

**Д.Н. Петров, Г.П. Необутов, В.И. Слепцов**

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКИ**

*Проведены лабораторные исследования прочностных характеристик льдопородной закладки в зависимости от количества намораживаемых слоев, закономерностей образования льдопородного материала.*

*Ключевые слова:* криолитозона, льдопородная закладка, слабольдистые грунты.

---

**О**дним из перспективных направлений в создании технологий нового качественного уровня, позволяющих рационально осваивать месторождения криолитозоны, является развитие систем разработки с управлением горным давлением льдопородной закладкой. Применение технологии с льдопородной закладкой как у нас в стране, так и за рубежом показало ее эффективность [1, 2]. При использовании льдопородного массива в качестве охранных сооружений (междукамерных и барьерных целиков, закладки выработанного пространства) при подземной разработке залежей полезных ископаемых необходимо учитывать как физико-механические свойства и характер деформирования массива, так и закономерности формирования льдопородной закладки, сложенной из двух компонентов – льда и горной породы.

Один из основных классификационных показателей мерзлых грунтов – криогенная текстура, формирующаяся в зависимости от условий промерзания, главным образом величины температурных и влажностных градиентов. Исследования характера деформирования льдопородного массива [3] показали, что его криогенная текстура определяется формой, величиной и расположением ледяных включений.

По современным представлениям [4], в том числе по определениям, принятым в нормативных документах, мерзлыми называют грунты, имеющие отрицательную температуру и содержащие лед. Скальные грунты, имеющие отрицательную температуру и не содержащие лед, относят к морозным. Крупнообломочные и мелкодисперсные грунты с отрицательной температурой, но не сцепленные льдом вследствие их малой влажности, называют сыпучемерзлыми. Морозные и сыпучемерзлые грунты по физико-механическим свойствам незначительно отличаются от грунтов, имеющих положительную температуру.

В зависимости от объемной льдистости выделяются следующие категории мерзлых грунтов:

сильнольдистые (содержание льда более 50%);

льдистые (содержание льда 25–50%);

слабольдистые (содержание льда менее 25%).

Сильнольдистые грунты характеризуются повышенной сжимаемостью в мерзлом состоянии, а при оттаивании приобретают текучую, текучепластичную или пластичную консистенцию, что обуславливает их просадочность. Для этих грунтов характерна весьма малая несущая способность в

оттаившем состоянии и большая сжимаемость. Слабольдистые грунты имеют незначительное количество ледяных включений. При оттаивании мелкодисперсные слабольдистые грунты (глинистые, суглинистые, пылеватые) обычно приобретают тугопластичную или полутвердую консистенцию и имеют относительно малую сжимаемость.

Льдистые грунты обладают промежуточными свойствами между сильно- и слабольдистыми.

По физическому состоянию мерзлые грунты разделяют на две категории:

твердомерзлые, частицы которых прочно скреплены льдом, практически несжимаемые;

пластичномерзлые, содержащие большое количество незамерзшей воды, в результате чего в них проявляются пластические деформации.

Показателем границы твердомерзлого и пластичномерзлого состояния является коэффициент уплотнения. Для твердомерзлых грунтов его величина равна или меньше  $0,001 (10^5 \text{ Па})^{-1}$ , для пластичномерзлых грунтов – она больше.

Как известно, характеристики механических свойств мерзлых грунтов и льдов определяются в лабораторных и полевых условиях.

Полевые испытания выполняются непосредственно в массиве грунта (на поверхности, штреках и штолнях). Они позволяют создать в процессе опытов напряженно-деформированное состояние в гораздо большем объеме грунта, чем в лабораторных условиях. Благодаря этому можно определить несущую способность и деформации как мерзлых, так и оттаивающих грунтов с учетом влияния структурной неоднородности, присущей грунтовым массивам, по глубине и площади их простирания. При сооружении ответственных объектов полевые испытания обязательны.

Однако все полевые опыты трудоемкие и дорогостоящие. Практически невозможно в полевых условиях вы-

полнить количество экспериментов, необходимое для статистической обработки, а также для установления зависимости механических свойств от температуры, физических показателей и т.д.

Наиболее полно и достоверно значения характеристик грунтов могут быть определены при сочетании полевых и лабораторных испытаний.

Авторами представляемой статьи были проведены лабораторные исследования прочностных характеристик льдопородной закладки в зависимости от количества намораживаемых слоев, закономерностей образования льдопородного материала.

Проведению испытаний предшествовало определение объема пустот между кусками закладываемых пород. Для упрощения расчетов их форма принималась шарообразной. Использованием необходимых формул определения объемов и проведением математических преобразований получено следующее соотношение:

$$V_{\text{пустот}} = 1 - \frac{V_{\text{пород}}}{V} = 1 - \frac{\pi}{3\sqrt{3}} \approx \\ \approx 1 - 0,6046 \approx 0,4$$

Исследования основных физических характеристик льдопородной закладки проводились комплексным методом испытаний на образцах правильной формы, отличающихся типом конструкции – количеством намораживаемых слоев пород (2, 3, 4 и 5).

Испытания на одноосное сжатие кубических образцов льдопороды проводились по методике, разработанной на основе ранее выполненных натурных и лабораторных исследований и с учетом основных теоретических положений механики мерзлых пород.

Основной состав охлажденной дробленой породы, послойно засыпавшейся в металлические формы размерами  $15 \times 15 \times 15$  см, составляли фракции размером 5 – 10 мм

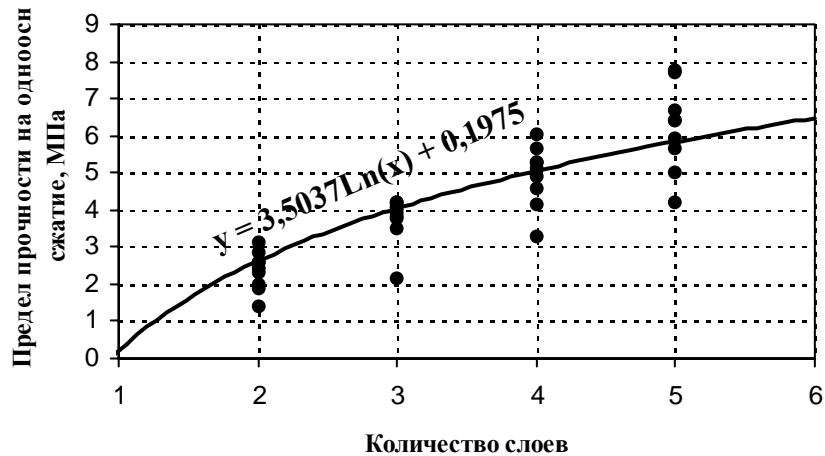


Рис. 1. Зависимость предела прочности льдопородной закладки на одноосное сжатие от количества намораживаемых слоев при температуре минус 5 °С и влажности ~17%.

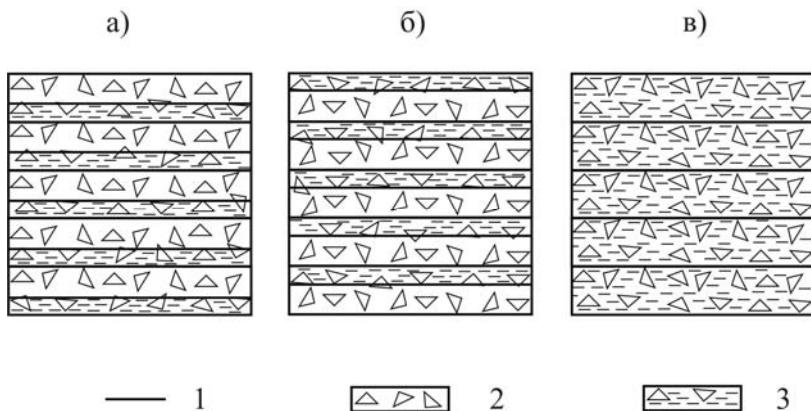


Рис. 2. Изменение структуры льдопородной закладки в зависимости от температуры промораживания: а) при температуре -5 °C, б) при -24 °C, в) при -20 °C; 1 – границы слоев, 2 – прослои непромороженных пород, 3 – смерзшиеся куски пород

Температура наливающейся воды в слои из кусков пород составляла 3 – 5 °C. После смерзания слоя операция повторялась до полного заполнения формы. Определение влажности льдопородного материала проводилось термостатным методом. Средняя влажность образцов составила 16,26%.

Лабораторное определение объемного веса образцов льдопородной за-

кладки – наиболее часто используемой плотностной характеристики, зависящей от их состава и структуры, производилось волюметрическим методом. Среднее значение объемного веса образцов составило 2,4 Н/м<sup>3</sup>.

Испытания льдопородных образцов на одноосное сжатие проводились на прессе универсальной испытательной машины UTS со стандартным блоком

измерения и управления (компьютерное оснащение), укомплектованной холодильной установкой NOSKE-KAESER. Образцы перед проведением испытаний выдерживались в холодильной установке при температуре  $-7^{\circ}\text{C}$ . Определение предела прочности на одноосное сжатие проводилось нагружением образца на прессе до разрушения, после которого машина выдавала графо-цифровые результаты в МПа.

Выявленная закономерность изменения прочностных характеристик льдопородной закладки в зависимости от количества намораживаемых слоев заключается в том, что льдопорода, образованная многослойным намораживанием прочнее льдопороды с меньшим количеством слоев – предел прочности на одноосное сжатие пятислойной конструкции в 2,5–2,7 раза выше, чем, например, двухслойной. Результаты исследований приведены на графике рис 1.

Лабораторные исследования режимов формирования льдопороды, процессов распределения и замерзания наливающейся воды в зависимости от температуры окружающего воздуха показали, что при температуре промораживания минус  $5^{\circ}\text{C}$ , воды – плюс  $5^{\circ}\text{C}$  при ее количественном соотношении 20% от общего объема образца вода при кристаллизации цементирует ниж-

нюю часть закладочных слоев (рис. 2, а) как при послойно закладываемом образце, так и при образовании закладки в один слой. При температуре окружающего воздуха  $-24^{\circ}\text{C}$  и аналогичных параметрах испытаний в пятислойной конструкции вода замерзает на поверхности каждого слоя и цементирует  $1/3$  его мощности (рис. 2, б), при однослоиной конструкции основной объем воды замерзает не проникая вглубь образца, цементируя лишь  $1/5$  часть его поверхности. При температуре промораживания  $-20^{\circ}\text{C}$  вода при кристаллизации цементирует весь закладочный материал (рис. 2, в).

Исследованиями также выявлено, что при температуре воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$  процесс промораживания закладки значительно продолжительнее, чем при температуре воздуха  $-24^{\circ}\text{C}$ , но в первом случае формируется относительно монолитный закладочный массив, во втором – закладочный массив с каркасом из льдопородных корок.

Полученные результаты позволяют в зависимости от напряженно-деформированного состояния окружающего массива, конкретных условий ведения горных работ рационально использовать тот или иной способ возведения закладочного массива.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Необутов Г.П. Подземная добыча руды с использованием льдопородной закладки на месторождении Бадран в Якутии// Необутов Г.П., Зубков В.П., Мамонов А.Ф. // Горн. информ.-аналит. бюлл. – 2001. – №10. – С. 71-74.
2. Mining zinc and lead at the top of the world / Chadwick John // Mining Mag. – 1994 . – 171. – № 4. – PP. 205, 207 – 208, 211 – 212.
3. Катков Г.А. Характер деформирования льдопородного массива при подземной разработке месторождений в криолитозоне // Горн. информ.-аналит. бюлл. – 2005. – №2. – С. 226 – 228.
4. Роман Л.Т. Механика мерзлых грунтов. – М.:МАИК «Наука/Интерperiодика», 2002. – 426 с. ГИАБ

### Коротко об авторах

Необутов Г.П. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
Слепцов В.И. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
Петров Д.Н. – младший научный сотрудник,  
Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского, [igds@ysn.ru](mailto:igds@ysn.ru)