

Б. Г. ПОЛЯК, В. И. КОНОНОВ

ГЕОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИСЛАНДИИ

(Представлено академиком А. В. Пейве 6 III 1974)

В работе (1) нами было указано на существование в Исландии определенной пространственной зональности газового состава современных гидротерм, хорошо согласующейся с геолого-структурным районированием острова. Специфической особенностью этой зональности является наличие, кроме обычных для районов вулканической и тектонической активности азотных, углекислых и азотно-углекислых терм (2), особого типа гидротермальных систем, отличающихся высоким содержанием водорода. Такие «водородные» термы распространены в осевых частях Срединной неовулканической зоны, интерпретируемой многими исследователями (3-5) как паземное выражение рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта. В периферических частях этой зоны и ее окаймлении встречаются азотно-углекислые термы; углекислые развиты в отмирающей вулканической зоне п-о. Снайфедльснес, а в областях так называемых древних плато-базальтов и ранне-четвертичных вулканитов — азотные.

Гидротермальная активность представляет собой одну из геологических форм двуединого процесса теплопереноса, и химический состав гидротерм характеризует лишь одну сторону этого явления. Для полной его характеристики необходим учет еще и тепловых параметров, свойственных гидротермам того или иного региона или генетического типа. Такими параметрами являются температура флюидов и тепловая мощность их разгрузки.

Г. Бедварссон (6) подразделил проявления современной гидротермальной активности в Исландии на две большие группы: «высокотемпературные» и «низкотемпературные». Он считал формирование всех терм результатом нагрева метеорных вод в гидрогеологическом конвекционном цикле. Температуру на уровне базиса этого цикла (предположительно на глубине 2—3 км) он называл базовой температурой и полагал, что в «низкотемпературных» областях она не превосходит 150° и обеспечивается фоновыми геотермическими условиями, тогда как в «высокотемпературных» она выше 250° и обусловлена остыванием глубинных магматических масс.

Учитывая появившиеся в последнее время оценки глубинных температур, вытекающие из геохимической специфики гидротерм (7), и дифференциацию последних по газовому составу (1), геотермическую характеристику гидротерм Исландии можно детализировать (см. табл. 1).

Поверхностная температура гидротерм Исландии находится в диапазоне от немногим большей, чем климатическая среднегодовая в данном пункте, до точки кипения. У азотных терм температура на выходе их на дневную поверхность довольно различна, но, как правило, лежит ниже точки кипения. Температура углекислых терм заключена в более узком диапазоне: от 7—7,5 до 30—40°. Температура азотно-углекислых терм, или терм гейзерного типа, разгружающихся на поверхность в виде паро-водяной смеси, равна температуре кипения. Эта же температура максимальна и для водородных терм, разгружающихся только в виде струй насыщенного или влажного пара. Такой характер их разгрузки указывает на подзем-

Геотермическая дифференциация гидротерм Исландии *

Типы гидротерм по газовому составу и области их распространения	Температура, °C		расчетная глубинная Si-температура	Площадь зоны распространения, 10 ³ км ²	Тепловая мощность разгрузки, 10 ⁷ кал/сек	Удельный выход тепла, 10 ⁻⁴ кал/см ² .сек
	измеренная в очаге разгрузки					
	на выходе терм	максим. на глубине (глуб., м)				
Азотные	< t _{кип}		40—120			
Северо-Западная Исландия		96 (186); 146 (2199)		34,16	4,94	0,14
Юго-Восточная Исландия		Нет свед.		31,06	0,17	0,0055
Углекислые	40					
п-о. Свайфедльснес		40 (40)	153	2,19	0,13	0,06
Азотно-углекислые	t _{кип}		137—274			
Северная Исландия		Нет свед.	149	2,11	1,76	0,86
Юго-Западная Исландия		100 (28; 205)		3,44	9,80	2,85
Водородные	t _{кип}		174—266			
Северная Исландия		289 (1100)	217—266	14,85	9,20	0,64
Юго-Западная Исландия		292 (1700)	174—265	8,32	16,5	1,98
Юго-Восточная Исландия		Нет свед.	184—209	9,00	50,5	5,56

* Составлена по данным Департамента природного тепла Исландии и приведенным в работах (6, 9), а также оценок, сделанных авторами в процессе полевых работ в Исландии группы сотрудников Геологического института (1970 г.) и Советской комплексной геолого-геофизической экспедиции АН СССР (1971—1973 гг.).

ное кипение в резервуаре, т. е. на положение границы фазового перехода вода — пар ниже поверхности Земли.

С глубиной температура гидротерм любого типа возрастает, но в различной мере (см. табл. 1). Применительно к азотным термам в результатах непосредственных измерений температуры можно усмотреть подтверждение представлений (6, 8) о формировании гидротерм в региональном (фоновом) геотермическом поле при инфильтрации метеорных вод на глубину порядка 2—2,5 км. Очаги разгрузки углекислых терм разбурены слишком неглубоко, чтобы можно было с уверенностью судить о специфике распределения глубинных температур в районах их развития. То же относится и к азотно-углекислым термам, наиболее мощные системы которых вообще не разбурены, а имеющиеся данные относятся к окраинным частям зоны их распространения и, по-видимому, характеризуют пограничные случаи. Вместе с тем, мировой опыт показывает, что в недрах подобных систем температура уже на первых сотнях метров достигает 200° и более. Резко обособляется группа водородных терм, очаги разгрузки которых прогреты в максимальной степени. Этот прогрев трудно объяснить моделью, принимавшейся Бедварссоном, — в таком случае глубина конвекционного цикла при фоновом распределении температур (экстраполированном из установленных (8, 9) в верхах разреза значений геотермического градиента порядка 50—60 град/км) должна составить 5—6 км, что заметно превышает глубину активной циркуляции метеорных вод по представлениям Бедварссона.

О глубинных температурах гидротерм можно судить и косвенным путем — по расчетам, основанным на термодинамике равновесий вода — кварц и вода — халцедон для наблюдающихся концентраций кремнезема в водах. Рассчитанные С. Арнорссоном (7) для исландских терм значения этой «Si-температуры» могут служить ориентировочной характеристикой, недостатком которой является отсутствие точной привязки по глубине.

Тем не менее, как видно из табл. 1, эти оценки четко указывают на геотермическую специфику гидротерм различного газового состава. В углекислых термах «Si-температура» определена только в одном случае. Привлекает к себе внимание ее значительное отличие от температуры вод на выходе. Учитывая высокий газовый фактор углекислых терм, это расхождение можно считать результатом их охлаждения по мере подъема к поверхности вследствие адиабатического расширения углекислоты. Кажется, что в азотно-углекислых термах с их много меньшим газовым фактором этот

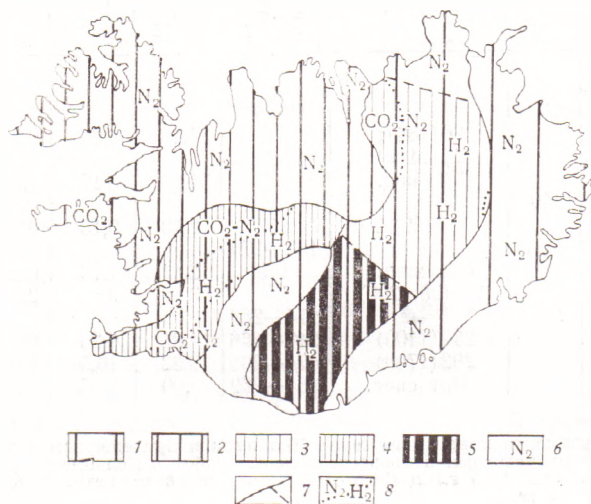


Рис. 1. Зональность геотермического эффекта разгрузки гидротерм в Исландии. 1-5 — зоны различной величины геотермического эффекта разгрузки гидротерм (10^{-8} кал/см²·сек): 1 — от 0 до 0,1, 2 — от 0,1 до 0,2, 3 — от 0,2 до 1,2, 4 — от 1,2 до 3,2, 5 — больше 3,2; 6 — символ типа гидротерм по газовому составу, развитых в данной зоне; 7 — границы этих зон; 8 — границы областей распространения гидротерм различных типов

процесс не должен бы заметно охлаждать поднимающиеся флюиды, однако по величинам «Si-температуры» эти термы практически объединяются с водородными, что ставит вопрос об определенном сходстве условий их прогрева.

Тепловой потенциал азотно-углекислых и водородных терм трудно объяснить моделью Бедварссона. Локальная тепловая мощность их разгрузки, достигающая 10^7-10^8 кал/сек, по этой модели может быть обеспечена региональным кондуктивным теплопоток (1,5—2,9 · 10^{-6} кал/см²·сек⁽⁸⁾) только при условии полного его съема с площадей порядка сотен и тысяч квадратных километров. Это нельзя согласовать ни с геологическими структурами таких систем, ни с продолжительностью их существования. В южной ветви зоны голоценового вулканизма находится самая мощная современная гидротермальная система не только Исландии, но и мира — водородные термы района Торфайокудль. Вынос тепла при их разгрузке оценивается в $5 \cdot 10^8$ кал/сек⁽⁶⁾. Если отнести эту величину ко всей площади данной ветви, то осредненный таким образом вынос тепла гидротермами составит $5,56 \cdot 10^{-6}$ кал/сек·см², что в пять раз больше среднепланетарного значения кондуктивных теплопотерь и в два раза больше фонового их значения для Исландии. Но при таком осреднении площадь формирования этих терм явно сильно преувеличивается, и истинный удельный вынос тепла в данной системе должен быть еще больше. Отсюда следует, что тепловой потенциал столь мощных гидротерм может быть реально обеспечен лишь притоком снизу глубинного теплоносителя, предполагавшимся В. В. Аверьевым⁽¹⁰⁾. В этой связи привлекает к себе внимание происхождение водорода, если учесть его самую большую среди природных тел теплоемкость и высокую миграционную способность.

Наиболее явной выглядит геотермическая специфика выделенных нами типов гидротерм при оценке геотермического эффекта их разгрузки. Такая оценка основывается на подсчете суммарного выноса тепла термами

того или иного типа в разных частях страны и отнесении этой величины к площади рассматриваемого участка зоны развития данных терм. Результаты этой оценки приведены в табл. 1 и выражены графически на рис. 1. Обнаруживающаяся при этом гидрогеотермическая зональность хорошо согласуется с гидрогеохимической и очень четко маркирует простирание Срединной неовулканической зоны. Отмеченная уже общность геотермических параметров азотно-углекислых и водородных терм проявляется еще ярче. Вместе с тем, наблюдаются некоторые особенности гидрогеотермических условий в разных частях Срединной зоны. Так, более «холодными», чем можно было ожидать, выглядят интервал между юго-западной и южной ветвями области голоценового вулканизма и особенно прилегающее к океану окончание ее северной ветви. Полученные оценки, свидетельствуя о резкой геотермической аномальности Срединной зоны по сравнению с прилегающими областями дочетвертичных платобазальтов, одновременно указывают на значительную неоднородность геотермического режима вдоль ее оси, наводя на мысль о существовании какого-то барьера в средней части Исландии. В то же время, наблюдаются заметные различия в геотермическом эффекте разгрузки гидротерм между Северо-Западной и Юго-Восточной Исландией, и возникает впечатление о субширотной «геотермической асимметрии» этого региона.

Авторы весьма признательны д-ру Г. Пальмасону и д-ру С. Арнорссону (Департамент природного тепла Исландии) за поддержку проведенных исследований, предоставление необходимых материалов и полезное обсуждение затронутых вопросов.

Геологический институт
Академии наук СССР
Москва

Поступило
15 II 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Кононов, Б. Г. Поляк, ДАН, т. 214, № 1 (1974). ² В. В. Иванов, Геохимия, № 5 (1960). ³ С. Тораринссон, В кн. Система рифтов Земли, М., 1970. ⁴ P. L. Ward, J. Palmason, C. L. Drake, J. Geophys. Res., v. 74, № 2 (1969). ⁵ В. В. Муратов, Изв. высш. учебн. завед., Геология и разведка, № 12 (1961). ⁶ G. Bóðvarsson, U. N. Conf. New Sources Energy, Rome, Italy, 1961. ⁷ S. Arnorsson, U. N. Symp. Development Utilization Geothermal Resources, Pisa, Italy, 1971. ⁸ G. Palmason, In: Iceland and Mid-ocean Ridges, Reykjavik, 1967. ⁹ G. Palmason, Crustal Structure of Iceland from Explosion Seismology, Reykjavik, 1971. ¹⁰ В. В. Аверьев, В кн. Современный вулканизм, «Наука», 1966.