

Российская академия наук

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ГЕОТЕРМИИ

УДК 556.3.0, 631.416, 552.1:537

№ госрегистрации

01201056249

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института  
д-р. техн. наук

\_\_\_\_\_ А.Б. Алхасов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕЗИСА И ПРОГНОЗ ГЕОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
РЕСУРСОВ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА  
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
(промежуточный)

Зам. директора по  
научной работе

\_\_\_\_\_ О.М. Рамазанов  
подпись, дата

Руководитель темы  
зав. лаб. ГЭР, д.г.-м.н.

\_\_\_\_\_ О.А. Маммаев  
подпись, дата

Махачкала 2017

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы,  
д-р геол.-мин. наук

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

О.А. Маммаев  
(введение, раздел 3)

Исполнители темы

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Ш.А. Магомедов  
(раздел 1)

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

А.А. Гусейнов  
(раздел 2)

## Форма 7

«Утверждаю»

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки

«    » \_\_\_\_\_ 201   г.

### ОТЧЕТ

о ходе выполнения плана научно-исследовательской работы  
«Исследование генезиса и прогноз геоэнергетических ресурсов осадочной  
толщи на основе комплекса геофизических и изотопно-геохимических  
методов».

1. Срок начала и окончания научно-исследовательской работы – 2017г.
2. Выполненные этапы.  
Выполнен первый этап работы
3. Основные результаты, полученные в ходе выполнения проекта.

## Реферат

Отчет 36 страницы, 6 таблиц, 7 формул, 17 источников.

Исследование генезиса и прогноз геоэнергетических ресурсов осадочной толщи на основе комплекса геофизических и изотопно-геохимических методов.

Объектами исследований являются пластовые флюиды и горные породы осадочной толщи геотермальных месторождений Дагестана и Восточного Предкавказья.

Проведены исследования изотопного состава геотермальных вод ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ) различных водоносных комплексов и метана попутных газов ( $\delta^{13}C$ ) геотермальных месторождений.

Исследованы температурные зависимости электропроводности минералов и горных пород в пределах температур до  $1000^{\circ}C$ .

Проведен анализ геотермических и геолого-структурных материалов по геотермальным месторождениям Дагестана.

## Содержание

Термины и определения	6
Список сокращений	7
Введение	8
Раздел 1. Исследование геотермальных систем по данным естественных изотопных вариаций легких элементов (Н, О, С) с целью комплексного изучения геотермальных месторождений.	9
Раздел 2. Исследование температурной зависимости электропроводности в минералах и горных породах.	18
Раздел 3. Оценка геотермальных ресурсов и прогнозирование температур осадочной толщи.	26
Заключение	33
Публикации по теме.	34

## Термины и определения

Процессы радиотеплогенерации	Тепловая энергия, образующаяся при распаде естественных радиоактивных элементов (U, K, Th)
Геотермальная аномалия	Территория с повышенным тепловым потоком по отношению к фоновому по региону.

## Список сокращений

ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
Скв.	Скважина
НИР	Научная исследовательская работа
ТП	Тепловой поток



## Введение

Геотермальные ресурсы земной коры являются одним из видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ). На фоне истощения традиционных углеводородных источников энергии поиск и изучение возобновляемых источников энергии как альтернативных источников является актуальным с научной и практической стороны.

В связи с этим их всестороннее исследование, прогнозирование и оценка ресурсов современными геофизическими и изотопно-геохимическими методами является чрезвычайно важным.

Проведены исследования изотопных соотношений (H, O, C) пластовых флюидов геотермальных месторождений Дагестана и Восточного Предкавказья.

Были проведены исследования электропроводности минералов и горных пород в условиях температурного воздействия применительно к формированию петротермальных и гидротермальных ресурсов.

Проведен анализ особенностей образования геотермальных аномалий на Восточном Предкавказье.

Раздел 1. Исследование формирования геотермальных ресурсов по данным естественных изотопных вариаций легких элементов (Н, О, С) с целью комплексного изучения их освоения (ответственный исполнитель в.н.с., Магомедов Ш.А.).

В осадочных карбонатных породах Земли содержится около 70% общего количества углерода земной коры. Остальные 27% углерода находятся в основном в форме горючих ископаемых и рассеянного атмосферного углерода в осадочных породах. В атмосфере, гидросфере и биосфере содержатся менее 0,2% общего количества углерода коры. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  углерода карбонатных пород близки к 0‰, а биогенного углерода

-25‰. Используя эти значения, определили, что среднее значение  $\delta^{13}\text{C}$  для углерода земной коры составляет -7,0‰. Мантийный углерод тоже должен иметь такой же изотопный состав.

В природе, в результате различных геофизических и геохимических процессов, происходит естественное перераспределение стабильных изотопов углерода, которое может достигнуть в метане до 10‰.

Высокочувствительная экспериментальная методика позволяет с большой точностью определить эти изотопные вариации углерода в метане в газах из различных генетических месторождений.

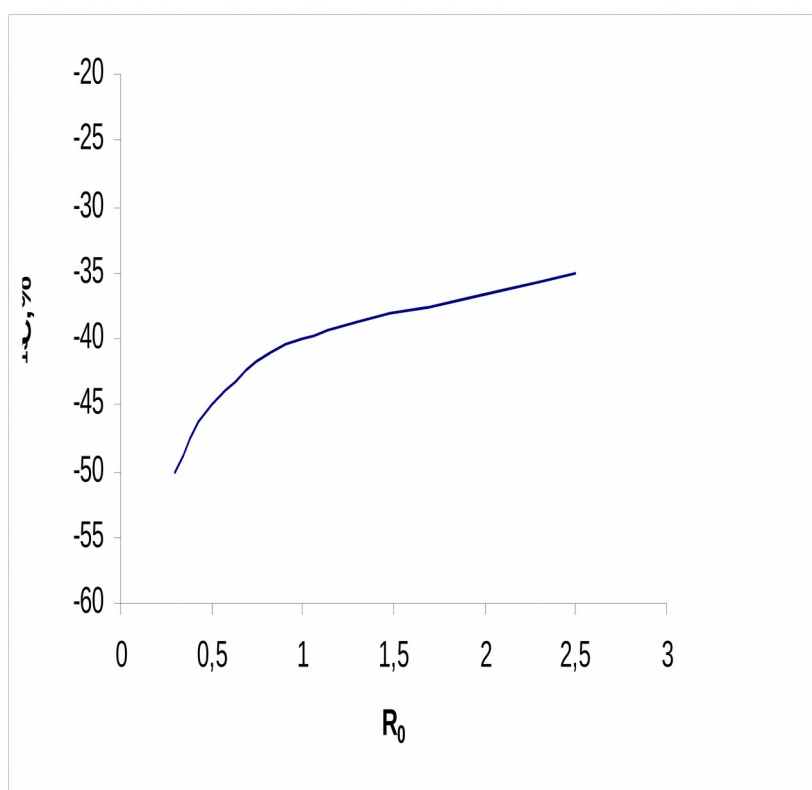


Рис.1 Зависимость изотопного состава углерода метана сапропелевого ОВ от коэффициента отражения витринита.

Процесс созревания керогена сопровождается систематическими изменениями химических и оптических свойств ОВ. Коэффициент отражения витринита  $R_0$  варьирует от  $R_0 = 0,3\%$  в незрелом ОВ до  $R_0 \geq 3\%$  в перезрелом керогене, что видно по рис.1. Помимо этого, в ходе созревания происходит изотопное фракционирование с обогащением тяжелым изотопом, которое вызвано различием энергии связи пар:  $C^{13} - C^{12}$  и  $C^{12} - C^{12}$ . Метан, образованный из ОВ под влиянием температуры, обогащен  $C^{12}$  по сравнению с исходным материалом, поскольку для разрыва связей  $C^{12} - C^{12}$  требуется меньшая энергия.

Органическое вещество и возникающие углеводородные компоненты в процессе созревания керогена обогащаются тяжелым изотопом углерода. Эти изотопные сдвиги, обусловленные созреванием, керогене и нефти часто замаскированы, но отчетливо выявляются в природных скоплениях метана.

Изотопные отношения углерода в метане варьируют в диапазоне 80 ‰, и их величина определяется следующими моментами: 1) механизмом возникновения (биогенное или термальное); 2) общим типом исходного органического вещества (не морское или сапропелевое ОВ), подвергающегося термальным изменениям; 3) степенью зрелости исходного органического вещества.

Для большинства сырых нефтей характерен диапазон значений  $\delta^{13}C$  от -34 до -18 ‰.

Поскольку существует определенная связь изотопного состава углерода в нефти и керогене, то это позволяет различить нефти морского и неморского генезиса. Изотопный состав углерода метана, источником которого были преимущественно породы морского генезиса, характеризуется аналогичной связью со степенью зрелости. Метан морских осадков, однако, обогащен изотопом  $^{12}C$  по сравнению с «сухопутным» метаном. Изменения изотопного состава углерода метана различных генетических типов показаны на рис.2. Термокатализические газы морских отложений характеризуются примерным диапазоном значений  $\delta C$  от -50 ‰ (низкая степень зрелости) до -30 ‰ (перезрелые исходные породы).

Считается, что значительное обеднение газов изотопом  $C^{13}$  типично для формирования бактериальных газов ( $\delta C^{13}$  варьирует от -55 до -100 ‰).

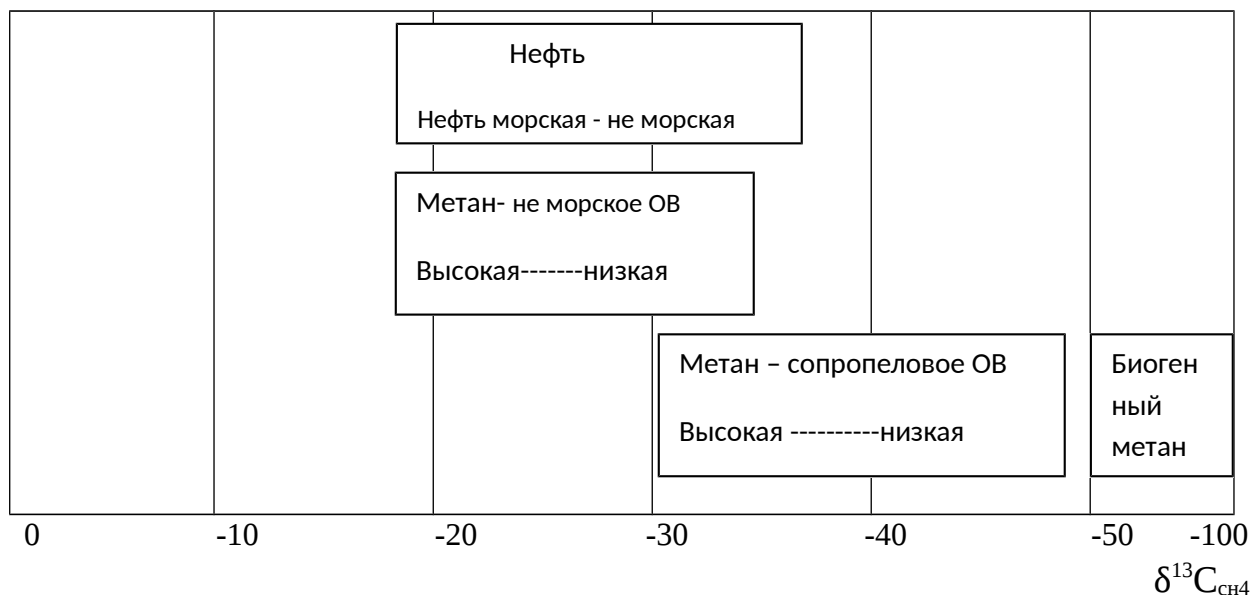


Рис2. Вариация изотопного состава углерода метана различных генетических типов.

Газы плиоцен – миоценовых отложений (месторождение Русский Хутор) характеризуются сильно облегченным изотопным составом углерода и кислорода.

Метан этих отложений биогенного генезиса, который характеризуется сильно облегченным изотопным составом по  $C^{13}$ .

Углерод метана мезозойских отложений характеризуется относительно тяжелым изотопным составом ( $\delta C^{13} = -20 -50 \text{ ‰}$ ) и соответствует газам глубинного термокаталического преобразования органического вещества

В интервале глубины от 0 до 500м., где встречается метан, предельно обогащенный легким изотопом, результаты анализов  $C^{13}$  природных образцов ложатся на теоретическую кривую. Обогащение метана изотопом  $C^{12}$  в этой зоне можно рассматривать как результат действия системы  $CO_2 - CH_4$ , углеродный обмен, который осуществляется бактериями. Изотопные данные показывают, что мощность биохимической зоны генерации метана значительно больше и микробиологические процессы происходят до глубины 300- 500 м., причем в масштабах, обеспечивающих образование значительных газовых скоплений.

Ниже биохимической зоны находится зона каталической генерации метана. Механизм изотопного обмена в системе  $CO_2 - CH_4$ , здесь отключается, так как температуры еще слишком низки для действия неорганической системы  $CO_2 - CH_4$ , а бактериальная деятельность практически отсутствует. Обогащение метана изотопом  $C^{12}$  по сравнению с исходным органическим веществом и вертикальный градиент значений  $C^{13}$ , наблюдаемый в этом интервале глубины и температуры, объясняется

кинетическим изотопным эффектом и зависимостью кинетического изотопного эффекта от температуры.

Третья область распространения газов — зона термального метаморфизма и вулканизма. При температурах порядка 200°C и выше создаются условия для установления равновесия изотопного обмена в неорганической системе CO<sub>2</sub> — CH<sub>4</sub>. Метан чаще всего характеризуется изотопным составом в пределах от -20 до -29 ‰. Константа равновесия, вычисленная из изотопных данных, отвечает реальным температурам, наблюдающимся в этой зоне. Это обстоятельство используется некоторыми исследователями для определения при помощи CH<sub>4</sub> — CO<sub>2</sub> изотопного термометра глубинных температур подземных источников.

В наиболее глубоких слоях земной коры, где господствуют температуры 600 - 800°C и выше разделение изотопов незначительно и углерод присутствующих здесь газов прямо наследует изотопный состав исходного углерода.

Термальный пояс Земли является областью гомогенизации изотопного состава газов, которые независимо от происхождения путем вторичного обмена приобретают изотопный состав, определяющийся только местными температурными условиями и относительными концентрациями CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub>.

Таблица 1.

Экспериментальные данные изотопного состава углерода метана нефтегазовых месторождений Прикумской зоны Восточного Предкавказья

Месторождение,	№ скважины	Интервал перфорации, м	Возраст отложений	δ <sup>13</sup> C, ‰ РДВ
Юбилейное,	СКВ.№29	4439 - 4443	J <sub>1</sub>	-41
	СКВ.№9	4576 - 4586	T <sub>1</sub>	-43,5
Солнечная,	СКВ.№1	4484 - 4498	T <sub>1</sub>	-31
	СКВ.№3	4480 - 4487	T <sub>2</sub>	-31,2
	СКВ.№38	4374 - 4383	T <sub>1</sub>	-36,3
	СКВ.№56	4364 - 4380	T <sub>1</sub>	-47
Сухокумское,	СКВ.№69	3772 - 3978	T <sub>2</sub>	-45,2
	СКВ.№35	3277 - 3279	K <sub>2</sub>	-41,3
Солончаковая,	СКВ.№2	4498 - 4505	T <sub>1</sub>	-33
	СКВ.№12	3936 - 3956	K <sub>1</sub>	-34,8
	СКВ.№15	4324 - 4350	J <sub>1</sub>	-35,6
	СКВ.№38	4374 - 4383	T <sub>1</sub>	-37,2
Рифовая,	СКВ.№4	4256 - 4275	T <sub>2</sub>	-32,5
Центральная,	СКВ.№3	3978 - 3997	K <sub>1</sub>	-41,4
Таловая,	СКВ.№6	4324 - 4356	T <sub>1</sub>	-36,7
Кумухская,	СКВ.№4	4247 - 4289	T <sub>1</sub>	-32,6
Русский Хутор	СКВ.№95	1710 - 1716	N <sub>1</sub>	-61,3
	СКВ.№96	1505 - 1511	N <sub>1</sub>	-89,5

	СКВ.№103	1739 - 1741	N <sub>1</sub>	-74,5
--	----------	-------------	----------------	-------

Исследованные нами изотопные вариации углерода метана  $\delta^{13}\text{C}$  газов термальных вод нефтегазовых месторождений Прикумской зоны Восточного Предкавказья показали, что газы плиоцен – миоценовых отложений характеризуются облегченным изотопным составом углерода ( $\delta^{13}\text{C} = -61 \div -90\text{‰}$ ), т.е. биогенного генезиса, а углерод метана мезозойских отложений характеризуется относительно тяжелым изотопным составом ( $\delta^{13}\text{C} = -20 \div 47\text{‰}$ ), что соответствует газам глубинного термокаталического преобразования ОВ.

Использование изотопов углерода при поисках нефти приобретает все большее значение как ценный метод, который может эффективно содействовать разведке углеводородов.

Резюмируя изложенное можно сделать следующие краткие выводы:

В природе, в результате различных геофизических и геохимических процессов происходит естественное перераспределение стабильных изотопов углерода, которое может достигать в метане до 10%.

Высококчувствительная экспериментальная методика позволяет с большой точностью определить эти изотопные вариации углерода в метане в газах из различных генетических месторождений.

Установлено, что метан плиоцен - миоценовых отложений генетически биогенного происхождения и характеризуется сильно облегченным изотопным составом углерода ( $\delta^{13}\text{C} = -50 \div -100\text{‰}$ ), а метан мезозойских отложений – зоны термального метаморфизма характеризуется менее легким изотопным составом ( $\delta^{13}\text{C} = -20 \div -40\text{‰}$ ).

Изотопный состав углерода метана зависит от генезиса исходного органического вещества (морское или не морское), от степени зрелости, от глубины залегания ОВ, от типа разложения ОВ (биохимическое или термокаталическое) и т.д.

В мировой практике, при разведке и прогнозировании нефтегазовых месторождений широко используются изотопные данные метана для получения первоначальных сведений о месторождении.

По нашим экспериментальным результатам изотопного состава углерода метана нефтегазовых месторождений Восточного Предкавказья можно твердо утверждать, что исходное ОВ этого региона в основном морского происхождения.

Подземные термальные, минеральные и промышленные воды представляют собой сложные многокомпонентные физико-химические системы, включающие минеральные и органические вещества, газы,

микроорганизмы, формирующиеся в определенных структурно-тектонических, литолого-стратиграфических и термодинамических условиях. Воды эти сформированы преимущественно за счет поверхностных (атмосферных и морских) и глубинных (магматических, вулканогенных и метаморфических) растворов, претерпевших различные преобразования в земной коре в периоды геологической истории.

Для оценки формирования и генезиса геотермальных вод в настоящее время широко используются изотопные методы и, в частности, определение содержания изотопов водорода и кислорода. Кислород имеет три стабильных изотопа  $^{16}\text{O}=99,63\%$ ,  $^{17}\text{O}=0,0375\%$  и  $^{18}\text{O}=0,1995\%$ , а водород два –  $\text{H}=99,9852\%$  и  $\text{D}=0,0148\%$ . Наибольшую роль в геохимических исследованиях природных вод играют отношения стабильных изотопов водорода ( $\text{D}/\text{H}=1/6700$ ) и кислорода ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}=1/500$ ). Стабильные изотопы легких элементов (H, O, C и S) характеризуются большими величинами относительных изотопных вариаций, поэтому нашли широкое применение в различных областях геохимических исследований.

В районах развития современных гидротермальных систем поверхностная вода, проникающая на большую глубину, может потерять кислородную «метку» за счет взаимодействия с нагретыми до высокой температуры магматическими породами, но полностью сохранить при этом изотопное отношение D/H. Эта консервативность изотопии водорода, проявляющаяся при взаимодействии воды с вмещающими породами, и позволяет устанавливать её генетическую принадлежность. Общеизвестно, что минералы пород содержат мало водорода (D), кроме того, отношения вода/порода в геотермальных системах редко бывают так малы, чтобы водород минералов пород мог значительно повлиять на изотопию водорода воды. По этой причине водородного сдвига метеорной воды в гидротермальных растворах практически нет.

Величина изотопного сдвига по кислороду зависит от начальных концентраций его изотопов в воде и породе, минералогии пород, температуры, отношения вода/порода и времени контакта. Наибольший сдвиг отмечается для воды из систем, содержащих карбонатные породы, начальные значения  $\delta^{18}\text{O}$  для которых лежат в пределах  $+20\div +30\%$ . Этот сдвиг достигает максимальных значений при малых отношениях вода/порода, высокой температуре и продолжительном времени контакта.

Для оценки формирования и генезиса геотермальных вод в настоящее время широко используются изотопные методы и, в частности, определение содержания изотопов водорода и кислорода. Кислород имеет три стабильных

изотопа  $^{16}\text{O}=99,63\%$ ,  $^{17}\text{O}=0,0375\%$  и  $^{18}\text{O}=0,1995\%$ , а водород два –  $\text{H}=99,9852\%$  и  $\text{D}=0,0148\%$ .

Наибольшую роль в геохимических исследованиях природных вод играют отношения стабильных изотопов водорода ( $\text{D}/\text{H}=1/6700$ ) и кислорода ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}=1/500$ ). Стабильные изотопы легких элементов (H, O, C и S) характеризуются большими величинами относительных изотопных вариаций, поэтому нашли широкое применение в различных областях геохимических исследований. Широкий диапазон изменений изотопных вариаций водорода ( $\delta\text{D}=0-150\text{‰}$ ) и кислорода ( $\delta^{18}\text{O}=-20+22\text{‰}$ ) и высокая степень точности измерения на масс-спектрометрах позволяет с высокой точностью определять величины естественных изотопных вариаций водорода и кислорода.

Применяя изотопные методы, успешно решают вопросы, связанные с выяснением генезиса термальной воды и возобновлением её запасов. Выявляют области питания подземных горизонтов, определяют температуру флюидов в глубинных резервуарах. Кроме того, с помощью изотопных методов контролируют процессы фазового разделения флюидов при подземном кипении и решают много других задач, связанных с поиском, разведкой и эксплуатацией высокотемпературных месторождений термальных вод.

Поверхностные и грунтовые воды горно-складчатых районов сильно облегчены по изотопному составу и близки к типичным для атмосферных осадков. Легкий изотопный состав основных речных вод Дагестана можно объяснить тем, что основным источником питания рек являются высокогорные ледники (р.Сулак  $\delta\text{D}=-98,5\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}=-$

$-9,6\text{‰}$ , р.Терек  $\delta\text{D}=-83,2\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}=-8,71\text{‰}$ , р.Самур  $\delta\text{D}=-92,0\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}=-8,82\text{‰}$ ).

В таблице 2 ниже приведены наши экспериментальные данные изотопного состава вод геотермальных месторождений Восточного Предкавказья.

Таблица 2.

Экспериментальные данные изотопного состава вод геотермальных месторождений Восточного Предкавказья

Месторождение	№ кважины	Интервал перфорации, м	Возраст отложений	D, ‰ SMOW	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰ SMOW
Юбилейное,	СКВ.№29	4439 - 4443	J <sub>1</sub>	-41	+7,6
	СКВ.№9	4576 - 4586	T <sub>1</sub>	-43,5	+7,4
Солнечная,	СКВ.№1	4484 – 4498	T <sub>1</sub>	-31	+ 7,8
	СКВ.№3	4480 – 4487	T <sub>2</sub>	-35,2	+ 8,2
	СКВ.№38	4374 – 4383	T <sub>1</sub>	-36,3	+5,6



	СКВ.№56	4364 - 4380	T <sub>1</sub>	-47	+6,2
Сухокумское,	СКВ.№69	3772 - 3978	T <sub>2</sub>	-45,2	+4,2
	СКВ.№35	3277 - 3279	K <sub>2</sub>	-41,3	+6,1
Солончаковая,	СКВ.№2	4498 - 4505	T <sub>1</sub>	-33,0	+8,5
	СКВ.№12	3936 - 3956	K <sub>1</sub>	-34,8	+5,4
	СКВ.№15	4324 - 4350	J <sub>1</sub>	-35,6	+6,1
	СКВ.№38	4374 - 4383	T <sub>1</sub>	-37,2	+5,4
Рифовая,	СКВ.№4	4256 - 4275	T <sub>2</sub>	-42,5	+5,3
Центральная,	СКВ.№3	3978 - 3997	K <sub>1</sub>	-38,4	+6,2
Таловая,	СКВ.№6	4324 - 4356	T <sub>1</sub>	-43,7	+5,1
Кумухская,	СКВ.№4	4247 - 4289	T <sub>1</sub>	-45,6	+6,4
Русский Хутор	СКВ.№95	1710 - 1716	N <sub>1</sub>	-84,3-	-6,4
	СКВ.№96	1505 - 1511	N <sub>1</sub>	-87,5	-6,5
	СКВ.№103	1739 - 1741	N <sub>1</sub>	-83,5	-4,3

Усредненные значения экспериментальных данных вариаций изотопных составов водорода и кислорода геотермальных вод для отложений различных геологических периодов приведены в таблице 3.

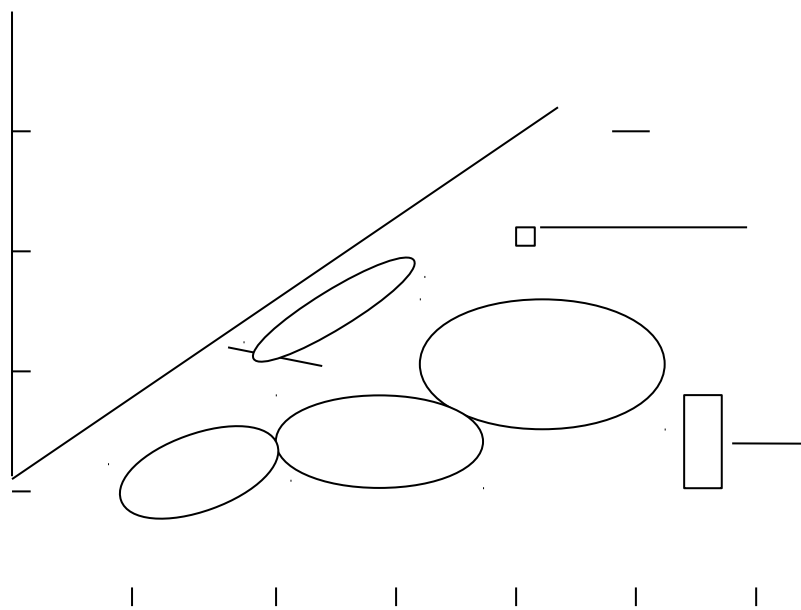
К плиоцен-четвертичным отложениям приурочены холодные и слаботермальные (до 55-60°C) пресные подземные воды, которые по своему химическому составу являются типичными инфильтрационными водами и характеризуются сильно облегченным изотопным составом, как по водороду, так и по кислороду.

Таблица 3.

Усредненные значения экспериментальных данных вариаций изотопных составов водорода и кислорода геотермальных вод

Возраст отложений		$\delta D$ , ‰ (SMOW)	$\delta^{18}O$ , ‰ (SMOW)
Плиоцен-четвертичные		-104±7,6	-10,9±1,25
Миоценовые		-85,1±2,4	-5,73±0,95
Мезозойские	Мел	-48,8±2,1	+5,75±0,35
	Юра	-45,4±3,5	+6,85±0,75
	триас	-44,2±3,2	+6,82±1,45

Воды миоценового комплекса слабоминерализованные (от 3-10 до 30 г/л) термальные воды с температурой 65-120°C. Химический и изотопный состав этих вод свидетельствует об их смешанном генезисе, наряду с седиментационными, в их составе большая доля инфильтрационных вод.



Геотермальные бассейны мезозойских отложений генетически представляют собой захороненные морские седиментационные воды с примесью древней инфильтрационной воды (до 20-30%) и воды, выделяемой при дегидратации глинистых минералов при высоких РТ условиях. В Терско-Кумском бассейне воды мезозойского комплекса по изотопному составу водорода и кислорода сильно не отличаются. Так, в водах меловых отложений  $\delta^{18}\text{O}$  составляет  $+(5,75 \pm 0,35)$ , юрских- $+(6,85 \pm 0,75)$ , триасовых- $+(6,82 \pm 1,45)\%$ , а изотопный состав водорода в этих водах характеризуется довольно узким интервалом значений  $\delta\text{D} = -(44,2748,61)\%$ .

Обобщая экспериментальные данные различных геотермальных месторождений (в основном Восточного Предкавказья) можно построить график зависимости  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  для вод различных генетических типов. Обобщенный график приведен на рис 2. По изотопному составу воды неисследованного геологического месторождения по графику на рис.1 можно получить много полезной информации о геотермальном источнике: определить глубину залегания и возраст пласта, установить генетический тип воды и оценить возобновляемость её запасов, выявить область питания подземного горизонта, определить температуру флюидов в глубинных резервуарах и т.д.

В последние годы в глубоких горизонтах седиментационных бассейнов обнаружено широкое развитие опресненных вод. Суждения о генезисе этих

вод остаются пока дискуссионными. Некоторые исследователи считают, что в данном случае изотопная диагностика может существенно помочь, так как уже сейчас она позволяет различать воды современной и древней инфильтрации, дегидратационные воды глинистых минералов, конденсатогенные воды, приуроченные к залежам углеводородов, и флюиды ювенильного происхождения.

Основные выводы:

1. Подземные воды, зоны активного водообмена плиоцен-четвертичных отложений, по значениям  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  полностью соответствуют питанию атмосферными и поверхностными источниками.

2. Термальные воды среднемиоценовых отложений являются преимущественно инфильтрационными. При одинаковых физико-химических условиях в пласте, приуроченные к карбонатным коллекторам воды характеризуются относительно высокими значениями  $\delta^{18}O$  по сравнению с водами терригенных коллекторов.

3. Геотермальные бассейны мезозойских отложений генетически представляют собой захороненные морские седиментационные воды с примесью древней инфильтрационной воды (до 20-30%0 и воды, выделяемой при дегидратации минералов при высоких РТ- условиях.

Определенная доля ювенильной воды может образоваться и за счет восходящих флюидов в форме летучих компонентов, мигрирующих субвертикально вдоль глубинных разломов в фундаменте. По изотопному составу мезозойские воды характеризуются сильным изотопным сдвигом по кислороду ( $\delta^{18}O$ ) вправо- в сторону утяжеления;  $\delta^{18}O$  меняется в пределах от +1,0 до +9‰. Примесные воды как инфильтрационные, магматические, дегидратационные и ювенильные, попадая в пластовые воды морского генезиса, вызывают облегчение изотопного состава по водороду и утяжеление по кислороду.

Раздел 2. Исследование температурной зависимости электропроводности в минералах и горных породах (ответственный исполнитель г.н.с. Гусейнов А.А.).

Согласно плану НИР лаборатории ГЭР в текущем году были продолжены исследования электропроводности минералов и горных пород в условиях температурного воздействия. Проблема разведки и использования объектов геотермальной энергетики требует комплексного исследования свойств геологических составляющих этих объектов. В этом плане большое значение имеет исследование электропроводности минералов и горных

пород, как одного из наиболее чувствительных параметров к изменению температуры, вещественного состава, к протекающим в них физико-химическим процессам.

1. Исследование электрических свойств минералов и горных пород при высоких температурах является важной задачей, так как электрические методы исследования при решении фундаментальных и прикладных задач широко применяются в науках о Земле. При этом для повышения информативности результатов геоэлектрических исследований и для понимания природы изменения электрических свойств минералов и горных пород в различных термодинамических условиях большое значение имеет изучение корреляционных связей между параметрами электропроводности.

Объектами исследования в настоящей работе являются образцы изверженных пород диабазы и гранит-порфира из дайки сложного строения бассейна р. Ахтычай (Южный Дагестан). Дайка представляет собой чередующиеся части диабазы и гранит-порфира, вмещающей породой являются глинистые сланцы. Локализация подобного вида даек характерна для областей с многочисленными полиметаллическими рудопроявлениями в зоне Главного Кавказского (Ахтычайского) разлома. Эти дайки являются свидетельством образования трещин в земной коре и сравнительно быстрого их заполнения магматическим расплавом, которое происходило в условиях бокового растяжения, вызванного подъёмом астеносферы к поверхности вследствие поддвига океанической коры под южный край Евразийского континента [1].

Значительный интерес представляет исследование геологического материала, поступившего из скрытой осадочной толщей области земной коры, что крайне важно для интерпретации данных геофизических наблюдений при оценке вещественного состава, распределения термодинамических характеристик с глубиной.

Исследовано пять образцов гранит-порфира и пять образцов диабазы из различных областей дайки, по экспериментальным результатам были определены параметры электропроводности – значения энергии активации  $E_0$  и предэкспоненциального множителя  $lg \sigma_0$ , спектр значений этих величин отражает как процессы перехода от примесной проводимости к собственной проводимости, так и физико-химические процессы, происходящие в кристаллической решётке минералов породы при тепловой активации.

Для повышения информативности результатов геоэлектрических исследований и для понимания природы изменения электрических свойств минералов и горных пород в различных термодинамических условиях большое

значение имеет изучение корреляционных связей между параметрами электропроводности.

Используя полученные из результатов исследования значения построена зависимость между  $E_0$  и  $\lg \sigma_0$  для гранит-порфира и диабаз (по пять образцов), график представлен на рис. 1 (значения  $E_0$  и  $\lg \sigma_0$  определены при 400 °С). Как видно из полученного результата, наблюдаются достаточно чёткие линейные зависимости между  $E_0$  и  $\lg \sigma_0$  для гранит-порфира (линия 1) и для диабаз (линия 2). Такая зависимость, наблюдаемая в кинетике разнообразных процессов физико-химического характера, таких, как диффузия, спекание, рост зерен, крип, ионная проводимость, получила название компенсационного эффекта (КЭФ) поскольку одновременное увеличение или уменьшение  $\sigma_0$  и  $E_0$  в равенстве

$$\sigma_0 = \sigma_0 \exp(-E_0 / kT)$$

компенсируют влияние друг друга.

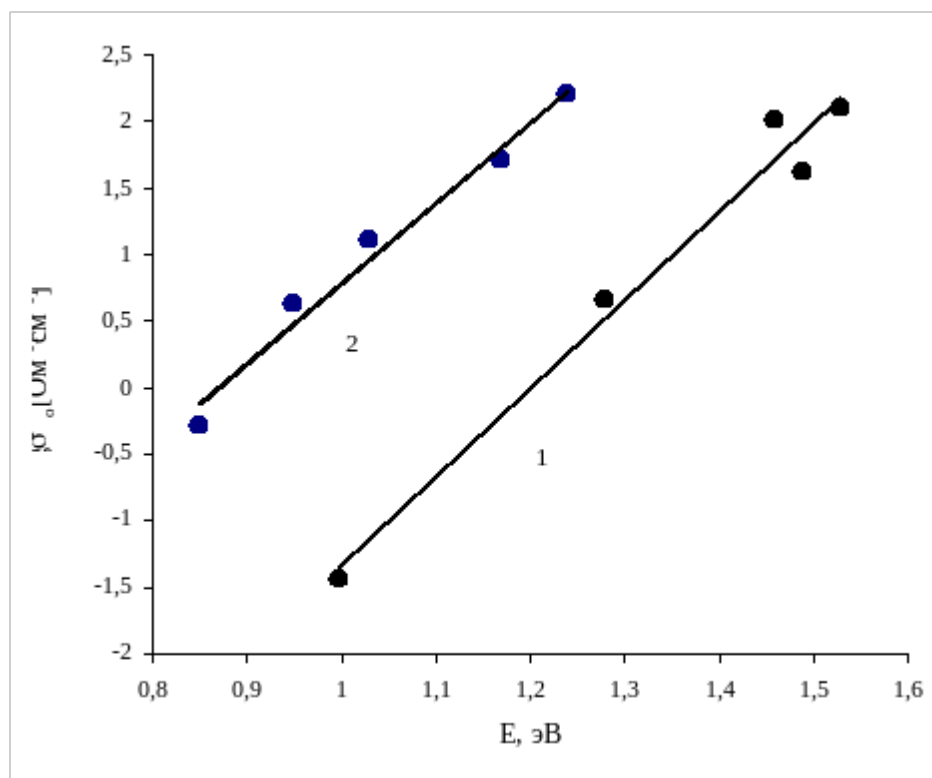


Рис. 1. Взаимосвязь между энергией активации электропроводности  $E_0$  и логарифмом предэкспоненциального множителя  $\lg \sigma_0$  для гранит-порфира 1 и диабаз 2 (значения  $E_0$  и  $\lg \sigma_0$  взяты при 400 °С)

Из полученных результатов определен важный параметр  $T_0$ , называемый температурой компенсации. Анализ результатов исследования в этом плане позволяет сделать вывод, что температуре компенсации для диабазов  $T_0 = 865$  К соответствуют изломы на линиях электропроводности, которые были нами объяснены как процесс распада твёрдого раствора [Гусейнов, 2012].

Как было отмечено выше, установленная взаимосвязь между  $E_0$  и  $\lg \sigma_0$  характеризуется достаточно высокими коэффициентами корреляции. Это, соответственно, дает возможность с хорошей достоверностью по одному из известных параметров определить неизвестный. Например, каким-либо из методов физического исследования, или расчетным методом, можно оценить энергию активации  $E_0$ . Тогда, используя корреляционные взаимосвязи, можно оценить  $\sigma_0$  и по формуле  $\sigma = \sigma_0 \exp(-E_0/kT)$  вычислить величину электропроводности при определённой температуре, что представляет интерес, когда невозможно провести непосредственное исследование электропроводности геоматериала.

Цитированная литература

1. Романов Н.Т. Основные этапы формирования диабазового пояса большого Кавказа // Докл. АН СССР. 1994. Т. 338. № 5. С. 655-657.
2. Гусейнов А.А. Электрические свойства некоторых дайковых магматических пород при высоких температурах // Физика Земли. № 9-10. 2012. С. 88-95.

2. Исследование свойств вещества в зависимости от химического состава является фундаментальной проблемой науки, в то же время химический состав и физические свойства минералов являются одними из основных факторов для разработки технологических процессов добычи, обогащения, переработки минерального сырья, а также экологического контроля над этими процессами. В свете отмеченного достаточно большое значение имеют исследования электропроводности минералов и горных пород.

Исследованы особенности влияния содержания кремния, алюминия и натрия на электропроводность слюдистого минерала мусковита.

Исследовано 12 образцов мусковита из различных месторождений с различным содержанием главных петрогенных элементов. Зависимость величины удельной электропроводности от химического состава оценивалась для областей примесной (при 200 °С) и собственной (при 800 °С) проводимости.

Ранее нами было показано, что электропроводность биотита, другого представителя из группы слюд, заметно уменьшается с ростом содержания  $\text{SiO}_2$  [1]. Полученный нами результат для мусковита прямо противоположен. На рис. 2 представлены изотермы удельной электропроводности  $\lg \sigma$  мусковитов, где наблюдается достаточно закономерный рост проводимости в зависимости от увеличения содержания  $\text{SiO}_2$  (в весовых процентах) при 200 и 800 °С. Получены математические значения этих зависимостей.

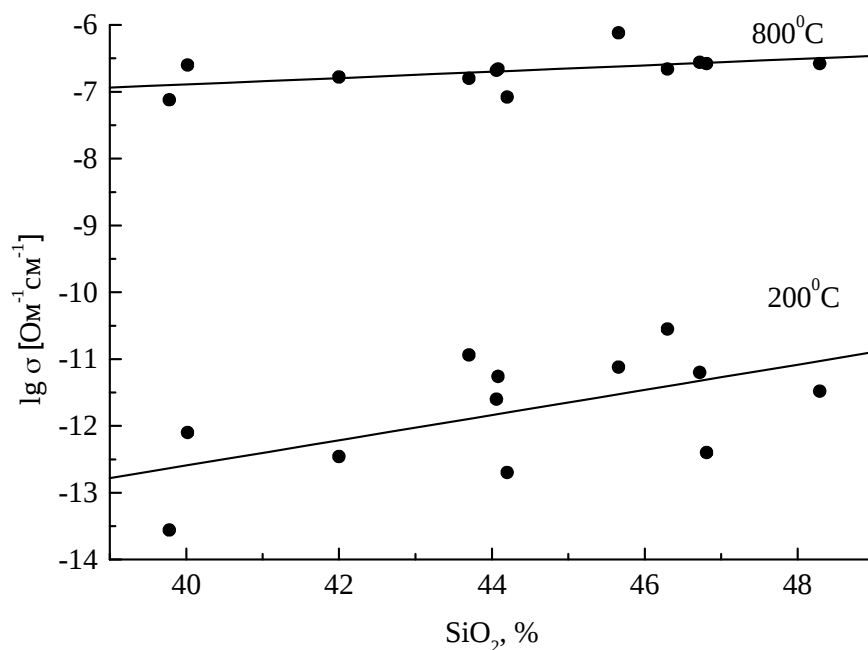


Рис. 2. Зависимость lg мусковитов от содержания SiO<sub>2</sub>

Причина такого возрастания проводимости заключается, по-видимому, в особенностях кристаллохимического строения тетраэдрического слоя мусковитов. Как известно, в структуре мусковитов наблюдается упорядоченное распределение алюминия и кремния по тетраэдрическим позициям, когда одна из трех ближайших позиций у каждого иона кремния занята ионом алюминия. Отсюда следует, что по мере повышения содержания ионов Si<sup>4+</sup> увеличивается и количество Al<sup>3+</sup>. А так как ионный радиус Al<sup>3+</sup> (0.57 нм) значительно больше, чем у Si<sup>4+</sup> (0.39 нм), то вследствие расширения кристаллического пространства, происходит уменьшение энергии кристаллической решетки при замене кремния на алюминий, вследствие чего повышается электропроводность мусковитов.

Далее было проанализировано влияние содержания катионов алюминия на проводимость мусковитов. На рис. 3 представлены зависимости lg σ = f (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) мусковитов, которые аппроксимируются зависимостями при 200 °С и 800 °С соответственно

$$\lg \sigma = -6.30 - 0.18 (\text{Al}_2\text{O}_3), \quad \lg \sigma = -5.88 - 0.03 (\text{Al}_2\text{O}_3).$$

Наблюдается достаточно закономерное понижение проводимости с ростом содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, что согласуется с закономерностями, установленными для широкого класса силикатных минералов и горных пород. Физика воздействия катионов Al<sup>3+</sup> на проводящие свойства минералов в сторону её понижения объясняется их малой поляризуемостью при относительно большом заряде.

Как видно из полученных результатов, здесь проявляется двойственный характер распределения катионов алюминия по кристаллографическим позициям мусковита, как возможность его изоморфного вхождения в тетраэдрический слой, замещая кремний, так и наличие его как основного компонента в октаэдрическом слое, и, соответственно этому двойственный характер его воздействия на электропроводность мусковитов.

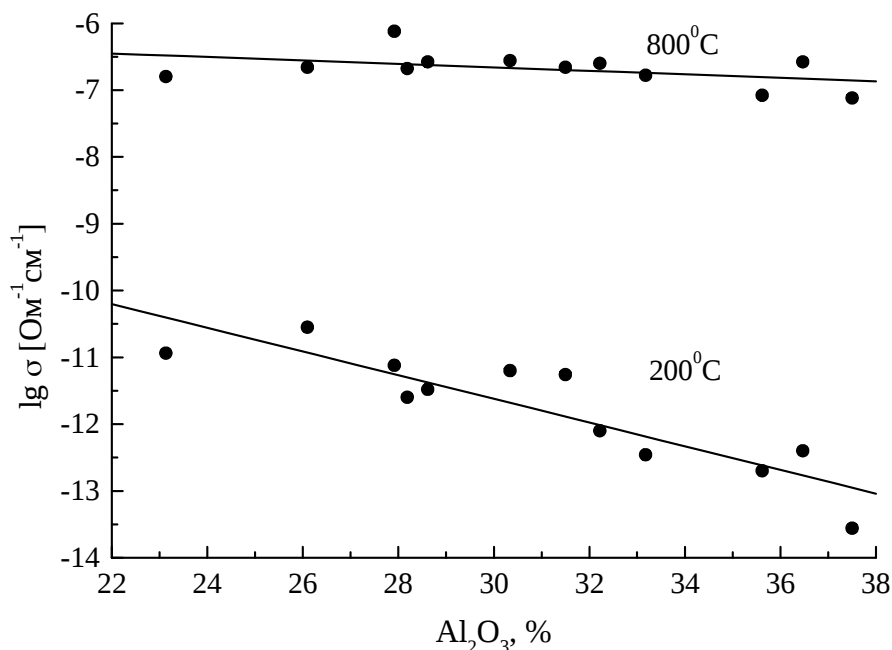


Рис. 3. Зависимость lg мусковитов от содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Исследование показало наличие прямо пропорциональной зависимости между отношением SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и электропроводностью мусковитов. Вариации SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> отношения могут отражать изменения условий минералообразования. Действительно, на основе экспериментальных данных минимальное давление, необходимое для кристаллизации первичного магматического мусковита, оценивается примерно в 3 кбар, что соответствует глубине порядка 11 км, однако на практике отличить первичный мусковит от вторичного бывает затруднительно [2], но при этом первичный богаче Al и беднее Si. По этой причине электропроводность этих мусковитов будет различная, и в данном случае является индикатором условий генезиса минералов.

Установлено понижение электропроводности мусковитов при увеличении содержания в них Na, который изоморфно замещает K, что отражает физико-химические условия образования минерала. Это уменьшение проводимости мы объясняем существенным сближением слоев минерала вследствие меньшего ионного радиуса Na, чем у K.



Этот результат представляет интерес в плане развития методов оценки физико-химических условий образования минералов, отражающих изменения их структурных особенностей.

#### Цитированная литература

1. Гусейнов А.А. исследование электропроводности минералов класса слоистых силикатов и горных пород в зависимости от температурного и кристаллохимического факторов. Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М.: ИФЗ, 2012. 38 с.
2. Miller C.F., Stoddard E.F., Bradfish L.J., Dollase W.A. Composition of plutonic muscovite: genetic implications // Can. Miner. 1981. V. 19. № 1. P. 25-34.

3. Исследовано влияние катионов октаэдрического и тетраэдрического слоев, а также межслоевых катионов на ионную проводимость глинистого минерала монтмориллонита, относящегося к слоистым силикатам. Монтмориллонит имеет большое значение для геотермальной энергетики, так как является одним из основных источников для формирования возрожденных вод при гипергенных процессах в осадочных бассейнах. Также необходимо отметить, что исследование свойств вещества в зависимости от химического состава является фундаментальной проблемой науки, в то же время химический состав и физические свойства минералов являются одними из основных факторов для разработки технологических процессов добычи, обогащения, переработки минерального сырья, а также экологического контроля над этими процессами.

Установлено повышающее проводимость влияние содержание в минерале ионов железа и кальция и понижающее ионов кремния и алюминия, что обусловлено как особенностями изменения структурного состояния минерала, так и изменением зарядового равновесия в слоях минерала.

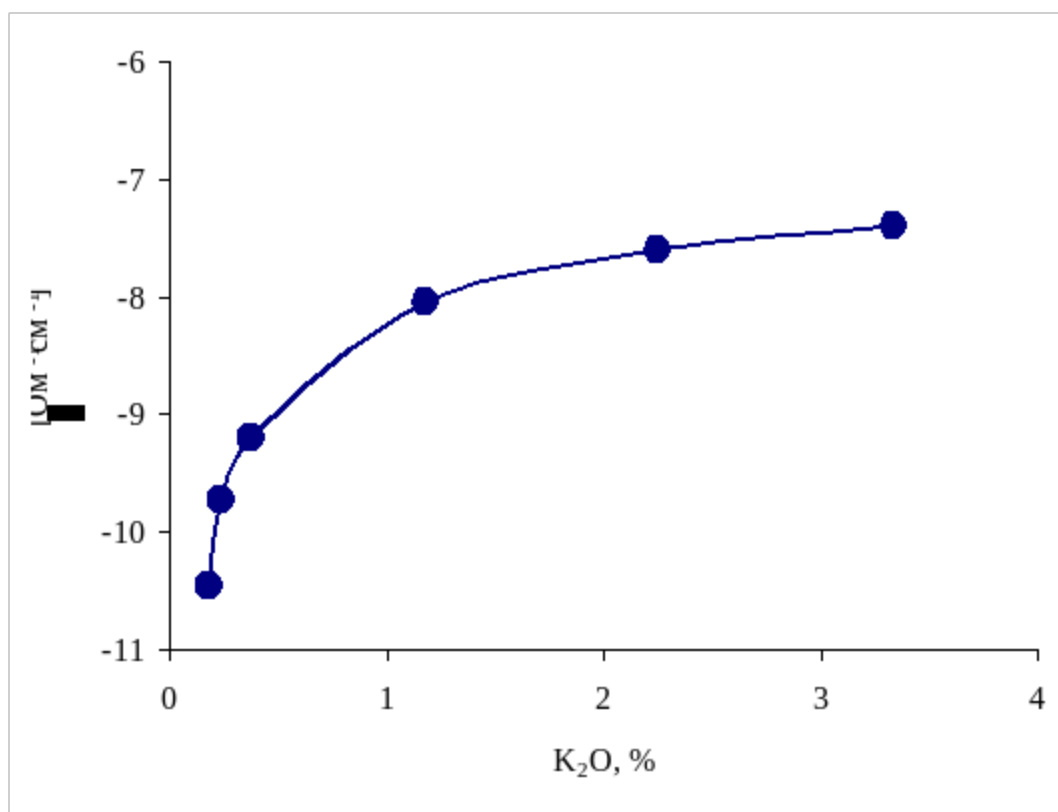


Рис. 4. Зависимость электропроводности монтмориллонитов от содержания  $K_2O$

Зависимость проводимости монтмориллонитов при  $200\text{ }^\circ\text{C}$  от содержания  $K_2O$ , в отличие от других компонентов, имеет нелинейный характер, что обусловлено ограниченностью числа вакантных позиций в кристаллической решетке минерала. Поэтому наблюдается, как видно из рис. 4 насыщения проводимости при достижении содержания  $K_2O$  порядка 2%.

Полученные результаты согласуются с известными закономерностями влияния химического состава на электропроводность главных породообразующих минералов. Показано, что монтмориллониты, сформированные в разных условиях и имеющие различия в составе, проявляют связанное с этим количественные показатели параметров электропроводности. Достаточно высокие коэффициенты корреляции полученных зависимостей дают принципиальную возможность оценивать содержание элементов по параметрам электропроводности в монтмориллонитах, что открывает новые возможности для применения глинистых минералов.

4. При исследовании температурной зависимости ионной проводимости монтмориллонитов установлено проявление фундаментальной закономерности, которая обусловлена существованием ассоциированных

комплексов дефектов кристаллической решетки минерала вида «катионная вакансия + гетеровалентный примесный ион». Отмеченные ассоциированные комплексы дефектов кристаллической решетки в минералах и горных породах играют исключительно важную роль в различных природных процессах кинетического характера – метаморфизм, реологические проявления, диффузия, ионная проводимость, минералообразование, взаимодействия флюида с породой и т.д. [1.2]. Эти комплексы, в целом электронейтральные, так как катионные вакансии и примесные катионы имеют противоположные заряды, являются электрическими диполями.

Доказательством существования рассматриваемых комплексов является наличие максимума на частотной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  в ионных кристаллах в области звуковых частот [3]. Частота, при которой наблюдается максимум  $\text{tg } \delta$ , равна

$$\nu = \nu_0 \exp(-E / kT), \quad (4)$$

где  $E$  – энергия активации перескока вакансии,  $\nu_0$  – величина порядка частоты колебания ионов в нормальном состоянии ( $10^{13}$  Гц). Величина  $E$  в данном случае фактически есть энергия активации движения вакансии.

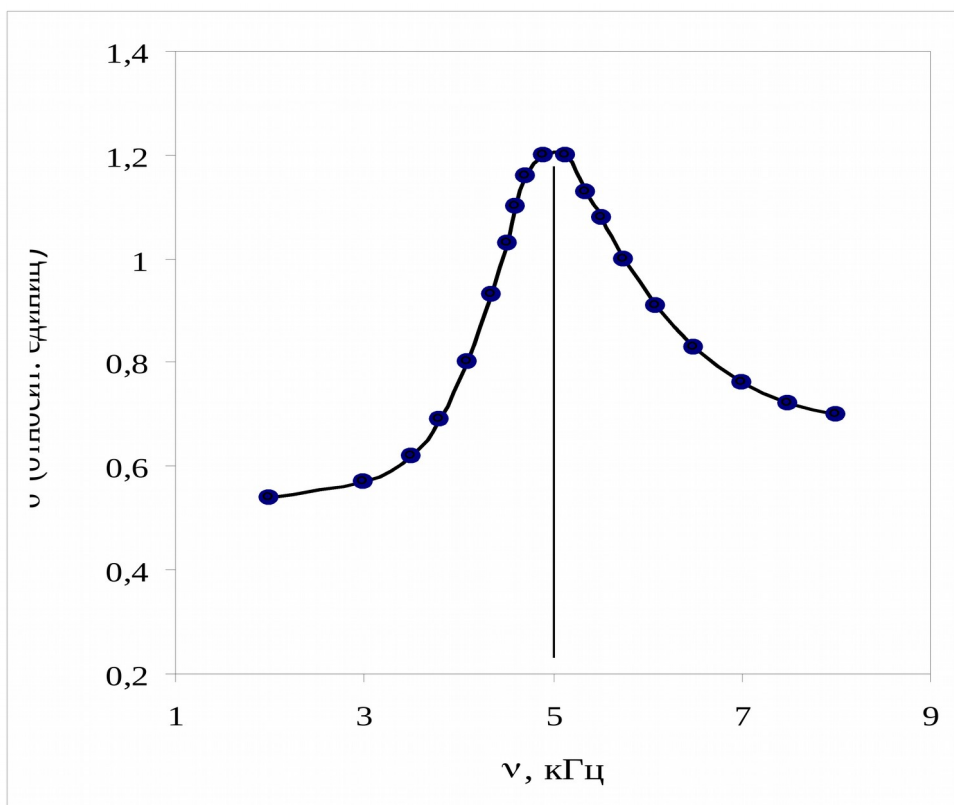


Рис. 5. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  от частоты приложенного электрического поля в образце монтмориллонита.

На рис. 5 представлена полученная нами зависимость  $\text{tg } \delta$  от частоты при комнатной температуре для образца Леваша-1, максимум  $\text{tg } \delta$  наблюдается при частоте 5 кГц. Используя полученные экспериментальные данные, из

равенства (4) имеем  $E = 0.55$  эВ. Этот результат достаточно хорошо согласуется со значением энергии активации для области II примесной проводимости  $E_{дв} = 0.54$  эВ, полученной в наших экспериментах по измерению электропроводности, что является весьма существенной аргументацией для доказательства существования ассоциированных комплексов в монтмориллонитах и их участия в механизме примесной проводимости.

Публикация – Гусейнов А.А. Исследование электрических свойств монтмориллонита во взаимосвязи с процессами, протекающими в нём при тепловой активации // Физика Земли. 2017. № 6. С. 45-54.

#### Цитированная литература

1. Гусейнов А.А. Определение диффузионной вязкости горных пород по данным электропроводности // Физика Земли. 1997. № 7. С. 92-96.
2. Раков Л.Т. Диффузионное взаимодействие структурных дефектов в природном кварце // Геохимия. 1996. № 9. С. 905-908.
3. Лидьярд А. Ионная проводимость кристаллов. М.: Изд-во иностр. литературы, 1962. 220 с.

Раздел 3. Оценка геотермальных ресурсов и прогнозирование температур осадочной толщи (ответственный исполнитель зав. лабораторией Маммаев О.А.).

Нами проведен анализ геотермических и геологоструктурных материалов по перспективным месторождениям Дагестана.

Изучение геотермического поля очень важно при решении как глобальных вопросов эволюции Земли, источников геотектонических движений, геофизики глубоких оболочек, так и для интерпретации глубинных процессов с разными энергетическими эффектами (магматизм, метаморфизм и др.) и специфики геофизических полей. Имеется множество работ в которых перечисляются источники внутреннего тепла Земли к которым относят: тепло, выделяющееся при распаде радиоактивных элементов; тепло, образующееся при гравитационной дифференциации вещества Земли; остаточное тепло, сохранившееся со времен формирования земли; гравитационная энергия; энергия полиморфных фазовых переходов и химических реакций в недрах Земли; тепло, связанное с действием нейтрино и космического излучения; выделение тепла в процессе приливного трения и другие источники.

Особый интерес для нас представляют исследования по изучению радиогенного тепла. По исследованиям отечественных и зарубежных авторов в различных регионах Земли прямая пропорциональная зависимость между генерацией радиогенного тепла в верхних слоях земной коры и фиксированным на поверхности тепловым потоком установлена только для отдельных областей. Вклад радиогенной (коровой) составляющей в общий тепловой поток колеблется от 50–60% до 10% и ниже для стабилизированных блоков литосферы континентов. Имеется мнение (Булашевич, Хачай, 1983) и по данным авторов [1, 2, 3, 7, 8 и др.], что анализируя экспериментальные данные о динамике потоков тепла и гелия через земную поверхность, присутствие в мантии первичного гелия, цикличность тектоно-магматической активности и некоторые особенности дифференциации вещества по фиксированным значениям изотопии стронция ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) и Rb/Sr, можно обосновать модель, в которой в качестве основных энергетических источников эволюции коры и мантии рассматриваются радиоактивные элементы.

Известно, что для гранитоидов первичного мантийного происхождения характерны соотношения ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) 0,702–0,710, а для пород корового магматизма, появляющегося на завершающем этапе областей магматизма, это отношение составляет значение около 0,730.

В Лаборатории изотопии и радиогенного тепла (ЛИРТ) Института проблем геотермии (ИПГ) Дагестанского научного центра РАН с участием автора были определены изотопные отношения стронция в термальных водах мезозойских отложений Прикумской и Терско-Сунженской зон. Изотопный состав стронция термальных вод зависит от ряда факторов: от литологического состава вмещающих пород, степени метаморфизма подземных вод и вмещающих пород, содержания в них рубидия и абсолютного возраста горных пород.

По полученным значениям изотопных соотношений ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) в термальных водах можно проследить некоторые тенденции. При прочих равных условиях в водах, приуроченных к карбонатным породам, наблюдаются относительно высокие значения изотопных отношений, что вероятно получается за счет радиогенного  $^{87}\text{Sr}$ . Выделяется изотопное отношение в водах глубокой термальной скважины Тарумовская, где имеются высокие термобарические условия. Не исключается содержание в этих водах определенной доли компонентов и глубинного происхождения, в пользу чего говорят геолого-тектонические условия, геохимические аномалии и АВПД. Место расположения скважины Тарумовская приурочено к зоне

тектонического нарушения, и глубинные газофлюидные компоненты могут поступать в пластовые воды данной площади.

В настоящее время, по мнению большого числа исследователей, предполагается, что главным источником тепловой энергии недр Земли является радиоактивный распад долгоживущих естественных радиоактивных элементов (изотопов). Для радиоактивных элементов известна скорость энерговыделения, но прямые данные о содержании урана, тория и калия на долю которых приходится до 99% радиогенного тепла, имеются только для верхней части земной коры. Для внутренних оболочек предполагают содержания этих элементов на основе разных моделей первоначального состава Земли, исходя из состава ксенолитов мантийных пород и метеоритов. Оценки полного количества естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) и их вклада в энергетику Земли продолжают оставаться еще спорными.

Дискуссионными являются и вопросы об энергетических источниках геотектонических процессов. Природу источников тепла нельзя определить по одним только тепловым измерениям. Задача заключается в выборе такого комплекса регистрируемых на поверхности Земли эффектов, являющихся следствием дифференциации вещества при термической эволюции, который позволит увеличить достоверность оценки вклада ЕРЭ в энергетический баланс коры и мантии. Как показали исследования экспериментальных данных по динамике потоков тепла и гелия через земную поверхность, присутствия в мантии первичного гелия, цикличности тектономагматической активности и некоторых особенностей дифференциации вещества при этом, фиксируемых изотопией стронция, удастся объяснить модель, в которой в качестве основных энергетических источников эволюции коры и мантии рассматриваются естественные радиоактивные элементы (уран, торий, калий) [1, 2, 3, 7 и др.]. В работе [7] приводятся сведения об оценке удельной радиотеплогенерации в породах характерных консолидированным слоям земной коры в  $n \cdot 10^{-12}$  Вт/кг: гранит – 940, базальт – 170, перидотит – 2,7, хондрит – 5,2, верхняя континентальная кора – 390, Земля в среднем – 4,2.

Большое внимание изучению радиогенного тепла в связи с эволюцией Земли и образованием земных оболочек придавал А.П. Виноградов [1]. Он считал: «... во всей проблеме баланса тепла в Земле исключительное значение имеет точное знание количеств урана, тория и калия-40 в веществе мантии и земной коры».

Благодаря новым аналитическим методам за последние годы собран огромный материал по распространенности естественных радиоактивных элементов в различных породах земной коры, а также в образцах метеоритов.

В среднем каменные метеориты (хондриты) содержат: К –  $8,5 \cdot 10^{-2}$ , Th –  $3,8 \cdot 10^{-6}$ , U –  $1,5 \cdot 10^{-6}$  % [1].

Таблица 1.

Генерация тепла в Земле, эрг/г [1].

Элемент	Тепловая энергия, генерируемая за год	Тепловая энергия, генерируемая за год в настоящее время мантией (вещество хондритов)	Общее количество тепла на грамм вещества мантии, образовавшееся в течение $4,5 \cdot 10^9$ лет
$^{40}\text{K}$	$0,912 \cdot 10^7$	0,920	$1750 \cdot 10^7$
$^{232}\text{Th}$	$0,824 \cdot 10^7$	0,313	$157 \cdot 10^7$
$^{235}\text{U}$	$18,02 \cdot 10^7$	0,019	$162 \cdot 10^7$
$^{238}\text{U}$	$2,95 \cdot 10^7$	0,439	$285 \cdot 10^7$
	$22,706 \cdot 10^7$	1,7	$2354 \cdot 10^7$

Содержания радиоактивных элементов в различных горных породах земной коры и ее оболочках неодинаковые. В веществе земного ядра содержание радиоактивных элементов считаются ничтожно малыми по сравнению с каменными метеоритами (хондритами) состав которых принимается за первоначальное вещество Земли. В породах мантии их значительно меньше, чем в породах земной коры.

Максимальные количества естественных радиоактивных элементов сконцентрированы в осадочных породах и гранитах (особенно кислых) и значительно меньше в базальтах. По проведенным [1] экспериментальным работам обогащение горных пород земной коры – базальтов и гранитов, радиоактивными элементами связано с процессами выплавления и дегазации легкоплавкого вещества мантии под влиянием тепла, генерируемого этими элементами. По данным (табл. 1) радиогенное тепло, воспроизведенное земным шаром, получается  $2354 \cdot 10^7$  эрг/г  $\cdot 4 \cdot 10^{27}$  г (для силикатной фазы Земли, мантии и земной коры), что составит  $9,4 \cdot 10^{37}$  эрг за  $4,5 \cdot 10^9$  лет. Эта тепловая энергия разогревала недра Земли. Часть тепловой энергии, генерируемой радиоактивными элементами, теряется Землей. По многочисленным определениям теплового потока на поверхности Земли за среднее значение принято  $50$  мВт/м<sup>2</sup>. А в среднем же тепловой поток на континентах несколько меньше чем на дне океана.

При этом среднем значении теплового потока с поверхности Земли ежегодно излучается  $9 \cdot 10^{27}$  эрг. тепловой энергии.

При принятых значениях ЕРЭ в земных породах и среднем тепловом потоке Земли, наблюдается некоторый дефицит в количестве радиоактивных элементов, что можно объяснить не полнотой знания условий потери тепла

Землей, а также за счет радиоэлементов, с короткими периодами полураспада, которые тоже оставили тепло и других источников внутриземной энергии.

Нами достаточно подробно изучено распределение урана, тория и калия в литологических разностях осадочной толщи Восточного Предкавказья [6]. Образцы горных пород для анализа выбирались из керна материала опорных и промысловых скважин.

На основе имеющихся радиогеохимических данных нами произведена оценка доли радиогенного тепла в наблюдаемом на поверхности тепловом потоке, а также оценка потенциальной петротермальной энергии, заключенной в определенном объеме осадочных пород на примере площади Южно-Буйнакская (скв. 1) и других месторождений. Состав пород литологического разреза по кернаму материалу был подробно изучен на содержание радиоактивных элементов, а также собраны и систематизированы теплофизические и геофизические параметры этих пород.

С целью оценки вклада радиогенного тепла, генерируемого в процессе распада естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) - урана, тория, калия, проведено исследование их содержания по разрезу осадочной толщи на примере пл. Южно-Буйнакская. Изучено распределение ЕРЭ в горных породах как по литологическим разностям, включая граниты палеозойского фундамента, так и в зависимости от возраста отложений. Чувствительность определения радиоактивных элементов в породах составила: урана –  $3 \cdot 10^{-4}$  %, тория –  $3 \cdot 10^{-4}$  %, калия – 0,01%.

Концентрации радиоэлементов в различных по литологии породах осадочной толщи убывают соответственно от аргиллитов и алевролитов до доломитов и известняков. По разрезу площади Южно-Буйнакская для литологически однотипных пород в зависимости от возраста отложений значительных вариаций содержания радиоэлементов не наблюдается. Максимальными концентрациями отличаются образцы керна гранитов палеозойского фундамента. Расчет величины радиотеплогенерации (А) проводился по формуле [9] с послойным определением величины радиотеплогенерации (ПОРТ) согласно [2].

$$A = (9,707 \cdot 10^4 \cdot U + 2,636 \cdot 10^4 \cdot Th + 3,582K) \rho \text{ [мкВт/м}^3\text{]}, \quad 1.$$

где U, Th, K – концентрации элементов в горных породах в г/г;  $\rho$  – плотность пород г/см<sup>3</sup>.

Радиотеплогенерация в породах меняется соответственно содержаниям ЕРЭ – от минимального значения 0,48 мкВт/м<sup>3</sup> в известняках апшеронских



отложений до значений (1,78–2,86) мкВт/м<sup>3</sup> соответственно в аргиллитах и алевролитах триаса и достигает максимальных значений (3.76–4,2) мкВт/м<sup>3</sup> в гранитах палеозойского фундамента. Рассчитанное значение величины радиотеплогенерации, включая 210 м вскрытой части гранитов, создает по площади Ю-Буйнакская тепловой поток 7,1 мВт/м<sup>2</sup>, что составляет ~ 10,0 % от наблюдаемого на поверхности теплового потока, равного 73,6 мВт/м<sup>2</sup>.

Следует отметить, что значения радиотеплогенерации для сухих пород даны без учета количества ЕРЭ в пластовых флюидах. Для более точной оценки генерации тепла в осадочной толще, особенно в породах с хорошими коллекторскими свойствами, необходимо учесть и ЕРЭ в пластовых флюидах, что по нашим подсчетам составит в среднем около 5% от приведенных выше значений. При концентрациях урана в породах ниже предела чувствительности метода, для расчета теплогенерации принимались соответственно кларковые значения.

Данные ГСЗ по Прикумской зоне позволяют выделить слои мощностью до 10 км, где скорость  $V_p$  составляет (6,4–6,6) км/с, что считается характерным для гранитного слоя. Если принять значение радиотеплогенерации во всем гранитном слое равным расчетному согласно нашим данным, то доля теплового потока от радиогенного тепла возрастает до 61,0% и составляет величину 44,70 мВт/м<sup>2</sup>. Принимая для Прикумской зоны мантийную составляющую теплового потока аналогично, как для западной части Прикаспийской впадины и вала Карпинского, равной 20 мВт/м<sup>2</sup>, получим равенство для наблюдаемого теплового потока:

$$q = 44.70 + 20 + \sum_{i=1}^n \text{ТП}i = 73.6 \quad 2.$$

где ТПи – поток, генерируемый в слоях консолидированной земной коры; n – число слоев.

Оставшуюся часть теплового потока:  $73,6 - 64,70 = 8,90$  (мВт/м<sup>2</sup>), можно отнести на радиотеплогенерацию в других слоях земной коры – базальтовом. Баланс наблюдаемого теплового потока, таким образом, можно объяснить только радиогенными источниками тепла, что приводится в работах и других авторов [2]. Аналогичные расчетные данные получаются и по другим геотермальным месторождениям Восточного Предкавказья [6]. Полученные экспериментальные данные по оценке радиогенного тепла в земной коре не противоречат тому, что большая часть наблюдаемого на поверхности теплового потока обеспечивается за счет процессов распада ЕРЭ.

Такая оценка величины радиотеплогенерации в осадочной толще нами проводилась и по другим геотермальным месторождениям Дагестана. Результаты наших расчетов показывают, что в осадочной толще мощностью до 5 км за счет процессов радиотеплогенерации может образоваться до 10% наблюдаемого на поверхности теплового потока или (5-7) мВт/м<sup>2</sup>.

Анализ фактического материала по геотермии в Терско-Кумском бассейне свидетельствует о том, что плотность тепловых потоков, не привязанные к конкретным интервалам глубин, несет малоэффективную информацию и допускает неоднозначную ее интерпретацию. Оценка геотермического градиента по глубине через восстановление забойных температур подтверждает вертикальную зональность геотермического градиента (табл. 2.). От значения геотермического градиента прямо зависит и величина теплового потока.

Таблица 2.

Распределение геотермического градиента по глубине (°С на 100 м).

Район исследований	Глубина в км.				
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5
Предгорный Дагестан	6–5	5–4	4–3,5	-	3–2,8
Терско-Кумская зона	-	4,5–4	-	3,9–3,5	3,6–3,1

Для расчета призабойных температур глубоких скважин Прикумской зоны Дагестана и сравнения их с реально измеренными в ходе бурения, нами использовался изотопный геотермометр углерода «двуокись углерода-метан» [4]. Характерными являются некоторые данные, полученные при этом (табл. 3.). Расчетные температуры в пределах 100-400 °С определялись по уравнению:

$$1000 \ln \alpha = -9,56 + 15,25 \cdot 10^3 T^{-1} + 2,432 \cdot 10^6 T^{-2}, \quad 1.$$

где  $\alpha$  – коэффициент фракционирования ( $\delta^{13}C_{CO_2} / \delta^{13}C_{CH_4}$ );

T – температура по шкале Кельвина.

Таблица 3.

Глубинные температуры по Прикумской зоне Дагестана, полученные по изотопному геотермометру углерода.

Месторождение, № скв. и возраст отложений	Интервал перфорации	$\delta^{13}C$ PDB, ‰		T расчетная, °С	T забоя, °С
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>		
Юбилейная, скв. № 29, (T <sub>1</sub> )	4439–4443	-20,4	-41	295,7	160–165
Юбилейная, скв. № 13, (T <sub>1</sub> )	4412–4433	-16	-49	204,8	160
Южносухокумская, скв. № 43 (J <sub>2</sub> )	3640–3644	-22	-52	233	145

Русский Хутор, скв. № 55 (К <sub>1</sub> )	3181–3188	–14	–57	131,5	120
Солончаковская, скв. № 56 (Т <sub>2</sub> )	4364–4380	–9	–50	144	155–160
Кумухская, скв. №4, (Т <sub>1</sub> )	4827–4824	–27	–64	171	175–180

В идеальном случае в гидросистеме изотопно-обменные процессы «метан-двуокись углерода» подчиняются закону геотермической зональности и температуры расчетные близки к реальным. Но если газы поступают из более глубоких слоев, где температура повыше, тогда расчетные изотопно-обменные температуры получаются завышенными. Мировая практика показывает, что на большинстве месторождений расчетные температуры на 50–150 °С выше измеренных призабойных температур.

Некоторые месторождения Прикумской зоны Дагестана (Юбилейная, Южносухокумская и др.) дают завышение расчетных температур на 50–100 °С, а на месторождениях Кумухская, Солончаковая расчетные температуры более близки к измеренным призабойным температурам.

Исследованные нами месторождения относятся к газонефтяным скоплениям катагенетической зоны и изотопные смещения метана и углекислоты обуславливаются не только температурными изотопно-обменными процессами, но и процессами биохимического разложения органики в процессе катагенеза исходного органического вещества.

Полученные завышенные расчетные температуры по некоторым промышленным площадям можно объяснить наличием перетоков и компонентов дегазации с более глубоких слоев земной коры, которые ранее предполагались нами и по анализу изотопного состава геотермальных вод Восточного Предкавказья.

Сравнение полученных данных по тепловому полю и радиотеплогенерации показывает преобладающую роль в определении природы составляющих тепловго потока глубинных слоев коры, верхней мантии и факторов тектонической активности, так как, не наблюдается заметного увеличения равноглубинных температур на участках вскрытия гранитов с относительно интенсивной радиотеплогенерацией. Это подтверждает справедливость выводов о том, что интерпретация данных по тепловому потоку района с определенным редуцированным тепловым полем, является упрощенной, без учета тектоно-магматической эволюции и истории содержания самих радиоактивных элементов в глубинных слоях земной коры.

Можно отметить по анализу имеющегося фактического и литературного материала, что повышенные значения гелиевого поля и значений изотопного состава гелия в подземных флюидах и газах являются характерными особенностями месторасположений геотермальных аномалий,

вместе с их приуроченностью к зонам региональных тектонических нарушений. Все эти факторы взаимосвязаны и взаимообуславливают себя.

Цитированная литература.

1. *Виноградов А.П.* Избранные труды. Геохимия океана. М.: Наука, 1989. 220 с.
2. *Боганик Н.С.* Радиогенное тепло земной коры Русской платформы и ее складчатого обрамления. М.: Наука, 1975. 160 с.
3. *Вовк И.Ф.* Радиолиз подземных вод и его геохимическая роль. М.: Недра, 1979. 231 с.
4. *Мирзоев Д.А., Шарафудинов Ф.Г.* Геология месторождений нефти и газа Дагестана. Махачкала: Даг. кн. изд-во, 1986. 311 с.
5. *Моисеенко У.И., Смыслов А.А.* Температура земных недр. Л.: Недра, 1986. 180 с.
6. *Маммаев О.А.,* Подземные воды Восточного Предкавказья (формирование, гидрогеохимия и процессы радиотеплогенерации). Махачкала: ДНЦ РАН, 2006. 280 с.
7. *Шарма.* Геофизические методы в региональной геологии / Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 487 с.
8. *Поляк Б.Г., Толстихин И.Н., Якуцени В.П.* Изотопный состав гелия и тепловой поток – геохимический и геофизический аспекты тектогенеза // Геотектоника. 1979. № 5. С. 3–23.
9. *Смыслов А.А., Моисеенко У.И., Чадович Т.З.* Тепловой режим и радиоактивность Земли. Л.: Недра, 1979. 191 с.
10. *Маммаев О. А., Абдуллаева А. С., Асварова Т. А.* Естественные радионуклиды в горных породах и почвах Дагестана. / Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Почвенные ресурсы и проблемы продовольственной безопасности» Тр. ИГ ДНЦ РАН. Вып. 65, Махачкала, 2015. С. 186-189.

#### 4. Заключение.

По результатам проведенных исследований можно сделать краткие выводы.

- 1) Геотермальные воды мезозойских отложений генетически представляют собой захороненные морские седиментационные воды с примесью древней инфильтрационной воды (до 20-30%0 и воды, выделяемой при дегидратации минералов при высоких РТ- условиях.

Геотермальные воды среднемиоценовых отложений являются преимущественно инфильтрационными. При одинаковых физико-химических условиях в пласте, приуроченные к карбонатным коллекторам воды характеризуются относительно высокими значениями  $\delta^{18}\text{O}$  по сравнению с водами терригенных коллекторов.

2) При исследовании температурной зависимости ионной проводимости монтмориллонитов установлено проявление фундаментальной закономерности, которая обусловлена существованием ассоциированных комплексов дефектов кристаллической решетки минерала вида «катионная вакансия + гетеровалентный примесный ион». Отмеченные ассоциированные комплексы дефектов кристаллической решетки в минералах и горных породах играют исключительно важную роль в различных природных процессах кинетического характера – метаморфизм, реологические проявления, диффузия, ионная проводимость, минералообразование, взаимодействия флюида с породой и т.д. Эти комплексы, в целом электронейтральные, так как катионные вакансии и примесные катионы имеют противоположные заряды, являются электрическими диполями.

Доказательством существования рассматриваемых комплексов является наличие максимума на частотной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}$  в ионных кристаллах в области звуковых частот. Частота, при которой наблюдается максимум  $\text{tg}$ , равна

$$= \omega_0 \exp(-E / kT),$$

где  $E$  – энергия активации перескока вакансии,  $\omega_0$  – величина порядка частоты колебания ионов в нормальном состоянии ( $10^{13}$  Гц). Величина  $E$  в данном случае фактически есть энергия активации движения вакансии.

3) Анализ фактического материала по геотермии в Терско-Кумском бассейне свидетельствует о том, что плотность тепловых потоков, не привязанные к конкретным интервалам глубин, несет малоэффективную информацию и допускает неоднозначную ее интерпретацию. Оценка геотермического градиента по глубине через восстановление забойных температур подтверждает вертикальную зональность геотермического градиента. От значения геотермического градиента прямо зависит и величина теплового потока.

Полученные экспериментальные данные по оценке радиогенного тепла в земной коре не противоречат тому, что большая часть наблюдаемого на поверхности теплового потока обеспечивается за счет процессов распада ЕРЭ. Оценка величины радиотеплогенерации в осадочной толще, проведенная нами по геотермальным месторождениям Дагестана, показала, что в осадочной толще мощностью до 5 км за счет процессов

радиотеплогенерации может образоваться до 10% наблюдаемого на поверхности теплового потока или (5-7) мВт/м<sup>2</sup>.

#### 5. Публикации по теме (в том числе находящиеся в печати)

1. Магомедов Ш. А., Маммаев О. А., Магомедов А. Ш., Чупалаев Ч. М., Расулов Г. С. Рудомагматические породы и абсолютный возраст полиметаллических рудных образований Южного Дагестана. Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Коллективная монография под. ред. д.ф.-м.н., проф. В. Б. Заашвили. Владикавказ, 2017. ISBN 978-5-904868-21-5, с. 108-109.

2. Маммаев О. А., Магомедов Ш. А., Маммаев Б. О. Структурно-тектоническое строение фундамента и особенности формирования редкометалльных геотермальных вод Восточного Предкавказья. Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Коллективная монография под. ред. д.ф.-м.н., проф. В. Б. Заашвили. Владикавказ, 2017. ISBN 978-5-904868-21-5, с. 110-113.

3. Магомедов Р. А., Маммаев О. А. Палеосейсмодислокации в осадочном чехле мезозойского комплекса Восточного Кавказа. Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Коллективная монография под. ред. д.ф.-м.н., проф. В. Б. Заашвили. Владикавказ, 2017. ISBN 978-5-904868-21-5, с. 206-212.

4. Маммаев О. А., Маммаев Б. О. Оценка процессов радиотеплогенирации в осадочной толще Восточного Предкавказья. Материалы V-Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы». Т1. Махачкала, 2017, с. 322-326.

5. Магомедов Ш. А., Маммаев О. А., Чупалаев Ч. М., Расулов Г. С. Получение геофизической информации о геотермальном месторождении по изотопному составу водорода и кислорода воды. Материалы V-Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы». Т 1. Махачкала, 2017, с. 319-322.

6. Магомедов Ш. А., Маммаев О. А., Чупалаев Ч. М., Расулов Г. С. Классификация природных вод по изотопному составу водорода и кислорода. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. VI. / Под. ред. Керимова И.А., Заалишвили В.Б., Черкашина В.И.

Грозный, 2017. Коллективная монография по материалам VI-Всероссийской научно-технической конференции, ISBN 978-5-9500715-08, с. 324-330.

7. Маммаев О.А., Маммаев Б.О. Гидрогеологический анализ геотермальных вод Восточного Предкавказья. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. VI. / Под. ред. Керимова И.А., Заалишвили В.Б., Черкашина В.И. Грозный, 2017. Коллективная монография по материалам VI-Всероссийской научно-технической конференции, ISBN 978-5-9500715-08, с. 341-347.

8. Магомедов Ш.А., Мамаев О.А., Чупалаев Ч.М., Расулов Г.С., Определение степени зрелости нефти по изотопному составу углерода метана. / Всероссийская конференция «Новые идеи в геологии нефти и газа». Москва, МГУ, 25-26 мая 2017г.

9. Магомедов Ш.А., Мамаев О.А., Чупалаев Ч.М., Расулов Г.С. Геофизическая информация о геотермальном месторождении по изотопному составу водорода и кислорода воды. / Международная геотермальная конференция в научно-исследовательском геотехнологическом центре ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 5-8 сентября 2017г.

10. Гусейнов А.А. Исследование электрических свойств монтмориллонита во взаимосвязи с процессами, протекающими в нём при тепловой активации // Физика Земли. 2017. № 6. С. 45-54.

11. Гусейнов А.А. Взаимосвязь между кинетическими параметрами температурной зависимости электропроводности некоторых магматических пород Дагестана // Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Коллективная монография / Под ред. Заалишвили В.Б. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2017. С. 411- 415.

12. Гусейнов А.А. Некоторые аспекты влияния химического состава на электропроводность мусковитов // 20-й Международный симпозиум «Упорядочение в минералах и сплавах; ОМА-20, Ростов-на-Дону – пос. Южный (п. «Южный»), 10-15 сентября 2017 г. Труды симпозиума. – Ростов-на-Дону, Фонд науки и образования. 2017. Выпуск 20. Том 1. С. 74-77.

13. Гусейнов А.А. Химический состав и ионная проводимость монтмориллонитов // Материалы V Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы» и X школа молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» имени чл.-корр. РАН Шпильрайна. Том 2. 23-26 октября 2017 г. / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. – Махачкала: ИП Овчинникова (АЛЕФ), 2017. С. 57- 62.

14. Гусейнов А.А. Метод электропроводности при изучении минералов и горных пород // Материалы V Международной конференции

«Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы» и X школа молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» имени чл.-корр. РАН Шпильрайна. Том 2. 23-26 октября 2017 г. / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. – Махачкала: ИП Овчинникова (АЛЕФ), 2017. С. 62- 67.

15. Guseinov A. A. Electrical Properties of Montmorillonite Studied Together with the Processes Occurring under Thermal Activation // Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2017, Vol. 53, No. 6, pp. 845–854.

6. Сведения о созданной и оформленной интеллектуальной собственности (патенты и т.д.)

Полученных патентов нет.

7. Краткое содержание работы на следующий год (для переходящей темы, при этом прилагается календарный план на следующий год по форме 3 к настоящему Порядку)

Исследование генезиса и прогноз геозенергетических ресурсов осадочной толщи на основе комплекса геофизических и изотопно-геохимических методов.

Научный руководитель темы, д.г.-м.н.,  
заведующий лабораторией ГЭР  
ИПГ ДНЦ РАН

\_\_\_\_\_ Маммаев О.А.,

Руководитель структурного подразделения  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки  
заведующий лабораторией ГЭР  
ИПГ ДНЦ РАН

\_\_\_\_\_ Маммаев О.А.,