground storage cavities; drilling waste; ice content of the soil; soil salinity; hydraulic borehole mining; underground storage.

Введение

В результате активного освоения нефтяных и газовых месторождений территории Крайнего Севера образуется большой объем буровых отходов. Их утилизация является актуальной проблемой для недропользователей. Одним из способов ее разрешения является захоронение буровых отходов в подземные резервуары, сооружаемые в многолетнемерзлых песчаных грунтах. Их строительство ведется с поверхности через скважину, по которой в массив мерзлых песчаных грунтов подается теплоноситель. В результате водно-тепловое воздействие разрушаются структурные связи в мерзлых грунтах, оттаявший грунт опускается на дно образованной выработки, откуда его с помощью эрлифта поднимают на земную поверхность в гидроотвал (рис. 1). Сформированную выработку используют как подземный резервуар для конечного размещения буровых отходов, которые с течением времени

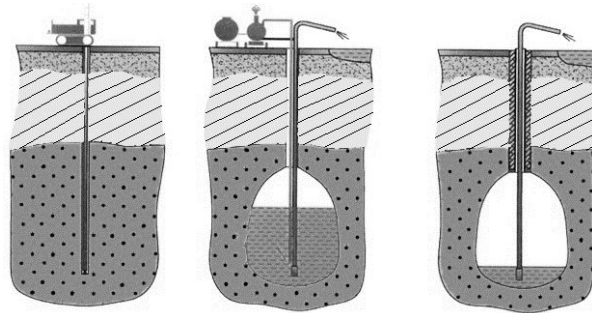


Рис. 1. Строительство подземного резервуара в мерзлой грунтовой толще

промерзают за счет теплового взаимодействия с многолетнемерзлыми породами (ММП) [1].

Метод строительства и эксплуатации подземных резервуаров в ММП имеет ряд преимуществ. Во-первых, строительство и эксплуатация подобных резервуаров имеет более низкую стоимость по сравнению с другими методами обращения с отходами

(строительство обезвреживающих заводов, гидро-разрыв пласта, перевод в состояние геля и др.). Во-вторых, при использовании данной технологии оказывается меньшее техногенное воздействие на окружающую среду (в сравнении с захоронением на поверхности, использованием технологии гидро-разрыва пласта и др.) [1].

Однако применимость данной геотехнологии имеет высокую зависимость от инженерно-геологических условий района строительства [4], [5]. Так, например, строительство и эксплуатацию подземных резервуаров не ведут в мерзлых глинистых грунтах, которые плохо поддаются размыву; наличие в мерзлой грунтовой толще высокоминерализованных вод делает невозможным создание в ней подземного резервуара. В результате этих и других ограничений возникает необходимость в поиске благоприятных для реализации данной геотехнологии мерзлых грунтовых толщ.

Принципы типизации грунтовых толщ Харасавэйского месторождения

Поиск благоприятных грунтовых толщ необходимо начинать с выделения их границ. Для понимания принципа их выделения обратимся к понятию грунтовой толщи. Грунтовая толща — это толща горных пород и почв, слагающая верхнюю часть разреза разных геоморфологических элементов и находящаяся сейчас или в будущем в сфере влияния различных инженерных сооружений [7]. Из определения ясно, что границы грунтовой толщи относительно и зависят от типа сооружения и оказываемого им воздействия. Таким образом, для выделения границ грунтовых толщ необходимо оценить влияние от сооружаемых подземных резервуаров для захоронения буровых отходов.

Верхняя граница грунтовой толщи соответствует земной поверхности, так как строительство подземных резервуаров производят с поверхности, которую предварительно отсыпают мощным слоем песка. Нижняя граница грунтовой толщи (или мощность грунтовой толщи) будет зависеть от глубины влияния подземного резервуара ниже его днища. Можно выделить два типа такого влияния: а) изменение напряженно-деформированного состояния толщи в результате формирования незакрепленной выработки; б) тепловое воздействие захораниваемых буровых отходов. Для определения нижней границы грунтовой толщи проведено изучение данных типов влияния путем численных расчетов. По результатам расчетов выявлено, что глубина влияния от сооружения подземных резервуаров в условиях Харасавэйского месторождения составляет около 70 метров, причем больший вклад в ее

величину оказывает тепловое влияние от захораниваемых буровых отходов.

Для поиска благоприятных для строительства подземных резервуаров грунтовых толщ проведена их типизация на основании анализа их состава, строения, свойств и состояния по данным 30 скважин, пробуренных на территории всего Харасавэйского месторождения в разные годы (1981–2015 гг.) разными организациями (ВНИИГАЗ, Мингазпром СССР, ООО Научно-техническая фирма «Криос» и др.) [2]. При разработке настоящей типизации грунтовых толщ за основу взят подход, предложенный В. Т. Трофимовым и соавторами при систематике грунтовых толщ Западно-Сибирской плиты [7]. Использовано построение двухрядного, перекрестного типа (таблицы-матрицы).

Для систематизации грунтовых толщ Харасавэйского месторождения были приняты две группы признаков, отражающие состав, строение и современное состояние грунтовых толщ. Использовались такие показатели состава, строения и состояния, которые оказывают наибольшее влияние на напряженно-деформированное состояние многолетнемерзлой грунтовой толщи. Таким образом, в первую группу признаков вошли показатели состава и строения грунтовых толщ, к которым относятся: количество и сочетание классов и типов грунтов, содержание водорастворимых солей в разрезе толщи. Во вторую группу признаков вошли особенности состояния грунтовой толщи, характеризующиеся фазовым состоянием воды в грунтах, среднегодовой температурой и степенью льдистости (увлажненности) грунтов толщ.

Типизация грунтовых толщ территории Харасавэйского газоконденсатного месторождения по первой группе признаков

Типизация грунтовых толщ Харасавэйского месторождения по признакам первой группы выполнена в пять структурных уровней.

На первом и втором структурных уровнях в качестве признаков типизации выступает число и характер классов грунтов, слагающих толщу. Грунтовые толщи изучаемой территории сложены одним классом грунтов и представлены мерзлыми дисперсными грунтами.

На третьем и четвертом структурных уровнях в качестве признаков типизации выступали число слоев и литологический тип пород, слагающих грунтовые толщи. До исследуемой глубины выделены две разновидности пород: песчаные (пески различной крупности) и глинистые (глины, суглинки и супеси). На третьем и четвертом структурных уровнях систематизация производилась

путем оценки процентного соотношения разновидности пород в толще. Так, толща называлась однородной, если более 96% ее мощности сложено глинистой породой. Двухпородная толща — толща, не менее 96% мощности которой сложено песчаными и глинистыми породами. Дальнейшее подразделение двухпородных грунтовых толщ по процентному содержанию литологических типов пород основано: на детальном анализе литологического строения грунтовых толщ Харасавэйского месторождения; конструктивных особенностях подземных резервуаров; требованиях к геологическому строению используемого под строительство песчаного пласта. Ниже приведены выделенные типы двухпородных грунтовых толщ.

По наличию и мощности песчаного пласта двухпородные грунтовые толщи были подразделены на: преимущественно глинистые (а), глинистые с песчаным слоем (б), песчано-глинистые с песчаным слоем (в), глинисто-песчаные с песчаным слоем (г). Степень благоприятности грунтовой толщи возрастает в ряду а-б-в-г.

Преимущественно глинистые грунтовые толщи (а) не содержат песчаный слой мощностью более 10 м и представлены от 96% до 85% глинистым грунтом. Такая грунтовая толща не является благоприятной для строительства ввиду малой мощности песчаного пласта.

Преимущественно глинистые грунтовые толщи (б) с песчаным слоем содержат слой песка более 10 метров и являются благоприятными для строительства резервуаров, процентное содержание

глинистой составляющей здесь составляет от 70% до 85%.

Песчано-глинистые (в) и глинисто-песчаные (г) грунтовые толщи с песчаным слоем содержат песчаный слой значительной мощности и являются весьма благоприятными для сооружения подземных резервуаров. Так, песчано-глинистые грунтовые толщи с песчаным слоем (в) содержат от 70% до 50% глинистой породой, а глинисто-песчаные грунтовые толщи (г) сложены глинистой породой менее чем на 50%.

Далее выделенные выше двухпородные грунтовые толщи с песчаным слоем подразделены с учетом глубины расположения этого слоя. Это необходимо было учесть в типизации, так как сооружение подземных резервуаров должно производиться на глубине не менее 15 метров от земной поверхности. Выделены следующие двухпородные грунтовые толщи:

- с песчаным слоем в верхней части (подшва песчаного пласта находится на глубине менее 25 м);
- с песчаным слоем в нижней части (подшва песчаного пласта находится на глубине более 25 м).

Соответственно, при расположении песчаного слоя в верхней части — грунтовая толща является неблагоприятной для сооружения резервуара и, напротив, при расположении в нижней части — благоприятной.

Вышеприведенную типизацию грунтовых толщ по количеству и сочетанию классов и литологических типов пород (по 1–4 структурным уровням) можно представить в виде схемы (рис. 2).

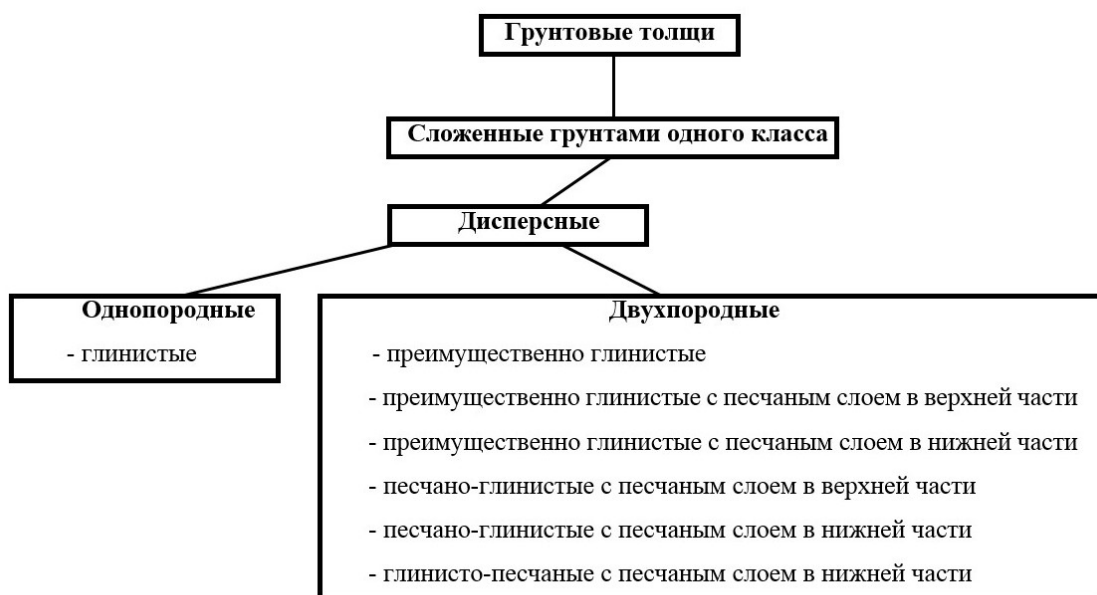


Рис. 2. Схема типизации грунтовых толщ Харасавэйского месторождения по признакам первой группы

На пятом структурном уровне в качестве признака типизации выступает содержание водорастворимых солей (засоленность) в составе пород грунтовой толщи. При систематизации использовалась классификация грунтов по степени засоленности, представленная в таблице Б.28 ГОСТ 25100–2020 «Грунты. Классификация». Структуризация толщ произведена путем расчета процентного содержания грунтов с разной засоленностью в грунтовой толще. Таким образом, по степени засоленности выделено три типа грунтовых толщ Харасавэйского месторождения:

- преимущественно сильнозасоленные;
- слабо- и средnezасоленные на сильнозасоленных;
- переслаивание средне- и сильнозасоленных.

Типизация грунтовых толщ территории Харасавэйского газоконденсатного месторождения по второй группе признаков

Подразделение грунтовых толщ Харасавэйского месторождения по признакам второй группы отражает особенности их состояния, температуры грунтов и степени льдистости (увлажненности). Систематизация грунтовых толщ по признакам второй группы произведена в четыре структурных уровня.

На первом и втором структурных уровнях за классификационные признаки приняты степень однородности состояния и характер состояния грунтов толщ соответственно. Грунтовые толщ изучаемой территории подразделены на толщ с однородным состоянием по разрезу, представ-

ленные на всю мощность многолетнемерзлыми породами и с неоднородным состоянием по разрезу, представленные многолетнемерзлыми и тальми грунтами. Последний тип характеризуется присутствием в разрезе толщ сильнозасоленных подземных вод (криопэгов), наличие которых препятствует строительству и эксплуатации подземных резервуаров, поэтому такие толщ являются неблагоприятными.

На третьем и четвертом структурных уровнях признаками типизации выступают температура на глубине грунтовой толщ и степень льдистости (увлажненности) грунтов толщ. По температуре грунтовые толщ подразделены на толщ с температурой ниже минус 5 °С (включительно) и грунтовые толщ с температурой минус 4–5 °С. Грунтовые толщ с многолетнемерзлыми и тальми грунтами включены в одну категорию — с температурой ниже минус 5 °С. По степени льдистости (увлажненности) грунтовые толщ систематизированы путем расчета процентного содержания грунтов с разной льдистостью. При этом использовалась классификация грунтов по степени льдистости, представленная в ГОСТ 25100–2020 «Грунты. Классификация», таблицы Б.26, Б.27. При наличии пластового льда грунтовая толща относилась к отдельному типу путем прибавления характеристики “с включением сильнольдистых”. Грунтовые толщ с неоднородным состоянием по разрезу многолетнемерзлые и тальные относились к одному типу с добавлением слов “с включением сильноувлажненных” (рис. 3).

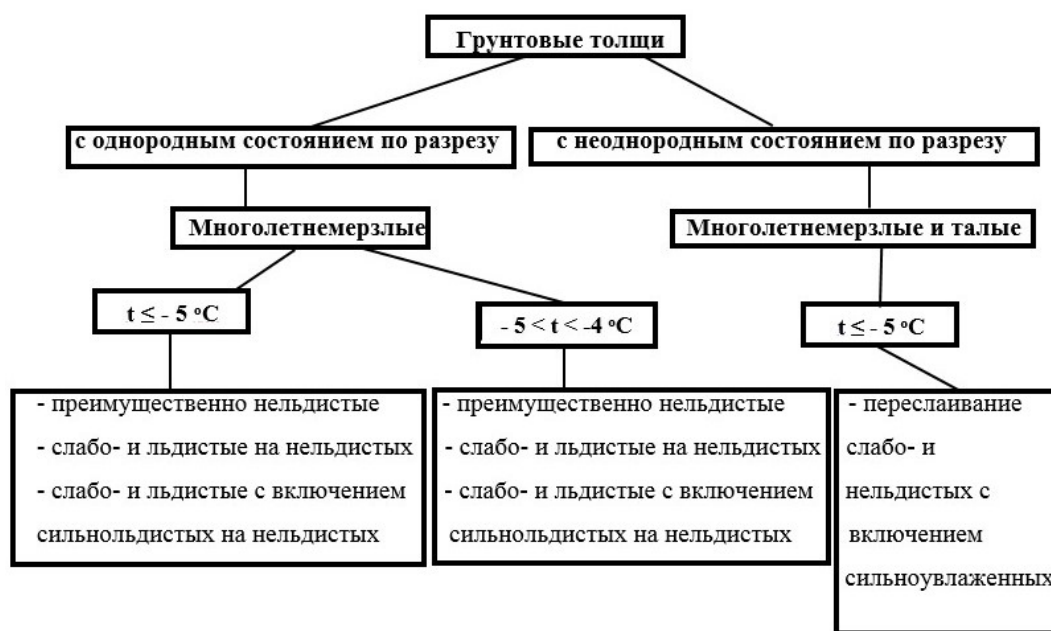


Рис. 3. Схема типизации грунтовых толщ Харасавэйского месторождения по признакам второй группы

Общая систематика грунтовых толщ Харасавэйского газоконденсатного месторождения

Представленные выше две типизационные схемы соединены в таблицу-матрицу, которая наглядно отражает состав, строение и современное состояние грунтовых толщ Харасавэйского газоконденсатного месторождения (табл. 1). В таблице-матрице для удобства восприятия приняты следующие буквенные обозначения для степени льдистости (увлажненности):

- преимущественно нельдистые — а;
- слабо- и льдистые на нельдистых- б;
- слабо- и льдистые с включением сильнольдистых на нельдистых — в;
- переслаивание слабо- и нельдистых с включением сильноувлажненных- г.

При пересечении вертикали и горизонтали таблицы-матрицы образуются таксономические единицы грунтовой толщи разного иерархического уровня, которые обладают признаками первой и второй группы одновременно. Наименьшая из них — тип грунтовой толщи, которая характеризуется определенными литологическим составом, температурой грунтов, степенью засоленности и льдистости (увлажненности). Всего выделено 133 типа грунтовых толщ, из которых на Харасавэйском месторождении действительно встречено 20 типов. Встреченные типы грунтовых толщ отмечены в таблице 1 нумерацией.

Выполненная типизация отражает все многообразие грунтовых толщ Харасавэйского месторождения с их инженерно-геологическими осо-

бенностями. Она может быть использована для оценки благоприятности того или иного типа грунтовой толщи для строительства и эксплуатации подземных резервуаров. Исходя из требований к составу, строению и состоянию грунтов для создания хранилищ, грунтовые толщи были подразделены по уровню благоприятности — в таблице 1 неблагоприятные толщи отмечены серым цветом, благоприятные выделены белым цветом.

Грунтовые толщи с неблагоприятными условиями для сооружения подземных резервуаров в ММП обладают следующими характеристиками:

(1) отсутствует песчаный пласт мощностью более 10 метров;

(2) песчаный пласт расположен на глубине менее 15 метров от земной поверхности, что способствует влиянию сезонных колебаний температуры на построенный и эксплуатируемый резервуар;

(3) грунты толщи являются нельдистыми, что способствует фильтрации хранимого продукта в массив породы;

(4) толща имеет неоднородное состояние по разрезу, присутствуют сильноувлажненные грунты [1], [6].

Всего на исследуемой территории Харасавэйского месторождения встречено 13 типов грунтовых толщ с неблагоприятными условиями для строительства и эксплуатации подземных резервуаров (в таблице они отмечены нумерацией в ячейках серого цвета). Пример грунтовой толщи № 7 (см. табл. 1) с неблагоприятными условиями представлен на рис. 4.

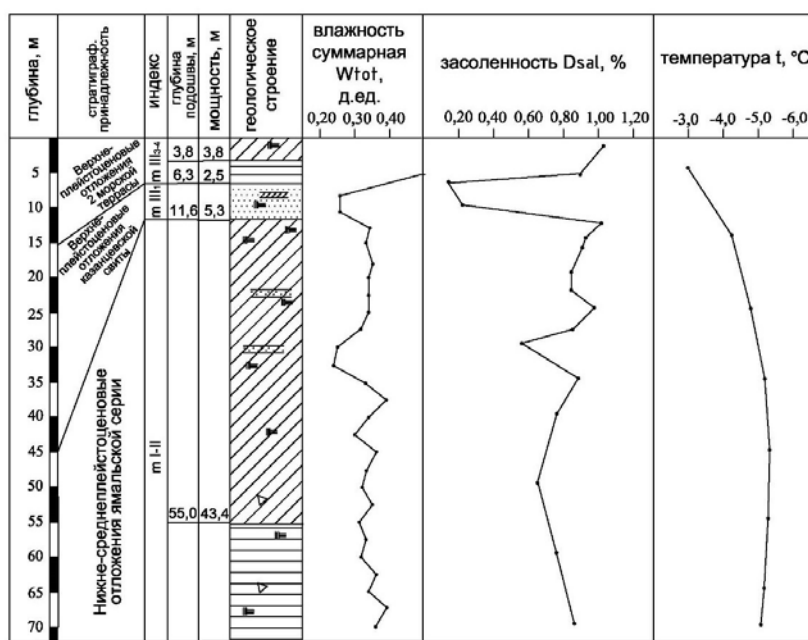


Рис 4. Грунтовая толща № 7 с неблагоприятными условиями под строительство и эксплуатацию подземных резервуаров для захоронения буровых отходов

Таблица 1. Типизация грунтовых толщ по благоприятности строительства и эксплуатации подземных резервуаров для хранения отходов бурения

Грунтовые толщи				с однородным состоянием по разрезу						с неоднородным состоянием по разрезу
				ММП						ММП и талые
				t ≤ — 5 оС			- 5< t < — 4 оС			t ≤ –5 оС
				а	б	в	а	б	в	г
Сложенные грунтами одного класса	Дисперсные	Однородные	глинистые	сильнозасоленные	1					
				слабо- и средnezасоленные на сильнозасоленных			2			
				переслаивание средне- и сильнозасоленных	3	4				
		Двухпородные	преимущественно глинистые	сильнозасоленные						
				слабо- и средnezасоленные на сильнозасоленных			5	6		
				переслаивание средне- и сильнозасоленных	7	8	9			
			преимущественно глинистые с песчаным слоем в верхней части	сильнозасоленные						10
				слабо- и средnezасоленные на сильнозасоленных	11	12				
				переслаивание средне- и сильнозасоленных						
			преимущественно глинистые с песчаным слоем в нижней части	сильнозасоленные						
				слабо- и средnezасоленные на сильнозасоленных		13	14			
				переслаивание средне- и сильнозасоленных						
			песчано-глинистые с песчаным слоем в верхней части	сильнозасоленные						15
				слабо- и средnezасоленные на сильнозасоленных						
				переслаивание средне- и сильнозасоленных						
			песчано-глинистые с песчаным слоем в нижней части	сильнозасоленные						
				слабо- и средnezасоленные на сильнозасоленных		16	17			
				переслаивание средне- и сильнозасоленных					18	
			глинисто-песчаные с песчаным слоем в нижней части	сильнозасоленные						
				слабо- и средnezасоленные на сильнозасоленных		19				
				сильнозасоленные				20		

Грунтовые толщи являются благоприятными для строительства и эксплуатации подземных резервуаров, если не обладают вышеперечисленными характеристикам: (1), (2), (3) и (4).

Всего выделено 7 типов грунтовых толщ Харасавэйского месторождения с благоприятными условиями для строительства и эксплуатации подземных резервуаров. В таблице 1 типы грунтовых толщ с благоприятными условиями выделены белым цветом и отмечены нумерацией. Пример грунтовой толщи с благоприятными условиями № 16 (см. табл. 1) представлен на рис. 5.

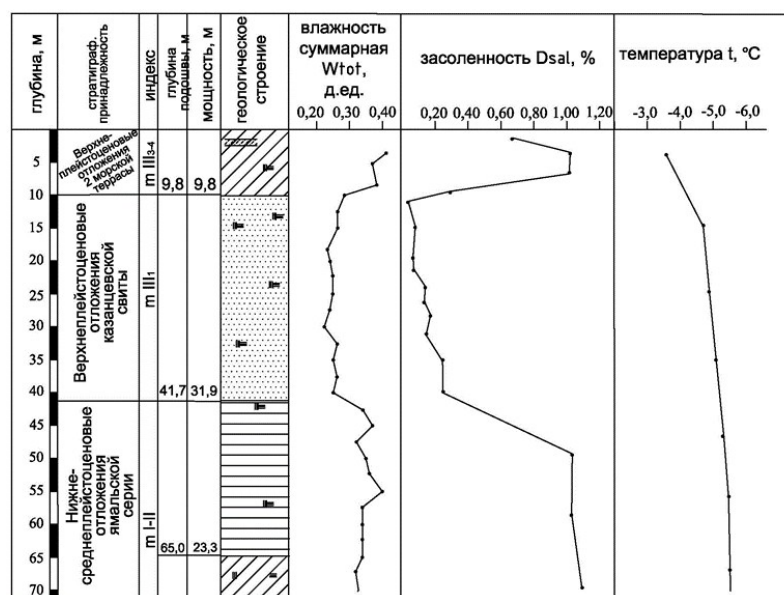


Рис. 5. Грунтовая толща № 16 с благоприятными условиями под строительство и эксплуатацию подземных резервуаров для захоронения буровых отходов

Подразделение типов грунтовых толщ по благоприятности позволяет предварительно оценить возможность сооружения в них подземных резервуаров. Данный подход может быть использован для оценки благоприятности мерзлых грунтовых толщ для строительства и эксплуатации подземных резервуаров на территории других месторождений.

Однако напряженно-деформированное состояние (НДС) разных типов грунтовых толщ с благоприятными условиями будет отличаться. Это логично объясняется различием показателей их физико-механических, в том числе и реологических свойств. Поэтому для более детального прогноза надежного

функционирования подземных резервуаров необходимо в дальнейшем провести численное моделирование НДС грунтовых толщ. Это позволит описать поведение выделенных на первом этапе благоприятных грунтовых толщ под воздействием строительства и эксплуатации подземных резервуаров.

Благодарности.

Автор выражает благодарность Трофимову В. Т., Аверкиной Т. И., Баду Ю. Б., Николаевой С. К. за замечания, ценные советы и предложения, предоставленные материалы при подготовки настоящей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксютин О. Е., Казарян В. А., Ишков А. Г., Хлопцов В. Г., Теплов М. К., Хрулев А. С., Савич О. И., Сурин С. Д. Строительство и эксплуатация резервуаров в многолетнемерзлых осадочных породах. М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2013, 432 с.
2. Баду Ю. Б. Геологическое строение криогенной толщи севера Западной Сибири// Инженерная геология. 2011. N 2, с. 40–55.
3. Мосина А. С., Мирный А. Ю., Скворцов А. А., Сурин С. Д. Методика оценки устойчивости подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. N 3–1, с. 223–237.
4. Мосина А. С., Николаева С. К., Скворцов А. А. Прогноз изменения состояния многолетнемерзлой
5. Сурин С. Д., Мосина А. С. Методика формирования подземных резервуаров многолетнемерзлых породах// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. N 3–1, с. 252–267
6. Сурин С. Д. Обоснование тепловых режимов строительства и эксплуатации подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах. Канд. диссер. М., Московский государственный горный университет, 2013
7. Трофимов В. Т., Фирсов Н. Г., Кашперюк П. И., Кудряшов В. Г. Грунтовые толщи Западно-Сибирской плиты. М., МГУ, 1988