

Ливеровский Александр Васильевич

**Строительство в условиях вечной
мерзлоты**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3
ББК 84-4
А46

А46 **Александр Васильевич Л.**
Строительство в условиях вечной мерзлоты / Ливеровский Александр Васильевич – М.:
Книга по Требованию, 2023. – 244 с.

ISBN 978-5-519-93440-4

ISBN 978-5-519-93440-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг — не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель — вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания — решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Правда, вечная мерзлота изучена мало. Правда и то, что практика строительства известна недостаточно. Но все же некоторые знания есть, как есть и некоторый опыт, почему следует во всех случаях возможно более продуманно ориентироваться на данные, добытые наукой и опытом.

Таким образом, первой задачей каждого строителя, работающего в этих интереснейших и вместе с тем сложнейших условиях, является возможно более полное ознакомление с вечной мерзлотой, ее характерными проявлениями и связанными со всем этим особенностями строительства.

Эта задача часто оказывается весьма трудной для рядового строителя, ибо хорошее знание вечной мерзлоты подразумевает знакомство с комплексом вопросов: о мерзлоте, гидрологии, геологии, грунтоведении, метеорологии и т. д.

Некоторые из имеющихся сведений и данных разпылены во многих источниках, пользование которыми затруднено. Другие источники не предназначались для строителей и поэтому содержат многое для них ненужное или не очень важное, в то время как ряд действительно нужных вопросов в них отсутствует. Наконец, некоторые работы устарели или содержат недостаточно доброкачественный материал.

На этом основании представляется интересным и полезным сделать попытку создания труда, который помог бы строителям познакомиться с вечной мерзлотой и со строительством в ее условиях. Такое может быть и не очень глубокое, но достаточно полное и подробное ознакомление послужит надежной базой для дальнейшего совершенствования строителями своих знаний в этих вопросах и для сознательного отношения к выполняемой ими работе при изысканиях, проектировании и строительстве в условиях вечной мерзлоты.

В дальнейшем немало места уделено характеристике вечной мерзлоты и особенностям скованных ею районов. Методы строительства и способы предохранения сооружения от деформаций основываются на знании мерзлоты, отчего глава, посвященная мерзлоте и ее особенностям, представляется крайне важной и нужной для последующих разделов труда.

Большое внимание должно быть уделено деформациям сооружений в условиях вечной мерзлоты, так как рассмотрение деформаций устанавливает, с одной стороны, влияние вечной мерзлоты на сооружения и намечает пути, по которым должна быть направлена инженерная мысль, а с другой — поясняет и иллюстрирует явления, сопряженные с наличием вечной мерзлоты.

Борьба с деформациями готовых сооружений затруднительна и часто обходится очень дорого. Вместе с тем во многих случаях деформаций можно сравнительно легко избежать, если тщательно сообразоваться с данными условиями строительства. Поэтому очень существенным моментом устойчивого строительства в условиях вечной мерзлоты являются правильные и тщательные исследования и изыскания строительной площадки, когда умелым заблаговременным выбором места строительства, основанным на знании мерзлоты, сооружение предохраняется от возможных деформаций.

Ввиду того, что исследования и изыскания строительной площадки имеют много специфического, этот вопрос получил в данной работе довольно большое развитие. Правильный выбор участка — наилучшая гарантия устойчивости сооружения.

Необходимо подчеркнуть, что успешное возведение и нормальное существование сооружения в условиях вечной мерзлоты вообще может быть достигнуто только комплексом мероприятий, а именно: правильным выбором участка после тщательных изысканий и исследований, правильным выбором устройств и конструкций сооружений, применением надлежащих материалов, правильным производством работ и, наконец, верным эксплуатационным режимом построенного.

Настоящая работа не претендует на исчерпывающую полноту и рассматривает вопросы по преимуществу со строительной точки зрения, ориентируясь в основном на промышленное и коммунальное строительство, касаясь прочих видов лишь в связи с первыми и в меру необходимости.

Последняя глава книги посвящена вопросам опытной научно-исследовательской работы. Несмотря на существование ряда опытных мерзлотных станций и большие затраты на экспериментальную научно-исследовательскую работу, единого плана деятельности этих организаций еще пока нет. По большей части эти станции принадлежат различным ведомствам и часто заняты вопросами, косвенно относящимися к строительству.

В целях скорейшего получения ответа на многие важные и до сих пор неясные вопросы необходимо объединить усилия этих станций и провести параллельно ряд аналогичных исследований. Этим путем в короткий срок могут быть получены полезные данные, корректирующие и дополняющие друг друга.

В главе VII выдвигаются те вопросы, которые могли бы быть разрешены сравнительно быстро, но для разрешения их нужно проведение экспериментов в различных условиях и в достаточно большом числе, дабы снизить влияние случайностей и возможных ошибок.

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ДАННЫЕ О ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Вечной мерзлотой или вечномерзлым грунтом называется слой грунта, находящийся на некоторой глубине от дневной поверхности почвы и имеющий отрицательную температуру, непрерывно длящуюся неопределенно долгое время — от двух лет до десятков тысячелетий.¹ Таким образом вечной мерзлотой может быть назван всякий грунт, имеющий отрицательную температуру более двух лет, независимо от его рода, состава и влажности, от того, в какой фазе, т. е. в каком состоянии в этом грунте находится вода, а также содержит он или не содержит воду, находится ли в рыхлом состоянии или хорошо сцементирован замерзшей водой и является ли скалой, галечником, песком, глиной или плавнуном и т. д.

Термин вечная мерзлота условен и отнюдь не подразумевает постоянства или вечности мерзлого состояния грунта. Такое название показывает только, что основной массив мерзлоты существует с незапамятных времен, доказательством чего служат найденные и находящиеся в вечномерзлом грунте остатки доисторических животных.

В действительности вечная мерзлота, вообще существуя в определенных районах, не остается неизменной, а подвергается в относительно небольшие промежутки времени значительным изменениям. Ряд обстоятельств случайного характера, например изменение поверхностного покрова почвы, изменение режима грунтовых вод или даже затенение данного участка почвы и т. д., способны вызвать поднятие или опускание уровня слоя вечной мерзлоты. Непостоянство глубины залегания слоя вечной мерзлоты общеизвестный факт, с которым всякий строитель должен считаться.

Над слоем вечной мерзлоты обычно располагается слой грунта, периодически меняющий свою температуру в зависимости от времени года. С наступлением зимы этот верхний слой грунта постепенно промерзает с поверхности на определенную глубину, сильно зависящую от местных условий. На большей части территории

¹ М. И. Сумгин, Вечная мерзлота почвы в пределах СССР, 1937, стр. 30.

распространения вечной мерзлоты промерзающий зимой верхний слой грунта в декабре — январе месяце сливается со слоем вечной мерзлоты, образуя одну мерзлую массу. В некоторых местах, где слой вечной мерзлоты залегает глубоко от поверхности земли, между слоем, промерзшим зимой, и слоем вечномерзлого грунта остается прослойка талого грунта толщиной от нескольких сантиметров до десятков метров.

Весной, с наступлением теплого периода года, замерзший зимой верхний слой грунта начинает оттаивать с поверхности, и по мере поступления тепла оттаивание идет вглубь до тех пор, пока приток тепла не прекратится и его не сменит новая волна холода. Наиболее глубокое протаивание бывает обыкновенно в сентябре — октябре.

Слой грунта, лежащий над вечной мерзлотой, ежегодно замерзающий и оттаивающий, называется **деятельным слоем**, так как в нем, главным образом, происходят физико-динамические процессы, влияющие на прочность и устойчивость сооружений. Ниже слоя вечной мерзлоты залегает слой грунта с положительной температурой, постепенно повышающейся по мере углубления в порядке геотермического градиента под влиянием теплоты, идущей из глубинных слоев земной коры.

Таким образом слой вечной мерзлоты ограничен снизу поверхностью, имеющей всегда температуру 0° , а сверху — поверхностью, имеющей температуру 0° в период наибольшего протаивания зимней мерзлоты. Эти поверхности с нулевой температурой называются верхней и нижней границами вечной мерзлоты. Расстояние между этими поверхностями есть мощность слоя вечной мерзлоты.

Мощность слоя вечной мерзлоты в разных районах весьма различна; она колеблется от нескольких сантиметров у южных пределов ее распространения до нескольких сотен метров на крайнем севере.

Грунты, имеющие отрицательную температуру, но не содержащие воды или включающие ее очень мало, а поэтому не смерзшиеся и оставшиеся сыпучим телом, называются в отличие от вечномерзлых грунтов **сухой мерзлотой**. Чаще всего это скальные, гравелистые или песчаные грунты.

Под термином **деградация вечной мерзлоты** подразумевается процесс перехода слоя вечной мерзлоты, по тем или иным причинам, в талое состояние. Поэтому **деградирующей** вечной мерзлотой можно считать такую мерзлоту в данном районе, у которой температура грунта постепенно из года в год повышается, что может быть установлено тщательными наблюдениями температурного режима грунта. К сожалению степень и скорость деградации неизвестны.

Происхождение вечной мерзлоты еще не совсем выяснено. Большинство лиц, занимающихся этим вопросом, склонны считать, что вечная мерзлота образовалась в недавний период существования земли. Для строителя вопрос о происхождении вечной мерзлоты практического значения не имеет.

Часто, говоря о влажности слоя вечной мерзлоты, а также о деятельном слое, грунты, слагающие эти слои, характеризуют как

переувлажненные. Под переувлажненными грунтами подразумевают такие грунты, которые включают больше влаги, чем это соответствует их полной влагоемкости. Состояние полной влагоемкости характеризуется тем, что все поры или пустоты между частицами грунта заполнены водой.

§ 2. ГЕОГРАФИЯ, МОРФОЛОГИЯ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Площадь распространения вечной мерзлоты в СССР составляет по новейшим данным М. И. Сумгина в круглых цифрах 10 млн. км², т. е. около 47% всей территории Союза. Пределы распространения вечной мерзлоты указаны на прилагаемой карте (фиг. 1).

В северной части района, занятого вечной мерзлотой, имеется массив географически сплошного распространения вечной мерзлоты, обычно залегающей мощным слоем. Южнее появляются отдельные пространства без вечной мерзлоты, так называемые острова таликов; еще южнее (около южной границы) встречаются уже только острова и гнезда, т. е. небольшие участки мерзлого грунта среди сплошного талого грунта.

Общий характер вечной мерзлоты подобен во всех районах, однако более южная часть массива вечной мерзлоты имеет гораздо более высокую температуру и вследствие этого несколько отличается от мерзлоты, расположенной на севере. Южная граница вечной мерзлоты ориентировочно проходит в европейской части СССР, несколько севернее Мезени, и идет к югу, пересекая реку Печору на широте Полярного круга; далее, проходя через Уральский хребет на 65-й широте, она пересекает реку Обь в 250 км севернее слияния Оби с Иртышом и несколько южнее г. Березова. От Березова южная граница вечной мерзлоты направляется к Турханску и, перейдя на правый берег Енисея, круто идет к югу, проходя между г. Канском и Красноярском, а затем уходит западнее г. Иркутска за государственную границу СССР. Далее она снова появляется на востоке, входя в пределы СССР западнее Хабаровска, направляется к устью р. Селемджи, идет по левому берегу Амура и, пересекая последний около озера Кизи, выходит в Татарский пролив.

По вертикальному распространению вечная мерзлота встречается двух основных видов:

1) непрерывная, или сплошная, имеющая один слой той или иной мощности, и

2) слоистая — прерываемая прослойками талого грунта; на Игарке, например, инж. Н. И. Быков в скважине глубиной в 62 м наблюдал пять талых слоев среди мерзлого грунта.

В свою очередь каждый из этих основных видов мерзлоты может иметь две разновидности. Первая разновидность наблюдается тогда, когда верхний слой грунта, лежащего над мерзлотой, зимой совершенно промерзает и вся толща грунта, от поверхности земли до нижней границы вечной мерзлоты образует один мерзлый слой. Эту разновидность мерзлоты принято называть *сливающей*.

[illegible]

1 — район с температурами грунта на глубине 10–15 м преимущественно ниже -5° ; 2 — район с температурами грунта на глубине 10–15 м преимущественно в пределах от -5° до $-1,5^{\circ}$; 3 — район с температурами грунта на глубине 10–15 м преимущественно выше $-1,5^{\circ}$; 4 — отдельные острова вечной мерзлоты; 5 — вечная мерзлота только в буграх торфяных болот; 6 — южная граница вечной мерзлоты в пределах СССР; 7 — предполагаемая южная граница вечной мерзлоты вне пределов СССР; 8 — граница, замыкающая районы значительных толщ льда в вечномерзлой толще.

- 1) непрерывную сливающуюся;
- 2) непрерывно несливающуюся;
- 3) слоистую сливающуюся;
- 4) слоистую несливающуюся.

В соответствии с этим залегание вечной мерзлоты может быть представлено четырьмя схематическими геологическими разрезами, изображенными на фиг. 2.

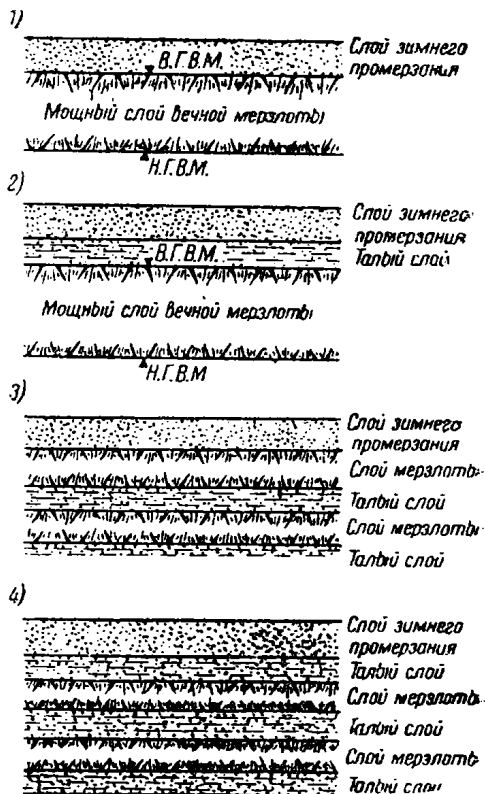
Мощность слоя вечной мерзлоты весьма различна не только в разных районах, но и в пределах данного района она может сильно колебаться в зависимости от многочисленных обстоятельств.

Мощность слоя вечной мерзлоты не остается постоянной и подвергается изменениям в ту или иную сторону, чаще всего вследствие изменения режима грунтовых вод в данном месте или состояния поверхностного покрова почвы и растительности. Очевидно, что поверхности, составляющие верхнюю и нижнюю границы вечной мерзлоты, не могут представлять собой плоскостей, а имеют случайную неправильную форму.

Форма верхней границы зависит от рельефа местности, от положения ее относительно стран света, от поверхностного покрова местности (лес, кустарник, трава, мох, торф, пашня, дорога и т. п.), от геологического строения и от гидрологических условий местности; иначе говоря, форма верхней границы имеет свой микрорельеф, отличающийся от микрорельефа дневной поверхности. Это обстоятельство вызывает неравномерное и неодновременное промерзание толщи деятельного слоя, что в свою очередь обуславливает неравномерность пучения грунта и образование грунтовых наледей.

О форме нижней границы вечной мерзлоты, за недостатком надлежащих исследований в этой области, в настоящее время не представляется возможным дать какие-либо определенные сведения; впрочем этот вопрос в огромном большинстве случаев никакого значения для устойчивости и прочности сооружений не имеет.

Верхняя граница слоя вечной мерзлоты непостоянна и изменяется по вертикали от многих случайных причин даже при естественном режиме местности. Деятельность человека почти всегда отражается на положении верхней границы слоя вечной мерзлоты и, в зависимости от тех или иных причин, может повести или к отступлению верхней границы вглубь почвы или иногда способство-



Фиг. 2.

вать ее поднятию к дневной поверхности, т. е. изменить мощность слоя вечной мерзлоты.

Некоторое представление о разнообразии в толщинах слоя вечной мерзлоты дают следующие цифры. Например, мощность слоя вечной мерзлоты оказалась: на крайнем севере Сибири в Амдерме — более 274 м (насквозь не пройдена), в Якутске — больше 136 м (не пройдена), на Бушулее — 67 м, в Петровске Забайкальском — 49 м, в Сковородино — 50 м, на Талдане — 71 м, в районе Тайшет-Падун — около 1—2 м, в Зилово — 46 м, в Могзоне — 51 м. Из приведенного видно, что в более южных районах мощность слоя вечной мерзлоты сильно падает.

Мощность слоя вечной мерзлоты представляет известный интерес для строителя в том отношении, что при возведении сооружений по принципу сохранения мерзлоты необходимо считаться с мощностью слоя. При малой мощности мерзлоты мало вероятно, что этот слой сохранится в мерзлом состоянии.

Температура слоя вечной мерзлоты изучена еще недостаточно. А между тем данные о температуре вечной мерзлоты имеют весьма большое значение для строителей, работающих в районе вечной мерзлоты, так как определение, в связи с мощностью вечной мерзлоты, запаса холода в грунте служит одним из главных руководящих соображений для решения вопросов о возможности сохранения вечной мерзлоты под сооружением или о возможности ее уничтожения естественным или насильственным путем. Кроме того сведения о температуре необходимы и для суждения о прочности вечномерзлого грунта. Наконец, данные о температуре мерзлого грунта полезны для выяснения вопроса об осадках грунта. Чем ниже температуры мерзлого грунта, тем прочнее грунт и тем легче достигнуть сохранения мерзлоты в основании сооружения.

Можно заметить, что температура вечной мерзлоты около $-0,5^{\circ}$ и выше не обеспечивает возможности сохранения мерзлоты в основании сооружения, а температура в пределах от $+0,0^{\circ}$ до $-0,3^{\circ}$ таит опасность проявления значительных осадок мерзлого грунта под нагрузкой.

Температура слоя вечной мерзлоты в верхней его части не сохраняется на одном уровне, а колеблется в зависимости от времени года и от некоторых случайностей.

Имеющиеся данные позволяют ориентировочно районировать вечную мерзлоту по ее температуре следующим образом.¹

- I. Район к северу от г. Мезени — температура не ниже $-0,5^{\circ}$.
- II. Район правого притока Печоры — реки Усы в нижнем ее течении до устья р. Воркуты — 1° .
- III. Район к востоку от северной части Уральских гор до Тазовской губы от -3° до -5° .
- IV. Район от Тазовской губы до Анабара от -5° до -7° .
- V. Район от Анабара до Колымы на юге (до 64 параллели) от -6° до -8° .
- VI. Район Анадырского лимана — 5° .

¹ Н. А. Цытович и М. И. Сумгин, Основания механики мерзлых грунтов, 1937, стр. 308.

VII. Район к западу от Байкала в местах, где имеется вечная мерзлота, выше $-0,5^{\circ}$.

VIII. Район к востоку от Байкала до побережья Тихого океана, на юг до государственной границы, не ниже $-1,5^{\circ}$, как правило выше.

На основании предыдущего все районы можно разбить на три группы: северную с температурой вечной мерзлоты ниже -5° , среднюю с температурой от -5° до $-1,5^{\circ}$ и южную с температурой выше $-1,5^{\circ}$.

Грунты, скованные вечной мерзлотой, могут быть самыми разнообразными, но наиболее опасные для сооружений и наиболее трудно разрабатываемые грунты это пылеватые, илистые, обильно влажные, при протаивании превращающиеся в плавун; к этим грунтам примыкают глинистые и мелкопесчанистые грунты. Крупно-песчанистые и особенно гравелистые или галечные грунты, относящиеся к хорошо дренирующим грунтам, несколько лучше, если только они не содержат больших включений чистого льда (погребенные льды). Качество вечномерзлого грунта расценивается с точки зрения способности давать значительные осадки при его протаивании под сооружением и с точки зрения трудности его разработки.

Обычные грунты слоя вечной мерзлоты, чаще всего встречающиеся, это суглинки и супеси с большим содержанием пылеватых частиц.

Вечномерзлый грунт весьма прочен пока он не оттаял. Вода, пропитавшая грунт и смерзшаяся с ним, настолько сильно цементирует его и образует такую твердую массу, что разработка грунта становится весьма затруднительной. Вечную мерзлоту почти нельзя разрабатывать киркой или ломом; приходится обращаться к взрывным работам или к оттаиванию мерзлоты при помощи пожогов (костров), а иногда естественным теплом — воздействием солнца.

Сильно влажные пылеватые илистые грунты, протаивая летом при разработке и превращаясь в плавун, препятствуют работе, так как по такому грунту нельзя перемещаться. Люди, лошади, повозки и машины тонут в образовавшемся жидком грунте.

Данные о влажности грунтов слоя вечной мерзлоты весьма существенны, так как процент влажности имеет значение для суждения о способах разработки грунта, о величине возможной осадки его под нагрузкой, а также оказывает влияние на прочность грунта в мерзлом состоянии.

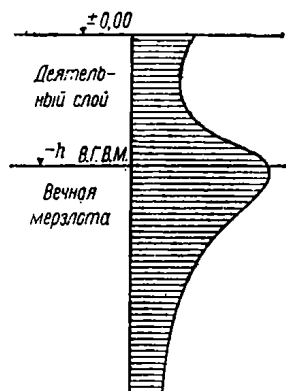
Для механических свойств мерзлого грунта наиболее благоприятное содержание воды находится приблизительно в следующих пределах в процентах заполнения пустот водой:

для чистого песка
для чистой глины .

75%
45%

Что касается влияния влажности на осадку оттаявшего грунта, то уже 30—35% влажности, что соответствует полной влагоемкости обычных грунтов слоя вечной мерзлоты, представляют некоторую опасность. Малые осадки могут быть только при влажности

равной приблизительно $\frac{2}{3}$ от полной влагоемкости. Говоря о влажности мерзлого грунта, часто слово влажность заменяют словами льдистость или льдонасыщенность, что в отношении вечномерзлых грунтов одно и то же, если иметь в виду весовую влажность, а не объемную. Распределение влаги в слое вечномерзлого грунта в общем разнообразно. Однако наиболее увлажненной частью обычно является верхняя граница слоя вечной мерзлоты. Очень часто поэтому при возведении сооружения может оказаться рациональным пройти верхний сильно влажный слой вечной мерзлоты и заложить фундаменты несколько (на 1—2 м) ниже верхней границы вечной мерзлоты на гораздо менее влажном, хотя и мерзлом грунте. Характерное распределение влаги в слое вечной мерзлоты и в деятельном слое показано на фиг. 3.



Фиг. 3. Характерная влажность грунтов деятельного слоя и слоя вечной мерзлоты.

Механическая прочность мерзлых грунтов представляет для инженера-строителя большой интерес.

Весьма тщательные и довольно подробные испытания механической прочности мерзлых грунтов были проведены Н. А. Цытовичем.¹ Эти опыты, а также испытания И. С. Вологдиной и ряда других лиц показывают, что временное сопротивление сжатию мерзлых грунтов вообще гораздо выше, чем для обычных талых грунтов, и зависит как от температуры, влажности или льдонасыщенности, так и от механического состава грунта.

Большинство опытов дает возможность сделать следующие заключения.

1. При прочих равных условиях песчаные грунты обладают большим сопротивлением сжатию, чем глинистые.

2. Увеличение влажности грунта до предела, соответствующего полному заполнению пустот в грунте, повышает прочность грунта.

3. Увеличение влажности грунта выше этого предела не повышает прочности и часто ведет даже к уменьшению прочности мерзлого грунта.

4. Понижение температуры мерзлого грунта влечет за собой увеличение его прочности.

Некоторое представление о механической прочности разных видов мерзлого грунта при различной температуре и относительно невысокой льдонасыщенности дает табл. 1, составленная по данным Н. А. Цытовича.

Приведенные в табл. 1 данные подтверждают сказанное ранее о влиянии механического состава грунта и температуры на прочность. Это данные лабораторные, поэтому они могут служить лишь

¹ Н. А. Цытович и М. И. Сумгин, Основания механики мерзлых грунтов, 1937, стр. 150.