

# ПОДЗЕМНОЕ ПРОСТРАНСТВО КРИОЛИТОЗОНЫ (проблемы и перспективы использования)

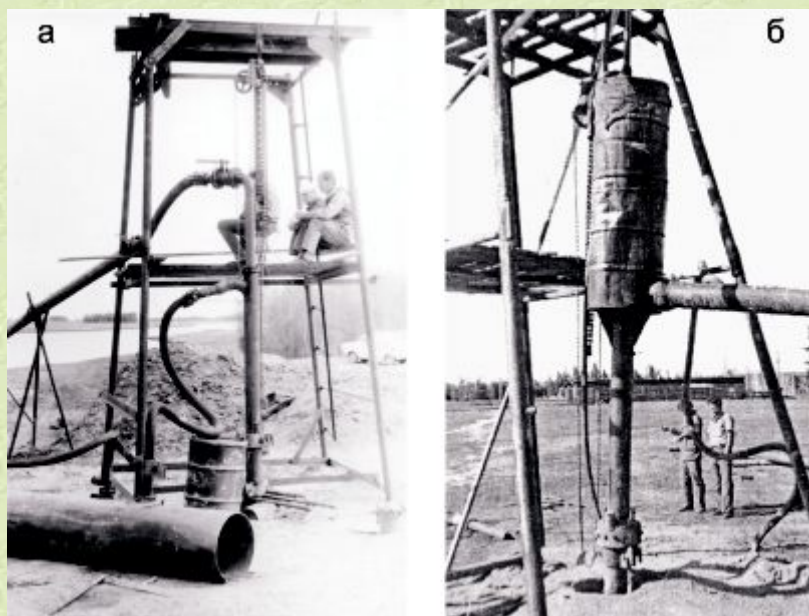
Г. П. Кузьмин

В настоящее время подземное строительство приобрело огромные масштабы и исключительное разнообразие. Наиболее ценный опыт в этом вопросе за последние годы накоплен газовой промышленностью. Подземные хранилища газа обустраиваются в истощенных месторождениях нефти и газа, водоносных структурах, реже – в различных коллекторах. Под землей также создаются склады и хранилища для продуктов и отходов производства, холодильники, винодельческие, лечебные и другие предприятия, успешно выращиваются овощи и шампиньоны, устраиваются залы различного назначения и т.д. Для размещения подземных сооружений обычно используются скальные и полускальные горные породы, обеспечивающие устойчивость подземных выработок без применения крепления.

В условиях криолитозоны, в частности на территории Якутии, широко распространены осадочные горные породы различной мощности, которые в мерзлом состоянии обладают достаточной прочностью и вполне пригодны, чтобы создавать в них выработки относительно небольшого пролета. Однако многолетнемерзлые породы обладают специфическими свойствами, обусловленными их составом и строением. Они представляют сложную систему, состоящую из твердых минеральных частиц, льда, незамерзшей воды и газов. Количество льда и незамерзшей воды в многолетнемерзлых толщах изменяется с колебанием температуры и давления. При этом фазовые переходы воды из твердого в жидкое состояние и обратно сопровождаются поглощением или выделением тепла, а также объемными трансформациями горных пород.



*Георгий Петрович Кузьмин,  
доктор технических наук,  
главный научный сотрудник  
Института мерзлотоведения  
им. П.И. Мельникова СО РАН.*



*Рис. 1. Создание подземных резервуаров в многолетнемерзлых дисперсных породах через скважины с выдачей пульпы гидроэлеватором (а) и эрлифтом (б) на территории Центральной Якутии.*

В этом случае изменяются теплофизические и физико-механические свойства пород. Прочность их, обусловленная межагрегатными и внутриагрегатными связями (сцеплением между компонентами, слагающими породу), зависящими от типа породы, ее температуры и давления, определяет устойчивость подземных полостей.

Мерзлые дисперсные породы из-за наличия в них льда и незамерзшей воды способны развивать во времени пластические деформации и снижать прочность при длительном воздействии нагрузки. Резкое охлаждение, например, вызывает морозобойное растрескивание мерзлых пород под действием напряжений растяжения, возникающих вследствие уменьшения объема всех компонентов мерзлой дисперсной породы. При взаимодействии с парогазовой средой развивается процесс сублимации льда, т.е. перенос воды из зоны фазовых превращений к поверхности горной породы и переход ее в окружающую парогазовую среду. В результате происходит иссушение горной породы, потеря структурных связей между минеральными частицами или агрегатами и осыпание их. Мерзлые дисперсные породы достаточно хорошо размываются водой.

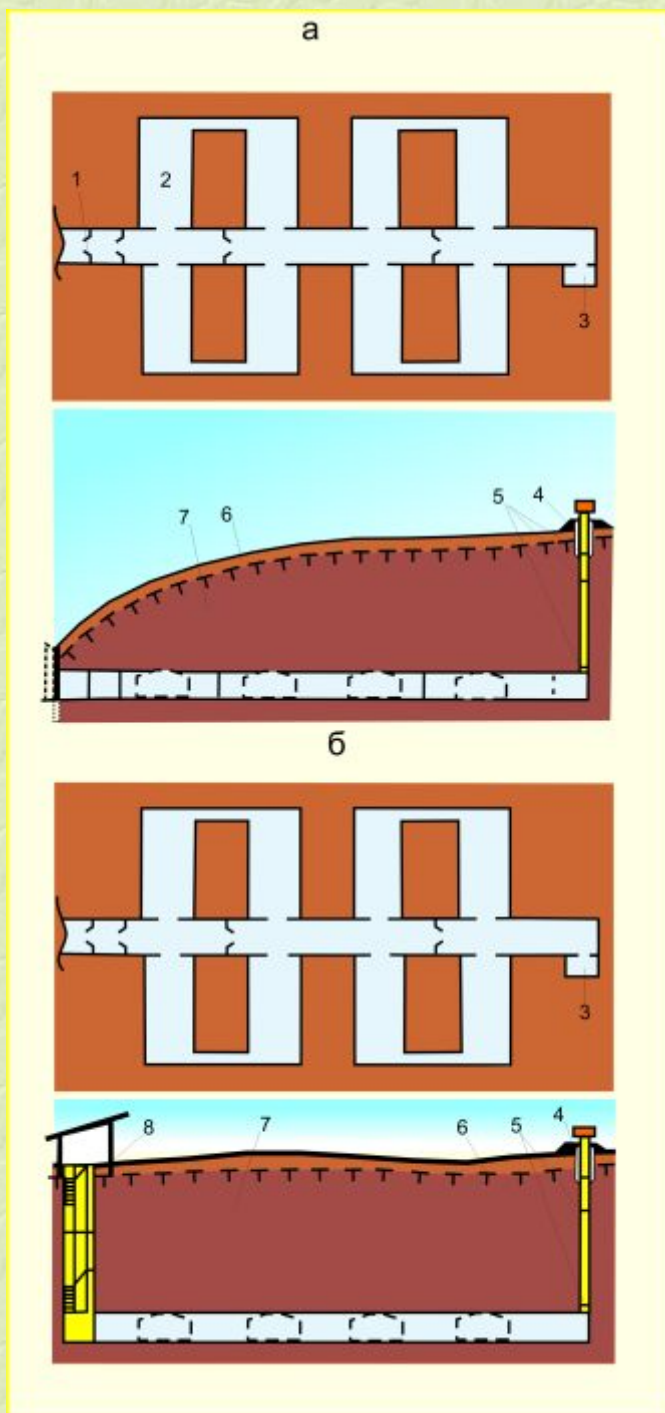
Таким образом, при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений, создаваемых в криолитозоне, нужно учитывать особые свойства мерзлых дисперсных горных пород. Основным условием обеспечения устойчивости подземных сооружений в осадочных горных породах криолитозоны является сохранение неизменным их мерзлого состояния в процессе строительства и эксплуатации.

Свойство мерзлых дисперсных пород разрушаться под действием тепловой и механической энергий водного потока позволило разработать технологию создания подземных резервуаров гидро-размывом через буровые скважины. Размыв мерзлых пород за счет тепловой и механической энергий воды с выдачей пульпы гидроэлеватором и эрлифтом (рис. 1) разработан Институтом мерзлотоведения СО РАН [1]. Методом гидроразмыва через скважины на территории Якутии было построено 12 опытно-промышленных подземных резервуаров для хранения солянки, газового конденсата, воды и аккумуляирования естественного холода.

Приведем отдельные примеры подземных сооружений, создаваемых в условиях криолитозоны, для которых уже разработаны основные нормы и правила строительства и эксплуатации, либо они находятся на стадии разработки.

Подземные холодильники (рис. 2) являются одними из самых древних сооружений и используются, как известно, для хранения замороженных продуктов. Запас «холода», требующийся для компенсации теплопотерь, аккумулируется в окружающих мерзлых горных породах путем охлаждения холодным атмосферным воздухом, циркулирующим за счет естественной тяги или принудительной вентиляции. В настоящее время выявлены закономерности формирования температуры и объемно-планировочные решения [2 – 4]. В зависимости от климатических и геокриологических условий необ-

ходимый температурный режим в подземных холодильниках обеспечивается двумя способами: 1) зимней хладозарядкой; 2) зимней хладозарядкой с дополнительной выработкой искусственного холода.



**Рис. 2. Конструктивные схемы подземного холодильника:**

**а – типа штольни; б – шахтного типа.**

**1 – тамбуры; 2 – камера; 3 – вентиляционная камера; 4 – жесткая гидроизоляция; 5 – люки; 6 – сезонноталый грунт; 7 – многолетнемерзлые породы; 8 – грузовой лифт.**

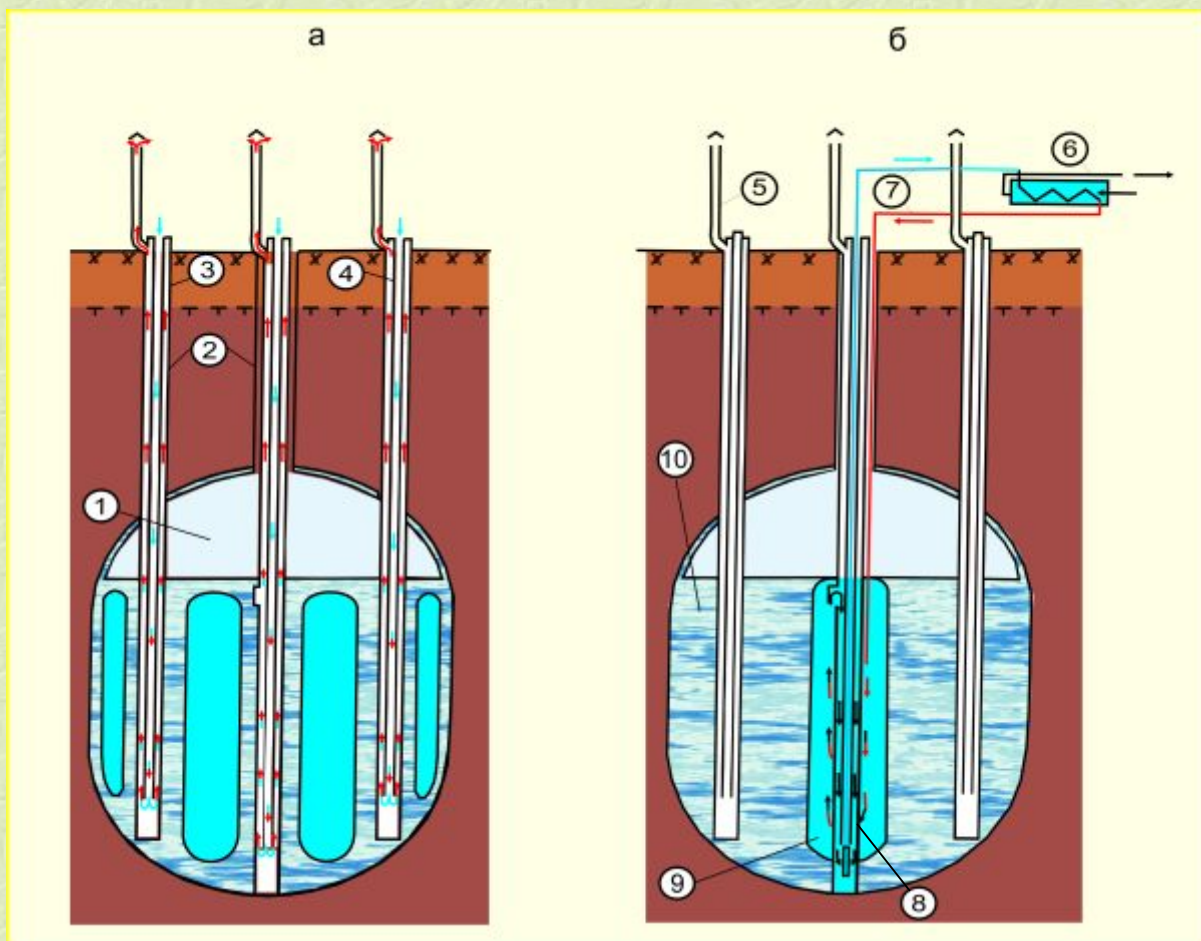
Эффективность использования подземных холодильников достигается за счет минимальных затрат на строительные материалы и значительного снижения эксплуатационных расходов по сравнению с затратами на холодильные камеры с искусственным охлаждением.

Подземные охлаждающие устройства (геокриогенные охладители) предназначены для охлаждения жидкостей и газов, а также воздуха в помещениях в диапазоне положительных температур. Работа этих устройств основана на использовании теплоты фазовых переходов воды. Продолжительная зима с низкими отрицательными температурами воздуха и многолетнемерзлое состояние пород в криолитозоне позволяют аккумулировать холод, замораживая воду в подземных резервуарах [5]. Устройство (рис. 3) состоит из подземного резервуара с водой, воздушной замораживающей установки (ВЗУ) и водяной циркуляционной системы (ВЦС). Вода в резервуаре замораживается с помощью ВЗУ, в которой в зимнее время происходит конвективное движение холодного воздуха: вниз – по центральной трубе, вверх – по кольцевому пространству. Количество ВЗУ в резервуаре определяется климатическими условиями территории строи-

тельства и размерами резервуара. Передача тепла от охлаждаемого объекта в подземный резервуар с тающим льдом обеспечивается водяной циркуляционной системой, состоящей из погружного насоса, нагнетательной и сливной трубопроводов и теплообменника.

Основными достоинствами данного охлаждающего устройства, основанного на использовании теплоты фазового перехода воды, являются относительно небольшие капитальные затраты, аккумуляция большого количества холода в единицу объема подземного резервуара и очень низкие эксплуатационные расходы. К числу недостатков относится зависимость интенсивности охлаждения от скорости таяния льда и площади контакта воды со льдом. Использование данного устройства для охлаждения молока на летней ферме показало его высокую надежность и экономичность по сравнению с машинной холодильной установкой МХУ-8.

Подземные хранилища сельскохозяйственной продукции. При производстве сельскохозяйственной продукции одной из важнейших задач является уменьшение потерь в период хранения. Основное влияние на сохранность картофеля, овощей и фруктов оказывает темпера-



**Рис. 3. Геокриогенный охладитель:**

*а – режим замораживания воды; б – режим охлаждения.*

*1 – резервуар; 2 – воздушная замораживающая установка; 3 – 5 – наружная, центральная и вытяжная трубы; 6 – теплообменник; 7 – нагнетательная и сливная трубы водяной циркуляционной системы; 8 – погружной водяной насос; 9 – вода; 10 – лед.*

тура. Она должна быть оптимально низкой. Именно в этом случае снижается интенсивность физиологических процессов и подавляется активность многих видов заболеваний [6]. Обеспечение таких условий хранения в наземных хранилищах на Севере приводит к большим затратам средств на их обогрев в зимнее время (вследствие больших теплопотерь) и охлаждение – в летнее.

Подземные хранилища сельхозпродуктов могут оборудоваться в горных выработках, которые образуются в результате добычи полезных ископаемых, или создаваться специально. Для обеспечения оптимальной температуры хранения в одних случаях достаточно подобрать только соответствующую глубину заложения хранилища и обеспечить теплоизоляцию его стенок, в других необходимо дополнительно охлаждать окружающие мерзлые породы или отводить тепло, которое проходит через теплоизолирующий слой.

Второй случай был испытан в опытном хранилище картофеля, созданном на территории Института мерзлотоведения СО РАН (рис. 4). Хранилище площадью 10,4 м<sup>2</sup> расположено на глубине 9,0 м, где естественная температура пород около –2,4°C. Хранилище обогревалось электрическим нагревателем мощностью 189 Вт. Контроль состояния клубней осуществлял Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства СО РАСХН. Клубни картофеля после двух лет хранения в подобных условиях были высажены и дали урожай. Удельные затраты на обогрев опытного хранилища оказались в 6,5 раз ниже, чем в типовых наземных хранилищах.

Институтом мерзлотоведения СО РАН были также проведены исследования природных условий Олекминского гипсового рудника и выполнены расчеты формирования температурного поля вокруг отработанных камер при использовании их в качестве хранилищ сельхозпродуктов. Месторождение гипса расположено на берегу

р. Лены, в двух километрах от г. Олекминска. Вмещающие породы представлены прочными доломитами. Добыча гипса ведется через штольни. Общая площадь отработанных камер составляет более 30 тыс. м<sup>2</sup>. По тепловому режиму рудник подразделяется на две зоны: I – с отрицательной температурой пород; II – с положительной температурой пород, расположенную ниже подошвы мерзлой толщи. На основе полученных нами данных институтом «Якутагропромпроект» была разработана проектно-сметная документация на строительство двух камер для хранения 440 т картофеля и 60 т капусты.

**Хранилища воды.** Подземные хранилища воды могут использоваться для питьевого и технического водоснабжения небольших населенных пунктов и отдельных промышленных объектов. Так, в сельской местности хранилища воды требуются для зимнего водоснабжения животноводческих ферм. В случае удаленности естественных водоемов от фермы необходимость в создании запаса воды возникает также во время пастбищного содержания скота в летнее время. Заполнение таких хранилищ водой может производиться в теплое время года по временным трубопроводам из различных естественных или искусственных водоемов. Во многих районах криолитозоны как поверхностные, так и подземные воды часто не отвечают требованиям ГОСТа (первые – из-за биологической и химической загрязненности, вторые – из-за высокой минерализации) и нуждаются в очистке. Запасы очищенной воды можно хранить в подземных резервуарах, создаваемых в массиве многолетнемерзлых дисперсных пород.

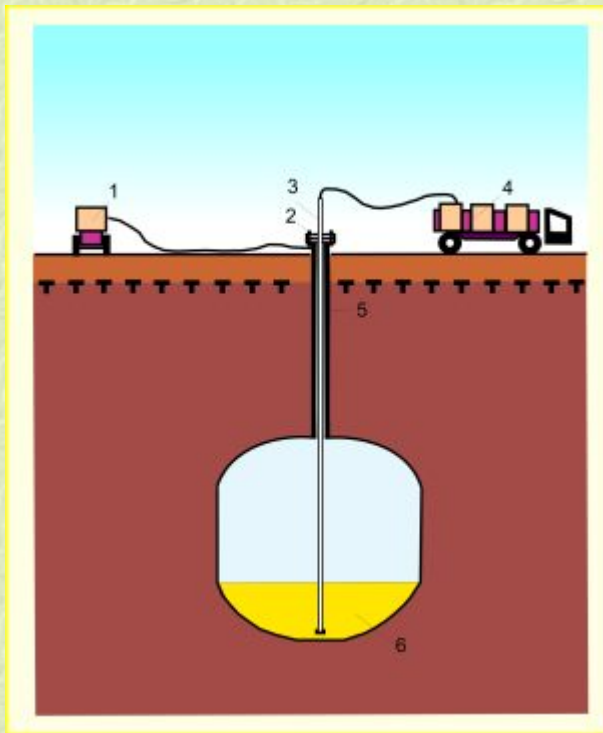
В период хранения окружающие резервуар мерзлые породы подвергаются тепловому воздействию воды, которое обусловлено сначала ее теплосодержанием, а затем выделением тепла при фазовом переходе в лед, поэтому массив мерзлых пород вокруг подземных хранилищ нужно периодически охлаждать путем естественной или искусственной вентиляции резервуара холодным воздухом. В этом случае постоянное хранилище должно состоять не менее чем из двух резервуаров, заполняемых и охлаждаемых поочередно. Для хранения воды летом достаточно одного резервуара. Первое опытное хранилище воды объемом 1230 м<sup>3</sup> было построено на территории Института мерзлотоведения СО РАН в 1978 г.

**Хранилища нефтепродуктов.** Относительно высокая прочность и непроницаемость влагонасыщенных многолетнемерзлых дисперсных пород позволяют сооружать в них подземные хранилища нефтепродуктов. В теплое время года такие хранилища заполняются охлажденным нефтепродуктом. В качестве охладителя могут использоваться подземные охлаждающие устройства.

На территории Института мерзлотоведения СО РАН в 1973 г. методом гидроразмыва было построено подземное хранилище резервной солянки на 410 м<sup>3</sup>, оборудованное устройством



*Рис. 4. Опытное подземное хранилище картофеля, сооруженное на территории Института мерзлотоведения СО РАН.*



**Рис. 5. Схема подземного хранилища солянки на 410 м<sup>3</sup>, созданного на территории Института мерзлотоведения СО РАН:**  
 1 – компрессор; 2 – герметичная крышка; 3 – топливная труба; 4 – бензовоз; 5 – обсадная труба скважины; 6 – солярка.

для выдачи топлива сжатым воздухом (рис. 5). Анализ солярки, проведенный Якутской нефтебазой более чем через 20 лет хранения в подземном резервуаре, показал, что ее качественные характеристики полностью удовлетворяют нормативным требованиям.

Сфера использования подземного пространства криолитозоны несомненно будет расширяться. Уже сейчас астрофизики совместно с мерзлотоведами оценивают возможность изучения трудноуловимых элементарных частиц (нейтрино) с помощью мощных толщ многолетнемерзлых горных пород. Существенная разница в температуре многолетнемерзлых пород и атмосферного воздуха не исключает того, что в будущем будет разработан способ производства электрической энергии с помощью устройств, аналогичных термопарам.

#### Литература

1. Кузьмин Г.П. Подземные резервуары в мерзлом грунте. – Якутск: ИМЗ СО РАН, 1992. – 152 с.
2. Миронов Н.Г. Строительство и эксплуатация подземных холодильников Севера и Северо-Востока Советского Союза. – М.: Наука, 1967. – 71 с.
3. Шургин Б.В. Исследования и выбор параметров естественной хладозарядки подземных холодильников Севера (на примере Якутской АССР): Автореф. дис. канд. техн. наук. – Якутск, 1982. – 16 с.
4. Галкин А.Ф. Тепловой режим подземных сооружений Севера. – Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 2000. – 304 с.
5. Кузьмин Г.П. Подземные сооружения в криолитозоне. – Новосибирск: Наука, 2002. – 176 с.
6. Трисвятский Л.А., Лесик Б.В., Курдина В.Н. Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов. – М.: Изд-во «Колос», 1983. – 383 с.

## НОВЫЕ КНИГИ



**Реки и озера Якутии** : Крат. справ. / С. К. Аржакова и др. ; [ отв. ред. В. И. Агеев ] ; Мин-во образования и науки РФ, Якут. гос. ун-т им. М.К. Аммосова. – Якутск : Бичик, 2007. – 136 с.

В книге дана краткая характеристика рек и озер Якутии. Приведена классификация рек и озер, рассмотрены уникальные озера. Изложены гидрографические сведения и описан гидрологический режим рек и озер. Уделено внимание особенностям водного режима рек (наводнения, пересыхание, промерзание и перемерзание рек, наледи, зажоры, заторы, криогенные «паводки»), использованию водных ресурсов рек и озер, качеству речных и озерных вод, флоре и фауне. Приложен словарь гидрологических терминов и понятий.

Книга предназначена для учащихся общеобразовательных школ, студентов, аспирантов и широкого круга читателей.



**Тишина Т. П. Новизна древних традиций**: Монографический сборник документов, статей и методических разработок к 10-летию Якутского колледжа технологии и дизайна традиционных промыслов народов Якутии Санкт-Петербургского университета технологии и дизайна. – М., 2007. – 296 с.