

УДК 622.02+622.271.1(001)

**Д.Н. Петров, Г.П. Необутов**

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛЬДОПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКИ**

*Приведены результаты экспериментальных исследований деформирования льдопородного материала в лабораторных и натуральных условиях. Выявлено, что закладка из промораживаемых водопородных смесей обладает явно выраженными реологическими свойствами, а смещения в закладочном массиве на данном этапе развития горных работ на эксплуатируемом месторождении практически отсутствуют.*

*Ключевые слова: льдопородная закладка, деформирование льдопородного материала, относительные смещения, работоспособность льдопородных целиков.*

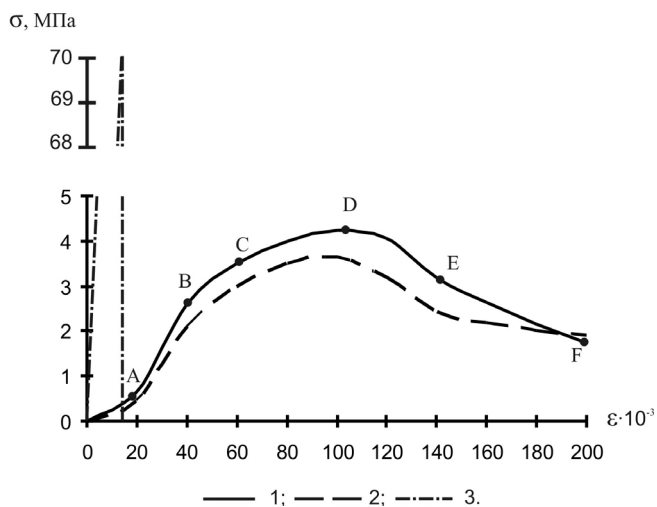
**П**ри использовании льдопородного массива в качестве охранных сооружений (междукамерных и барьерных целиков, закладки выработанного пространства) при подземной разработке залежей полезных ископаемых необходимо учитывать его физико-механические свойства и характер деформирования. Льдопородный материал в элементах систем разработки, являясь опорным целиком, воспринимает сжимающие напряжения. Поэтому за основную характеристику (эталон) прочностных и деформационных свойств льдопородной закладки принята его прочность на осевое сжатие. Исследование условий перехода горных пород в предельные состояния является наиболее важным этапом в изучении проявлений горного давления при подземной добыче полезных ископаемых.

Для выявления качественной характеристики развития разрушения опор из промораживаемых водопородных смесей проведены лабораторные исследования, на основании которых установлено, что переход образцов льдопороды в предельное состояние характеризуется высокой сте-

пенью ползучести и расчет предельных зон для целиков из льдопородной закладки должен производиться по огибающей на пределе ползучести.

Испытания на одноосное сжатие образцов кубической формы с размером ребра 100 мм, сформированных последовательным намораживанием 5 слоев пород при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$ , проводились по методике, разработанной с учетом основных теоретических положений механики мерзлых пород. Линейные размеры при испытаниях принимались равными 1 : 50 по отношению к натурным. Образцы формировались в холодильной установке при объемной влажности  $\sim 20\%$ .

Анализ зависимостей деформирования серии образцов-близнецов льдопородного материала при одноосном сжатии на прессе «Топi-Technik» универсальной испытательной машины UTS-250, полученных при различных режимах нагружения — статическом с равномерно возрастающими нагрузками, равными 0,02 МПа/с (рис. 1, кривая 1), и кинематическом с постоянной скоростью деформации, равной 2,5 мм/мин, (рис. 1, кривая 2),



**Рис. 1. Диаграммы деформирования образцов:**  
 1 — льдопородного материала при заданной скорости нагружения; 2 — то же при заданной скорости деформации; 3 — кварцевой руды при заданной скорости деформации

позволяет сделать вывод о наличии явно выраженных реологических свойств, обуславливающих вязкий характер его деформирования.

Весь процесс деформирования льдопородных образцов можно разделить на шесть характерных областей:

- область  $OA$  — стадия снятия неровностей в контактных поверхностях на торцах образца и частичного закрытия пор и трещин;
- область  $AB$  — стадия упругих деформаций;
- область  $BC$  — стадия зарождения и развития новых трещин;
- область  $CD$  — стадия неуправляемого роста и слияния трещин, достигаются напряжения, соответствующие предельной прочности образца. На данной стадии начинается разрушение верхнего промерзшего слоя;
- область  $DE$  — стадия развития деформаций во времени (ползучесть), вязкого разрушения, падения напряжения при возрастающих деформа-

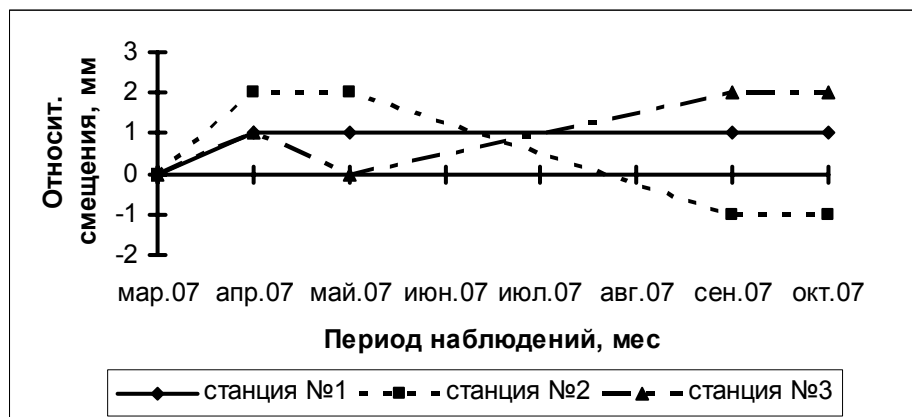
циях, но при котором локальная потеря устойчивости не вызывает исчерпания устойчивости и несущей способности образца породы в целом вследствие наличия связей между отдельными его частями (слоями). Это приводит к появлению ниспадающей ветви на диаграмме. Материалы, обладающие зависимостью напряжений от деформаций и включающие ниспадающий участок ветви, называются разупрочняющимися [1];

- область  $EF$  — стадия прогрессирующих деформаций, «бочкообразное» расплющивание образца.

Образцы кварцевой руды подвержены хрупкому разрушению (кривая 3) и при переходе в предельное состояние полностью утрачивают связность. Расчет предельных зон для целиков из такого материала должен производиться по огибающей предела прочности [2].

Исследования состояния льдопородной закладки и закономерностей его деформирования в природных условиях проводились на наклоннозалегающем золоторудном месторождении Бадран [3], которые включали визуальные наблюдения за поведением конструктивных элементов системы разработки и периодические измерения относительных смещений (конвергенции) бортов льдопородного целика в центральной части нижнего отработанного горизонта на глубине от поверхности  $\sim 150$  м.

Замерные станции были оборудованы в льдопородном целике (закладка первичной камеры — конец 2004



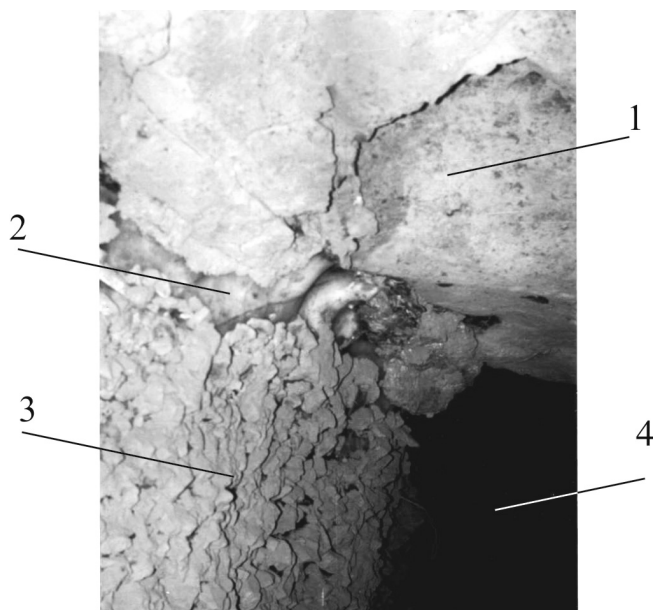
**Рис. 2. Относительные смещения льдопородных целиков**

года) длиной, шириной и высотой соответственно 32, 3 и 2,1 м. Измерения относительных смещений проводились между парами контурных реперов, заложенных у кровли и почвы

в боковые поверхности целика с вторичных камер, образованных выемкой междукамерных целиков в конце 2006 г.

Анализ результатов наблюдений показал, что в период с марта по октябрь месяцы 2007 г. смещения горных пород практически отсутствовали. Наблюдающиеся смещения реперов в пределах 1—2 мм (рис. 2), которые могли бы указывать на оседание или упругое восстановление искусственного целика, очевидно, относятся к пределу погрешности измерений.

Температурный режим закладочного массива контролировался с использованием гирлянд терморезисторных датчиков. Прочность льдопороды определялась косвенным методом, заключающимся в определении глубины проникновения металлических штырей при их забивании в закладочный



**Рис. 3. Боковое обнажение льдопородного целика после выемки междукамерного:** 1 — кровля междукамерного целика; 2 — ледяная прослойка, образованная промораживанием дополнительно заливаемой воды; 3 — льдопородная закладка; 4 — выработанное пространство вторичной камеры

массив и испытаниях смерзшихся пород на откалывание. Наличие незамерзшей воды в закладке в период ее проморозки контролировалось бурением шпуров сквозь перемычки и в закладочном массиве при обнажении ее боков.

Визуальное обследование боковых обнажений смерзшихся пород в заложных камерах показывает на их высокую устойчивость, плотные контакты закладки с налегающими породами. На рис. 3 представлены основные конструктивные элементы системы разработки с льдопородной закладкой (гор. 940 м рудного столба № 1 месторождения Бадран).

На данном этапе развития горных работ на месторождении, учитывая

полноту заполнения камер вследствие их дозаливки водой и проморозку закладки, можно говорить об установившемся горном давлении и, в конечном итоге, на достаточную работоспособность искусственных целиков.

Устойчивое положение толщи земной поверхности достигается также за счет небольших пролетов вынимаемых камер (до 3 м) и небольшой выемочной мощности.

Полученные результаты исследований являются исходной базой для обоснования безопасных параметров конструктивных элементов мобильных геотехнологий разработки рудных месторождений с использованием льдопородной закладки.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Карташов, Ю.М.* Методы, аппаратура и результаты лабораторных и шахтных исследований горных пород в запредельной области деформирования / Ю.М. Карташов, Н.А. Николайчук, В.А. Мансуров // М.: Изд-во ЦНИЭИуголь, 1978. — 112 с.

2. *Методические* указания по использованию теории предельного равновесия для решения задач горного давления / Мин-во угольной

пром-ти СССР, Всесоюзный науч.-исслед. ин-т горной геомеханики и маркшейдерского дела «ВНИИИ» — Л., 1974. — 100 с.

3. *Необутов, Г.П.* Подземная добыча руды с использованием льдопородной закладки на месторождении Бадран в Якутии / Г.П. Необутов, В.П. Зубков, А.Ф. Мамонов // Горный информ.-аналит. бюллетень. — 2001. — № 10. — С. 71—74. **ИАС**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Петров Д.Н.* — младший научный сотрудник;

*Необутов Г.П.* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник;

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН,

igds@sci.yakutia.ru

