

И. М. БЕЛОУСОВА, В. В. БОГОРОДСКИЙ, О. Б. ДАНИЛОВ, И. П. ИВАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕДНИКОВ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА

(Представлено академиком Е. К. Федоровым 13 I 1971)

Для определения динамики движения ледников использован метод, основанный на измерении разностной частоты биений, возникающих вследствие взаимодействия колебаний оптического диапазона, испускаемых газовым ОКГ, и колебаний, отраженных от движущегося объекта. Сдвиг частоты этих колебаний, обусловленный эффектом Доплера, будет

$$\Delta\nu = \frac{2v}{c} \nu,$$

где v — скорость движения объекта, ν — частота излучения ОКГ.

Как видно из формулы, при определении скорости движения объекта с помощью ОКГ на смеси газов гелий — неон с длиной волны излучения $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, скорости в 1 м/сек соответствует частота биений $3,2 \text{ гц}$.

Необходимым условием для получения 100% глубины модуляции излучения на частоте биений опорного и отраженного сигналов и выделения этого сигнала является одночастотный и одномодовый режим работы ОКГ, который достигался введением дополнительных потерь в резонатор ОКГ. В работах (1-3) показано, что получение интерференции между этими сигналами вне оптического квантового генератора возможно по схеме типичного интерферометра Майкельсона и регистрации разностной частоты биений, представляющей собой бегущую интерференционную картину на фотокатоде приемника излучения, или получение интерференции внутри оптического квантового генератора между двумя генерирующими лучами с частотами, равными опорному и отраженному сигналу, введенному с помощью оптической системы обратно внутрь ОКГ. В последнем случае, как показали исследования энергетического предела взаимодействия колебания внутри ОКГ, достаточно, чтобы отраженный сигнал несколько превосходил собственные шумы ОКГ и составлял 10^{-4} мощности опорного сигнала для наблюдения практически 100% глубины модуляции излучения ОКГ на частоте биений, соответствующей разности опорного и отраженного сигналов. Сигнал биений регистрируется фотоприемником, установленным с противоположного излучающему опорный сигнал конца ОКГ. Частотный диапазон биений может составлять по верхнему пределу 1—2 Мгц (0,6 м/сек), что соответствует ширине резонансного контура ОКГ, по нижнему пределу — с шумами, связанными с особенностями аппаратуры или условиями наблюдения. Существенные преимущества и широкий энергетический диапазон второго метода обосновали его использование в макете аппаратуры для измерения скоростей движения медленноперемещающихся объектов, в частности, ледников (4).

Принципиальная схема экспериментальной установки, примененной в Антарктиде для определения динамики движения ледников, представлена на рис. 1. Примененный в схеме ОКГ-13 (1) использует в качестве рабочего газа смесь гелия и неона. Угол расхождения излучения ОКГ составлял $1,2 \times 10^{-3}$ рад. Для улучшения диаграммы направленности ОКГ использовалась 16-кратная телескопическая система 4, давшая соответственно результирующий угол расхождения $7,5 \times 10^{-3}$ рад.

Излучение от первого конца ОКГ, прошедшее через телескопическую систему, направляется на зеркало 9, укрепленное на излучаемом леднике,

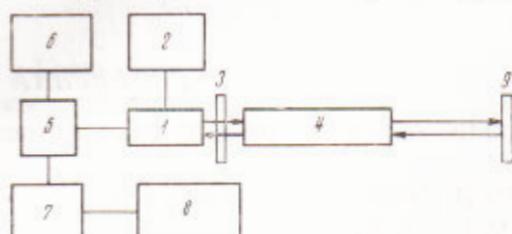


Рис. 1. Принципиальная схема установки. 1 — ОКГ, 2 — блок питания ОКГ, 3 — фильтр, 4 — телескопическая система, 5 — ФЭУ, 6 — блок питания ФЭУ, 7 — усилитель, 8 — осциллограф, 9 — зеркало

и, отразившись от него, возвращается через тот же телескоп (являющийся в данном случае приемным) обратно в ОКГ.

Со второго конца ОКГ располагается фотоумножитель 5 и регистрирующая система 7, 8. В качестве отражателя использовались зеркала с серебряным покрытием, нанесенным на внутренней поверхности, с коэффициентом отражения 96%. Диаметр зеркала 20 см. Использовался ФЭУ-36, чувствительный к диапазону излучения 3000—

6000 Å. На входе ФЭУ, чтобы избежать фоновых засветок, устанавливался узкополосный интерференционный светофильтр для $\lambda = 6328 \text{ Å}$, имевший полосу пропускания, равную 24 Å. Световые биения, выделяемые ФЭУ, усиливались широкополосным усилителем и регистрировались фотоприставкой с осциллографом. ОКГ с приемной аппаратурой устанавливались на оптической скамье.

Опыты проводились в районе станции Молодежная, на берегу Моря Космонавтов в период с 10 XII 1969 г. по 8 III 1970 г. Аппаратура с ОКГ, телескопом и приемно-регистрирующей системой устанавливалась в палатке, расположенной на скалах. Оптическая скамья с аппаратурой устанавливалась непосредственно на коренные породы.

Отражающее зеркало имело юстировочные подвижки, устанавливалось прямо на лед и защищалось от ветра металлическим кожухом. Питание всей аппаратуры производилось от автономного источника. Контрольные опыты по установлению отражающего зеркала на скальных породах показали отсутствие сигналов биений и соответственно смещений колебаний аппаратуры.

Существенным фактором, ограничивающим предельные возможности оптического метода измерения скоростей движения объектов, является состояние атмосферы, в которой распространяется луч ОКГ. Ослабление излучения ОКГ, ограничивающее дальнейшее действие на $\lambda 6328 \text{ Å}$, попадающей в окна прозрачности атмосферы, происходит за счет аэрозольного рассеяния.

На рис. 2 показаны осциллограммы сигналов с ФЭУ в случае колебания зеркала под воздействием ветра (а) и при его защите кожухом (б). Как видно, кожух достаточно уверенно ограждает аппаратуру от помех.

В период проведения измерений в Антарктиде метеорологическая дальность видимости составляла 50 км, что соответствует ослаблению излучения $\tau = 0,93/1 \text{ км}$ и естественно не было зафиксировано. Флуктуации показателя преломления атмосферы, вызванные турбулентными потоками слоев воздуха, обусловленные нагревом почвы, ветром и т. д., вносят прямые помехи в измерении малых скоростей объектов, нарушая его когерентность, вызывая отклонения луча, давая частотный спектр биений, свя-

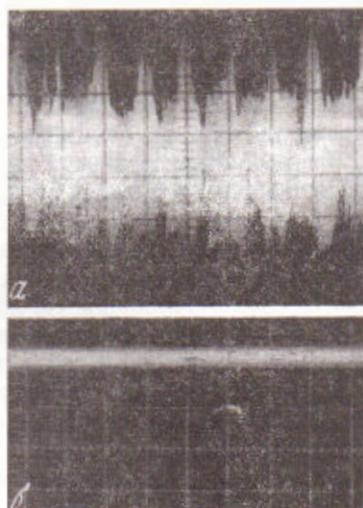


Рис. 2. Осциллограммы сигналов с ФЭУ: а — без защитного кожуха, б — с защитным кожухом

занный с изменением коэффициента преломления, лежащий в пределах 0—10 гц. Специальными экспериментами в Антарктиде при размещении аппаратуры на неподвижных породах было установлено, что флуктуации показателя преломления луча в Антарктиде над ледниковым покровом не существует. Это создает исключительно благоприятные условия для определения динамики движения ледников оптическими методами.

Скорость движения ледников измерялась в двух пунктах: на расстоянии приблизительно 1 км от станции Молодежная и на леднике Хейса. Местоположение ледника (в районе станции Молодежная), упирающегося в скалы и не имеющего никакого выхода в открытое море, как и следовало ожидать, предопределило исход измерений. Движение этого ледника не было обнаружено.

Затем для проведения опытов был выбран ледник Хейса в районе горы Вечерняя. По видимым признакам (наличие трещин и айсбергов) краевая зона ледника движется. Отражательное зеркало располагалось на леднике вблизи трещины на расстоянии 18 м от ОКГ. Наблюдения проводились 3 суток по 6—8 час. в вечернее и ночное время. Были получены осциллограммы биений, обусловленные движением ледника.

Измерения показывают, что движение ледника происходит нерегулярно: обнаружены его остановки. Никаких закономерностей в возобновлении движения не выявлены. В ряде случаев движение происходило несколько минут с промежутком в несколько часов, иногда же движение ледника происходило несколько часов с кратковременными паузами.

Типичные осциллограммы биений, полученные на леднике Хейса, показаны на рис. 3. Из этих осциллограмм видно, что существуют независимые биения различных частот, лежащих в области 0,3 гц и 10 гц, что соответствует расчетной скорости движения ледников 0,1 м/сек и 3,3 м/сек. Наличие двух диапазонов частот биений свидетельствуют, по-видимому, о том, что поступательное движение ледника (спектр низких частот биений) сопровождается его деформационными колебаниями (спектр более высоких частот биений).

Таким образом, благодаря применению оптического метода исследований впервые удалось обнаружить сложный характер движения ледников. Применение и развитие лазерного метода открывает новые возможности в гляциологии по исследованию динамики движения ледников.

Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт
Ленинград

Поступило
8 I 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. D. Kroeger, Proc. IEEE, 53, № 2 (1965). ² P. T. Bolwijn, J. Appl. Phys., 37, 4487 (1966). ³ И. М. Белоусова, О. Б. Данилов, А. Ф. Запругаев, ЖТФ, 40, в. 2 (1970). ⁴ В. В. Богородский, Г. В. Тренев, Б. А. Федоров, Тр. Арктич. и антарктич. н.-и. инст., 295 (1970).

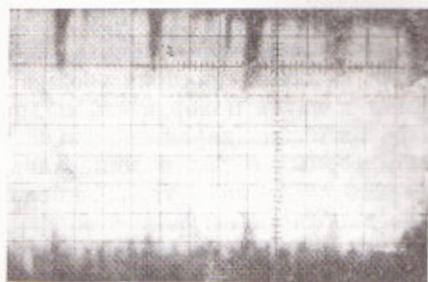
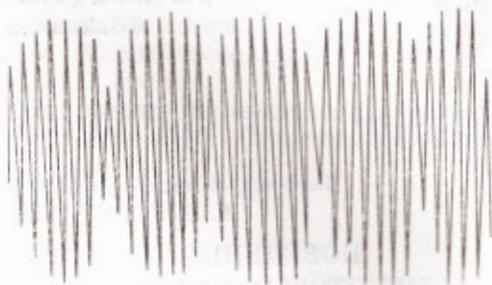


Рис. 3. Осциллограммы биений с ФЭУ, полученные при движении ледника