

УДК 621.317.341.3

А.В. БАДЬИН, Г.Е. ДУНАЕВСКИЙ, И.О. ДОРОФЕЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В КВАЗИОПТИЧЕСКИХ ПУЧКАХ¹

Представлены результаты исследования угловой зависимости коэффициента прохождения электромагнитной волны для плоского образца горной породы с использованием интерферометра Маха – Цандера в частотном диапазоне 35–55 ГГц. Приводятся угловые зависимости коэффициента прохождения для плоскопараллельного образца горной породы на частотах 48 и 53 ГГц при двух взаимно ортогональных поляризациях электромагнитной волны. Показана связь величины коэффициента прохождения с геологическими параметрами образца.

Ключевые слова: анизотропия, коэффициент прохождения, горная порода, квазиоптический пучок.

На сегодня одним из важнейших параметров при геофизической разведке природных месторождений полезных ископаемых является анизотропия физических свойств горных пород. Основными факторами, способствующими её появлению, являются слоистость, особенности текстуры и структуры, существование преобладающего направления трещиноватости, наличие напряженного состояния и др. [1, 2]. В геологии для определения анизотропии горных пород традиционно применяют оптические рефрактометры, палеточный и рентгеновские методы диагностики, такие, как электронная микроскопия, которые являются весьма трудоемкими и требуют тщательной подготовки образцов, изготовление тонких шлифов [3].

Сокращение времени исследования физических свойств горной породы возможно за счет использования СВЧ-технологий, которые позволяют проводить бесконтактные неразрушающие измерения электрофизических параметров материалов. Ранее исследования проводились в сантиметровом диапазоне длин волн [4], однако уменьшение длины волны позволяет увеличить пространственную разрешающую способность. С этой целью представляет интерес применение квазиоптического спектрометра СТД-21 с настроенным на прохождение квазиоптическим измерительным трактом, внешний вид которого приведен на рис. 1. В качестве источника электромагнитного излучения использовалась лампа обратной волны (ЛОВ). Установка необходимой поляризации излучения осуществлялась сеточным поляризатором, помещенным перед ЛОВ.

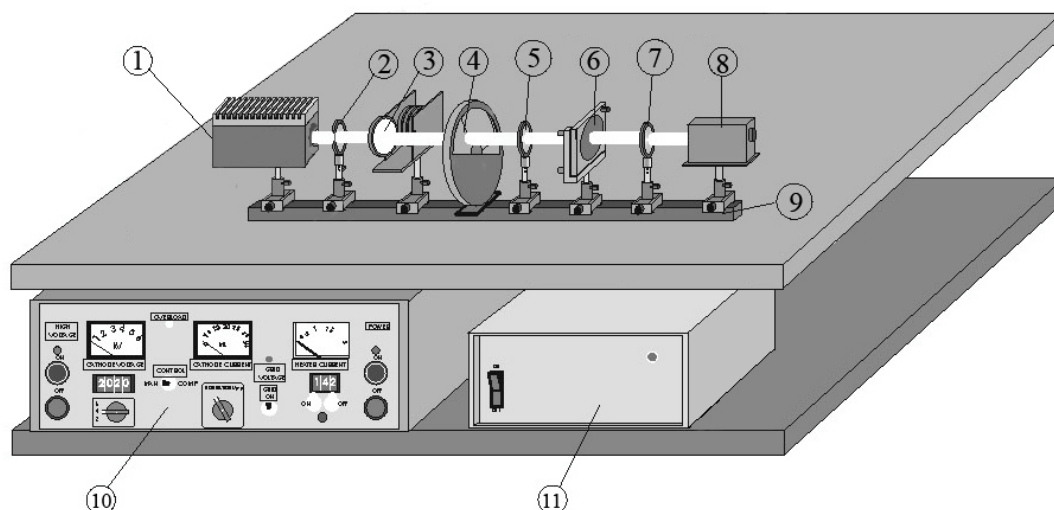


Рис. 1. Внешний вид установки для измерения коэффициента прохождения на основе квазиоптического спектрометра СТД-21: 1 – ЛОВ; 2, 5, 7 – фокусирующие линзы; 3 – аттенюатор; 4 – модулятор; 6 – поворотный держатель образца; 8 – детектор; 9 – станина; 10 – блок питания; 11 – контроллер

Для исследования анизотропии коэффициента прохождения изготовлен плоскопараллельный образец горной породы (рис. 2) с керна Хр-1/1 (Западная Монголия, Хайрханский габброидный

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания ТГУ (шифр проекта 2.4885.2011).

массив) толщиной 4,36 мм, являющийся магматической горной породой основного состава (габбронорит), состоящий из следующих минералов: плагиоклаз и оливин. Анизотропия строения (белая линия на рис. 2) выражена вполне отчетливо и обусловлена развитием удлиненных агрегатов и зерен. Отличительной особенностью данного образца является наличие тонкозернистой рассеянной вкрапленности сульфидов железа.



Рис. 2. Внешний вид плоскопараллельного образца горной породы Хр-1/1

Измерения коэффициента прохождения проводились в диапазоне 35–55 ГГц (ЛОВ QS-6). Исследуемый образец закреплялся в держателе, имеющем возможность вращаться в вертикальной плоскости на 360° . Далее осуществлялось частотное сканирование образца во всем рабочем диапазоне ЛОВ через каждые 10° . При этом поляризация излучения определялась сеточным поляризатором. Перед детектором располагался аналогичный сеточный анализатор. Относительное расположение поляризатора и анализатора определяло выбор измеряемой составляющей электромагнитного поля.

Средняя измеренная при помощи интегрированного в спектрометр программного обеспечения относительная диэлектрическая проницаемость данного образца при расположении образца в минимуме коэффициента прохождения составила 6,45. Отношение нормированного коэффициента прохождения при ортогональном расположении анализатора и поляризатора (рис. 3) отличается в 5 раз на частотах 48 и 53 ГГц. Из графика (рис. 4) видно, что направление минимума угловой диаграммы коэффициента прохождения при параллельной ориентации поляризатора и анализатора ортогонально направлению анизотропии текстуры (пунктирная линия на рис. 3 и 4). В исследуемом частотном диапазоне отмечен поворот направления максимума коэффициента прохождения.

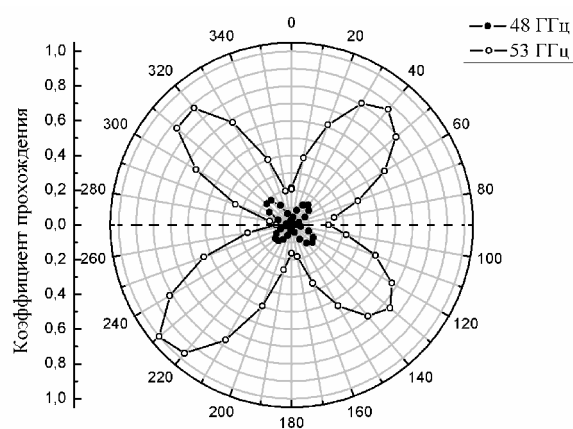


Рис. 3. Угловые зависимости нормированного коэффициента прохождения для плоскопараллельного образца горной породы Хр-1/1 при скрещенном взаимном расположении поляризатора и анализатора на частотах 48 и 53 ГГц

В интервале частот 40–45 ГГц направление максимума коэффициента прохождения ортогонально направлению анизотропии текстуры горной породы. Однако в частотных интервалах 35–39 и 46–54 ГГц картина меняется, угловая диаграмма поворачивается против часовой стрелки и достигает максимума отклонения в 10° на частоте 50 ГГц. Подобный результат наблюдался при исследовании анизотропии данного образца СВЧ-рефлектометром в диапазоне 8–12 ГГц [4], когда

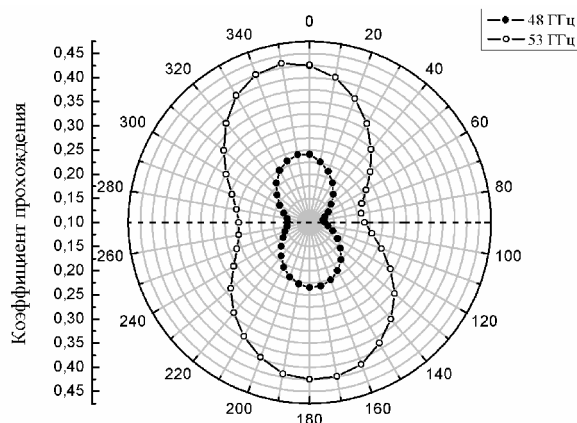


Рис. 4. Угловые зависимости коэффициента прохождения для плоскопараллельного образца горной породы Хр-1/1 при параллельном расположении поляризатора и анализатора на частотах 48 и 53 ГГц

изменение частоты в интервале 10–12 ГГц сопровождалось поворотом на 30° угловой диаграммы нормированного коэффициента стоячей волны по напряжению. Это связано, вероятно, с изменением фазовых набегов на толщине образца. Коэффициент прохождения в направлении его максимума варьируется в интервале 0,2–0,45 во всем исследуемом частотном диапазоне. В минимальном направлении коэффициент прохождения варьировался в пределах 0,12–0,25. Анализ имеющихся данных и сравнение их с результатами, полученными оптическими методами в геологии, показал корреляцию анизотропии образцов с их геологическими параметрами, однако эта корреляция носит сложный характер и различна на различных участках исследуемого частотного диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maeda Itaru // J. Faculty of Sci. Ser. 7. Geophysics. – Hokkaido University, 1990. – V. 8. – No. 5. – P. 479–484.
2. Katsube T.J., Best M.E., and Jones A.G. // Society of Exploration Geophysicists. – Denver, Colorado, 1996. – P. 1279–1281.
3. Четвериков Л.И. // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геол. – 2000. – Вып. 9. – С. 26–31.
4. Бадьин А.В., Дунаевский Г.Е. // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 8/2. – С. 274–275.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: Alex001@sibmail.com

Поступила в редакцию 15.07.13.

Бадьин Александр Владимирович, аспирант;
Дунаевский Григорий Ефимович, д.т.н., профессор;
Дорофеев Игорь Олегович, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр.

A.V. BADIN, G.E. DUNAEVSKY, I.O. DOROFEEV

RESEARCH OF ANISOTROPY OF NATURAL OBJECTS IN QUASIOPTICAL BEAMS

In paper results of research of angular dependence of transmission coefficient of electromagnetic wave for plane-parallel samples of rock with use of Mach-Zehnder interferometer in the frequency range of 35 - 55 GHz are presented. Angular dependences of transmission coefficient of rock at frequencies of 48 and 53 GHz are given in case of two mutually orthogonal polarization of electromagnetic wave. Correlation of value of transmission coefficient with geological parameters of a sample is shown.

Keywords: anisotropy, transmission coefficient, rock, quasi-optical beam.