Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова.
1988. Т. 116

УДК 622.24:543.053

# КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОТБОРА ПРОБ НА УГЛЕРОДНЫЙ АНАЛИЗ ИЗ ЛЕДОВЫХ ТОЛЩ

А.А.ЗЕМЦОВ, Н.Г.МЕНЬШИКОВ

К настоящему времени накопился богатый материал о свойствах и вещественном составе пресного льда, который получен при проведении гляциологических, геофизических, геохимических и микробиологических исследований ледового керна Арктики и Антарктики. Выявлены изменения структуры, физических свойств и химического состава льда по глубине его залегания.

Однако этот материал не может быть использован для установления каких-либо закономерностей изменения природных условий во времени (в прошлом), поскольку до настоящего времени отсутствует способ достоверной оценки абсолютного возраста льда.

Одним из возможных методов для определения абсолютного возраста льда является изотопный анализ по углероду $^{14}C$, который в составе углекислого газа входит в воздушные включения во льду, образовавшиеся в процессе формирования ледниковой толщи. Способов получения достаточных по объему газовых проб, пригодных для достоверного определения абсолютного возраста по изотопному углеродному методу, до настоящего времени не имеется.

Для получения проб $CO_2$ на определение абсолютного возраста требуется решить ряд серьезных технических задач, прежде всего задачу бурения "сухих" скважин и создание комплекса технических средств и методики отбора проб углекислого газа из ледового массива с различных глубин.

В 1979-1985 годах в Ленинградском горном институте в Отделе антарктических исследований Проблемной научно-исследовательской лаборатории горной теплофизики был разработан комплекс технических средств для отбора из скважин проб углекислого газа, включающий:

а) передвижную буровую установку (ПБУ) с комплектом наземного спускоподъемного и электрического оборудования [3];

б) термобуровой снаряд ТЭЛГА-152 для бурения "сухих" скважин в ледовых отложениях [4];

в) скважинный газовый пробоотборник (СГПУ), с помощью которого производится плавление большого объема льда на исследуемом горизонте ледовой толщи и одновременно отбирается проба углекислого газа [1, 2].

Испытания макета и опытного образца скважинного газового пробоотборника, проведенные на полигоне ААНИИ ледник Вавилова (Северная Земля) в 1979, 1981 и 1983 годах, а также на станции "Восток" в сезоне 31-й Со-

ветской антарктической экспедиции в 1986 г., подтвердили выводы о возможности и эффективности плавления больших объемов льда с образованием каверны на глубоких горизонтах ледовой толщи.

Необходимо было создать конструкцию СПУ, удовлетворяющую следующим основным требованиям:

1) направленное выплавление каверны с минимальными размерами по высоте и максимальными - по радиусу с целью получения газовой пробы с минимально* стратиграфической ошибкой;

2) полная надежная герметизация и изоляция выплавляемой каверны от пробуренного ствола скважины с целью повышения качества отбора и достоверности газовой пробы;

3) предварительная очистка газовой пробы от остаточного углекислого газа;

4) возможность извлечения из расплавленной воды растворенной части углекислого газа;

5) надежное управление с поверхности и контроль за параметрами процесса плавления большого объема льда с образованием каверны и отбором газовой пробы;

6) минимальные энергоемкость и масса.

Выбрана схема конструкции макета газового пробоотборника, представляющая собой полуавтономный снаряд на грузонесущем кабеле с электронагревательными отсеками в нижней части, служащими для подогрева циркулирующего в зоне пробостбора теплоносителя. Для направленного выплавления каверны предусмотрена система принудительной циркуляции воды с вращающимся кольцом по типу «сегнерова колеса". Герметизация зоны отбора газовой пробы производится постановкой двух пакерных устройств ниже аккумулирующего отсека, один из которых имеет надувную резиновую оболочку, другой - ледяной. В аккумулирующем отсеке установлены мономолекулярные фильтры с активным поглотителем углекислого газа и система многократной прокачки воздуха через адсорбент, в качестве которого используется цеолит СаА-Ц-202-II7. Возвращенный в зону отбора газовой пробы воздух проходит через адсорбент и перемешивается с водой в виде мелких пузырьков, что во много раз увеличивает площадь диффузии и, следовательно, диффузионный поток газа.

Параметры работы системы принудительной циркуляции теплоносителя - основного узла СПУ, выбирались по результатам лабораторных исследований процесса плавления большого объема льда. Строгое математическое описание его состоит из системы дифференциальных уравнений тепло- и массопереноса для теплоносителя и массива льда. Анализ и решение такой системы уравнений даже численными методами представляет собой очень сложную задачу. Поэтому как один из возможных вариантов была предложена математическая модель процесса плавления большого объема льда с образованием каверны, подробно описанная в работе [5]. Эта модель положена в основу экспериментов, проведенных на лабораторном стенде. В результате опытов был конкретизирован параметр $\alpha$, характеризующий геометрические размеры будущей каверны. В работе [5] показано, что размер параметра $\alpha$ опреде-

ляется исходя из предельных размеров каверны и зависит от мощности нагревателя принудительной циркуляции, производительности насоса, теплофизических свойств льда и его начальной температуры. Математически эта зависимость выглядит следующим образом:

$$\alpha = 1 + \ln h_\infty / \ln \frac{\arccos h_\infty}{B\sqrt{1-h_\infty^2}},$$

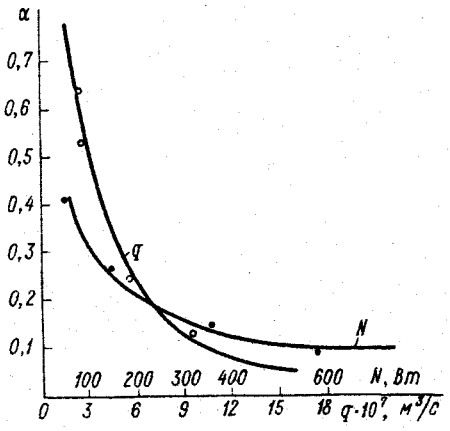
где

$$B = 4\pi\lambda \left| t_\infty \right| z_0 / N; \quad h_\infty = z_\infty / r_\infty;$$

$\lambda$ – коэффициент теплопроводности льда, Вт/м.°С; $t_\infty$ – температура льда, °С; $z_0$ – половина высоты каверны в начальный период плавления, м; $N$ – мощность нагревательных элементов, кВт; $z_\infty$ и $r_\infty$ – предельные размеры (соответственно малая и большая полуоси) каверны, м.

Значения параметра $\alpha$ изменяются от 0 до 1, причем в нижнем пределе каверна превращается в уплощенный эллипсоид вращения, а в верхнем – в шар. С уменьшением параметра $\alpha$ каверна растет быстрее в радиальном направлении, чем в вертикальном. Были исследованы зависимости параметра $\alpha$ от электрической мощности нагревателей и производительности насоса системы принудительной циркуляции (см.рисунок).

Анализ результатов экспериментов показывает, что параметр $\alpha$ мало чувствителен к изменению электрической мощности нагревательного отсека СПУ. Численное значение электрической мощности нагревателей колеблется от 4 до 6 кВт. В этом диапазоне изменение параметра $\alpha$ составляет всего лишь 12 %. Дальнейший рост мощности нагревателей ограничивается требованиями надежности и долговечности их работы. Нагреватели работают на пределе своих возможностей и часто выходят из строя, что наблюдалось во время испытаний макета СПУ в полевых условиях. Газовый пробоотборник работает в экстремальных условиях в пробуренной скважине ледника. Низкая температура, повышенная влажность предъявляют высокие требования к электрической изоляции соединений, которые не удается пока удовлетворить. Поэтому значение общей электрической мощности нагревательного отсека 4–5,5 кВт признано оптимальным. Во время испытаний СПУ на станции «Восток» мощность нагревателей была доведена до 6 кВт.




Опытная зависимость параметра $\alpha$ от общей электрической мощности нагревателей $N$ и производительности насоса $q$

Из графика видно, что изменение параметров работы насоса значительно влияет на параметр $\alpha$. Так, удвоение производительности насоса приводит

к уменьшению параметра $\alpha$ более чем в I,5 раза. Однако конструктивные размеры СПУ, обусловленные диаметром скважины, жестко лимитируют выбор насоса по габаритам, а следовательно и по производительности.

Проведенный анализ результатов лабораторных исследований показал правильность выбора конструктивной схемы основных узлов СПУ, в частности нагревательного отсека и системы принудительной циркуляции. Полевые испытания подтвердили возможность расплавления требуемого объема льда и отбора пробы углекислого газа $CO_2$ в необходимом количестве данной конструкцией СПУ.

В процессе испытаний разработанного комплекса технических средств и технологии отобраны пробы углекислого газа из ледовой толщи на гляциологическом полигоне («Северная Земля") с глубины 52, I00 и 200 м и на станции «Восток" (Антарктида) с глубины 200 и 205 м. При десорбции газов из цеолита выделен углекислый газ в количестве, достаточном для проведения радиоизотопного анализа на определение абсолютного возраста льда.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. А.с. 1018267 СССР, МКИ G 01 N 1/22; G 01 N 1/10. Устройство для получения пробы газа / Б.Б.Кудряшов, В.К.Чистяков, Я.-М.К.Пуннинг и др. (СССР). № 3397142/23-26; Опубл. 23.05.83, Бюл. № 19.

2. А.с. 1002520 СССР, МКИ Е21В 33/12. Устройство для установки ледяного пакера / Б.Б.Кудряшов, А.М.Шкурко, О.А.Цыганков и др. (СССР). № 3355120/22-03; Опубл. 07.03.83, Бюл. № 9.

3. Земцов А.А., Митин С.В., Шкурко А.М. Технические средства для отбора проб углекислого газа из ледовых толщ // Разведка и охрана недр. 1983. № 12. С. 23-25.

4. Кудряшов Б.Б., Яковлев А.М. Бурение скважин в мерзлых породах. М. : Недра, 1983. 286 с.

5. Чистяков В.К., Чугунов В.А., Земцов А.А. Исследование процесса формирования каверны в ледовом массиве для отбора пробы жидкости или газа // Антарктика: Докл. комиссии. М. : Наука. 1987. № 26. С. 107-112.