

очередь литологически-экранированных залежей вдоль выклинивания моноклинальнозалегающих песчаных пачек.

Необходимо от многолетних дискуссий о перспективах майкопской толщи перейти к поисково-разведочным работам, которые должны определиться в самостоятельное направление, для этого надо использовать накопленный геолого-сейсмический материал, а также восстановить ранее пробуренные и ликвидированные скважины на мезозойские отложения, которые могут быть использованы на возврат на майкопские отложения не только в Дагестане, но и во всем Восточном Кавказе.

### Литература

1. Сомов В.Д. Основные вопросы стратиграфии и межрегиональная схема расчленения майкопских (олигоцен-нижнемиоценовых) отложений Северного Кавказа Тр. Гроз. НИИ. М. 1963, вып. 14.
2. Шарафутдинов Ф.Г., Шарафутдинов В.Ф., Мирзоев Д.А., Агамов В.А. и др. Изучить особенности геологического строения, нефтегазоносность и оценить прогнозные ресурсы нефти и газа майкопских отложений Предгорного Дагестана, 1996. Фонды ВНИПИ геотерм.
3. Шарафутдинов В.Ф., Шарафутдинов Ф.Г., Магомедов А.Х. Геология и перспективы нефтегазоносности олигоцен-нижнемиоценовых отложений Дагестана. Махачкала. 1999.

### Электропроводность песчаников Ачи-Су

А.А. Гусейнов<sup>1</sup>, А.Р. Юсупов<sup>2</sup>, В.У. Мацапулин, С.А. Мамаев<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>ИГ ДНЦ РАН, <sup>2</sup>ИГ ДНЦ РАН

Среди геофизических свойств минерального вещества Земли особый интерес представляет изучение электропроводности минералов и горных пород при различных термодинамических условиях, так как получаемая при этом информация может быть непосредственно связана с распространением температуры во все разрезе земной коры и в более глубоких геосферах, с особенностями химического состава и строения геоматериалов, а также отражать особенности условий их генезиса и последующих преобразований.

Кварц является широко распространенным минералом и входит в состав многих горных пород, являясь составной частью гранитов, пегматитов, кварцитов, песчаников, а также проявляется в виде самостоятельных формирований в виде жильного кварца многих рудных месторождений.

В этой связи в настоящем сообщении приведены результаты исследования удельной электропроводности песчаников (месторождение Ачи-Су, РД). Минералогический состав песчаников приведен в таблице.

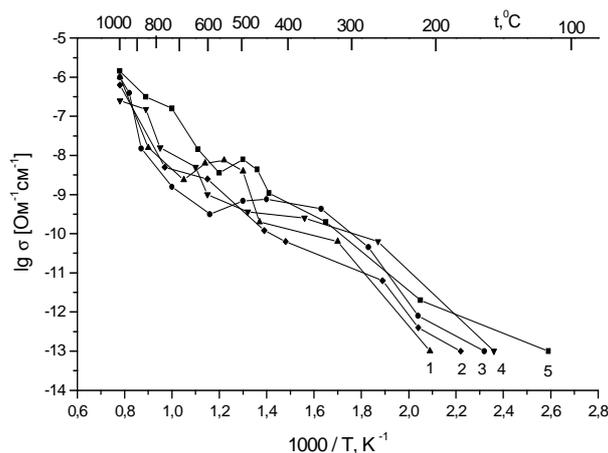
Минеральный состав, %	№ образцов				
	2	4	5	6	7
кварц SiO <sub>2</sub>	97.0	97.5	95.0	95.5	94.0
глауконит	1.5	0.8	2.0	2.0	1.0
полевой шпат	-	0.5	1.0	2.0	1.0
минералы глини	-	0.5	1.0	0.5	-
ильменит+рутил+циркон	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0
гидроокись железа	0.1	0.3	0.5	0.4	0.3

Гранулитовый состав песчаников: обр.2 – преобладающий размер зерен 0.15 мм; обр.4 – (0.10-0.20 мм) – 30%, (0.20-0.30 мм) – 70%; обр.5 – (0.15-0.25 мм) – 50%, (0.25-0.30 мм) – 50%; обр.6 – (0.10-0.20мм) – 60%, (0.20-0.25 мм) – 40%; обр.7 – преобладающий размер (0.20-0.25 мм).

Исследуемые образцы представляют собой очень слабо сцементированные образования, поэтому для исследования электропроводности образцов по методу, описанному в [1], была использована измерительная ячейка для порошкообразных форм геоматериалов. Навеска образца около 200 мГ засыпалась в керамическую обойму ячейки диаметром 10мм. После сжатия между измерительными электродами нагрузкой порядка 15 кГ толщина образца достигала порядка 1мм. Для предотвращения процессов окисления блока электродов и исследуемого образца измерительная ячейка с исследуемым образцом помещается в камеру, в которой создается вакуум порядка 0.1 Па. Для получения надежных, воспроизводимых результатов измерения проводились при стабилизированной в течение 5-10 минут температуре образца. Нагрев осуществлялся в трубчатой электропечи с бифилярной намоткой нагревателя. Экспериментальные точки снимались через интервалы, не превышающие 50 °С. Электросопротивление образца измерялось на постоянном токе высокоомным мостом Р-4053, погрешность в измерении удельной электропроводности не превышала 3%. Электропроводность образцов определялась по двум значениям, полученным при прохождении тока в двух противоположных направлениях. Измерения электропроводности проводились в интервале 100 – 1000 °С. Для измерения температуры образца использовалась термопара хромель – алюмель.

Результаты исследования удельной электропроводности  $\sigma$  в зависимости от температуры Т образцов песчаника, которые, как видно из таблицы, являются кварцами, представлены на графике в системе координат  $\lg \sigma$  и  $1/T$ . Анализ экспериментальных результатов показывает, что наблюдается довольно сложный характер зависимости  $\lg \sigma = f(1/T)$  для всех исследованных образцов. Тем не менее можно выделить общие закономерности для всех пяти образцов, а именно наличие температурных областей ли-

нейного роста проводимости с температурой и участков с аномальным ходом зависимости  $\lg \sigma = f(1/T)$ , где с ростом температуры проводимость уменьшается.



1 – проба 5; 2 – проба 6; 3 – проба 4; 4 – проба 7; 5 – проба 2.

Рис.1. Зависимость удельной электропроводности песчаников Ачи-Су от температуры.

Для каждого прямолинейного участка на графике характерна своя энергия активации  $E$  процесса электропроводности, при этом математическое выражение для температурной зависимости электропроводности имеет вид

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E/kT),$$

где  $\sigma_0$  – предэкспоненциальный множитель ( $\sigma_0 = \sigma$  при  $1/T = 0$ ),  $E$  – энергия активации,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура.

Сложный характер зависимости  $\lg \sigma = f(1/T)$  для исследованных кварцев, где каждый излом отражает изменения в механизме процесса проводимости, отражает происходящие превращения в минерале при температурном воздействии. Кварц является минералом со сложным полиморфизмом, насчитывается десять кристаллических форм его полиморфных модификаций [2].

Среди этих фазовых превращений представляют интерес  $\alpha$ - и  $\beta$ - модификации, встречающиеся в кварцах. Как известно,  $\beta$ -кварц с гексагональной сингонией существует в температурном интервале 830-573°C, ниже 573°C он переходит в  $\alpha$ -кварц с тригональной сингонией, однако при этом в бывшем  $\beta$ -кварце сохраняются следы его гексагональной сингонии. При исследовании электропроводности жильного кварца разного генезиса было показано, что в зависимости от генетического типа кварца температурные интервалы аномального изменения проводимости имеют разные границы, у  $\beta$ -кварца интервал аномального изменения шире, чем у других [3].

Результаты нашего исследования показывают, что для кварца из осадочных пород выполняются такие же закономерности изменения электропроводности с температурой, как и для жильных кварцев. Как видно из рисунка, в области аномального изменения проводимости, сопряженного по температуре с полиморфным  $\alpha - \beta$ -переходом, для разных образцов характерно свое проявление в особенности аномального поведения, которое отражает, согласно отмеченному выше, генетические особенности кварца. Например, образцы № 1 и 5 на рисунке имеют узкую область аномалии, в то время как у образца 5 эта область имеет значительную ширину. Вполне вероятно, что слагающий песчаник кварц № 5 претерпевал в своем существовании полиморфный  $\alpha - \beta$ - переход, генетическая память которого сохранилась после остывания минерала.

В образцах №2 и 4 (рис.) не наблюдается аномального изменения проводимости в области полиморфного  $\alpha - \beta$ -перехода. Это должно свидетельствовать о существовании в этих образцах в основном только  $\alpha$ -модификации кварца и об отсутствии полиморфного  $\alpha - \beta$ - превращения в предыдущей истории в этих кварцах. Аналогичный результат был получен ранее для электропроводности образца кварцевого песчаника из месторождения Серное (РД) [4]. При нагревании образца такого кварца происходит  $\alpha - \beta$ - переход, сопряженный с изломами на линиях проводимости. В результате этого полиморфного перехода при 573°C, связанного со смещением центров кремнекислородных тетраэдров, происходит изменение величины энергии активации, например в образце № 4, от 0.71 эВ до 3.04 эВ.

При более высоких температурах между 800 и 900°C наблюдается излом (образец №4) с изменением величины энергии активации от 3.28 эВ до 1.17 эВ. Этот излом объясняется изменением механизма проводимости в связи с переходом  $\alpha$ -кварца в  $\beta$ - тридимит при 870°C.

Наблюдаемое различие в величине проводимости в области низких температур объясняется различной степенью дефектности кристаллической структуры минералов и особенностями изоморфных замещений. В высокотемпературной области для всех образцов наблюдаются довольно близкие значения электропроводности, только для образца №5 характерно заметно повышенное значение проводимости. Анализ характеристик изученных образцов позволяет сделать вывод, что главной причиной более высоких значений проводимости этого образца может быть минимальный размер зерен минерала.

Работа поддержана Программой Президиума РАН П-09 «Исследование вещества в экстремальных условиях» подпрограмма «Физика и механика сильносжатого вещества и проблемы внутреннего строения Земли и планет».

### Литература

1. Флогопиты.
2. Г.В. Куколев. Химия кремния и физическая химия силикатов. М.: Высшая школа. 1966. 464 с.
3. Успенская А.Б. Температурные зависимости удельного электрического сопротивления жильного кварца оловорудных месторождений. В кн.: Новые данные о минералах. М.: Наука, 1985, вып. №32, с. 145-154.
4. Батырмурзаев А.С., Гусейнов А.А., Алибеков Г.И. Некоторые физические свойства кварцевых песчаников Дагестана // ДАН, 1996. т.348, №5. С.641-643.

### Исследование электрической проводимости известняка в зависимости от температуры

А.А.Гусейнов<sup>1</sup>, А.Р.Юсупов<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>ИПГ ДНЦ РАН, <sup>2</sup>ИГ ДНЦ РАН

Лабораторные исследования электрических свойств минералов и горных пород при различных термодинамических условиях представляют интерес как для получения новых сведений о свойствах вещества Земли, так и в связи с широким применением электрических методов разведки в геофизике. Интерес к всестороннему изучению карбонатных пород обусловлен в значительной степени тем, что огромные нефтяные залежи открыты именно в породах этого типа [1]. Также необходимо отметить, что осадочные породы определяют формирование потоков гидротермальных флюидов. Сведения об электрических свойствах горных пород также крайне важны для развития методов прогнозирования сейсмических проявлений в тектонически активных областях земной коры [2].

Типоморфные особенности минералов, слагающих породы, определяются особенностями состава, структуры и проявлением особенностей их некоторых свойств, которые находятся в значительной зависимости от дефектов кристаллической структуры. Поэтому исследование ионной проводимости в минеральных системах, которая полностью определяется наличием вакантных узлов кристаллической решетки и примесными эффектами, является важной задачей.

В этой связи проведено исследование электропроводности образцов известняка. Карбонатные породы составляют около 20% от всех осадочных образований земной коры. Известняки привлекают внимание исследователей в силу их широкого научного и практического применения. Все известные известняки состоят прежде всего из карбоната кальция в форме минералов кальцита и арагонита. Нами исследованы параметры электропроводности пяти образцов известняка, представленные кальцитом, с различных мест Дагестана. Ниже приведены составы образцов (в весовых процентах).

1. Аркас: CaO – 50.46; MgO – 0.33-0.42; SO<sub>3</sub> – 0.20-0.42; R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.40-1.30; остальное – CO<sub>2</sub>.
2. Ташкапур: CaO – 53.11; MgO – 0.76; R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.78; SiO<sub>2</sub> – 2.06; остальное – CO<sub>2</sub>.
3. Цудахар: CaO – 49.09; MgO – 2.24; R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2.08; SiO<sub>2</sub> – 9.22; остальное – CO<sub>2</sub>.
4. Щунудаг: CaO – 33.31; MgO – 19.50; R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1.40; остальное – CO<sub>2</sub>.
5. Хаджалмахи: CaO – 54.02; R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.95; SO<sub>3</sub> – 0.16; остальное – CO<sub>2</sub>.

Здесь R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в основном составляет Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Электропроводность известняков исследовалась на постоянном токе в вакууме на установке и по методике, описанной в [3], в интервале 100-1000°C. Образцы для измерения вырезались из блока породы в виде дисков диаметром 10 мм и толщиной 1мм. Контроль вакуума в измерительной камере позволял следить за выходом газовых компонент в процессе нагревания породы.

Результатом лабораторного исследования электропроводности минеральных объектов являются значения электросопротивления R образца при соответствующих температурах t°C. Параметром, являющимся электрической характеристикой конкретного химического вещества является удельная электропроводность  $\sigma$ . Температурная зависимость удельной электропроводности минералов-диэлектриков изменяется по экспоненциальному закону

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E/kT), \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  – предэкспоненциальный множитель, E – энергия активации носителей зарядов, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура. Прологарифмировав выражение (1) получим:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - E/kT, \quad (2)$$

или в десятичных логарифмах:

$$\lg \sigma = \lg \sigma_0 - 0.43 E/kT. \quad (3)$$

Полученное выражение есть уравнение прямой вида  $y = a + bx$ , где  $y = \lg \sigma$ ,  $x = 1/T$ , угловой коэффициент  $b = 0.43 E/k$ ; прямая проводимости отсекает на оси ординат отрезок, равный  $\lg \sigma_0$ , равный  $\lg \sigma$  при  $1/T = 0$ . Определив из экспериментальной зависимости  $\lg \sigma = f(1/T)$  угловой коэффициент b, можно вычислить важнейший параметр явления электропереноса в кристаллах – энергию активации E.

На рис.1 представлены результаты исследования зависимости удельной электропроводности  $\sigma$  образцов известняка от абсолютной температуры T в системе координатах  $\lg \sigma = f(1/T)$ , представляющие