



## **Криолитология. Направления развития бетоноведения.**

### **The cryolithology is. There are directions of the concrete science development.**

Кузьмина Вера Павловна, Академик АРИТПБ, кандидат технических наук, Технический эксперт.

Kuzmina Vera Pavlovna, Ph.D., Academician ARITPB, the Technical expert.

#### **Аннотация**

В статье рассмотрены вопросы, касающиеся криолитологии, состояния мёрзлых и многолетнемёрзлых грунтов, отдалённость усвояемых территорий Центральной Сибири и Дальнего Востока и Арктики, устройство буроопускных свайных фундаментов, и направлений развития бетоноведения, квалитетическая оценка бетона на мёрзлых грунтах, строительство жилых домов, применение порошковых бетонов и самозалечиваемых бетонов с биодобавками, методы испытаний, патенты, проницаемость, долговечность, обеспечения условий безопасной эксплуатации бетонных конструкций.

**The summary.** In the article there is questions concerning cryolithology. The state of frozen and permafrost soils is. The remoteness of digestible areas of Central Siberia, and the Far East, and the Arctic is. The device of bureaus' pile foundations is. There are directions of development of the concrete sciences, There is a qualitative assessment of concrete on a frozen ground. Construction of residential houses is. The use of powder concretes is. There is a self-poured concrete and concretes with supplements, test methods, patents, permeability, durability, ensure the conditions for the safe operation of concrete structures.

**Ключевые слова:** криолитология, бетоноведение, вечная мерзлота, отдалённость, Центральная Сибирь, Дальний Восток, Арктика, буроопускные свайные фундаменты, порошковые бетоны, механо-активация цемента, само-залечиваемый бетон, био – активация воды затворения бетона, направления развития технологии, долговечность, морозостойкость, прочность на сжатие, безопасная эксплуатация бетонных конструкций, строительство.

**Keywords:** the cryolithology, a concrete science, a permafrost, a remoteness, Central Siberia, Far East, Arctic, a drilling pile foundations, a powder concrete, a mechanical activation of cement, a self-healing concrete, a bio-activation of concrete mixing water, directions of technology development, a durability, a frost resistance, a compressive strength, a safe operation of concrete structures, a construction.

К рассмотрению предлагается современный взгляд на криолитолиз — процесс, формирующий криогенную грунтовую толщу с подземными льдами, и современные направления бетоноведения, рекомендуемые для хозяйственной деятельности в условиях вечной мерзлоты.

Криолитолиз - это совокупность процессов образования многолетне-мёрзлых льдистых горных пород в условиях Криолитозоны.

Есть три основных горизонта. Деятельный слой — горизонт сезонных изменений состояния пород, в котором чередуются, то промерзанием, то оттаиванием. Происходят активные процессы перемещения и изменения грунтов, сопровождаемые миграцией воды, четко фиксируемые в разрезе грунтовой толщи. Все процессы криогенного выветривания пород, криогенной сортировки сезонного пучения и просадки, течения грунта, его перемещения под напором, миграции влаги и т.д., происходят в деятельном слое, обнаруживая себя в рельефе земной поверхности в виде сезонно существующих форм рельефа.

Освоение Центральной Сибири и Дальнего Востока обусловлено не только отдалённостью этих территорий, но и инженерно-геологическими условиями. Большую часть этих территорий занимают мёрзлые и многолетнемёрзлые грунты.

Мёрзлые и многолетнемёрзлые грунты занимают 11 млн. км<sup>2</sup> в Российской Федерации. Это, в основном, азиатская часть. Область их распространения простирается вплоть до Северного Ледовитого океана. Они охватывают большую часть Сибири и всю Арктику. Из-за присутствия льда, мёрзлые грунты являются практически несжимаемыми, однако, при оттаивании их несущая способность резко уменьшается, и они дают большую просадку. [1]

К таким условиям относятся: суровый климат, мёрзлое состояние грунтов и экономические особенности, связанные с удалённостью и малой освоенностью территорий.

При строительстве на многолетнемёрзлых грунтах применяются особые архитектурно-планировочные решения [2], учитывающие длительное пребывание людей вне улицы, проветривание подполий зданий, воздействие на здание высоких скоростей ветра, усиление несущих конструкций, защиту объектов от снеготаносов. Отдельный свод правил, СП 25.13330.2012 регламентирует проектирование фундаментов.

При принципе I грунты используются в мерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации зданий и сооружений.

При принципе II – грунты используются в оттаявшем или оттаивающем состояниях [3].

Устройство подполья является наиболее распространённым способом регулирования теплового влияния зданий на температурный режим оснований. Оно представляет собой часть здания, заключённое между перекрытием первого этажа и грунтом основания. В итоге на севере применяются два варианта постройки домов, которые решают основную задачу - не дать теплу от дома подогревать фундамент под самим домом. Непроветриваемые подполья устраиваются в районах с низкими

отрицательными температурами и при незначительных размерах здания в плане. Тогда основание остаётся мёрзлым за счет бокового охлаждения через грунт. Открытые подполья имеют постоянное сообщение с наружным воздухом. Однако, постоянная низкая температура в открытом подполье создаёт неблагоприятный температурный режим для помещений первого этажа здания. Чтобы снизить влияние низкой температуры на температурный режим помещений первого этажа, часто используются подполья с регулируемым проветриванием. Средством вентиляции для них служат отверстия (продухи), устраиваемые в цоколе здания.

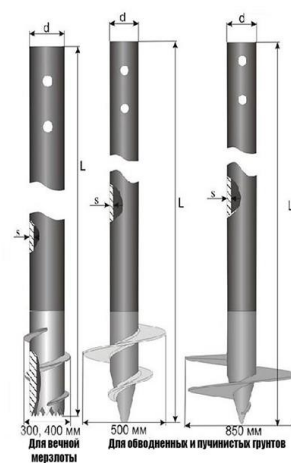
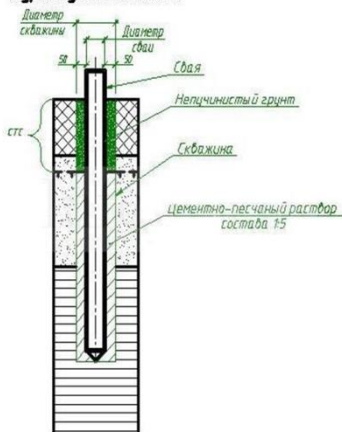
В качестве материала для подсыпки хорошо подходят не сцементированные льдом пески средней крупности и крупные, а также крупнообломочные грунты (содержащие частицы размером до 0,1 мм). Высота подсыпки подбирается исходя из того, что высота протаивания под ней была не больше естественной мощности сезоннопротаивающего слоя.

Устройство столбчатых и ленточных фундаментов предполагает большой объём земляных работ, поэтому наиболее рациональных в условиях многолетней мерзлоты является устройство свайных фундаментов.

Если здание возводится на подсыпке, на площадках с неглубоким залеганием кровли разрушенных скальных пород, а также на площадках с массивами льда, применяются сборные столбчатые фундаменты. Ленточные фундаменты применяют в том случае, когда их подошвы проектируются в пределах насыпи из непучинистых грунтов.

На многолетнемёрзлых грунтах в большинстве случаев применяются буроопускные сваи с гладкой боковой поверхностью /4/. В предварительно пробуренную на определённую глубину скважину опускают сваю, а пространство между свайей и стенками скважины заполняют грунтовым раствором и выдерживают до смерзания с окружающими грунтами. Нагрузка от сооружения передается на грунты основания через нижний конец сваи и боковую ее поверхность.

**Буроопускной способ**



Серьёзным недостатком буроопускных свай с гладкой боковой поверхностью является их малая надёжность в условиях вечной мерзлоты за счёт снижения несущей способности при эксплуатации. Существует различие между сваями, применяемыми в мерзлых грунтах и сваями, применяемыми в талых грунтах.

Во втором случае используют широколопастные анкеры с заостренным наконечником с отношением диаметров лопасти и ствола сваи  $> 1,5$ . В вечно-мёрзлых грунтах применяют узколопастные анкеры с отношением диаметров лопасти и ствола сваи  $< 1,5$ .



Несмотря на положительные стороны винтовых свай, таких, как их высокая технологичность и дешевизна, существует ряд серьёзных недостатков. Бурение скважин под такие сваи не прощает ошибок, так как возможно существенное снижение несущей способности основания по боковой поверхности сваи.

Существует множество видов свай, но самая популярная - буронабивная, когда специальная буровая установка высверливает в мерзлоте отверстие, а в скважину опускается арматурный каркас и заливается бетоном.

Для сохранения в мерзлом состоянии грунтов в свайном основании иногда применяют капсулированные трубчатые погружные жидкостные либо парожидкостные устройства – термостабилизаторы, которые помещают в специальные скважины, пробуренные рядом с опорным фундаментом для создания холодного экрана.



Охлаждающие трубы и каналы проводятся на некоторой глубине под всем зданием и объединяются коллекторами, по которым подаётся охлаждающая жидкость или газ.

При прокладке коммуникаций трубы прокладывают, либо поверху (1,5 м), либо укладывают в несколько раз глубже под землю, по сравнению с обычными трубами.

Искусственное охлаждение используется при значительных технологических нагрузках на полы, а также при невозможности использования проветриваемых подполий.

Вечная мерзлота в России, уже не вечная. Климат изменяется. Пример разрушения здания в Норильске.

К большому удивлению ученых, практически все запасы вечной мерзлоты на севере Сибири и на всей территории Аляски начнут таять или полностью растают к 2300 году, превратившись в так называемый «талик», незамерзающий слой почвы, покрывающий остатки промерзлого грунта, что приведет к выбросу огромных количеств метана, углекислоты и других парниковых газов в атмосферу.

Существует множество патентов на конструкции свай для использования в многолетнемерзлых грунтах. Это - забивные сваи с многогранным стволом, буроопускные сваи с дополнительным расширяющимся кожухом, буроопускные сваи с анкерными элементами, набивные сваи с анкерными элементами и др.

Все эти виды свай являются лишь аналитическими моделями и не получили распространения в практики строительства в условиях вечной мерзлоты.

Рассмотрим квалитетическую (комплексно-количественную) оценку качества бетона на мёрзлых грунтах /5/. В течение длительного времени в бетонах происходят изменения поровой структуры, наблюдается протекание структур образующих, а иногда и деструктивных процессов, и как результат, происходит изменение структуры и свойств материала. Цемент и вода являются активными составляющими бетона, в результате реакции между ними образуется цементный камень, скрепляющий зерна заполнителей в единый монолит. Только одну десятую часть бетона (по весу) составляет искусственный материал - цемент, остальные девять десятых - это естественные каменные материалы и вода, которые нужно только добыть и доставить на место строительства. В вечной мерзлоте доступен единственный заполнитель окатанный мелкий песок с модулем крупности 1,2.

Требование по морозостойкости бетона на мёрзлых грунтах варьируются от 300 до 500 циклов попеременного замораживания и оттаивания (ГОСТ 10060–2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости).



Согласно п.1 ГОСТ 25192-2012, классификация бетонов производится по основному назначению, виду вяжущего вещества, виду заполнителей, структуре и условиям твердения.

Для вечной мерзлоты нужен высокопрочный пескобетон, или прессованный бетон, называемый порошковый бетон Reactive powder Concrete /6/.

Многоуровневая дисперсно-гранулометрическая модификация цементных систем. Это относится, прежде всего, к порошковым бетонам (ПБ), изготавливаемым из тонкозернисто-порошковых сухих смесей. В таких смесях содержится 50-60% порошкового компонента (цемент, молотая горная порода, микрокремнезем) и 40-50% тонкозернистого (кварцевый песок фракции 0,1-0,6 мм).

Таблица 1.

| Марка<br>цемента | Предел прочности кгс/см <sup>2</sup> (МПа)<br>(испытание по ГОСТ 310.4) |          |                       |          | Подвижность<br>цементнопесча-<br><br>ного раствора<br><br>1 : 3 при В/Ц=0.4 |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------|
|                  | При изгибе в возрасте                                                   |          | При сжатии в возрасте |          |                                                                             |
|                  | 3 суток                                                                 | 28 суток | 3 суток               | 28 суток |                                                                             |
| 500 (Д40)        | 40/3.9                                                                  | 65 /6.4  | 280/27.5              | 500/49   | 240                                                                         |
| 550 (Д20)        | 45/4.4                                                                  | 70/6.9   | 310/30.4              | 550/53.9 | 230                                                                         |
| 600 (Д5)         | 50/4.9                                                                  | 75/7.4   | 340/33.3              | 600/58.8 | 210                                                                         |
| 700 (Д0)         | 70/6.9                                                                  | 90/8.8   | 500/49                | 700/686  | 200                                                                         |

Чтобы плотно уложить бетонную смесь при наименьшем содержании в ней воды, а следовательно, при наименьшем расходе цемента, в настоящее время широко применяется вибрирование бетонной смеси. В чем же заключается его действие. Каждому известно, что встряхивание зернистого материала, например сухого песка, позволяет поместить в один и тот же ящик гораздо больше материала, чем без такого потряхивания: материал укладывается плотнее. Если встряхивать с большой частотой бетонную смесь, то цементным раствором разжижается, и смесь приобретает свойства псевдожидкости. В таком состоянии бетонная смесь плотно заполняет весь объем опалубки, не оставляя в ней пустот – раковин, например, при заливке в арматурный каркас буроопускной сваи с гладкой боковой поверхностью. Для успешной заливки бетона необходимо получить пластичный текучий бетон /7/. Технология относится к получению высокомарочных

быстротвердеющих литевых цементов с пластифицирующими добавками и может быть использовано при изготовлении железобетонных изделий и конструкций без пропаривания, крепежных сводов при проходке подземных

Таблица 2.

| Условия<br>тверде-<br>ния          | Предел прочности, кгс/см <sup>2</sup> , (Мпа),<br>соотношение цемента к песку 1:1,<br>(осадка стандартного конуса не менее 10 см) |            |            |             |                        |              |              |              |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|-------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                    | При изгибе в возрасте:                                                                                                            |            |            |             | При сжатии в возрасте: |              |              |              |
|                                    | 6 ч.                                                                                                                              | 1 сут.     | 3 сут.     | 28сут.      | 6 ч.                   | 1 сут.       | 3 сут.       | 28сут.       |
| ГОСТ<br>310.4<br>п.2.2.5           | 30/<br>2.9                                                                                                                        | 55/<br>5.4 | 80/<br>7.8 | 100/<br>9.8 | 200/<br>19.6           | 500/<br>49   | 600/<br>58.8 | 900/<br>88.2 |
| ГОСТ<br>310.4<br>п.2.2.6-<br>1, 2) | 30/<br>2.9                                                                                                                        | 55/<br>5.4 | 70/<br>6.9 | 90/<br>8.8  | 200/<br>19.6           | 400/<br>39.2 | 500/<br>49   | 800/<br>78.4 |

2) Далее твердение в холодильной камере при температуре +5-10°C

тоннелей. Способ получения таких цементов заключается в совместном помоле исходного цемента с суперпластификатором С-3 в виброцентробежной мельнице при ускорении 10-20 g, причем пластификатор берут в количестве 2-5% от исходной массы и его предварительно подвергают активации в виброцентробежной мельнице при ускорении 10-20 g. Для получения особо быстротвердеющего портландцемента в качестве исходного компонента берут 100%-ный портландцементный клинкер. Для обеспечения возможности использования цементов при низких температурах при помоле целесообразно вводить функциональные противоморозные добавки в количестве не более 5% от исходной массы.

Последние работы посвящены, например, самовосстанавливающимся бетонам модифицированным микробиологическими добавками (диссертант Аль Дулайми Салман Давуд Салман).

В диссертационной работе Аль Дулайми Салман Давуд Салман приводятся исследования по разработке технологии получения материалов с биодобавками, изучению процесса устранения трещин в бетоне и установлению физико-технических свойств бетонов, модифицированных микроскопическими организмами восстановленных материалов. Самовосстановление бетона может быть достигнуто путем *введения в бетонную матрицу бактерий*. Целесообразность использования биоактивации воды затворения бетонных смесей сегодня уже не вызывает сомнений. Ученые предложили добавлять в бетон на стадии его производства смешанные с молочнокислым кальцием бактерии рода *Bacillus*, которые живут в камнях около активных вулканов и щелочных озер /9/. Когда в трещины попадает вода, она пробуждает бактерии от спячки, и те начинают поглощать соль, выделяя кальцит (одна из форм карбоната кальция), отложения которого и заполняют образующиеся в бетоне щели. «Биобетон идеально подходит для строений, к которым люди имеют ограниченный доступ — шоссе, подземным сооружениям, фундаментам, буровым вышкам. Бактерии отлично приспособлены к высокой щелочности среды и могут пребывать в спячке внутри бетона долгие годы». Разработка Хендрик Мариус Йонкерс (Hendrik Marius Jonkers) из Дельфтского технологического университета вышла в финал конкурса European Inventor Award 2015 года.

Учитывая современные достижения науки и техники, и основные направления технического прогресса в области строительства и освоения мёрзлых грунтов в России, промышленность и бизнес имеют все предпосылки к их освоению. Сенная палочка — сапрофитный микроб, вызывающий большой интерес у микробиологов по причине повсеместного распространения, особенностей развития и необычной устойчивости спор к физико-химическим агентам. Латинское название бактерии – *Bacillus subtilis*. *Bacillus subtilis* продуцирует некоторые антибактериальные вещества, полисахариды, аминокислоты и ферменты, а также целый набор химических микроэлементов – соединений азота, фосфора, калия в сбалансированном виде.

По своей микробиологической сущности сенная палочка является крупной бактериальной клеткой, которая положительно окрашивается по Грамму, растет и размножается в присутствии кислорода. Она обитает в почве и



обладает способностью образовывать споры. Это безопасный микроорганизм, не обладающий патогенными свойствами /10/.

Анатолий Викторович Брушков доктор геолого-минералогических наук, возглавляет кафедру геокриологии МГУ, которой 60 лет, и всю жизнь изучает проблемы вечной мерзлоты, которая занимает 65% суши России. В 90-х годах почти 5 лет провёл в микробиологической лаборатории Университета Хоккайдо: изучал свойства бактерии, пытался расшифровать её ДНК. Бактерию *Bacillus F* мы нашли в древней вечной мерзлоте на Мамонтовой горе в Якутии. Возраст микроорганизма — больше 3 млн. лет. Но бактерия была жива! С древними одноклеточными из вечной мерзлоты ничего подобного не происходит. Они не разрушаются, не стареют и не умирают. Живут больше 3 млн. лет и при этом прекрасно себя чувствуют. Микроорганизмы были окружены льдом, но внутриклеточная вода была не заморожена. Её просто оказалось на 17% меньше, чем в обычных вегетативных клетках. Бациллы оказались не просто живучи. Когда их извлекли из мерзлоты, они показали себя супер выносливыми. Представьте себе — бактерии выжили после 4-часового кипячения! /11/

Член-корреспондент Российской академии космонавтики имени

Циолковского Юрий Юрьевич Караш сообщил, что на станции Мир, в общей сложности было найдено 250 земных микроорганизмов, которые мутировали в условиях космического полета. В атмосферу станции продукты попадают с выделениями (дыханием, потом. Все космические микробы, обнаруженные в космосе, были занесены на корабли еще до старта с Земли /12/.

## ВЫВОДЫ

- Требования современных строительных технологий ставят задачи совершенствования методов исследования многолетнемёрзлых грунтов и разработку эффективных конструкций фундаментов и зданий общественного назначения.
- Выделяются два основных направления:
  - 1) разработка новых видов фундаментов, позволяющих более полно использовать высокий потенциал несущей способности мерзлых грунтов;
  - 2) улучшение строительных свойств грунтов путем понижения их температуры.
- Наиболее перспективным для использования в многолетнемёрзлых грунтах являются сваи с неровной боковой поверхностью (ребристые сваи), которые не только более эффективно используют свойства мёрзлых грунтов, но и с учетом своей экономичности, в перспективе позволяют увеличить объёмы производства.

- Для строительства в мёрзлых грунтах целесообразно использовать порошковые бетоны Reactive powder Concrete.
- Для интенсификации производства порошковых бетонов необходимо предварительно механо-активировать суперпластификатор С-3, т.е. натриевую соль полиметиленаполиафталин сульфокислоты и общестроительный цемент М500.
- Применить биодобавки для самозалечивания бетона.
- Устанавливать номенклатуру показателей качества в зависимости от назначения конкретных видов бетонных и железобетонных конструкций и изделий в условиях вечной мерзлоты.

## Литература

1. Мерзлотоведение (краткий курс) под ред. В.А Кудрявцева Издательство Московского Университета. 1981 г.
2. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах [текст]/под ред. Ю.Я Велли, В.В Докучаева, Н.Ф Федорова, Ленинград, Стройиздат, 1977 г.
3. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов Издательство «Высшая школа» 1973 г.
4. Набережный А.Д. Исследование несущей способности мёрзлых грунтов основания ребристых буроопускных свай, Северо-Восточный Государственный Университет имени М.К Аммосова, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Якутск 2018 – на правах рукописи
5. <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=869354>
6. Володин Владимир Михайлович дис. к.т.н. «Порошково-активированный высокопрочный песчаный бетон и фибробетон с низким удельным расходом цемента на единицу прочности». Пенза. 2012. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства – на правах рукописи.
7. Патент РФ № 2094404 СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОВ. Патентообладатель Кузьмина Вера Павловна.
8. Аль Дулайми Салман Давуд Салман. Самовосстанавливающиеся бетоны, модифицированные микробиологической добавкой. Дисс. к.т.н. «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.П. ОГАРЕВА». Москва 2019 г. – На правах рукописи.
9. <https://www.youtube.com/watch?v=2b4j8aKWvQk> Hendrik Marius Jonkers - Self-healing concrete containing bacteria
10. <https://uhonos.ru/vozbuditeli/sennaya-palochka>
11. <https://skurlatov1.livejournal.com/> Анатолий Брушков.
12. <https://maxpark.com/user/4296647960/content/3835903>