

ОБЪЕМНАЯ АКТИВНОСТЬ РАДОНА ($OARn$) В СПОНТАННЫХ ГАЗАХ КАРЫМСКИХ ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ В 1996-2005 гг.

В. И. Андреев

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006,
e-mail: via@kscnet.ru*

Содержание радиоактивных элементов (РАЭ) в породах, вмещающих гидротермально-магматические системы, и объемная активность радона ($OARn$) в свободных (спонтанных) газах термальных источников этих систем всегда информативны в научном и практическом аспектах. В случаях расположения гидротермально-магматических систем вблизи действующих вулканов, возможна связь вариаций $OARn$ с активностью этих вулканов, как было установлено ранее предыдущими исследователями на Карымских термальных источниках за период 1966-1978 гг. [9]. В этом случае значение подобных данных возрастает.

В представленной работе приведены данные по измерениям $OARn$ в свободных газах Карымских термальных источников, расположенных в 3,5 км к югу от кратера Карымского вулкана, извержение которого началось 2.01.1996 г. и с небольшими перерывами продолжается до настоящего времени.

Измерения $OARn$ в свободных газах термальных источников производились во время полевых работ не реже двух раз в год (весной и осенью) радиометром РГА-01 по стандартной методике, описанной Н. А. Титаевой [8]. Район исследований, расположение термальных источников и, соответственно, точек отбора проб, показаны на карте-схеме (рис. 1). Главной целью работ был поиск источников радона и причин вариаций $OARn$.

В процессе работ были обнаружены выходы свободных газов в термальных источниках, многие из которых возникли в 1996-97 гг. после начала извержения, сопровождавшегося мощной сейсмотектонической активизацией. В течение нескольких последующих лет значительная часть термальных источников либо прекратила своё существование, либо $OARn$ в них снизилось до фоновых значений ~ 70 Бк/м³. В то же время, в начале извержения прекратилась фумарольная деятельность самого мощного горячего ($\sim 40^\circ\text{C}$) источника, в свободных газах которого преобладал диоксид углерода с высокой ~ 18 кБк/м³ $OARn$. Этот источник располагался в кальдере Карымского вулкана у восточного берега Теплового озера, постоянно действовал с момента начала наблюдений - с 1966 г., и, очевидно, ранее, а по заметным вариациям $OARn$ служил индикатором состояния вулкана [5, 9]. Одновременно, в 1996-97 гг. в ближайших окрестностях этого закрывшегося источника возникло множество мелких термальных источников с содержанием $OARn$ в первые кБк/м³, которое медленно снизилось в течение последних 10 лет до уровня < 1 кБк/м³. Максимальные величины $OARn$ порядка нескольких тысяч кБк/м³ были зафиксированы в Карымских термальных источниках в первые два года после начала извержения, в дальнейшем они плавно снижались, и в 2005 г. лишь в одном из контролируемых источников сохранились значения $OARn \sim 1$ кБк/м³.

Данные измерений по семи точкам (рис. 1) имели общую тенденцию и, очевидно, общий источник. Полученные результаты были сведены в единый массив, показанный на рис. 2.

Обсуждение результатов

Как известно, источником ^{222}Rn является ^{226}Ra , предшествующий ^{222}Rn в ряду распада ^{238}U [8]. Содержание урана в вулканогенных породах и разноглубинных ксенолитах Камчатки обычно ниже кларковых значений [7,1]. В то же время в свободных газах гидротермальных источников, в гидротермально-измененных породах и в снежных толщах,

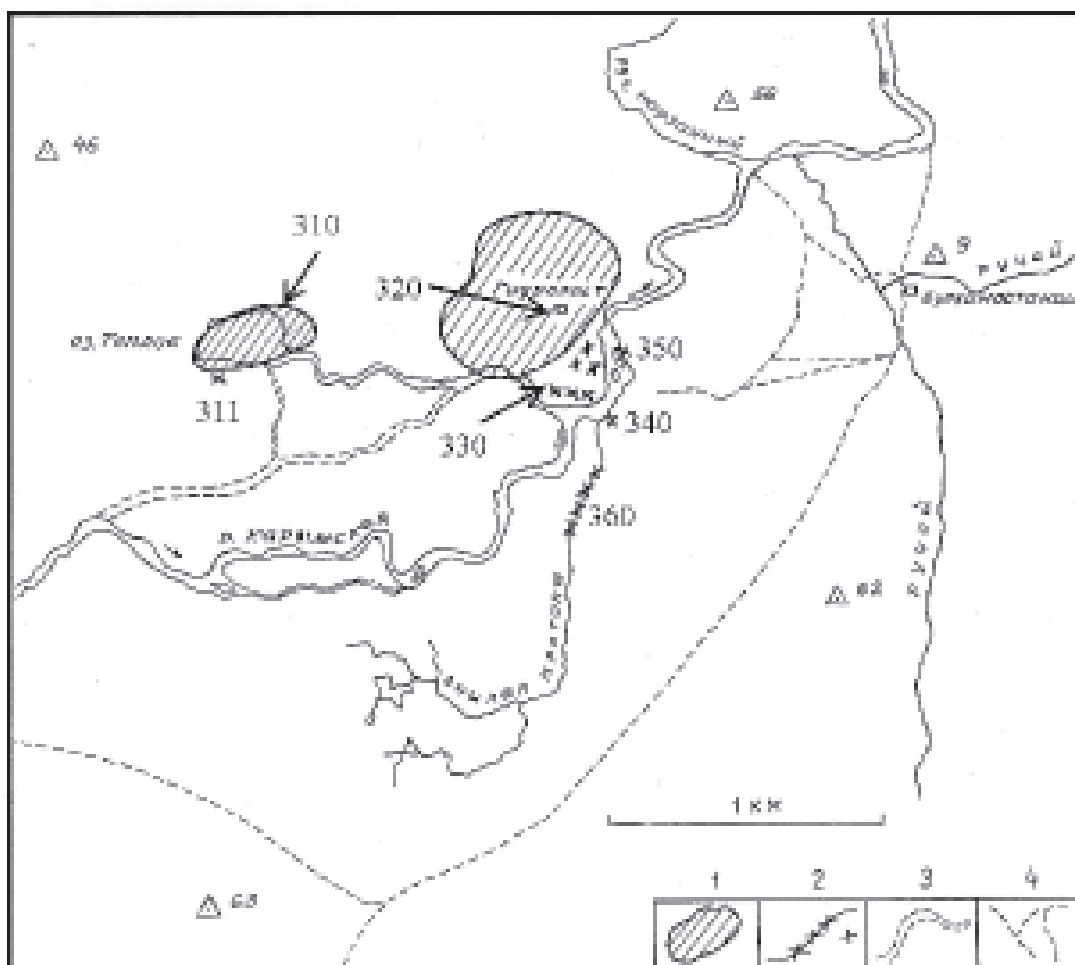


Рис. 1. Карта-схема района работ и отбора проб на OARn. Условные обозначения: 1 – участки, на которых после извержения 1996 г. ослабла или прекратилась активность термальных источников. 2 – места появления новых или активизации бывших термальных источников и отбора проб на OARn (обозначены трехзначными цифрами). 3 – местоположение нового русла и протоки реки Карымской, образовавшихся после майского лахара 1996 г. 4 – полевые тропы.

по сезонам покрывающих и обрамляющих эти источники, OARn достигает величин в десятки и сотни тыс. Бк/м³ [5,6].

Высокие значения OARn связаны, очевидно, с образованием эманулирующих коллекторов в зоне вскипания геотермального флюида [6]. Условия формирования таких коллекторов соответствуют условиям возникновения гидротермальных эпигенетических месторождений радиоактивных элементов; $T \sim 150$ °C и глубины $\sim 0,5$ км [4]. В верхних горизонтах эманулирующего коллектора вероятен сдвиг радиоактивного равновесия в пользу дочернего изотопа ²²⁶Ra относительно материнского ²³⁸U. Подобное нарушение довольно обычно для современных и голоценовых вулканогенных пород [7] и особенно сильно, до порядка, проявляется в некоторых типах современных гидротермально-измененных пород, в частности во фторидах [1].

Вариации объемной активности радона (OARn) в значительной мере связаны с деформациями горных пород, предшествующих и сопутствующих сейсмотектоническим активизациям. В Карымском вулканическом центре самая мощная за все время наблюдений (~ 50 лет) сейсмотектоническая активизация была связана с возникновением и кратковременным извержением кратера Токарева 02.01.1996, и, возможно, также с начавшемся одновременно и продолжающимся десятый год извержением вулкана Карымский, расположенного в 6 км от озера в кальдере вулкана Академии Наук. Эта сейсмотектоническая активизация вызвала деформации земной поверхности: разрывы, оползни, обвалы и другие обрушения, проявившиеся наиболее заметно в зоне разлома,

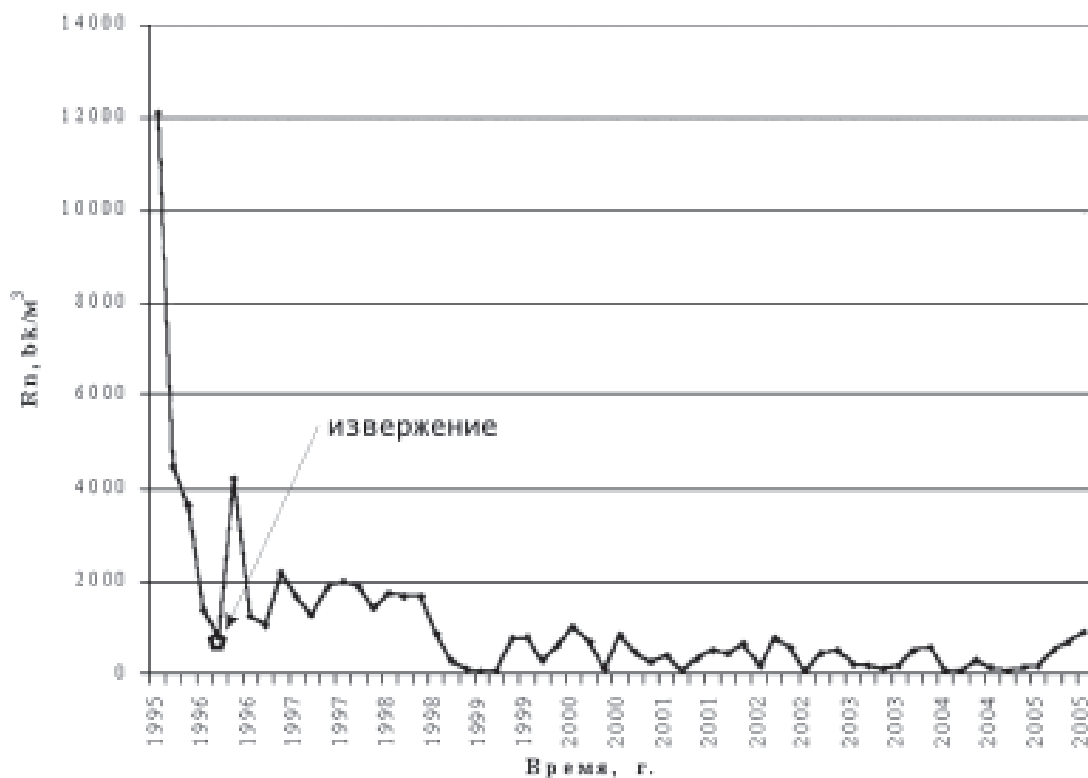


Рис. 2. График осредненных значений и вариаций OARn на семи Крымских источниках за период 1995 – 2005 гг.

протягивающегося в субмеридианальном направлении от кратера Токарева к вулкану Карымский. Эти явления сопровождалось значительным возрастанием OARn в спонтанных газах источников Академии Наук и других новых источников, возникших в кальдерах Академии Наук и Карымской.

При формировании гидротермальных рудопроявлений радиоактивных элементов в условиях, соответствующих глубинам в несколько сотен метров, сдвиг радиоактивного равновесия может достигать трех и более порядков. Такие соотношения были установлены в минеральных новообразованиях (преимущественно барите), отложенных на глубине ~1000 м фумаролами действующего подводного вулкана Пийпа, расположенного в районе Командорских островов [2].

Эманирующие коллекторы с повышенными содержаниями ^{226}Ra могут формироваться в глинах, суглинках и осадках из гидрокарбонатных вод, являющимися хорошими сорбентами. В естественных условиях такие породы обычно характеризуются относительно высокими концентрациями радия и обладают высокими коэффициентами эманации ^{222}Rn по сравнению с породами других типов, например с песками [3].

Выводы

На примере Карымского вулканического центра показано, что существенные вариации OARn в естественных газах гидротермально-магматических систем связаны с деформациями вмещающих пород, вызванными изменением сейсмостектонической обстановки. Из приведенных данных по содержанию радиоактивных элементов в вулканогенных породах и OARn в свободных газах гидротермальных источников Камчатки, а также сопоставления наших результатов с работами других исследователей можно сделать следующие выводы:

1. Содержание РАЭ в современных неизменных вулканитах Камчатки ниже, а в гидротермально-измененных породах - выше среднего для пород сходного химического состава;

2. Для современных камчатских вулканитов характерно низкое торий-урановое отношение и неравновесность – избыток радия (^{226}Ra) не подкрепленного ураном (^{238}U);

3. Повышенные значения OARn обусловлены спецификой коллекторов радия – эпитермальными рудопроявлениями РАЭ, сформировавшимися на глубинах в первые сотни метров;

4. Значительные вариации, в частности, повышения OARn в свободных газах, происходят в результате сеймотектонических активизаций, обычно увеличивающих эманиционную способность и проницаемость вмещающих пород. В редких случаях - в местах сжатия - проницаемость пород снижается, соответственно, уменьшается и величина OARn.

Список литературы

1. Андреев В. И., Карпов Г. А., Пузанков Ю. М., Фазлуллин С. М. Распределение радиоактивных элементов в породах некоторых действующих вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2001. № 1. С 39-48.
2. Андреев В. И., Пузанков Ю. М., Бобров В. А. и др. Радионуклиды в гидротермальных отложениях подводного вулкана Пийпа // Вулканология и сейсмология. 2004. № 1. С. 39-46.
3. Гудзенко В. В., Дубинчук В. Т. Изотопы радия и радона в природных водах. М.: Наука, 1987. 156 с.
4. Наумов Г. Б. Поведение радиоактивных элементов в гидротермальных процессах // Радиоактивные элементы в горных породах. Новосибирск. Наука. 1975. с 155-161.
5. Сугробов В. М., Чирков А. М. О распределении радона в современных гидротермальных системах Камчатки // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974. С. 22-24.
6. Таран Ю. А. Геохимия геотермальных газов. М. Наука. 1988. 160 с.
7. Тутаева Н. А., Векслер Т. И., Орлова А. В. Радий в современных вулканических породах Камчатки // Изв. высш. учебн. заведений. Геология и разведка. 1977. № 4. С. 70-85.
8. Тутаева Н. А. Ядерная геохимия. М.: Изд-во МГУ, 2000. 336 с.

VOLUMETRIC ACTIVITY OF RADON IN SPONTANEOUS GASES FROM KARYMSKY HYDROTHERMAL SOURCES IN 1996-2005

V. I. Andreev

Institute of Volcanology and Seismology, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. e-mail: via@kscnet.ru

Cherdyntsev found that fumarolic gases of active volcanoes have rather high (up to some emans) volumetric activity of radon (OARn). We found constantly high volumetric activity of radon in a hydrothermal-magmatic sources located in the south sector of the Karymsky volcano caldera, over 3.5 km from its crater, in Teploye lake. The variations of radon volumetric activity in spontaneous gases of this source were well-correlated with the Karymsky volcano activity and in some cases these variations were determined as one of precursors of the Karymsky volcano eruption. Also some thermal sources are located to the south of the Teploye lake (600 m above see level).

The radon volumetric activity in spontaneous gases from hydrothermal sources of the Karymsky volcanic caldera changed greatly after almost simultaneous eruption of the Tokarev crater and the 1st of February 1996 Karymsky eruption, accompanied by seismotectonic activity. The thermal source in the Teploye lake decreased and the spontaneous gases excretion at its former location stopped. At the same time some other hydrothermal sources were activated, and some new thermal sources emitting spontaneous gases appeared. In the beginning of the 1996 eruption the volumetric activity of radon in spontaneous gases of some active sources was $n \times 10^4$ Bk/m³ (the first emans). In the next few years, spontaneous gases emissions from most of thermal sources still continued, but became more weak whereas the radon volumetric activity at almost all the sources decreased to background level.