

Во втором и третьем вариантах оценки уходящей массы необходимо учитывать изменение массы и концентрации раствора, обусловленное его испарением в ходе эксперимента (рис. 5).

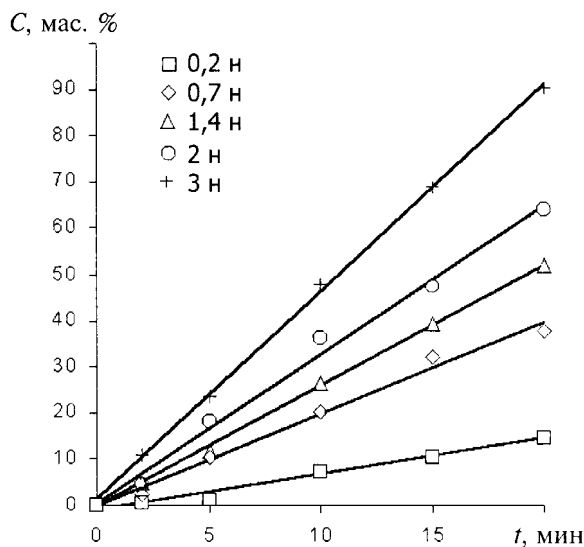


Рис. 5. Кинетика растворения стекла X-230 в азотной кислоте разной концентрации при 20 °C

Анализ методом титрования показал, что концентрация кислого раствора в открытом по-

лиэтиленовом стакане (масса которого значительно меньше стеклянного) в течение времени эксперимента увеличивается из-за испарения воды на 0,004 н.

Таким образом, выполненный анализ и полученные результаты позволяют сделать вывод, что для оценки уходящей в раствор массы стекла предпочтительным является первый способ, когда взвешивается образец в стакане с раствором.

Литература

1. Молчанов В. С., Приходько Н. Е. Коррозия силикатных стекол щелочными растворами// Известия Академии наук СССР. ОХН. 1958. № 7. С. 801.
2. Парфенов А. И., Ананьева И. Н., Куприна Н. Ю. Изучение состава поверхностного слоя натриевоциркониевосиликатного стекла, обработанного 2н-растворами едкого натра и соды// Физика и химия стекла. 1978. Т. 4. № 6. С. 601–605.
3. Парфенов А. И., Ананьева И. Н., Григорьева О. А., Бекишев К. Изучение коррозии натриевоциркониевосиликатного стекла в растворах едкого натра и соды при температурах 90–150 °C// Там же. 1977. Т. 3. № 6. С. 638–642.
4. Дуброво С. К., Шныпиков А. И. Стекла для химиколабораторных изделий, устойчивые в растворах щелочей// ЖПХ. 1963. Т. 36. № 8. С. 1633.
5. Широкова А. В., Асланова М. С. К вопросу о водо- и кислотоустойчивости стеклянного волокна. — М.: ВНИИСПВ.
6. Sewel P. A.// Glass Technol., 1969. V. 10. № 1. P. 9.

Статья поступила в редакцию 5 мая 2004 г.

Method of study for kinetic of interaction of glasses with water solutions

A. H. Kerefov, A. O. Ashkhotov, N. V. Kalinina
Kabardino-Balkarian state university, Nalchik, Russia

The method for study kinetic of dissolution is offered at continuous or periodic weighing. Are received curve kinetic of etching of a glass X-230 for solutions of a nitric acid of different concentration (0.2n—3n), having a linear course.

УДК 53.01

Воздействие на радиоактивность гранитоидов: от геофизического мониторинга к лабораторным экспериментам*

О. Б. Хаврошкин, В. В. Цыплаков

Объединенный институт физики Земли им. О. Ю Шмидта РАН, Москва, Россия

Изложены результаты исследования отклика гранитоидов на различные физические воздействия и поля путем измерения вариаций естественной радиоактивности. Полученные результаты представляют интерес для решения некоторых практических проблем геофизики и геохимии.

Одна из задач ядерной геофизики — изучение фоновых полей естественной радиоактивности,

излучений и частиц. Результаты настоящего исследования во многом касаются мониторинга потоков флюидов с радон-тороновой компонентой [1], регистрации нейтронов [2, 3] и связи

* Статья публикуется в дискуссионном порядке.

α -, β -, γ -излучения рудных тел с прохождением сейсмических волн [4]. Постоянно и повсеместно существующий фон сейсмоакустической эмиссии и его модуляция полями напряжений [5, 6] в значительной степени послужили логическим ключом, объясняющим и связывающим особенности наблюдений [1—4]. Однако, если эмиссионная модель ускоренного выхода флюида применима к приливному (и затменным) всплескам интенсивности нейтронов со значительными характерными временами, то в случае кратковременных волн деформаций возникают трудности [2]. К тому же наблюдение всплесков в момент Вранчского землетрясения велось системой с экранировкой от внешнего фона тепловых и медленных нейтронов [2, 7] и настроенной по калибровке источником с энергетическим максимумом порядка 3,0 МэВ, что также исключает нейтронный фон земной коры [8]. Это позволяет предположить, что всплеск сейсмоакустической эмиссии в результате роста напряжений в земной коре одновременно сопровождается выбросом нейтронов с энергией, соответствующей радиоактивному распаду изотопов тяжелых элементов, входящих в состав распространенных в коре минералов, например гранитоидов. При этом возникает вопрос о поиске механизма воздействия сейсмоакустической эмиссии на естественную радиоактивность гранитоидов, т. е. в простейшем случае — передачи энергии от возникающей макро- и микротрещиноватости к нестабильным ядрам изотопов. Такой механизм может реализоваться в следующих физических моделях.

1. Модель ускорения электронов и легких ядер при образовании и развитии микро- и макротрещиноватости в геологической структуре (подробно рассмотрена В. Царевым) [9].

2. Модель микрокумулятивных струй, возникающих при захлопывании некоторых микротрещин (во многом подобна модели Царева).

3. Микрорезонансная спиновая модель (МКСМ) передачи энергии по схеме: сейсмоакустическая эмиссия в геологической среде — высокоэнергетические фононы в широком диапазоне частот (свет, рентген, γ -излучение) — акустический электронный парамагнитный резонанс, ядерный магнитный и двойной акустический резонансы — спин-фононные взаимодействия, повышение спиновой температуры и спиновой энергии ядер — ядерные фононы — стимулирование туннельных процессов в нестабильных ядрах — спонтанное деление ядер с выходом энергичных нейтронов (1—10 МэВ).

4. Модель "горячих точек" в твердом деформированном теле, возникающих при "аннигиляции" и взаимодействии микротрещин.

В рамках моделей 1, 2 взаимодействие ускоренных частиц с электронными оболочками атомов нестабильных изотопов лишит последние их оболочек и вызовет распад ядер. Такой меха-

низм сходен с обратным К-захватом по П. Полуктову. Для модели 4 даже простейшее развитие микротрещин при разрушении приводит к возникновению горячих точек с параметрами $T > 10^4$ К, характерным размером $\sim 10^{-1}$ — 10 мкм и временами жизни $\tau \sim 10^{-3}$ — 10^{-4} с; максимум энергетического спектра эмиссии электронов ~ 30 — 120 кэВ [10]. При этом также произойдет полное обдирание электронных оболочек ядер.

Схема МКСМ базируется на достижениях квантовой акустики, на развитии акустического электронного парамагнитного и ядерно-магнитного резонансов [11—13], в частности на работах по поглощению ультразвука спин-системами в импульсных условиях, а также акустической индукции и эхо, комбинации импульсного акустического и радиочастотного возбуждения [14]. Эксперименты с МКСМ, как это следует из [11—14], зависят от многих факторов в части передачи энергии фононов твердого тела ядерной спин-системе; при этом особенности сейсмоакустического эмиссионного источника исследованы незначительно. Обычно коэффициент поглощения акустических волн — α за счет ядерной спин-фононной связи не превышает 10^{-7} — 10^{-8} см $^{-1}$. При сильном внутрискристаллическом поле в диэлектрике с дефектами и модуляцией этого поля упругими волнами при переменных градиентах электрического поля и ядрами со значительными квадрупольными моментами α резко возрастает. Так, на спинах магнитоактивных ядер в антиферромагнетиках из-за сильного электронно-ядерного взаимодействия $\alpha \sim 1$ — 10^{-2} см $^{-1}$ [15]. Ранее не учитывались и другие точечные источники редких, но высокоэнергетических фононов — распад тепловых нейтронов в твердом теле.

С другой стороны, распад нестабильных ядер определяется эффективностью внутриядерных эффектов, а влияние фононов и электрических полей на классический туннельный эффект общеизвестно. Существующая взаимосвязь между ядерными фононами и вращательными (спиновыми) движениями ядер через влияние на туннельный эффект приводит к замедлению или ускорению распада нестабильного ядра, т. е. реализации МКСМ. Подобный механизм, вероятно, объясняет и часть результатов по низкотемпературному термоядерному синтезу [9]. В общем случае эффективность МКСМ носит многофакторный характер и зависит от механизмов передачи ультразвуковой энергии ядрам нестабильных элементов, свойств этих ядер, включая вращение (спин) и степень деформированности, свойств вмещающего эти элементы вещества и интенсивности сейсмоэмиссионных процессов. Геофизические предпосылки появления МКСМ, важная роль гранитоидов в геофизике и геохимии, их сложный многокомпонентный состав и заметный уровень радиоактивности, энергия эмиссионных сейсмоакустических им-

пульсов обусловили выбор гранитоидов как основного объекта лабораторных исследований.

Для выявления возможного отклика гранитоидов на разные физические воздействия и поля проводились измерения вариаций радиоактивности двух образцов: образца диорита с незначительными различиями по минералогическому составу: светло-серый (гранит, диорит) и красный (гранитоид). На уровне чувствительности радиометра реакция гранитоида (красного) на воздействия отсутствовала. Светлый диоритовый образец в форме параллелепипеда с размерами $29 \times 5 \times 5,3$ см и массой 2229,2 г имел состав, указанный в табл. 1.

вероятности $P = 0,95$) вариации дисперсии. Тщательный статистический анализ числа импульсов с вероятностью, превышающей $P > 0,95$, полученных временных рядов данных не выявил значимых изменений радиоактивности гранитного образца при квазистатическом (~ 100 Н/см²) и импульсном деформировании, набухании в воде и во внешнем статическом магнитном поле (~ 1000 Э). Однако при вероятности $P > 0,7-0,9$ такие изменения можно считать наблюдаемыми. При квазистатическом переменном магнитном воздействии (с длительностью 3 мин воздействия, 3 мин отсутствия) выявлен значимый 6-минутный

Таблица 1

Химический состав исследуемого образца минералов гранита (светлого), %
(данные рентгеноспектрального анализа)*

Минерал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	MnO	Сумма
Слюда	39	3,9	19,11	19,76			11,37	0,08		95,09
Шпат	63,56	0	20,31	0,07	5,31	11,42	0,13	0,02	0	100,82
Шпат	64,28	0	21,78	0	5,31	12,67	0,15			104,18
Слюда	38,62	3,78	19,57	19,18			10,66	0,05	0,01	94,09
Шпат	61,76		24,37	0,03	5,46	11,17	0,09			102,87

* Авторы благодарны Ю. С. Геншафту за проведение анализа и комментарии по образцу.

Образец гранита (серый) был в основном из трех минералов: кварца, слюды (биотит титанистый), омиоклаза-андезина (кальций натриевый полевой шпат) крупнозернистого.

Воздействия были ориентированы на два механизма МКСМ:

1 — изменение интенсивности акустической эмиссии, а следовательно, внутрикристаллических электрических и электромагнитных полей путем механических деформаций образца (статического нагружения) и серии ударов (импульсно-волновой случай), нагрева и набухания в воде;

2 — изменение спиновой температуры внешним магнитным и переменными электрическими полями. Использовался радиометр на основе счетчика Гейгера типа СБМ-19, регистрирующий β -, γ -излучения в диапазоне энергий от 0,5 МэВ и выше (практически весь диапазон естественного радиоактивного излучения исследуемого образца). Радиометр закреплялся на образце, интервал подсчета импульсов при измерении воздействий на образец составлял 1 или 5 мин; представительная достаточность статистических данных для каждого физического воздействия обеспечивалась 20—30 и более измерениями.

Данные измерений для каждого типа воздействий были сведены в таблицы и проанализированы. У всех измерений для диорита характерно примерно одинаковое (в пределах среднеквадратичного отклонения) среднее значение, изменяющееся от 84 до 100 имп./мин, но при этом наблюдались значительные (значимые на уровне

пик в спектре временного ряда данных, свидетельствующий в пользу влияния сильного магнитного поля на радиоактивность диорита. Формально тщательный статистический анализ данных по воздействию переменным электрическим полем также не выявил значимого доказательства изменения радиоактивности образца (на уровне вероятности $P > 0,99$), но из этого же рассмотрения следует: с увеличением числа данных (более длинный ряд наблюдений) факт воздействия может быть доказан и с этой вероятностью, а с вероятностью $P > 0,9$ факт воздействия уже существует (табл. 2).

Таблица 2

Воздействия переменного электрического поля

N	n	Δf	$M(x)$	σ	D
1	5	0	530	14,6	213
2	5	50—100 кГц	540	15	225
3	5	100—200 кГц	565	16	256
4	5	200 кГц—1 мГц	530	11	121
5	5	1—3 мГц	534	11	121
6	5	3—10 мГц	441	14	196
7	5	10—20 мГц	487	16	256

Примечание. $M(x)$ — среднее значение; σ — среднеквадратичное отклонение; D — дисперсия.

В табл. 2 приведены результаты радиационного отклика диорита на переменные электрические поля в широком диапазоне частот мощно-

стью порядка 1 Вт при регистрации на временном интервале длительностью 5 мин и с пятью измерениями для каждого диапазона. Согласно этим данным, максимальное значение числа импульсов 565 наблюдается в диапазоне воздействий от 100 до 200 кГц (150 кГц), что примерно соответствует акустическому резонансу образца существующих размеров, а минимальное значение числа импульсов регистрируется в диапазоне от 3 до 10 мГц (8 мГц), что, возможно, определяется акустическим резонансным поглощением на длинах волн с размерами зерен в диорите. То есть при воздействии на образец на частоте акустического резонанса, соответствующего размерам образца, наблюдаем увеличение радиоактивности, а при воздействии на частоте зерен — снижение.

Устойчивый положительный результат по влиянию на радиоактивность получен при нагревании образца от 18 до 104 °С. При эксперименте измерение температуры проводилось сверху и снизу образца — всего 60 измерений с изменением температуры от 18 до 104 °С. Эти измерения были разбиты на три группы (А, В, С) по 20 отсчетов в диапазоне изменений температуры от 18 до 46 °С (группа А), от 47 до 76 °С (группа В) и от 77 до 104 °С (группа С). Статистические характеристики этих измерений представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние на радиоактивность нагревания (акустическая эмиссия)

N	Характеристики	А	В	С
1	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	18—46	47—76	77—104
2	$M(x)$	91	92	91,6
3	σ	7,1	6,2	12,1
4	D	51	39	145

Примечание. $M(x)$; σ ; D — см. в табл. 2.

К особенностям воздействия следует отнести следующее: при нагревании величины средних значений импульсов не изменились, но дисперсия при росте температуры от 77 до 104 °С (группа С) увеличилась в 3—4 раза. Оценим гипотезу равенства полученных дисперсий, например, групп В и С, используя критические точки распределения Фишера-Снедекора на уровне значимости 0,01. Для эксперимента имеем: $F_{\text{п}}(0,01; 19; 19) = 145/39 = 3,72$ при степени свободы $k = 19$; по совокупности табулированных критических точек имеем: $F_{\text{т}}(0,01; 17; 12) = 3,45$. Так как $F_{\text{п}} > F_{\text{т}}$, то с вероятностью $P = 0,99$ нулевая гипотеза отвергается, и дисперсии различны. Следовательно, нагрев гранита влияет на его природную радиоактивность, что, вероятно, обусловлено увеличением числа энергичных фононов, так как с ростом температуры выше определенного порогового значения

(80 °С) в образце активизировался процесс акустической эмиссии.

Заключение

Влияние на природную радиоактивность, вероятнее всего, определяется совместным механизмом воздействия по крайней мере предложенных моделей и хорошо согласуется с данными последних исследований по ядерной физике [16—18]. Возможно гранитоиды, их поликристаллические структуры открывают дополнительные возможности поиска минерала, являющегося оптимальной матрицей для проведения некоторых экспериментов по ядерной физике. Полученные результаты в первую очередь представляют интерес для некоторых проблем геофизики и геохимии; региональных особенностей тепловых потоков, составления геохронологической шкалы.

Литература

1. Мавлянов Г. А., Уломов В. И., Султанходжаев А. Н. и др. Явление изменения химического состава подземных вод при землетрясении. Открытие № 129 (приоритет от 29.02.1966 г.)// Открытия советских ученых. М., 1979. С. 16.
2. Клюев В. А., Липсон А. Г., Топоров Ю. П., Хаврошкин О. Б. Повышение нейтронного фона в Москве — следствие Румынского землетрясения 30 мая 1990 г.// Вулканология и сейсмология. 1994. № 3. С. 106—108.
3. Володичев Н. Н., Кужевский Б. М., Нечаев О. Ю. и др. Всплеск интенсивности нейтронов во время полутеневого лунного затмения 26 июля 1991 г.// Космические исследования. 1993. Т. 31. № 4. С. 120—122.
4. Соболев Г. А., Демин В. М., Майбук Ю. Я. и др. Вызванное упругой волной γ -излучение горных пород. ДАН, 1984. Т. 276. № 3. С. 583—585.
5. Рыкунов Л. Н., Хаврошкин О. Б., Цыплаков В. В. Явление модуляции высокочастотных сейсмических шумов Земли// Диплом на открытие № 282 Госкомизобретений СССР. — М., 1983. — 1 с.
6. Хаврошкин О. Б. Сейсмическая нелинейность. ОИФЗ РАН. — М., 2000. — 110 с.
7. Липсон А. Г., Дерягин Б. В., Клюев В. А. и др. Иницирование ядерных реакций синтеза при кавитационном воздействии на дейтерийсодержащие среды// Журнал технической физики, 1992. Т. 62. Вып. 12. С. 121—130.
8. Володичев Н. Н., Захаров В. А., Кужевский Б. М. и др. Земная кора — активный источник нейтронов// Вестник МГУ. Сер. 3. Физика. Астрономия. 2002. № 5. С. 69—73.
9. Царев В. А. Низкотемпературный ядерный синтез// УФН. 1990. Т. 160. Вып. 11. С. 1—53.
10. Хайнике Г. Трибохимия. — М.: Мир, 1987. — 582 с.
11. Такер Т. Парамагнитное спин-фононное взаимодействие в кристаллах// Применения физической акустики в квантовой физике и физике твердого тела. Физическая акустика/ Под ред. Мэзона. Т. IV. Ч. А. — М.: Мир, 1969. — 435 с.
12. Боледф Д. Взаимодействие акустических волн с ядрами спинами в твердых телах// Там же.
13. Голенищев-Кутузов В. А., Самарцев В. В., Соловаров Н. К., Хабибуллин Б. М. Магнитная квантовая акустика. — М.: Наука, 1977. — 200 с.
14. Копиллем У. Х. Известия АН СССР. Сер. физ., 1963. Т. 27. С. 95.
15. Физическая энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 1. — 703 с.
16. Гуревич Г. М. Спин-зависимая угловая анизотропия альфа-распада и спонтанного деления ориентированных

трансуранных ядер// Научная конференция секции ядерной физики ОФН РАН. Физика фундаментальных взаимодействий. М., 2002.

17. Давыдов А. В. К вопросу о длительности процессов резонансного поглощения гамма-квантов ядрами// Там же.

18. Акулов Б. А., Мамырин Б. А. Атомные эффекты при бета-распаде трития и их роль при определении G_A/G_V и времени жизни свободного нейтрона// Там же.

Статья поступила в редакцию 15 июля 2004 г.

Effects on a radioactivity of granitoids: from geophysical monitoring to laboratory experiments

O. B. Khavroshkin, V. V. Tsyplakov
Schmidt Institute of Earth Physics, Moscow, Russia

The results of examination of response of granitoids on different physical actions and fields by measuring the variations of a natural radioactivity are enunciated in the paper. First of all, the obtained effects are of interest for the solution of some practical problems of geophysics and geochemistry.

УДК 621.383

Теория генерационно-рекомбинационного шума, обусловленного туннелированием через ловушки в невырожденных $p-n$ -переходах на основе узкозонных твердых растворов (CdHg)Te

А. Ю. Селяков
ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр
Российской Федерации, Москва, Россия

Предложена обобщенная модель рекомбинации, обусловленной туннелированием через ловушки (trap — assisted tunnelling — TAT) в области пространственного заряда невырожденного HgCdTe $p-n$ -перехода. На основе этой модели рассчитана спектральная плотность генерационно-рекомбинационного шума, обусловленного TAT-рекомбинацией (TAT GR-шума) $S_{I_{gr}}(\omega)$ в различных диапазонах частот и приложенных обратных напряжений, и установлено, что на частотной зависимости $S_{I_{gr}}(\omega)$ имеется два плато — высокочастотное и низкочастотное. Проанализирована температурная зависимость $S_{I_{gr}}(\omega)$. Показано, что в области высокочастотного плато TAT GR-шум может быть сверхпуассоновским.

Теория генерационно-рекомбинационного (GR) шума в $p-n$ -переходах развита достаточно хорошо [1–6]. При этом в наиболее последовательных работах [1, 3, 5] GR-шум проанализирован на основе метода Ланжевена, который в отличие от флуктуационно-диссипативной теоремы справедлив в случае отклонения от термодинамического равновесия. В работах [1, 3] рассчитаны спектральные плотности GR-шума для случая, когда темновой ток $p-n$ -перехода определяется процессами генерации — рекомбинации в квазинейтральных областях (диффузионный механизм), а в работе [5] — для случая, когда темновой ток определяется тепловым захватом и выбросом носителей с рекомбинационного уров-

ня в области пространственного заряда (ОПЗ) $p-n$ -перехода (генерационный механизм). На основе теории Ван-Влита [5] в работе [6] показано, что при определенных условиях высокочастотный участок спектральной плотности GR-шума $p-n$ -перехода может быть сверхпуассоновским (т. е. спектральная плотность шума может превышать величину $2qI_{gr}$, где I_{gr} — генерационный темновой ток $p-n$ -перехода).

В отличие от $p-n$ -переходов на основе широкозонных полупроводников в $p-n$ -переходах на основе узкозонных ($E_g \cong 0,1$ эВ) твердых растворов (CdHg)Te при достаточно низких температурах одним из основных механизмов темнового тока является туннелирование через ловушки TAT