

УДК 551. 21

РАДОН В СПОНТАННЫХ ГАЗАХ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
КАЛЬДЕРЫ АКАДЕМИИ НАУК

В.И. Андреев, Г.А. Карпов

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
683006.*

Объемная активность радона (OARn) в спонтанных фумарольных газах может быть индикатором состояния вулканов и гидротермальных систем. Известны примеры успешного использования вариаций OARn в качестве предвестника землетрясений. В спонтанных газах гидротермальных систем Камчатки, в частности в кальдерах вулканов Карымский и Академии Наук, OARn может достигать высоких значений в $n \cdot 10^5$ Бк/ м³ [5,10]. Субаквальное извержение со дна Карымского озера, расположенного в кальдере Академии Наук, произошло 02.01.96 г. одновременно с началом извержения Карымского вулкана, продолжающегося с небольшими перерывами до настоящего времени. Этим извержениям предшествовала и, в первые несколько недель, сопутствовала сейсмическая активизация, захватившая Карымский вулканический центр [6]. Сейсмическая активизация сопровождалась всевозможными сейсмодислокациями: разрывами, провалами и др., проявившимися в зоне разлома субмеридианального направления, трассирующегося

вулканами Академии Наук, Карымский, Двор. Причем наиболее интенсивно сейсмодислокации проявились в узкой ~ 300 м зоне, проходящей вдоль реки Карымской от ее истока на протяжении порядка 3-4 км [8].

В результате субаквального извержения возник полуостров Новогодний площадью 0.47 км² с подводным кратером и множеством выходов спонтанного газа, в первое время рассредоточенных, а затем локализовавшихся и в большинстве своем заглохших. В последние годы наиболее активные выходы спонтанного газа проявлялись в русле реки Карымской в 400 м ниже истока, в русле возникшего после лахара 15.05.96 г. ручья Горячего, в 6-й воронке и рассредоточенные слабые выходы на мелководье у южной оконечности полуострова Новогоднего. После субаквального извержения и сейсмодислокаций произошли изменения на существовавших ранее термальных источниках и возникли или активизировались выходы термальных вод и спонтанных газов на берегах Карымского озера. Продолжалось активное выделение спонтанного газа в Восточной группе источников Академии Наук, возникли или активизировались источники Западной группы, в примерно 1 км к востоку в небольшой бухте на мелководье выделяется газ из рассредоточенных выходов группы Береговой. На восточном берегу озера, примерно в 0.8 км к юго-востоку от истока реки Карымской, возникла на пляже и мелководье протяженная прогретая зона с выходами термальных вод и газов - группа Медвежьих источников.

Термин «Гидротермально-магматическая система» применен, поскольку термальные источники, приуроченные к полуострову Новогоднему, возникли одновременно с кратером Токарева или через 4 месяца после его образования, вслед за сходом лахара и понижением уровня озера. Часть этих источников действует сейчас и, судя по высокой OARn, очевидно, связана не только с поверхностными вулканическими, но также и с более глубинными магматическими формированиями.

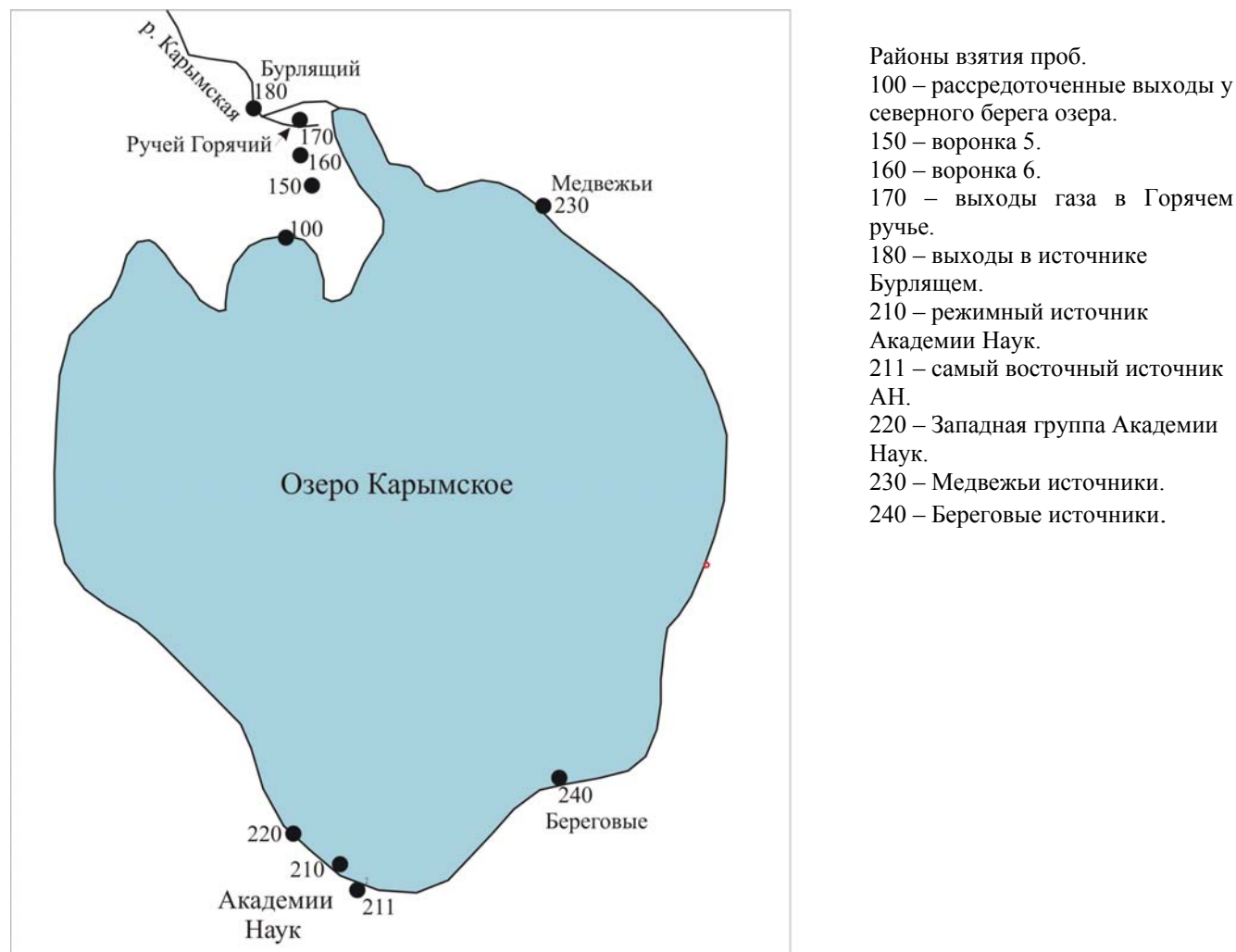


Рис. 1. Карта-схема фактического материала, отбора проб спонтанного газа

Измерения OARn в спонтанном газе термальных источников начаты в марте 1996 г. и периодически проводятся до настоящего времени. Измерения выполняются радиометром РГА-01 по стандартной методике. Территория исследований была разбита на два поля. Первое (1) - Новогодний полуостров, второе (2) - Карымское озеро. Внутри каждого поля были выделены объекты более мелкого порядка. В пределах Новогоднего полуострова выделены воронки (1-6), выходы газа в русле ручья Горячего (7), в русле реки Карымской источник Бурлящий (8) и др. По берегам Карымского озера выделены источники Восточной (1) и Западной (2) групп Академии Наук, Медвежья группа (3), Береговая группа (4). Каждое место или район отбора спонтанного газа в таблице и на схеме отбора фактического материала обозначается трехзначной цифрой. Например, 170 - в ручье Горячем, 210 - режимная ванна в Восточной группе источников Академии Наук и т. д.

Таблица 1. Состав спонтанного газа и OARn за 2003 г и среднее за период наблюдений

Компонент % об./№ пробы	160	170	180	210	211	230	240
He	0	0.002	0.013	0	0	0	0.002
H ₂	0	0.0	0.0	0	0	0	0
O ₂	19.029	0.90	1.5	22.347	26.241	1.746	0.935
Ar	0.934	1.50	1.66	1.56	1.524	1.813	0.869
N ₂	76.018	49.48	89.58	72.842	69.164	94.429	30.927
CO	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂	4.0	0.10	7.24	3.2	3.056	1.92	64.96
CH ₄	0.02	48.12	186·10 ⁻⁶	0.05	0.015	0.092	2.286
C ₂ H ₆	47.7·10 ⁻⁶	н.о	0	201.2·10 ⁻⁶	46.9·10 ⁻⁶	278.9·10 ⁻⁶	н.о.
C ₂ H ₄	26.2·10 ⁻⁶	н.о	14.0·10	34.4·10 ⁻⁶	23.2·10 ⁻⁶	11.2·10 ⁻⁶	н.о.
C ₃ H ₈	2.6·10 ⁻⁶	н.о	131·10 ⁻⁶	20.9·10 ⁻⁶	7.0·10 ⁻⁶	27.7·10 ⁻⁶	70.93·10 ⁻⁶
C ₃ H ₆	0.14·10 ⁻⁶	50.3·10 ⁻⁶	0.71·10 ⁻⁶	5.5·10 ⁻⁶	7.0·10 ⁻⁶	0.7·10 ⁻⁶	86.15·10 ⁻⁶
IC ₄ H ₁₀	0	16.81·10 ⁻⁶	52.7·10 ⁻⁶	1.1·10 ⁻⁶	0.54·10 ⁻⁶	5.4·10 ⁻⁶	11.46·10 ⁻⁶
NC ₆ H ₁₄	0	16.37·10 ⁻⁶	36.15·10 ⁻⁶	3.3·10 ⁻⁶	1.4·10 ⁻⁶	6.7·10 ⁻⁶	13.64·10 ⁻⁶
OARn	<u>920</u>	<u>1100</u>	<u>50000</u>	<u>110000</u>	<u>17000</u>	<u>370</u>	<u>18000</u>
Бк/м ³	3348	2376	42289	101670	14000	2648	33500
среднее (n)	(6)	(10)	(18)	(20)	(4)	(5)	(4)

Примечание. В последней строке OARn Бк/м³ верхняя цифра - измерения за 2003 г., ниже – среднее значение, цифра в скобках – количество измерений за период наблюдений

В марте 1996 года в воронках (точки 150, 160) была замерена гамма-активность - 39 мкР/ч.

Весной следующего 1997 года гамма-активность в этих же точках составляла 5-7 мкР/ч и сохранялась на том же уровне в течение последующего периода наблюдений.

Среди источников спонтанного газа, местоположения и анализы которых приведены на схеме и в таблице, сравнительно большой расход порядка 0.1 л/сек стабильно имели источники Академии Наук (210, 211) и Береговые источники (240), в первые несколько лет расход не менее 0.5 л/сек имел источник Бурлящий (180), в последние годы его расход снизился на порядок.

В составе газов преобладает азот. В некоторых выходах, особенно в источниках Академии Наук, отмечена большая концентрация O₂, превышающая атмосферную. В ручье Горячем (170) спонтанный газ содержит около 50 % метана, ~2.3 % метана содержится в спонтанном газе стабильно действующих Береговых источников. В газах ряда источников,

особенно Бурлящего и Береговых, - сравнительно высокое содержание тяжелых углеводородов. При сравнении средних и измеренных в 2003 г. OARn видна общая тенденция к уменьшению этой величины в газе источников Новогоднего полуострова.

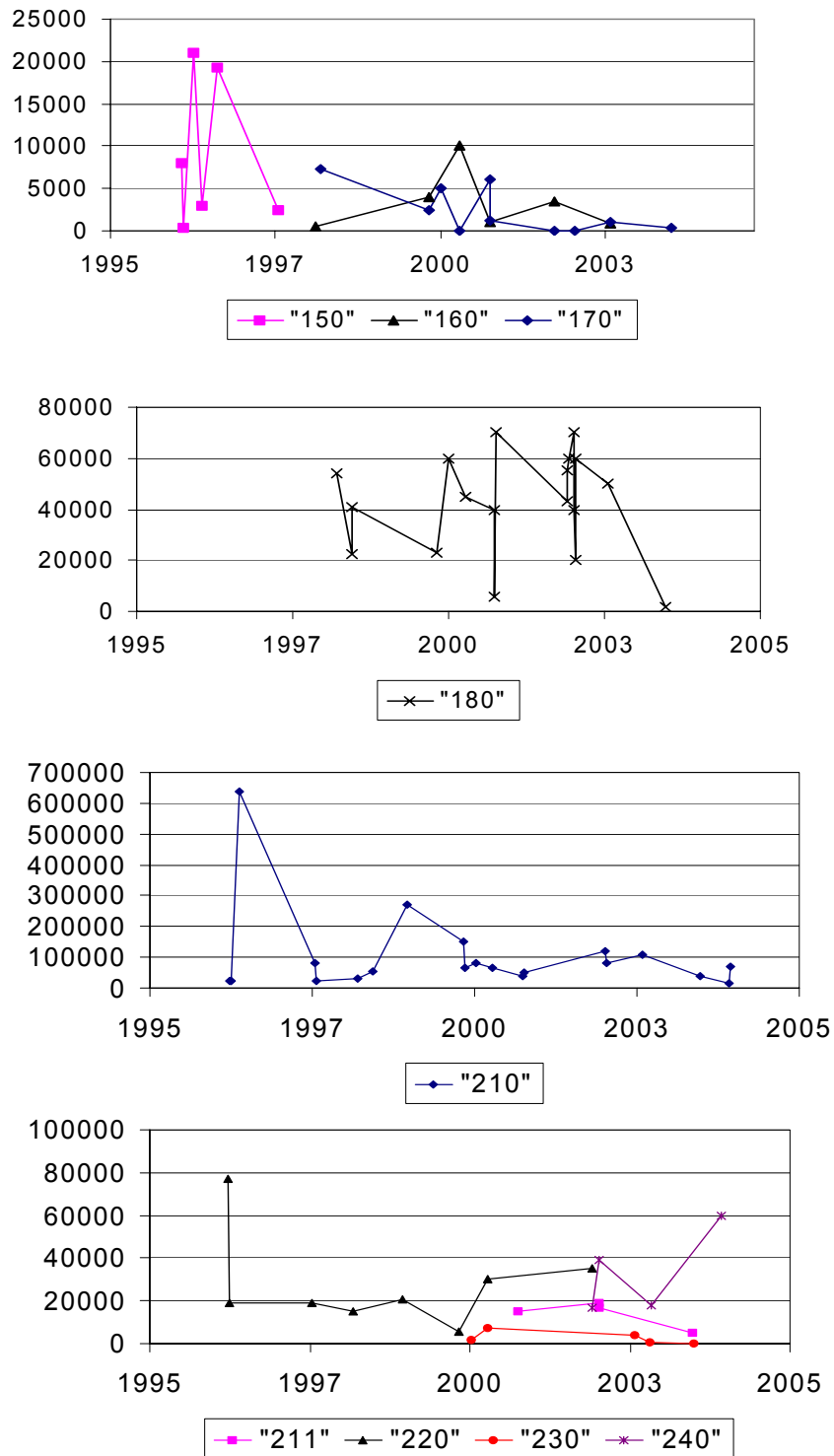


Рис. 2. Динамика изменения объемной активности радона в спонтанных газах отдельных источников за период наблюдений. (По оси x - время в годах; по оси y - OARn в Бк/м³)

Обсуждение результатов

Приведенные результаты замеров OARn получены в районах территориально и геоструктурно совпадающих (район 1) или приуроченных (район 2) к моногенной вулканической постройке, возникшей 02.01.96 г., вблизи (в 6 км) от действующего и извергающегося в настоящее время Карымского вулкана. Предыдущие исследователи [10] полагали, что вариации OARn в спонтанных газах Карымских термальных источников,

расположенных у южного края кальдеры Карымского вулкана, связаны с активностью этого вулкана. Интерпретация представленных данных по OARn в спонтанных газах в кальдере Академии Наук осложняется появлением нового вулкана - кратера Токарева и сейсмодислокациями района исследований.

При исследовании данных по OARn вообще и, в частности, представленных нами, следует рассмотреть две главных проблемы:

1. Источник радона.
2. Причины вариаций OARn.

Источником радона является ^{238}U . Величина OARn определяется прежде всего содержанием материнского изотопа во вмещающей породе. Содержание материнских радионуклидов, в частности ^{238}U и его дочернего изотопа ^{226}Ra , предшествующего в ряду распада ^{222}Rn , было исследовано нами ранее в изверженных породах субаквального извержения в кальдере Академии Наук, в ксенолитах, вынесенных этим извержением и в современных вулканогенных породах Карымского вулкана, и составляет от 0.4 в базальтах до 2.4 г/т в липаритах [2,4]. Различные свойства радионуклидов в ряду распада ^{238}U в сочетании с активными вулканическими и поствулканическими процессами могут вызывать нарушение радиоактивного равновесия. Такое нарушение между ^{238}U и ^{226}Ra в молодых (возраста < 10 тыс. л) вулканогенных породах обычно в пользу ^{226}Ra встречается, в частности, в изверженных породах Карымского вулканического центра, где Ra/U достигает 3.33. В поствулканических новообразованиях, в частности, во фторидах, это отношение может быть выше [2].

Следующим фактором, весьма существенно влияющим на величину OAR, является эманационная способность вмещающих пород, определяемая в основном их проницаемостью и температурой. Проницаемость и, соответственно, удельная поверхность грунтов может существенно изменяться при деформациях [7]. На этом эффекте основаны комплексные методы геокартирования в части выделения зон разломов и дислокаций [9]. В результате сейсмотектонических деформаций подстилающих вулканогенно-осадочных пород возросла их эманационная способность. В результате, в вышележащей снежной толще в мае 1996 года была зафиксирована необычно высокая OARn (до 10^4 Бк/м³), пришедшая к обычному для снега значению на следующий год [3]. Воздействие сейсмодислокаций на изменение эманационной способности пород, вмещающих гидротермальную систему, может, вероятно, проявляться в течение нескольких лет после мощного сейсмического события, постепенно ослабевая по мере стабилизации этой гидротермальной системы.

Воздействие эксплозий действующего вулкана, расположенного в 6 км от кальдеры Академии Наук, может в значительной мере преобразовываться в связи с продолжающейся перестройкой гидротермальной системы и ослабляться приграничными породами.

Разогревом больших масс твердых пород, вмещающих периферический магматический очаг, и, соответственно, увеличением их эманационной способности объясняется повышенная на порядок OARn в пеплогазовом шлейфе БТТИ и в многочисленных термопроявлениях в первые годы после этого извержения [1].

Именно этими факторами - сравнительно высокой температурой, большой удельной поверхностью и проницаемостью пород, сформировавших Новогодний полуостров, объясняется их необычно высокая гамма-активность, снизившаяся до обычного значения по истечении года.

Из представленных нами результатов мониторинга OARn за последние 8 лет и данных предыдущих исследований видно, что существует долгоживущая гидротермальная система с выходами термальных источников Академии Наук. Судя по толщам гейзерита, видимая мощность которых достигает 6 м, эта система существует, изливая на поверхность термальные воды и выделяя спонтанные газы, несколько десятков тысяч лет. По нашим наблюдениям скорость отложения гейзерита < 1 мм в год. Спектральным анализом в гейзерите обнаружен свинец в количестве 0.02 вес.% (аналитик Н.И.Чеброва), представляющий собой конечный радиоизотоп в ряду распада ^{238}U .

Очевидно, на глубине нескольких сотен метров существует коллектор – область накопления радионуклидов, в которой радиоактивное равновесие нарушено в пользу более подвижных материнских изотопов. Подобный коллектор формируется на глубине в несколько сотен метров в гидротермальных отложениях подводного вулкана Пийпа (Берингово море), где $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U} > 1000$ [4]. Из этого коллектора со спонтанным газом стабильно поступает радон, генерирующий радиогенный свинец, обнаруженный в гейзерите. Облучение водного флюида, проходящего вблизи этого коллектора, может вызывать частичную диссоциацию воды, вследствие чего возникает повышенное содержание кислорода в спонтанных газах источников Академии Наук и Береговых.

Выводы

1. Среди термальных источников, приуроченных к Карымскому озеру, выделяются две группы: первая включает термальные источники, связанные с образованием моногенного вулкана – кратера Токарева, вторая включает бывшие до извержения термальные источники, преобразованные и активизировавшиеся после извержения.
2. После извержения и сейсмотектонических дислокаций радиоактивность пород и спонтанных газов в районе действия этих факторов была повышена в течение нескольких месяцев вследствие увеличения эманационной способности этих вулканогенных пород.
3. На глубине нескольких сотен метров под источниками Академии Наук существует коллектор радионуклидов, формирующий мощные эманации радона, вызывающие частичную диссоциацию парогазового флюида.
4. Свинец, обнаруженный в гейзерите, является конечным радиоизотопом в ряду распада ^{238}U и вынесен на земную поверхность эманациями ^{222}Ra .

Список литературы

1. *Адамчук Ю В., Фирстов П.П.* Радиоактивные эманации в фумарольных газах ряда действующих вулканов Камчатки. Препринт ИАЭ 4247/1. М.: ЦНИИатоминформ, 1986. 27 с.
2. *Андреев В.И., Карпов Г.П., Пузанков Ю.М. и др.* Распределение радиоактивных элементов в породах некоторых действующих вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2001. № 1. С. 39-48.
3. *Андреев В.И., Делемень И.Ф.* Опыт изучения пространственно-временной изменчивости поля радона на юго-восточном фланге Карымского вулкана в мае 1996 г. // Вулканология и сейсмология. 2002. № 6. С. 36-40.
4. *Андреев В.И., Пузанков Ю.М., Бобров В.А. и др.* Радионуклиды в гидротермальных отложениях подводного вулкана Пийпа (Берингово море) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 1. С. 39-46.
5. *Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф., Сугробов В.М.* Общая характеристика Мутновского месторождения и прогнозная оценка ресурсов // Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1986. С. 6-41.
6. *Гордеев Е.И., Дроздин Д.В., Касахаоа М. и др.* Сейсмические явления, связанные с извержениями в Карымском вулканическом центре в 1996 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 2. С. 28-49.
7. *Гудзенко В.В., Дубинчук В.Т.* Изотопы радия и радона в природных водах. М.: Наука, 1987. 156 с.
8. *Леонов В.Л.* Поверхностные разрывы, связанные с землетрясением и извержениями, произошедшими в Карымском вулканическом центре в январе 1996 г. // Вулканология и сейсмология. 1997. № 1. С. 113-130.
9. *Титаева Н.А.* Ядерная геохимия. М.: Изд-во МГУ, 2000. 335 с.
10. *Чирков А.М.* Радон в газах некоторых вулканов и гидротермальных систем Камчатки. // Вулканизм и глубины земли. М.: Наука, 1971. С. 359-364.