

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

18-85-379

Г.Н.Флеров, А.М.Чирков,\* С.П.Третьякова,  
Л.В.Джолос, К.И.Меркина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДОНА  
В КАЧЕСТВЕ ИНДИКАТОРА  
ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Направлено в журнал "Изв.АН СССР,  
сер.Физика Земли"

---

\* Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР,  
Петропавловск-Камчатский

1985

Давно замечена связь изменения содержания радона в термальных источниках с сейсмическими явлениями и вулканической деятельностью <sup>/1-5/</sup>.

Механизм влияния вулканического процесса на концентрацию радона в гидротермальных источниках и почвенном воздухе пока не ясен. Предполагается, что аналогично землетрясениям перед извержениями в зонах очагов возрастает давление. В окружающих горных породах происходит образование многочисленных трещин, которое сопровождается упругими колебаниями в широком диапазоне частот, в том числе и в ультразвуковом. Ультразвук способствует усиленному выделению газа, в том числе и радона, из пород и ускоряет его движение по трещинам. После начала извержения упругие напряжения в очаге и окружающем его пространстве в значительной мере снимаются, и быстро восстанавливается прежний режим поступления радона в воду и почву.

Эту зависимость изменения концентрации радона при подготовке землетрясений и извержений вулканов пытаются использовать в целях прогноза. Для этого необходимы непрерывные и, по возможности, стабильные по точности измерения радона в водах и почвенных газах. Причем измерения следует проводить одновременно в нескольких точках, удаленных иногда на большие расстояния от ожидаемого эпицентра события. Существующая серийная электронная аппаратура требует больших затрат.

В последнее время появились сведения о регистрации радона в термальных водах и почвенном газе простым методом - диэлектрическими детекторами <sup>/6/</sup>. Французские ученые изучали этим методом в 1980 г. вулканическую деятельность Этны /Италия/, а в 1981 г. - Крафлы /Исландия/ <sup>/7/</sup>.

С целью изучения возможности использования диэлектрических детекторов для регистрации изменений концентрации радона с вулканической деятельностью на Камчатке была проделана настоящая работа на Карымском вулкане, где измерения радона другими методами проводятся с 1966 г. <sup>/2,3/</sup>.

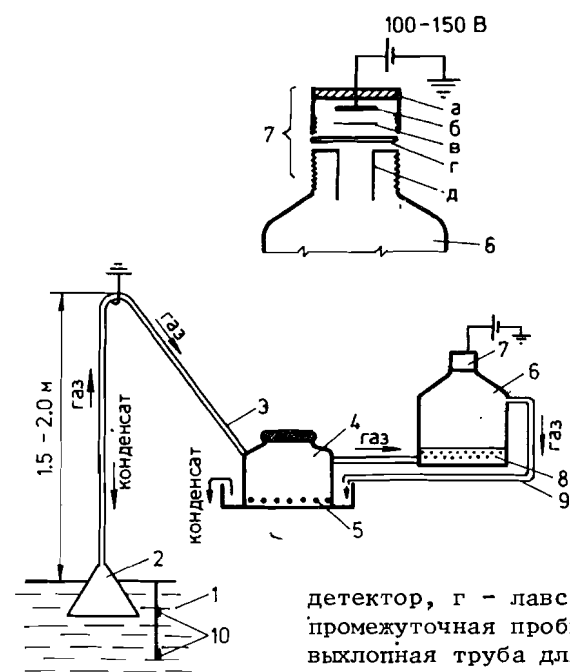
Карымский вулкан располагается в центральной части Восточной вулканической зоны Камчатки и является одним из самых активных в Курило-Камчатском регионе. Активность его отмечается разнообразием извержений как по характеру, так и по выделяющейся энергии.

Начиная с 1982 г. в точках 1,5 и 6, указанных на рис.1, устанавливались альфа-чувствительные нитрат-целлюлозные детекторы <sup>/6/</sup>. Облученные детекторы обрабатывались при температуре  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  в 10% растворе NaOH. Треки  $\alpha$ -частиц под-



Рис.1. Фотография вулкана Карымского. т.№ 1 - место регистрации радона в грифоне теплового озера; т. № 5 - место регистрации почвенного радона под зданием сейсмостанции; т. № 6 - место регистрации почвенного радона.

считывались на оптическом микроскопе или с помощью истрого счетчика<sup>/8/</sup>. У южного подножья вулкана, в 3 км от кратера, на контакте сильно трещиноватых лав современного конуса с подстилающими их более плотными туфами фундамента происходит интенсивная разгрузка слабоминерализованных (~2 мг/л) и слабощелочных /рН - 8,3/ вод с температурой 18-41°С в виде многочисленных разнедебитных источников. Формирование гидротерм обусловлено взаимодействием диффундирующих к поверхности магматических эманаций с мощным потоком грунтовых вод<sup>/5/</sup>. В зоне разгрузки гидротерм наблюдаются источники как спокойной извивающиеся, так и бурно "кипящие" из-за обильного выделения спонтанного газа /~60% CO<sub>2</sub> и ~40% N<sub>2</sub> /. Один из таких "кипящих" грифонов, расположенных в озере Тепло, был выбран в качестве точки измерения радона в спонтанном газе /т.№ 1 на рис.1/. Схема отбора газа и облучения детекторов показана на рис.2. Спонтанный газ по воронке, сделанной из текстолита, поступал в расширитель-конденсатор паров /полиэтиленовая бутылка № 1 емкостью 0,5 л, перфорированная в нижней части для стока избытка конден-



детектор, г - лавсановая пленка 10 мкм, д - промежуточная пробка; 8 - силикагель; 9 - выхлопная труба для регулирования количества пропускаемого через систему газа; 10 - термисторы на глубине 0,5 и 1,0 м от поверхности воды.

Рис.2. Схема устройства регистрации радона из кипящего грифона теплового озера: 1 - вода грифона; 2 - воронка; 3 - силиконовые трубки диаметром 3 мм; 4 - полиэтиленовая бутылка емкостью 0,5 л, дно которой прикреплено к стеклянному кристаллизатору. На расстоянии 2-3 см от дна бутылки перфорирована - 5 для стока конденсата в кристаллизатор; 6 - полиэтиленовая бутылка емкостью 1 л; 7 - детектирующее устройство: а - заворачивающаяся пробка, б - металлический электрод, в -

сата и прикрепленная к дну тарелки с водой/, затем в полиэтиленовую бутылку № 2 емкостью 1,0 л, на дно которой насыпан силикагель для окончательной осушки газа; в горловине помещали детектор. Выход газа из системы происходил также через воду. Перед детектором ставили коллиматор и экран из лавсановой пленки 10 мкм для защиты рабочей поверхности детектора от влаги<sup>/9/</sup>. Все соединения в системе сделаны из силиконового шланга с внутренним диаметром 5 мм.

Расход газа в системе можно регулировать площадью газосборной воронки /2/, глубиной погружения ее в источник. В данном случае расход был установлен ~0,5 л/мин. У нижнего среза воронки термистором измерялась температура воды. За время наблюдений она колебалась незначительно, в пределах 38-41°С.

Альфа-активность почвенного воздуха регистрировалась в точках № 5 и № 6 рис.1. Геометрия измерений в обеих точках одинакова, она показана на рис.3.

Перед выбором геометрии был проведен предварительный эксперимент по изучению эффективности регистрации альфа-частиц. С этой целью в районе точки № 5 в одном шурфе на одинаковую глубину /0,5 м/ были закопаны 3 полиэтиленовые бутылки ем-

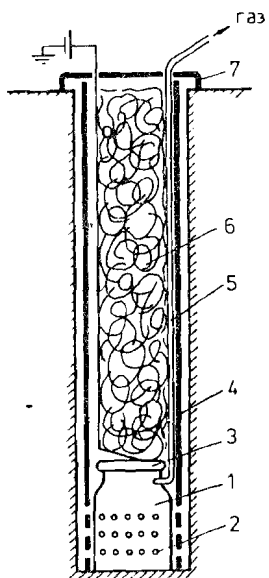


Рис.3. Регистрация радона из почвенного газа: 1 - полиэтиленовая бутылка емкостью 1 л в нижней части /~10 см/ перфорирована - 2; 3 - детектирующее устройство /см. рис.2, поз.7//; 4 - обсадная жестяная труба в нижней части /~10 см/ перфорирована; 5 - силиконовая отводная трубка для отвода почвенного воздуха; 6 - поролоновый термоизолятор; 7 - крышка.

костью 1,0 л: в первой детектор закрывался лавсановой пленкой толщиной 10 мкм; во второй дополнительно ставился коллиматор /трубка диаметром 22 мм и высотой 40 мм/; в третьей кроме этого устанавливался за детектором латунный электрод, на который от батареи подавался отрицательный потенциал 100÷150 В. Результаты эксперимента приведены в таблице.

Таблица

№ пп	Условия эксперимента	Экспозиция, ч	Плотность треков, шт/см сут.
1.	Только лавсановая пленка	144	230
		92	160
2.	Лавсановая пленка + коллиматор	144	140
		172	140
3.	Лавсановая пленка + коллиматор + потенциал	144	330
		92	220

Из таблицы видно, что:

1/ При введении коллиматора плотность треков снижается из-за уменьшения эффективного объема, в котором регистрируются  $\alpha$ -частицы. При этом возрастает доля  $\alpha$ -частиц, падающих на детектор под прямым или близким к нему углами, что значительно облегчает в дальнейшем подсчет плотности треков с помощью искрового счетчика<sup>18/</sup>.

2/ Подача отрицательного потенциала на детектор № 3 увеличивает эффективность регистрации  $\alpha$ -частиц примерно в 1,5 раза по сравнению с детектором № 1, при этом сохраняются преимущества, которые дает установка коллиматора перед детектором № 2, поэтому

во всех трех точках использовалась детектирующая часть по пункту 3 таблицы. Точка наблюдения № 5 находилась непосредственно под домом сейсмостанции в шурфе глубиной 0,5 м, прорытом в шлаке. Точка 5 сравнительно малоинформативна, т.к. находится в стороне от вулcano-тектонических нарушений и является в какой-то степени контрольной к точке № 6, которая находится в более выгодных условиях относительно тектоники. Она расположена в юго-западной части атрио /понижением между молодым конусом и остатками древнего вулкана/ примерно в 300 м от кальдерного шва /внутренняя стенка воронки взрыва древнего вулкана/. Шурф расположен также в шлаке. Газообмен между глубинами и поверхностью при изменении упругих деформаций в очаговой зоне вулкана здесь облегчен.

Результаты наблюдений в точках № 1 и № 6 /как наиболее информативных с июля по декабрь 1982 г./ показаны на рис.4 в виде графиков средних значений плотности треков  $N_T$  в шт/см<sup>2</sup>сут /графики I, II/ в сравнении со средним количеством взрывных землетрясений  $\bar{n}_T$  в шт/сут, зарегистрированных на сейсмостанции Карымская за время  $\tau$  /ч/ и со средним значением энергии, выделенной в сутки за время  $\tau$ . Здесь  $\tau$  - время экспонирования детекторов в точках № 1 и № 6 на графиках показано вертикальными штриховыми линиями, арабские цифры между ними обозначают номера детекторов.  $A/T$  - отношение амплитуды к периоду на сейсмограммах взрывных землетрясений. Графики III и IV рис.4 - данные по ежесуточному выделению энергии при взрывных землетрясениях ( $\Sigma A/\tau$ ) и количеству взрывных землетрясений ( $n$  шт/сут). Вертикальная сплошная линия показывает время окончания извержения /10 октября 1982 г./ по инструментальным и визуальным наблюдениям.

Представленные наблюдения охватывают период затухания извержения Карымского вулкана, которое началось в 1978 г., и переход к стадии покоя. Изменения содержания радона в термальном источнике /т.№ 1/ и почвенном воздухе /т.№ 6/, зарегистрированные дизлетрическими детекторами, указывают на тесную связь выхода радиоактивного газа с состоянием вулкана. Некоторые отклонения от закономерности можно объяснить влиянием недалеких /100-150 км/ тектонических землетрясений.

Измерения радона продолжают с целью уловить начало возрастания его концентрации, что, вероятно, может служить указанием на подготовку нового извержения. На детекторах, экспонированных с начала 1983 г. до мая 1984 г., пока роста эманации не наблюдалось.

Авторы выражают глубокую благодарность начальнику обсерватории Карымская Института вулканологии ДВНЦ АН СССР В.В. Степанову за предоставленные материалы по сейсмичности в районе вулкана и А.В.Сергеевой за помощь в обработке детекторов.

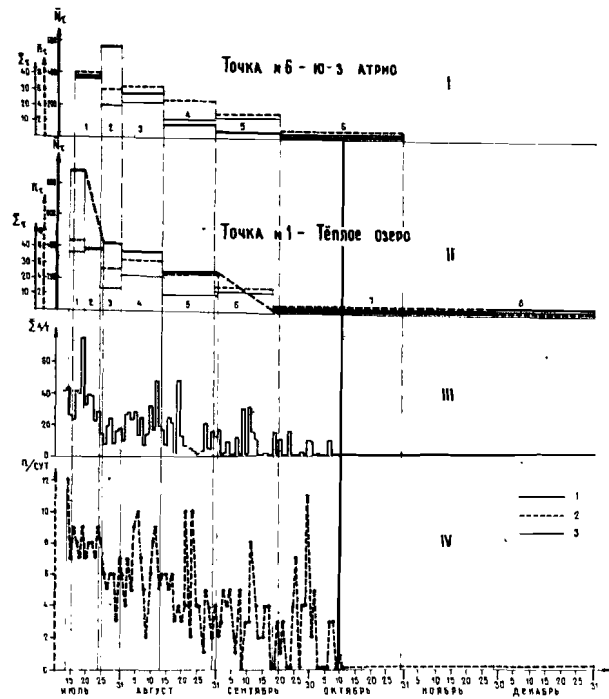


Рис.4. Результаты измерения радона в т.№ 1 и № 6 Карымского вулкана в 1982 г. I,II - графики средних значений за время экспонирования детекторов  $\tau$  /границы  $\tau$  - тонкие вертикальные линии на точках № 6 и № 1/; 1 - плотность треков ( $\bar{N}_\tau$ ), приведенная к шт/сут.см<sup>2</sup>; 2 - среднее количество взрывных землетрясений ( $\bar{n}_\tau$ ), регистрируемых на с/ст "Карымская" за время  $\tau$ , шт/сут; 3 - среднее значение энергии ( $\bar{\Sigma}_\tau(A/T)$ ), выделенной в сутки за время  $\tau$ , (мкм/с/сут). Арабские цифры в границах  $\tau$  - номера детекторов 6/1, 1/1 - № 1 на точке № 6, № 1 - на точке № 1 и т.д./ . III - ежесуточное выделение энергии при взрывных землетрясениях,  $\Sigma(A_{\text{мкм}}/T_c)$ , IV - ежесуточное количество взрывных землетрясений на с/ст. "Карымская" (шт/сут). Жирная вертикальная линия /10 октября 1982 г./ - окончание извержения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чирков А.М. В сб.: Вулканизм и глубины Земли. "Наука", М., 1971; ДАН СССР, 1971, 199, № 1.
2. Уломов В.И. и др. ДАН СССР, 1967, т.176, № 2.
3. Chirkov A.M. Bull.Vulc., 1975, XXXVII, p.126.
4. Чирков А.М., Фирсов П.П. Бюлл.вулкан.ст., 1978, № 54, с.3540.

5. Хренов А.П. и др. Вулканология и сейсмология, 1982, № 4, с.29.
6. Флеров Г.Н. и др. ОИЯИ, 18-83-388, Дубна, 1983.
7. Seidel I.L., Monin M.M. In: Proc. XI Int.Conf. on SSNTD. Bristol, 1981, p.517.
8. Varnagy et al. Nucl.Instr. and Meth., 1977, 141, p.489.
9. Третьякова С.П., Пономаренко В.А. В кн.: IV Совещание по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач, ОИЯИ, P18-82117, Дубна, 1982, с.307.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 октября 1985 года.

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

Флеров Г.Н. и др.

18-85-379

Использование радона в качестве индикатора вулканических процессов

С целью контроля за вулканической деятельностью Карымского вулкана /Камчатка/ и прогноза его извержения с помощью метода трековых детекторов проводились систематические режимные наблюдения за концентрацией радона в почвенном воздухе и газах Карымского термального источника. Полученные данные изменения концентрации радона во время затухания Карымского вулкана /1982 г./ хорошо согласуются с результатами по взрывным землетрясениям сейсмической станции Карымская.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Flerov G.N. et al.

18-85-379

The Use of Radon as a Detector of Volcanic Processes

To control the volcanic activities of the Karym volcano (Kamchatka) and predict its eruption the systematic observation of the radon concentration in the soil air and in the gases from the Karym hot spring was carried out using the track detector technique. The obtained data on changes in radon concentration during the attenuation of the Karym volcano (in 1982) are in good agreement with the results for the explosive earthquakes at the seismic station "Karymskaya".

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985