

IV. СОДЕРЖАНИЕ РАДОНА В СПОНТАННЫХ ГАЗАХ УЗОНСКИХ ТЕРМ

В 1969 г. была проведена серия измерений концентрации радона в спонтанных газах источников термоаномалии. Одновременно определялся химический состав газов. Поскольку отбор проб газов из интенсивно кипящих источников фактически невозможен без примеси воздуха, то в измеренные величины были введены поправки на разбавление воздухом. Для этого из состава проб исключили весь кислород и количество азота, пропорциональное атмосферному отношению $N_2 : O_2 = 3,73$ (табл. 46).

Таблица 46

Концентрация радона, химический состав (в объёмных %) спонтанного газа и гидротерм кальдеры Узон.

Аналитик Т.Г.Алексеева

Номер пробы	Ионный состав	pH	T °C	гн·10 ⁻¹ , мг/л	Исправлено за разбавление вседутом							Химический состав газа				
					Химический состав газа							Химический состав газа				
					CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	H ₂	H ₂ S	гн·10 ⁻¹ , мг/л	CO ₂	N ₂	CH ₄	H ₂	H ₂ S
Восточное поле																
I участок																
114	---	---	---	45	93,61	0,15	5,65	---	0,59	---	---	---	---	---		
9	M _{0,25} $\frac{SO_4 34 HCO_3 8}{Na 37 Ca 30 Mg 20}$	6,50	36	40	93,60	0,32	5,76	---	---	0,29	---	---	---	---		
71	M _{1,9} $\frac{SO_4 55 Cl 43}{Me 85 Mg 15}$	5,35	66	85	91,50	---	4,61	1,58	2,30	---	---	---	---	---		
115	---	---	---	50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
107	---	---	30	40	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
113	---	---	---	90	61,74	6,86	31,61	---	0,39	---	120	90,86	8,50	0,58		
8	M _{0,4} $\frac{SO_4 50 Cl 50}{Me 77 Ca 16}$	4,00	---	95	70,18	6,49	19,94	3,39	---	---	130	95,40	---	4,60		
14	M _{0,6} $\frac{Cl 58 HCO_3 27 SO_4 15}{Me 75 Ca 14 Mg 6}$	6,00	66	60	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
105	---	---	62	45	94,01	0,32	4,24	1,08	0,29	0,06	---	---	---	---		
70	M _{1,9} $\frac{Cl 69 SO_4 27}{(Na + K) 90}$	6,05	---	50	92,25	0,50	4,65	1,90	---	---	---	---	---	---		
II участок																
74	M _{1,6} $\frac{Cl 88 SO_4 29}{(Na + K) 90}$	5,60	55	80	71,60	2,42	25,95	---	---	0,08	90	80,92	19,04	---		
5	---	---	---	200	63,65	5,40	27,68	2,31	0,96	---	270	85,66	9,95	3,11		
120	---	---	---	120	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
121	---	---	---	535	72,87	1,25	7,57	14,86	3,45	---	560	76,66	4,07	15,63		
2	M _{3,8} $\frac{Cl 93}{(Na + K) 94}$	5,80	86	185	26,86	12,08	60,35	---	0,69	0,08	440	63,20	35,13	---		
81	M _{0,8} $\frac{SO_4 53 Cl 40 HCO_3 7}{(Na + K) 85 Ca 8}$	6,50	65	65	81,83	2,31	12,80	2,22	0,79	0,06	70	92,03	3,81	2,50		
106	---	---	74	40	89,72	0,19	6,49	1,22	1,58	0,80	---	---	---	---		
108	---	---	76	30	84,24	2,81	11,94	0,84	---	0,17	35	97,23	1,60	0,97		
116	---	---	---	70	84,78	1,29	8,21	4,77	0,95	---	75	90,33	3,58	5,08		
III участок																
1	M _{1,1} $\frac{Cl 55 SO_4 34 HSO_3 11}{(Na + K) 83}$	7,10	91	140	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
21	M _{1,4} $\frac{Cl 93 SO_4 16}{(Na + K) 88 Mg 6}$	5,00	---	140	87,59	0,35	5,72	4,09	2,25	---	---	---	---	---		
23	M _{0,6} $\frac{Cl 46 SO_4 46}{(Na + K) 74 Ca 12}$	6,50	94	350	35,66	12,46	51,88	---	---	0,21	990	87,68	12,36	0,51		
122	---	---	---	260	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
124	---	---	---	380	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
127	---	---	---	410	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
128	---	---	---	165	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
129	---	---	---	240	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
123	---	---	---	185	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
80	M _{0,7} $\frac{SO_4 52 Cl 34 HCO_3 14}{(Na + K) 84 Ca 8}$	6,25	71	585	78,78	---	10,61	6,67	3,88	0,04	---	---	---	---		
131	---	---	---	315	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
132	---	---	---	530	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
112	---	---	---	1000	24,26	2,37	67,06	2,17	4,14	---	1130	27,46	65,54	2,44		
126	---	---	---	285	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
34	M _{0,5} $\frac{HCO_3 69 Cl 23}{(Na + K) 58 Ca 22 Mg 17}$	7,00	77	10	95,96	1,83	1,38	---	---	0,93	10	99,04	---	0,96		
140	---	---	---	350	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
79	---	---	83	670	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
111	---	---	---	580	42,68	11,00	45,75	0,09	0,48	0,21	1220	89,60	9,20	0,19		
Участок озера Фумарольного																
125	---	---	---	575	91,35	0,12	8,34	0,19	---	---	---	---	---	---		
48	M _{1,7} $\frac{Cl 92 SO_4 6}{(Na + K) 90}$	3,00	77	575	71,85	4,71	22,29	0,67	0,48	---	740	92,61	5,90	0,86		
32a	---	---	---	70	140	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
32	M _{2,6} $\frac{Cl 95}{(Na + K) 95}$	5,00	70	80	2,10	6,11	94,31	---	0,47	---	110	2,96	96,21	0,66		
118	---	---	---	40	89,74	0,04	9,67	0,39	0,15	0,33	---	---	---	---		

Номер источника	Ионный состав	pH	T °C	Rn-19-10 кюри/л	Измерено						Исправлено за разбавление воздухом					
					Химический состав газа						Химический состав газа					
					CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	H ₂	H ₂ S	Rn-19-10 кюри/л	CO ₂	N ₂	CH ₄	H ₂	H ₂ S
119	—			160	70,48	3,27	22,90	2,12	1,15	—	190	82,49	13,67	2,50	1,38	—
117	—		81	125												
45	M _{0,8} $\frac{HCO_3 62 SO_4 38}{(Na+K) 52 Ca 31 Mg 12}$	5,20	59	360	81,12	—	10,41	6,48	2,29	—	—	—	—	—	—	—
46	M _{1,3} $\frac{SO_4 82 Cl 20}{(Na+K) 71 Mg 10}$	3,00	94	250	79,53	2,19	15,52	1,62	1,14	1,28	280	88,78	8,14	1,80	1,27	1,42
Участок Северный																
83	M _{0,6} $\frac{SO_4 65 Ca 21}{(Na+K) 81 Ca 9}$	4,20	54	110	90,05	0,29	—	8,63	0,78	0,25	—	—	—	—	—	—
Участок Оранжевый																
109	—		61	150	85,38	0,41	—	4,78	2,49	0,13	—	—	—	—	—	—
Площадка Восьмерка																
37	M _{0,7} $\frac{Cl 39 SO_4 37 HCO_3 24}{Na 55 Ca 24 NH_4 8}$	6,65	51	345	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Участок Южный																
49	M _{1,1} $\frac{HCO_3 56 Cl 33 SO_4 11}{(Na+K) 68 Ca 22 Mg 8}$	6,50	—	10	69,87	6,02	21,38	1,33	1,38	0,03	10	96,24	—	1,70	1,90	0,05
Участок Береговой																
133	—			575	89,50	0,29	5,15	3,06	1,99	—	—	—	—	—	—	—

На карте изоконцентраций четко выделяются три изолированные аномалии, неположенные на I, II и III участках. На термометрической карте видно, что на этих участках изотермы 50°, 70° и 90° также ограничивают замкнутые, разделенные между собой площади. Контуры температурных и радоновых аномалий в общих чертах совпадают, что, вероятно, свидетельствует об общности причин их образования. Изолированность аномалий, а также конфигурация изолиний концентраций радона и изотерм дают основание полагать, что аномалии фиксируют пересечения основного северо-западного разлома с трещинными зонами северо-восточного простирания. Эти места являются каналами, по которым глубинные гидротермы выходят на поверхность. Наличие крупного северо-западного разлома доказывается расположением всех термопроявлений в кальдере и общим направлением радоновой аномалии Восточного поля. Указанием на существование трещинных зон северо-восточного направления, кроме конфигурации изолиний концентрации радона и изотерм, служит линейное расположение некоторых источников. По-видимому, одна из мощных северо-восточных трещинных зон находит отражение в расположении термальных площадок Северной, Оранжевой и Цепочки. Эта зона пересекает северозападный разлом на III участке Восточного поля, где наблюдается наиболее интенсивная радоновая аномалия. Здесь происходит наибольшая теплоотдача. По данным Г. Н. Ковалева и Ю. Б. Слезина, суммарный вынос тепла и удельная тепловая мощность отдельных участков Узонской термоаномалии характеризуются следующими данными (табл. 47).

Таблица 47

Суммарный вынос тепла и удельная тепловая мощность отдельных участков Узонской термоаномалии

Район	Суммарный вынос тепла, ккал/сек	Удельная тепловая мощность, 10 ⁴ ·мккал/сек·см ²
Восточное поле:	41 150	2,2
I участок	11 150	2,0
II участок	12 700	2,1
III участок	17 300	2,3
Участок озера Фуманьного	16 200	1,3
Всего	64 000	1,2

Интенсивность радоновых аномалий по участкам хорошо согласуется с интенсивностью теплоотдачи. Совокупность этих данных позволяет с уверенностью сказать, что основные каналы, по которым подводятся к поверхности исходные перегретые термальные растворы, расположены на III участке.

Сравнение карт изоконцентраций радона и гидрохимической зональности показывает, что повышенные концентрации радона наблюдаются во внутренней зоне, где разгружаются исходные хлоридно-натриевые воды. По мере удаления от центра очага разгрузки к его периферии отмечается снижение содержания радона в спонтанных газах. Это и понятно, так как в формировании гидротерм промежуточной и внешней зон принимают участие депарированные - хотя и горячие - хлоридно-натриевые и пресные холодные грунтовые воды. Специфические условия разгрузки - непосредственно над областью их

формирования, на одном гипсометрическом уровне - привели к тому, что гидрохимические зоны располагаются концентрически по отношению к термовыводящим каналам.

Выше было показано, что изолинии аномальной концентрации радона тоже окружают термовыводящие трещины. Максимумы содержаний в радоновых аномалиях и места разгрузки хлоридно-натриевых гидротерм свидетельствуют об одном и том же - здесь происходит приток глубинных перегретых вод к поверхности. Причем радон, в силу своей химической инертности и неспособности накапливаться в водах бессточных грифонов и котлов по причине краткости периода полураспада, является более объективным показателем при расшифровке сети термовыводящих каналов. Это хорошо видно на примере III участка Восточного поля. Выходы хлоридно-натриевых вод представлены малочисленными и небольшими по величине грифонами. Г. Ф. Пилипенко на гидрохимической карте не выделяет в этом районе внутренней зоны. Но радоновая аномалия, суммарный вынос тепла и удельная тепловая мощность однозначно свидетельствуют о том, что основные термовыводящие каналы расположены на III участке. По нашему мнению, гидрохимическая зональность здесь смазана поверхностными водотоками и водоемами, которые широко распространены на III участке. Например, в Горячем Логу на трещине, отражающейся в рельефе местности, линейно расположены источники с радоном. По Горячему Логу происходит частичный сток воды из оз. Утинового, в него же впадает руч. Мишин. По-видимому, исходный термальный раствор после дегазации в зоне парообразования при дальнейшем движении вверх не успевает отжать в стороны пресную холодную воду и, смешиваясь с ней, дает на поверхности пестрый состав. Газовая же составляющая глубинных вод «протыкает» (по В. В. Аверьеву) смешанную поверхностную воду и выносит большую часть радона, присутствовавшего в исходных термах.

Объяснение высоких содержаний радона наличием в воде радия оказывается несостоятельным. Попытка определить количество радия в водах источников Центрального, Бурлящего и Глубокого показала, что содержание его менее 10^{-12} г/л.

По-видимому, высокие концентрации радона в газах источников обусловлены ураном-радием, которые привносятся в нижние части гидротермальной системы эндогенным флюидом и при резкой смене физико-химических условий выпадают из раствора и накапливаются в недрах системы. Подтверждением этому может служить характер распределения радона в других гидротермальных системах Камчатки (Чирков, 1971, 1971₂). Там, где области формирования и разгрузки высокотемпературных гидротерм пространственно разделены, концентрация радона убывает по мере удаления от очага нагрева (Паужетская и Киреунская системы). В пользу высказанного предположения свидетельствует также удивительное сходство окolorудных гидротермальных изменений пород, наблюдаемых на месторождениях урана (Омельяненко, 1966) с гидротермальным метаморфизмом пород на Узоне и в других высокотемпературных системах (Набоко, 1963, 1966). Еще более поразительным является подобие структурно-геологических особенностей рудных полей и месторождений урана с современными высокотемпературными системами. Обобщенная схема геологического строения урановых рудных полей гидротермального генезиса, приуроченных к вулканогенным образованиям верхнего и среднего ярусов геосинклинального этажа (Вольфсон и др., 1966), является почти точной копией кольцевых вулканотектонических депрессий, с которыми связаны наиболее мощные гидротермальные системы Камчатки (Эрлих, 1965, 1966). На схеме Ф. И. Вольфсона обращает на себя внимание приуроченность оруденения к зонам разрывных нарушений (зоны восходящего движения флюида и гидротермальных растворов в современных системах) и к проявлениям кислого вулканизма.