

- его агрегатах. — Докл. АН СССР, 1972, т. 204, № 4.
15. Доломанова Е.И., Гасоян М.С., Королев Н.В. и др. Типоморфные особенности гидротермального жильного кварца. — В кн.: Типоморфизм минералов и его практическое значение. М.: Недра, 1972.
  16. Доломанова Е.И., Бершов Л.В., Гасоян М.С. Изоморфные элементы-примеси в жильном кварце оловорудных месторождений Забайкалья и их генетическое значение. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1972, № 6.
  17. Доломанова Е.И., Лосева Т.И., Цепин А.И. К вопросу о химическом составе твердых осадков в вакуолях касситерита, турмалина и кварца из оловорудных месторождений. — В кн.: Проблемы эндогенного рудообразования. М.: Наука, 1974.
  18. Доломанова Е.И., Лосева Т.И., Цепин А.И. Химический состав осадков в газовой-жидких включениях по данным рентгеноспектрального микроанализа. — В кн.: Термобарогеохимия минералообразования. Изд-во МГУ, 1976.
  19. Доломанова Е.И., Берзина И.Г., Берман И.Б. Распределение лития в некоторых минералах оловорудных месторождений Сибири по данным (п,α) радиографии. — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 25. М.: Наука, 1976.
  20. Доломанова Е.И., Носик Л.П., Власова Е.В. и др. Форма нахождения углерода в минералах оловорудных месторождений Забайкалья и концентрации CO<sub>2</sub> в газовой-жидких включениях. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1977, № 10.
  21. Носик Л.П., Доломанова Е.И., Рождественская И.В. Особенности формирования оловорудных месторождений по данным изотопного состава углерода, кислорода и серы газовой-жидких включений в минералах. — В кн.: Термобарогеохимия земной коры и рудообразования. М.: Наука, 1978.
  22. Доломанова Е.И., Горбатов Г.Л., Пилоян Г.О., Успенская А.Б. Температура инверсии, диэлектрическая проницаемость и другие свойства кварца разного генезиса. — В кн.: Новые данные о минералах, вып. 29. М.: Наука, 1981.
  23. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (область слабых полей). М.; Л.: ГИТГЛ, 1949.
  24. Бонч-Бруевич В.Л., Калашиков С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1977.

УДК 549.514.5; 537.312.6; 553.1

А.Б. УСПЕНСКАЯ

### ТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ЧАСТОТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИЛЬНОГО КВАРЦА ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Установление типоморфных признаков жильных кварцев возможно только при комплексном исследовании их поведения при различных воздействиях: электрического поля разной частоты, нагревании и одновременном воздействии и того и другого. Причем измерения всех физических параметров следует проводить на одних и тех же образцах: удельного электрического сопротивления на постоянном и переменном токе  $\rho_{\pm}$  и  $\rho_{\sim}$ , диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg}\delta$ , их температурных и частотных зависимостей.

Настоящая работа является продолжением изучения электрических характеристик жильного кварца оловянных месторождений Забайкалья на тех же образцах, что и в работе [1], любезно предоставленных Е.И. Доломановой и изученных ею [2—16].

Предварительные сведения о характере процесса поляризации в образцах жильного кварца различных генетических групп были получены в результате сопоставления результатов одновременного исследования температурных зависимостей  $\rho_{\pm}$  и  $\rho_{\sim}$  [1]. Для получения более полной информации были проведены исследования температурной и частичной зависимостей диэлектрических

<sup>1</sup>В теории диэлектриков диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  комплексная величина  $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$ , где  $\epsilon'$  — действительная часть.

параметров  $\epsilon'$  и  $\operatorname{tg}\delta$  на тех же образцах, на которых проводились измерения  $\rho_z$  и  $\rho_{\sim}$ .

При изучении частотных и температурных зависимостей  $\epsilon'$  и  $\operatorname{tg}\delta$  использовались общепринятые методики измерения диэлектрических параметров, описание которых изложено в монографии [15].

#### ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В простейшем случае, когда имеется один тип релаксаторов,<sup>1</sup> со временем релаксации  $\tau$  и можно пренебречь потерями сквозной проводимости, справедлива формула Дебая [16]:

$$\epsilon' = \epsilon_{\sim} + \frac{\epsilon_0 - \epsilon_{\sim}}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (1); \quad \operatorname{tg}\delta = \frac{(\epsilon_0 - \epsilon_{\sim})\omega\tau}{\epsilon_0 + \epsilon_{\sim}(\omega\tau)^2}, \quad (2)$$

где  $\epsilon_0$  и  $\epsilon_{\sim}$  — соответственно значения статистической (на постоянном токе) и высокочастотной диэлектрической проницаемости;  $\omega$  — циклическая частота переменного электрического поля.

В формуле (1) время релакции  $\tau$  изменяется с температурой по экспоненциальному закону:

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{E_0}{kT},$$

где  $E_0$  — энергия активации процесса релаксации. Величина практически не зависит от температуры.

Если считать, что  $\epsilon_0$  слабо меняется от температуры, то с повышением температуры величина  $\epsilon'$  растет от значения  $\epsilon_{\sim}$  при низких температурах до  $\epsilon_0$  при высоких. При наличии непрерывного набора времен релаксации кривая зависимости  $\epsilon'(T)$  имеет тот же характер, однако она более размыта, чем соответствующая формуле (1). Если имеется несколько  $\tau$ , заметно отличающихся по величине, то зависимость  $\epsilon'(T)$  — неубывающая функция, график которой имеет несколько ступеней.

Температурные зависимости изучались для кварцев разных генетических групп при нагревании от 20 до 1050°C, описание их в приложении к табл. 1 [1].

На экспериментальных температурных зависимостях  $\epsilon' = \varphi(T)$  кварцев различных генетических групп, имеющих разное процентное содержание параморфозы  $\alpha$ -кварца по  $\beta$ -кварцу [5, 6] в своих агрегатах, можно выделить три типа кривых:

1) Монотонно возрастающие функции от 200°C и выше (обр. 229, 257, 277 в гребенчатом нерудоносном кварце).

2) На кривой наблюдается ступенька в интервале температур 300—450°C или 400—600°C (обр. 396, 273) в жильном рудоносном кварце первой генерации).

3) В области 350—700°C кривые имеют аномалии возрастания и убывания  $\epsilon'(T)$  с увеличением температуры (обр.  $\beta$ -Волынь в кварце, претерпевшем инверсию).

Первый тип зависимости  $\epsilon'(T)$  наблюдается у низкотемпературных гидротермальных кварцев, являющиеся  $\alpha$ -модификацией кварца. Второй тип кривых со ступенькой — пегматитовые и высокотемпературные кварцы касситерит-

<sup>1</sup>Релаксаторами будем называть структурные единицы, ответственные за процесс установления поляризации.

Таблица 1  
Величины времени релаксации  $\tau$  и порядок размеров релаксаторов

№ пп	Образец	$\epsilon_0$	$\epsilon_\infty$	$\tau$ , с	Размер релаксатора l, см	
1	$\beta$ (1)	5,5	4,9	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$	
2	$\beta$ (2)	6,0	4,5	$4,6 \cdot 10^{-7}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	
3	$\beta$ (3)	6,3	5,9	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	
4	$\beta$ (5)	5,9	5,5	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	
		6,0	5,2	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$	
5	$\beta$ (6)	5,6	4,2	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$	
		5,5	4,2	$1,83 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	
6	274	7,9	6,1	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$	
		6,1	4,5	$6,2 \cdot 10^{-6}$	$6,2 \cdot 10^{-2}$	
7	3241	6,3	5,4	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$	
		5,3	4,8	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$	
		4,8	3,8	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	
8	3271	5,6	5,0	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$	
		5,0	4,4	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	
9	32	4,8	4,1	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	
		4,1	3,9	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	
10	32	5,1	4,7	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	
11	32	6,2	6,0	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$8,0 \cdot 10^{-2}$	
12	3120	7,5	6,5	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	
		6,5	5,9	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$	
13	98	5,9	5,0	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$	
		5,0	4,1	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	
14	101	5,5	4,6	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	
15	3320	8,1	6,5	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	
		6,5	4,8	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	
16	395	5,7	5,0	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$	
17	395	21,5	10,0	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	
		10,0	6,6	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	
		6,6	5,0	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	
18	213	9,3	8,8	$8,1 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-2}$	
19	36	24,1	20,5	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$	
		20,5	16,0	$8,9 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$	
20	1480	6,48	6,25	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	
		I грань	6,25	6,0	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$
		6,0	5,0	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	
21	1480	4,9	4,75	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	
		II грань	4,75	4,52	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$

пегматитовой формации из центральной части жилвы (обр. 914) и касситерит-кварцевой формации (обр. 396, обр. 273). Причем температурный интервал ступеньки для них разный:

Образец	Температурный интервал, °C
914	300—450
396	400—600
273	450—600

Третий тип кривых характерен для кварцев касситерит-пегматитовой формации, в агрегатах которых преобладает параморфоза  $\alpha$ -кварца по  $\beta$ -кварцу. К ним относятся эталонный образец  $\beta$ -кварца Волыни (пегматитовый сотовый кварц, претерпевший инверсию) и пегматитовые кварцы Ононского месторождения (обр. 32).

Экспериментальные зависимости  $\epsilon'(T)$  для образцов II и III группы не монотонны. Аномальное поведение  $\epsilon'(T)$  в области температур 350—700°С можно объяснить значительным убыванием статистической диэлектрической проницаемости  $\epsilon_0$  при повышении температуры, что обусловлено уменьшением

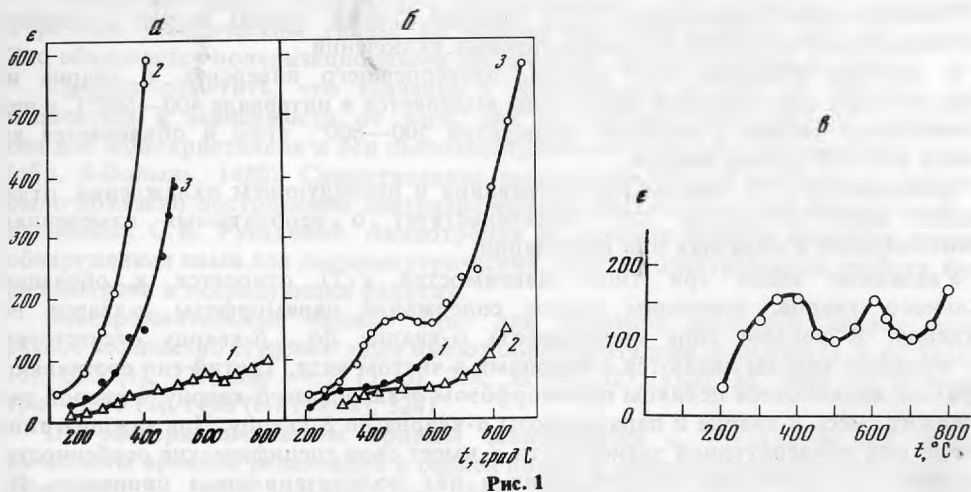


Рис. 1. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости жильных кварцев

*a* — гребенчатые  $\alpha$ -кварцы: 1 — обр. 229, месторождение Бай-Мурза; 2 — обр. 276, месторождение Зун-Ундур; 3 — обр. 257; *b* — смесь  $\alpha$ -кварца и параморфозы  $\alpha$ -кварца по  $\beta$ -кварцу: 1 — обр. 914, месторождение Адун-Чолон; 2 — обр. 396, месторождение Зун-Ундур; 3 — обр. 273, месторождение Ушмун; *в* — параморфоза  $\alpha$ -кварца по  $\beta$ -кварцу, эталон  $\beta$ , месторождение Волянь

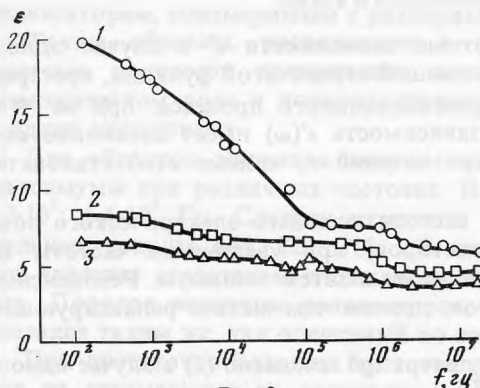


Рис. 2

Рис. 2. Частотные зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon'(\omega)$  жильных кварцев

1 — обр. 3359, месторождение Алдакачан; 2 — обр. 3320, месторождение Этыка; 3 — обр. 3241, месторождение Адун-Чолон

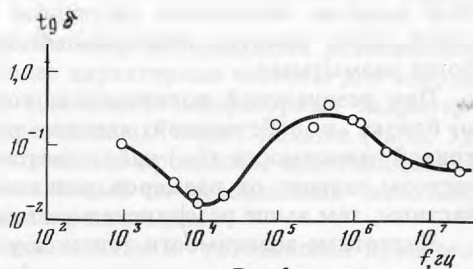


Рис. 3

Рис. 3. Частотная зависимость тангенса угла потерь  $\text{tg} \delta$ . Обр. 238, месторождение Зун-Ундур

числа релаксаторов. Аномальное поведение  $\rho$  наблюдается также на температурной зависимости  $\rho_z$  в том же интервале температур [1].

Объясняется это выделением воды и вскрытием газово-жидких включений при нагревании. Методом ИК-спектрометрии [4—8] и масс-спектрометрии [12, 13] установлено, что количество воды в кварце зависит от генезиса, что и выявляется при нагревании образцов кварца.

Кривая выделения воды  $\alpha$ -кварца (первый тип кривых) имеет один максимум при температуре  $200^\circ\text{C}$ . Затем выделение воды постепенно уменьшается.

Именно этим и определяется характер изменения  $\epsilon'(T)$  гребенчатых кварцев.

Кривая же выделения воды из сливного жильного кварца, содержащего и  $\alpha$ -модификацию и  $\beta$ -модификацию неуклонно растет, имея резкий перегиб при температуре  $300\text{—}400^\circ\text{C}$ , отражающий начало растрескивания жидко-газовых включений при температуре близкой к критической температуре воды.

Температурная зависимость  $\epsilon'(T)$  кварцев второй группы вполне соответствует выделению жидкости из жидко-газовых включений.

В эталоне  $\beta$ -кварца, т.е. кварца, претерпевшего инверсию, и кварца из пегматитовых жил основная масса воды выделяется в интервале  $400-500^\circ\text{C}$  и при  $\alpha$ - $\beta$ -переходе кварца в области температур  $500-600^\circ$ , этим и объясняется характер  $\epsilon'(T)$  III группы кварца.

Зависимости  $\epsilon'(T)$ , снятые при нагревании и последующем охлаждении, отличаются друг от друга, что свидетельствует о необратимых изменениях, произошедших в образцах при нагревании.

Указанные выше три типа зависимостей  $\epsilon'(T)$  относятся к образцам жильного кварца, имеющим разное содержание параморфозы  $\alpha$ -кварца по  $\beta$ -кварцу. В первом типе параморфоза  $\alpha$ -кварца по  $\beta$ -кварцу отсутствует, т.е. жильные кварцы являются  $\alpha$ -кварцами в чистом виде. Третий тип составляют образцы, являющиеся целиком параморфозом  $\alpha$ -кварца по  $\beta$ -кварцу, а второй тип содержит смесь  $\alpha$ -кварца и параморфозы  $\alpha$ -кварца по  $\beta$ -кварцу. Для каждого типа кварца вид температурной зависимости  $\epsilon'$  имеет свои специфические особенности, связанные с характером протекающих в них поляризационных процессов. Из частотных зависимостей  $\epsilon'(\omega)$  при комнатной температуре можно определить времена релаксации, а по ним оценить порядок величины размера релаксаторов.

#### ЧАСТОТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ $\epsilon'$ И $\text{tg}\delta$

Как следует из формулы (1), частотные зависимости  $\epsilon'$  в случае одного времени релаксации  $\tau$  имеет вид невозрастающей ступенчатой функции, претерпевающей резкое уменьшение в области релаксационного процесса: при  $\omega\tau \approx 1$ . При наличии нескольких различных  $\tau$  зависимость  $\epsilon'(\omega)$  имеет несколько ступеней. Если имеется непрерывный набор значений  $\tau$ , кривые  $\epsilon'(\omega)$  становятся более размытыми.

При резонансной поляризации, когда частота внешнего электрического поля  $\omega$  близка к собственной частоте релаксаторов, при увеличении частоты на кривой зависимости  $\epsilon'(\omega)$  наблюдается максимум и затем минимум. Резонансные частоты зависят от размеров релаксаторов, причем чем мельче релаксирующие частицы, тем выше резонансная частота.

Частотные зависимости тангенса угла потерь  $\text{tg}\delta$  согласно (2) в случае одного  $\tau$  имеют максимум при  $\omega_m = \frac{1}{\tau} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\epsilon_\infty}}$ , при наличии нескольких различных  $\tau$  максимумов становится больше. Если имеется непрерывный набор значений  $\tau$ , зависимость  $\text{tg}\delta(\omega)$  становится более размытыми. Учет потерь сквозной проводимости может проводиться к увеличению значению  $\text{tg}\delta$  в области низких частот.

Измерение частотных зависимостей  $\epsilon'$  и  $\text{tg}\delta$  проводилось при комнатной температуре в диапазоне частот  $10^2 - 2,5 \cdot 10^7$  Гц.

Экспериментально наблюдаемые зависимости  $\text{tg}\delta(\omega)$  имеют вид кривых с одним или несколькими максимумами в диапазоне частот интенсивного спада  $\epsilon'(\omega)$ . Размытый характер кривых, а также диаграммы Коула—Коула (1), которые построены по результатам экспериментов, проведенных на исследуемых образцах, свидетельствуют о наличии в них целого набора релаксаторов. Как показал проведенный нами расчет, влияние потерь сквозной проводимости на величину несущественно.

Анализируя частотные зависимости  $\epsilon'$  и  $\text{tg}\delta$ , можно оценить в времена релаксации, исходя из формулы  $\omega_m = \frac{1}{\tau} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\epsilon_\infty}}$ . В случае нескольких ступенек  $\epsilon_0$  — значение на верхней, а  $\epsilon_\infty$  — на нижней ступеньке,  $\omega_m$  определяется по зависимости  $\text{tg}\delta = \psi(\omega)$  как частота, при которой  $\text{tg}\delta$  имеет максимальное значение.

Экспериментально установлено, что величина  $\epsilon'$  всех образцов, относящихся к разным генетическим типам, на низких частотах больше, чем на высоких. Это объясняется поляризационными процессами, протекающими в кварце.

Следует отметить, что значения  $\epsilon'$  для одного и того же образца могут отличаться в зависимости от того, как он вырезан относительно оптической оси для монокристаллов и оси пьезоэлектрической текстуры для жильных кварцев (обр.  $\beta$ -Волынь, 1480). Существование пьезоэлектрической текстуры в образцах было доказано построением диаграмм выхода максимумов, оптических осей, выполненных С.И. Русаковой. Анизотропия физических свойств жильных кварцев, обнаруженная нами для пьезоэлектрических, упругих электрических свойств, будет рассмотрена в последующих работах.

Экспериментальные кривые  $\epsilon'(\omega)$  для образцов жильного кварца имеют разное количество ступенек: одну имеют образцы эталона  $\beta$ -кварца (1, 2, 6); 32 (2, 3); 101, 395 (1), 273; две —  $\beta$  (3, 5), 274, 32 (1), 327, 3320, 36, 1480 (со II грани); три — 395 (2), 1480 (с I грани), 3241.

По экспериментальным кривым зависимостей  $\epsilon' = \varphi(\omega)$  и  $\text{tg}\beta = \psi(\omega)$  вычислены времена релаксаций и оценен порядок размеров релаксаторов (табл. 1). Обращает на себя внимание тот факт, что для каждого жильного кварца имеется набор времен релаксации и соответственно несколько разных по размеру релаксаторов.

Одни времена релаксаторов соответствуют релаксаторам, размеры которых такого же порядка, что величины зерен (табл. 2) кварца. Другие отвечают релаксаторам, соизмеримым с размерами газово-жидких включений.

Таким образом, расхождения в значениях  $\rho_+$  и  $\rho_-$  объясняется особенностями процессов поляризации зерен кварца в постоянном и переменном электрическом поле и поляризационными процессами, протекающими в газово-жидких включениях.

Для образцов жильного кварца на кривых  $\epsilon'(\omega)$  наблюдаются резонансные максимумы при различных частотах. Наиболее характерные частоты для кварца  $6,0 \cdot 10^5$ ;  $5,5 \cdot 10^5$  Гц. Следует отметить, что для низкотемпературных гидротермальных кварцев обр. 229, 275, 268 число резонансных частот больше (табл. 3), что является следствием сложных поляризационных процессов, протекающих в них. Порядок величины релаксаторов, вычисленный по резонансным частотам, оказался таким же, как оцененный по временам релаксации.

При достаточно больших частотах релаксационные и резонансные процессы уже не сказываются на величине  $\epsilon'$  ( $\epsilon'$  имеет постоянное значение). В табл. 4 указаны интервалы частот, где  $\epsilon' = \text{const}$  и его значение. Величины диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  во всех работах приводят на частоте  $10^6$  Гц.

Анализ экспериментальных данных температурных и частотных зависимостей диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  и тангенса угла потерь  $\text{tg}\delta$  для жильных кварцев разных генетических групп позволяет сделать следующие выводы:

1. Характер температурной зависимости  $\epsilon'(T)$  в интервале температур 20—800°C определяется генезисом кварца, относительным содержанием в нем параморфозы  $\alpha$ -кварца по  $\beta$ -кварцу, характером выделения воды и вскрытием жидко-газовых включений при нагревании.

Наблюдаются три типа кривых:

1. Для низкотемпературных нерудоносных гидротермальных (гребенчатых) кварцев, являющихся  $\alpha$ -кварцами, зависимость  $\epsilon'(T)$  — строго возрастающая функция.

2. Для эталонного сотового  $\beta$ -кварца (параморфозы  $\alpha$ -кварца по  $\beta$ -кварцу) и пегматитовых кварцев, состоящих в основном из  $\beta$ -модификации зависимость  $\epsilon'(T)$  — немонотонная, имеющая один или несколько максимумов функция.

3. Для пегматитовых и высокотемпературных гидротермальных кварцев,

Таблица 2  
Размеры зерен жильных кварцев

№ пп	Образец	Размер зерен в см	№ пп	Образец	Размер зерен в см
1	β-кварц	$(1,8 \times 1,4) \cdot 10^{-1}$	5	213	$(1,7 \times 1,2) \cdot 10^{-1}$
2	32	$(1,8 \times 1,28) \cdot 10^{-1}$	6	101	$(9,2 \times 2,6) \cdot 10^{-2}$
3	3271	$(3,9 \times 1,8) \cdot 10^{-1}$	7	395	$(1,6 \times 0,7) \cdot 10^{-1}$
4	3120	$(3,7 \times 2,0) \cdot 10^{-1}$	8	1480	$(1,6 \times 0,4) \cdot 10^{-1}$

Таблица 3  
Величина диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  на резонансной частоте  $f_{рез}$ , Гц

№ пп	Образец	$f_{рез}$ , Гц	$\epsilon'$	№ пп	Образец	$f_{рез}$ , Гц	$\epsilon'$
1	β-Волынь	$6 \cdot 10^5$	6,4	11	3364	$10^7$	5,5
2	32 (5)	$6,0 \cdot 10^6$	6,5	12	229	$7 \cdot 10^4$	5,8
3	32 (1)	$5,0 \cdot 10^6$	3,35	13	(I грань)	$8,5 \cdot 10^5$	5,8
		$2,25 \cdot 10^4$	3,75			$5,5 \cdot 10^5$	10,63
4	32 (2)	$5,5 \cdot 10^5$	4,2	14	275	(II грань)	
		$5,5 \cdot 10^5$	7,5			$6 \cdot 10^4$	13,6
5	32 (3)	$5,5 \cdot 10^5$	8,0			$5,5 \cdot 10^5$	8,5
6	32 (4)	$5,5 \cdot 10^5$	10,75			$8 \cdot 10^5$	8,45
7	274	$6,0 \cdot 10^5$	6,2			$10^6$	7,5
8	3120	$6,0 \cdot 10^5$	5,5	15	268	$5,5 \cdot 10^5$	8,6
		$8 \cdot 10^5$	9,7			$8,5 \cdot 10^5$	8,35
9	213	$10^5$	9,7			$10^6$	7,25
		$10^5$	17,5				
10	36	$10^5$					

Таблица 4  
Области частот постоянного значения

№ пп	Образец	$f$ , Гц	$\epsilon'$	№ пп	Образец	$f$ , Гц	$\epsilon'$
1	274	$10^6 - 10^7$	5,6	5	3320	$10^6 - 2,5 \cdot 10^7$	4,7
2	3271	$10^6 - 2,5 \cdot 10^7$	4,4	6	98	$10^5 - 10^7$	4,1
3	3241	$10^6 - 2,5 \cdot 10^7$	3,8	7	1480	$5 \cdot 10^4 - 2,5 \cdot 10^7$	4,52
4	3120	$1,1 \cdot 10^6 - 2,5 \cdot 10^7$	4,5			(II грань)	

представляющих собой смесь  $\alpha + \beta$ -модификаций зависимость  $\epsilon'(T)$  — неубывающая функция со ступенькой в температурном интервале, соответствующем вскрытию газово-жидких включений.

II. Измерены частотные зависимости  $\epsilon'$  и  $\text{tg} \delta$  в диапазоне частот от  $10^2$  до  $2,5 \cdot 10^7$  Гц.

1. Частотные зависимости  $\epsilon'(\omega)$  имеют вид невозрастающих функций с одной или несколькими ступеньками, что качественно согласуется с формулой Дебая для случая одного или нескольких типов релаксаторов. Более размытый характер экспериментальных кривых по сравнению с теоретическими, соответствующими формуле Дебая, свидетельствует о наличии ряда наборов релаксаторов с временами релаксации, группирующимися около значений  $\tau$ , соответствующих каждой ступеньке.

2. Прикидочная оценка эффективных размеров релаксаторов показала, что для каждого кварца имеются релаксаторы двух типов: одни размеры — соизмеримы с величиной зерен кварца ( $n \cdot 10^{-1}$  см), а другие — с величинами газово-жидких включений ( $n \cdot 10^{-3} - 10^{-4}$  см).

3. Для некоторых образцов на частотной зависимости  $\epsilon'$  на фоне основной,

невозрастающей релаксационной кривой наблюдаются резонансные максимумы. Для пегматитовых и гидротермальных высокотемпературных кварцев характерны резонансные частоты:  $10^5$ ,  $5 \cdot 10^5$ ,  $5,5 \cdot 10^5$ ,  $6 \cdot 10^5$ ,  $6 \cdot 10^6$  Гц. Для гребенчатых кварцев резонансные частоты таковы:  $6 \cdot 10^4$ ;  $5,5 \cdot 10^5$ ;  $8 \cdot 10^5$ ,  $10^6$  Гц.

4. При достаточно высоких частотах сохраняет постоянное значение у кварцев всех генетических групп. Интервалы частот, при которых начинается постоянство  $\epsilon'$ , зависят от генезиса кварца.

5. Частотные зависимости  $\epsilon'$  имеют один или несколько максимумов в области релаксационного процесса  $\epsilon'$  (ступенька на кривой  $\epsilon'(\omega)$ ).

Отметим, что исследование температурных и частотных зависимостей диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  и тангенса угла потерь  $\text{tg}\delta$  для пегматитовых и жильных гидротермальных кварцев проведено впервые. Эти зависимости могут служить еще одним типоморфным признаком кварца на месторождениях разных формаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Успенская А.Б. Температурные зависимости удельного электрического сопротивления жильного кварца оловорудных месторождений на постоянном и переменном токе. — В кн.: Новые данные о минералах, вып. 32. М.: Наука, 1985.
2. Доломанова Е.И., Успенская А.Б. Пьезоэлектрические свойства кварца оловянных месторождений. — В кн.: Очерки по геологии и геохимии рудных месторождений (развитие идей акад. Д.И. Щербакова). М.: Изд-во АН СССР, 1969.
3. Успенская А.Б., Абдульманов И.Г., Доломанова Е.И. Зависимость скорости распространения упругих продольных волн в жильных кварцах оловорудных месторождений от генезиса. — Изв. вузов, Геология и разведка, 1969, N 11.
4. Доломанова Е.И., Гасоян М.С., Рудницкая Е.С. и др. Возможность применения ИК-спектроскопии для определения температуры образования сливных жильных кварцев. — Докл. АН СССР, 1970, т. 192, N 1.
5. Доломанова Е.И., Гасоян М.С., Рудницкая Е.С. и др. Определение состава примесей и температуры образования жильного и других кварцев по инфракрасным спектрам. — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 21. М.: Наука, 1972.
6. Доломанова Е.И., Квитка С.С. Рентгенометрическое изучение  $\beta$ - и  $\alpha$ -модификаций кварца с целью их диагностики в сливных жильных его агрегатах. — Докл. АН СССР, 1972, т. 204, N 4.
7. Доломанова Е.И., Гасоян М.С., Королев Н.В. и др. Типоморфные особенности гидротермального жильного кварца. — В кн.: Типоморфизм минералов и его практическое значение. М.: Недра, 1972.
8. Доломанова Е.И., Бершов Л.В., Гасоян М.С. Изоморфные элементы-примеси в жильном кварце оловорудных месторождений Забайкалья и их генетическое значение. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1972, N 6.
9. Доломанова Е.И., Лосева Т.И., Цепин А.И. К вопросу о химическом составе твердых осадков в вакуолях касситерита, турмалина и кварца из оловорудных месторождений. — В кн.: Проблемы эндогенного рудообразования. М.: Наука, 1974.
10. Доломанова Е.И., Лосева Т.И., Цепин А.И. Химический состав осадков в газовой-жидких включениях по данным рентгеноспектрального микроанализа. — В кн.: Термобарогеохимия минералообразования, 1976.
11. Доломанова Е.И., Берзина И.Г., Берман И.Б. Распределение лития в некоторых минералах оловорудных месторождений Сибири по данным (п,  $\alpha$ ) радиографии. — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 25. М.: Наука, 1976.
12. Доломанова Е.И., Носик Л.П., Власова Е.В. и др. Форма нахождения углерода в минералах оловорудных месторождений Забайкалья и концентрация  $\text{CO}_2$  в газовой-жидких включениях. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1977, N 10.
13. Носик Л.П., Доломанова Е.И., Рождественская И.В. Особенности формирования оловорудных месторождений по данным изотопного состава углерода, кислорода и серы газовой-жидких включений в минералах. — В кн.: Термобарогеохимия земной коры и рудообразование. М.: Наука, 1978.
14. Доломанова Е.И., Горбатов Г.Л., Пилюян Г.О., Успенская А.Б. Температура инверсии, диэлектрическая проницаемость и другие свойства кварца разного генезиса. — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 29. М.: Наука, 1981.
15. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. М.: Наука, 1965.
16. Сканиви Г.И. Физика диэлектриков (область слабых полей). М.; Л.: ГИТГЛ, 1949.