

УДК 550.42 : 550.35

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ДОЗИМЕТРИИ В РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

ПАМПУРА В. Д., НЕПОМНЯЩИХ А. И., МИРОНЕНКО С. Н., АФОНИН Г. П.

Предложена методика термолюминесцентной дозиметрии в радиогеохимических исследованиях с использованием монокристаллических детекторов «ДТГ-4» на основе LiF (Mg, Ti). Получены дозиметрические характеристики γ -активности различных по химическому составу и содержанию естественных редкоземельных изверженных, метаморфических и метасоматических горных пород, почв и низкоминерализованных вод оз. Байкал.

В последние 30 лет метод термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД) получил широкое применение в мировой практике индивидуального дозиметрического контроля обслуживающего персонала АЭС и ядерных энергетических установок. В 70-х годах зарегистрированы патенты геофизиков США (№ 4053772, 1977 г.) и Франции (№ 2362405, 1978 г.) на применение этого метода с использованием термолюминесцентных детекторов из поликристаллических таблеток фтористого лития и сульфата кальция для обнаружения повышенных содержаний радиоактивных эманаций почв при поисках урановых руд. Одновременно появились сообщения об отдельных случаях использования аналогичных детекторов для изучения регионального фона γ -излучения воздуха и почв в ряде стран Западной Европы и Скандинавии [1]. Норвежские физики исследовали также содержания радона, попадающего из различных по составу почв в жилые дома и постройки [2].

В настоящей работе приведены результаты некоторых радиогеохимических исследований методом ТЛД с использованием термолюминесцентных монокристаллических детекторов «ДТГ-4» на основе фтористого лития, разработанных в Институте геохимии им. А. П. Виноградова СО АН СССР.

МЕТОД ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ДОЗИМЕТРИИ

Метод ТЛД базируется на способности запастись энергией ионизирующих излучений рядом неорганических и органических веществ — радиотермолюминофоров [3]. При нагреве радиотермолюминофора запасенная им энергия ионизирующего излучения выделяется в виде световых квантов, количество которых пропорционально дозе излучения, поглощенной люминофором. На практике используются термолюминесцентные дозиметрические комплекты, в состав которых входит измерительное устройство и набор дозиметров, состоящих из детекторов, помещенных в специальную кассету. Первоначально в качестве радиотермолюминофоров для изготовления детекторов использовались либо природные минералы, например флюорит, либо искусственные соединения (например, LiF), специально не предназначенные для дозиметрических целей. Однако за последние 30 лет разработан ряд радиотермолюминофоров на основе соединений LiF, CaF₂, Al₂O₃, CaSO₄, MgB₄O₇ и других.

Детекторы в совокупности с измерительным устройством, в случае их применения в радиогеохимии, должны обеспечивать: регистрацию доз излучения начиная от $1 \cdot 10^{-3}$ сГр; высокую стабильность и сохранность показаний независимо от климатических условий ($\pm 35^\circ$ С относительная влажность до 99%); селективность регистрации различных видов излучения; возможность регистрации тяжелых частиц в узком диапазоне энергий; линейную зависимость полезного сигнала от дозы и независимость светового выхода от энергии излучения. Детекторов, отвечающих

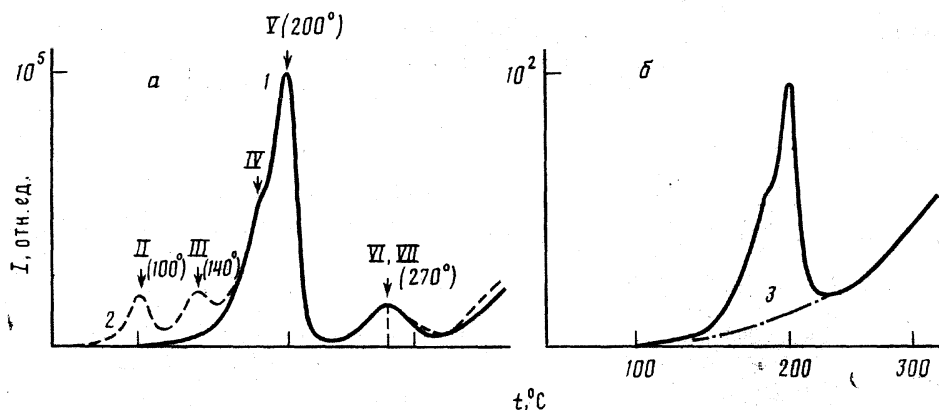


Рис. 1. Кривые ТЛ-сигнала детекторов ДТГ-4 для доз $5 \cdot 10^0$ (а) и $5 \cdot 10^{-3}$ сГр (б)
Скорость нагрева детекторов 5°C/c

комплексу этих требований, в настоящее время нет. Например, детекторы на основе LiF , CaF_2 , Al_2O_3 , CaSO_4 и MgB_4O_7 , на базе которых разрабатываются измерительные устройства, регистрируют дозы, начиная с $(1-5) \cdot 10^{-3}$ сГр, хорошо сохраняют дозиметрическую информацию, выходной сигнал линеен до 10^2 сГр и не зависит от мощности доз до 10^6 сГр/с. Однако все эти детекторы, за исключением детекторов на основе LiF , имеют неудовлетворительную зависимость выходного сигнала от энергии поглощаемого излучения в области до 150—200 кэВ. Кроме того, практически все детекторы представляют собой поликристаллические таблетки, которые обладают высоким фоновым сигналом, вызываемым поверхностной адсорбцией люминесценцией детекторов в результате их взаимодействия с атмосферой [4]. Для уменьшения вклада фонового сигнала измерения проводят в токе инертного газа, либо азота высокой чистоты, что усложняет измерительное устройство. К тому же детекторы, представляющие собой поликристаллические таблетки, быстро разрушаются, особенно в условиях высокой влажности.

У детекторов на основе LiF энергетическая зависимость выходного сигнала выражена слабо и составляет $+33\%$ при 33 кэВ, а в диапазоне от 80 кэВ до 10 мэВ световой выход не зависит от энергии. По этой причине детекторы на основе фтористого лития получили преимущественное распространение и составляют $\sim 70\%$ от мирового производства ТЛ-детекторов.

В настоящее время в основном используются три типа детекторов на основе LiF : за рубежом это TLD-100 производства фирмы «Harschaw» (США), в СССР — поликристаллические ТЛД-400 и монокристаллические ДТГ-4.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРОВ ДТГ-4

Используемая нами методика термолюминесцентной дозиметрии базируется на разработанных в Институте геохимии им. А. П. Виноградова СО АН СССР монокристаллических детекторах ДТГ-4 на основе $\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Ti})$ [5].

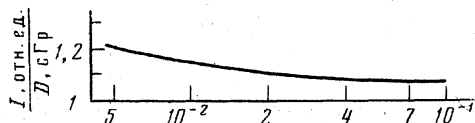
Нижний предел регистрируемой дозы ТЛ-детекторов определяется совокупностью светового выхода, фонового сигнала и степени соответствия спектра излучения детектора области максимальной чувствительности фотоприемника измерительного устройства.

Световой выход детекторов на основе LiF (TLD-100, ТЛД-400, ДТГ-4) практически одинаков и составляет $10^9 - 10^{10}$ квант/г·сГр, а максимум свечения (400 нм) соответствует области максимальной чувствительности фотоэлектронных умножителей. Эти характеристики позволяют разработать измерительные устройства, регистрирующие дозы на уровне 10^{-3} сГр и ниже. Таким образом, предел детектируемой дозы будет определяться вкладом фонового сигнала, обусловленного хими-

люминесценцией (ХЛ), максимум которой для детекторов LiF находится в диапазоне температур 310—330°С [4]. Вклад ХЛ определяется удельной поверхностью детекторов, поэтому в отличие от поликристаллических (TLD-100, ТЛД-400) монокристаллические детекторы имеют дозовый эквивалент собственного фона на уровне 10^{-3} сГр. На рис. 1 представлены кривые ТЛ-сигнала ДТГ-4, облученных γ -излучением дозами $5 \cdot 10^0$ — $5 \cdot 10^{-3}$ сГр (кривая 1). Химическая обработка детектора [3] делает возможным регистрацию доз $< 10^{-3}$ сГр.

В результате термической обработки, а также при повторном термовсвечивании облученных детекторов на кривой ТЛ-сигнала появляются дополнительные пики II, III (рис. 1, кривая 2), которые исчезают через 7 сут, независимо от того, облучался ли в это время детектор или нет.

Рис. 2. Дозная характеристика детекторов ДТГ-4, полученная после облучения на образцовом источнике ^{60}Co



Многократность применения — одна из основных эксплуатационных характеристик детекторов. Практически для всех известных типов детекторов на основе фтористого лития при их многократном применении необходимы специальные режимы дополнительной термической обработки.

Для многократного использования детекторов ДТГ-4 при дозах облучения < 300 сГр дополнительной термообработки не требуется. Сходимость результатов измерений дозы облучения на приборах ТЛД и «Victoreen» (США) не превышает 3%. Эти детекторы позволяют производить не менее 500 измерений без дополнительной термообработки.

Потери запасенной светосуммы (дозиметрической информации) при хранении детекторов определяются характеристиками центров захвата, а также температурой окружающей среды. Анализ экспериментальных и расчетных данных показывает, что потери дозиметрической информации при хранении детекторов в течение одного года при $+20$ и 35°C не превышают 5%. Для получения надежных результатов при 50°C время хранения детекторов следует ограничить 3 месяцами.

Дозные зависимости светового выхода ТЛ-детекторов ДТГ-4 линейны в широком диапазоне доз от 10^{-3} до 10^3 сГр (рис. 2). Отклонение от линейности при малых значениях доз от $1 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ сГр обусловлены фоновым сигналом детектора ХЛ и тепловым фоном нагревательного элемента (рис. 1, б, кривая 3). Значения погрешностей измерения, рассчитанные по 125 измерениям на каждом уровне доз от $(5-1500) \cdot 10^{-3}$ сГр, колеблются в пределах 20—10% при доверительной вероятности 0,95 и скорости нагрева $25^\circ\text{C}/\text{с}$. Уменьшение скорости нагрева снижает погрешность измерений.

Взаимодействие с ионизирующим излучением. При использовании детекторов ДТГ-4 в радиогеохимических исследованиях необходимо учитывать, что они взаимодействуют с электронным, β -, α - и нейтронным излучением, причем вклад этих излучений значителен. Подбором соответствующих фильтров можно либо устранить влияние других видов излучения, либо, выполнив необходимые метрологические исследования и зная характер излучения изучаемого объекта, оценить вклад в суммарную дозу конкретного вида излучения.

МЕТОДИКА ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ДОЗИМЕТРИИ

Подготовка детекторов. Вначале производили маркировку партии детекторов и их отжиг при 400°C в течение 10—15 мин. Подготовленные таким образом детекторы упаковывали в специальные кассеты, контейнеры или пакеты из свето- и влагонепроницаемых материалов, прозрачных для γ -излучения. В ряде случаев использовали открытые или покрытые тонкой нитратной пленкой детекторы. В этом случае их поверх-

ность подвергали воздействию суммарного γ -, α - и β -излучения. Полное поглощение α -частиц детектором происходило в слое толщиной ~ 14 мкм в диапазоне энергий 3—5 МэВ.

Использование детекторов ДТГ-4 толщиной ~ 1 мм приводило к изменению величины запасенной энергии в пользу γ -излучения, поглощаемого всем объемом кристалла. При этом значение α/γ составляло 0,05 для рабочего пика 200°С.

При изучении γ , β -радиоактивности разрезов почв использовали различные типы упаковок детекторов: полиэтиленовый пакет толщиной 0,3 мм; плоский круглый контейнер «Д» из полиэтилена диаметром 8 мм (толщина стенок 1,5 мм) и круглый свинцовый экран 5×1 мм; полиэтиленовый цилиндр «Ц» 25×35 мм (толщина стенок 4 мм); полиэтиленовый цилиндр «Б» с открытым сечатым дном, доступным для радиоактивных эманаций почвы. В этом случае различная толщина стенок упаковок и контейнеров делала возможным селекцию смешанного излучения на β - и γ -компоненты. Контейнер типа «Ц» полностью поглощал β -излучение с энергией 3—3,3 МэВ, а контейнер «Б» или полиэтиленовый пакет пропускал β , γ -излучение. Использование подобного комплекта упаковок и контейнеров во всех точках почвенного разреза делал возможным экспрессную идентификацию уровней накопления конкретных β , γ -излучателей ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{144}Ce и других.

Транспортировку подготовленных партий детекторов осуществляли в свинцовых контейнерах типа КЛ-4, 5-7.

Установку детекторов на местности в точках дозиметрических наблюдений осуществляли в различных вариантах в зависимости от задачи и характера объекта наблюдений. В случае радиогеохимического картирования на естественных или искусственных обнажениях помещали светозащитные полиэтиленовые пакеты с детекторами (от трех до десяти пяти—десятимиллиметровых детекторов ДТГ-4), сверху закрывавшиеся свинцовыми экранами или обломками этой же породы, так чтобы плоскость упаковки плотно прилегала к породе. В случае изучения рудных объектов детекторы, упакованные в номерные полиэтиленовые касеты $40 \times 12 \times 5$ мм и покрытые свинцовыми экранами толщиной 10—12 мм для снятия влияния излучения боковых стенок выработки, представлялись непосредственно в горной выработке вкострости зон околорудных метасоматитов и рудного тела. В разрезах почв упаковки с детекторами помещали непосредственно в почву на различные глубины без свинцовых экранов. При дозиметрических исследованиях водной толщи оз. Байкал (на глубоководной станции) детекторы помещали в герметичные полиэтиленовые цилиндрические контейнеры 25×40 мм (толщина стенок 4,5 мм), прикрепленные к тонкому стальному кабелю на глубинах от 34 до 434 м с интервалом в 50 м.

Экспозицию, т. е. время облучения детекторов в природном поле ионизирующих излучений, выбирали исходя из содержаний радиоэлементов в исследуемых геологических объектах с учетом величины надежно регистрируемой дозиметрической установкой накопленной детектором дозы данного излучения. Такие дозы γ -излучения с погрешностью 15—20% составляют для детекторов ДТГ-4 диаметром 5 мм $5 \cdot 10^{-3}$ сГр и для детекторов диаметром 10 мм — $1 \cdot 10^{-3}$ сГр. Минимальные и максимальные экспозиции для средних составов (содержания U, Th и K) почв и мраморов, рассчитанные по данным работы [6], колеблются от 109 до 1510 ч соответственно (табл. 1). Практически экспозиция для детекторов (5 мм) составляла, например, для Тажеранского полигона (Прибайкалье) 480—2562 ч в зависимости от типов пород, β , γ -активность почв измеряли в течение 50—60 ч, а наибольшая экспозиция для вод оз. Байкал составляла 8664 ч.

Высвечивание экспонированных детекторов производили на термoluminesцентной дозиметрической установке ТЛДУ-1, аттестованной как образцовое средство измерения 3-го разряда. В качестве аналитического сигнала использовали пик V при 200°С (рис. 1, а).

Облучение и расчет дозы. После высвечивания детекторов производили их вторичное облучение известной дозой γ -излучения ^{60}Co на

Расчетные значения экспозиции детекторов ДТГ-4

Объект	Диаметр детектора, мм	Годовая доза, $\mu\text{R}\cdot\text{ч}$	Накопленная доза, $\mu\text{R}\cdot\text{ч}$	Мощность годовой дозы, $\mu\text{R}/\text{ч}$	Экспозиция, ч
Почва	5	79,7	5	9,1	549
	10	79,7	1	9,1	109
Мрамор, район Тажерана (Прибайкалье)	5	28,9	5	3,3	1510
	10	28,9	1	3,3	303

Примечание. Годовая доза γ -излучения в воздухе над поверхностью земли от радиоактивных веществ (U, Th, K) в почве, мраморе и воздухе [6].

образцовых установках облучения, а по графикам дозных зависимостей рассчитывали накопленную дозу в сГр и мощность дозы в сГр/ч.

Оценка правильности измерений доз естественных полей ионизирующих излучений методом ТЛД состояла в сопоставлении полученных результатов с данными стандартной методики полевой радиометрии скитилляционным прибором СРП-68-01.

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЛД В РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Картирование Тажеранского щелочного массива, расположенного в Приольхонье на западном берегу оз. Байкал, методически важно из-за наличия радиогеохимически различных пород от мраморов до пегматовых жил.

Тажеранский массив сложен щелочными и нефелиновыми сиенитами, габброидами, пересечен жилами гранитных пегматитов, оконтурен полями роговиков и содержит тела скарнов, представляющих остатки кровли сланцево-карбонатной толщи ольхонской серии докембрия [7]. Вмещающие Тажеранский массив породы подвергнуты метаморфизму в условиях гранулитовой и амфиболитовой фаций. Многочисленные тела щелочных и нефелиновых сиенитов пересекают вмещающие породы или содержат их ксенолиты, переработанные под воздействием магматических процессов. Сланцы подверглись габброизации, по-видимому, в среднеглубинных условиях. Под воздействием щелочной магмы доломиты превращены в бруситовые мраморы и скарны, а сланцы — в роговики.

Вмещающие массив докембрийские породы сложены кристаллическими сланцами плагиоамфиболового, плагиопироксенового составов, кварц-полевошпат-биотитовыми гнейсами, мраморами, доломитами, кварцитами.

Термолюминесцентные детекторы ДТГ-4 (в количестве 500 шт) были расставлены в 50 точках вдоль трех профилей, пересекающих Тажеранский массив и вмещающие его породы с северо-востока на юго-запад. Точки наблюдений охватывали всю площадь массива, характеризуя все основные типы пород: мраморы (вмещающие), мраморы бруситовые, роговики, сланцы, гнейсы кварц-полевошпат-биотитовые с гранатом и без него, сиениты нефелиновые, сиениты щелочные гнейсовидные и пегматиты.

В точках измерения γ -активности после снятия детекторов были отобраны геохимические пробы массой ~ 1 кг, из которых были приготовлены фракции (0,5 мм) для определения валовых содержаний U, Th и K — γ -спектрометрическим методом. Количественные результаты измерения ТЛД γ -активности пород Тажеранского щелочного массива вместе с данными о содержаниях радиоэлементов приведены в табл. 2. По результатам средних значений γ -измерений ТЛ-детекторами выделены 9 групп, различающихся мощностью дозы излучения (табл. 2).

Радиогеохимические исследования околожилльных гидротермально измененных пород Дарасунского месторождения (Восточное Забай-

Таблица 2

Значения γ -активности пород Тажеранского щелочного массива и содержания в них урана, тория и калия

Типы пород	Число точек	Мощность дозы, $\mu\text{Р/ч}$	Мощность дозы по данным СРП-68-01, $\mu\text{Р/ч}$	U, г/т	Th, г/т	K, %
1. Мраморы кальцитовые	21	$7,9 \pm 1,2$ $3,5-10,8$	3,3 $2,5-5,5$	0,14—0,71	0,6—0,7	0,04—0,2
2. Роговики, экзоконтакт массива Тажеран	32	$9,1 \pm 1,3$ $5,7-14,5$	6,7 $3,5-11$	0,15—0,88	0,28—1,13	0,11—0,51
3. Мраморы бруситовые	17	$9,4 \pm 1,3$ $6,2-18,2$	4,5 $3,5-6$	0,76—0,99	0,06—1,07	0,09—0,15
4. Сланцы	8	$15 \pm 1,5$ $6,2-22$	13 $5-15$	2,3—4,2	1,9—11,4	2,38—3,12
5. Гнейсы, район Куркутского залива (оз. Байкал)	21	$15,6 \pm 1,6$ $10-19$	16,8 $12-20$	0,81—1,6	5—8,9	6,9—2,39
6. Сиениты нефелиновые	6	$26,2 \pm 2,6$ $21,3-36,3$	12,5	0,46—3,3	7,7—25,2	4,94—5,06
7. Сиениты щелочные, гнейсовидные	48	$29,4 \pm 2,9$ $11,3-45$	14,6 $7,5-16$	0,16—1,84	0,22—1,41	3,29—5,58
8. Гнейсы, массив Тажеран	3	$45,5 \pm 4,5$ $39-49$	42,5	0,8—1,6	5,1—8,9	2,39—9,92
9. Пегматиты	53	$128,1 \pm 9,1$	74,4	0,27—2,39	0,97—16,0	0,16—7,85

Примечание. В числителе — среднее арифметическое стандартное отклонение, в знаменателе — диапазон значений. Содержания урана, тория и калия найдены γ -спектрометрическим методом.

калье) осуществлены в опытном порядке методом ТЛД для оценки их γ -активности и ее вариаций для различных типов пород и рудных тел. Дозиметрические измерения были проведены по разрезу гидротермально измененных гранитоидов близ жилы Разведочная. Околожилная зона березитизации и сульфидизации характеризуется низкими дозами γ -активности от $5,4 \cdot 10^{-6}$ до $12,9 \cdot 10^{-6}$ сГр/ч и в то же время значительной дисперсией их значений, что указывает на процесс интенсивного перераспределения радиоэлементов в ходе изменений пород. Неизменные порфировидные гранитоиды в 5—10 м от жилы и далее отличаются плавным подъемом значений доз γ -активности до $14 \cdot 10^{-6}$ — $20 \cdot 10^{-6}$ сГр/ч. Это указывает на более высокие содержания, в частности урана и тория, в этих породах.

Разрезы лесных подзолистых почв исследовались для установления вертикальной зональности в распределении γ , β -радиоактивности. На рис. 3 показан типичный разрез лесной песчано-подзолистой почвы с травяной подстилкой и контрастным профилем распределения радионуклидов. По данным ТЛД выделяются три зоны: 1) зона наибольшего концентрирования β -нуклидов ^{60}Co , ^{137}Cs и ^{144}Ce в травяной подстилке и верхнем (6-сантиметровом) горизонте почв с мощностью доз $0,3 \cdot 10^{-3}$ — $16 \cdot 10^{-3}$ сГр/ч; 2) зона, приуроченная к 6—30-сантиметровому горизонту почв с мощностью доз смешанного β , γ -излучения $0,1 \cdot 10^{-3}$ — $0,3 \cdot 10^{-3}$ сГр/ч; 3) зона (глубина > 30 см) с диапазоном мощностей доз γ -излучения $0,5 \cdot 10^{-3}$ — $7 \cdot 10^{-3}$ сГр/ч.

Дозиметрические исследования вод оз. Байкал в районе пос. Большие Коты (Западный берег) с помощью глубоководной станции, установленной с якорем на глубине 434 м. Измеренные мощности доз γ -излучения при экспозиции 8664 ч (с 5.IV.1986 г. по 1.IV.1987 г.) колеблются от $0,22 \cdot 10^{-6}$ (глубина 284 м) до $0,54 \cdot 10^{-6}$ (334 м) сГр/ч при средней дозе γ -активности донного ила — $2,6 \cdot 10^{-6}$ сГр/ч. Полученная характеристика

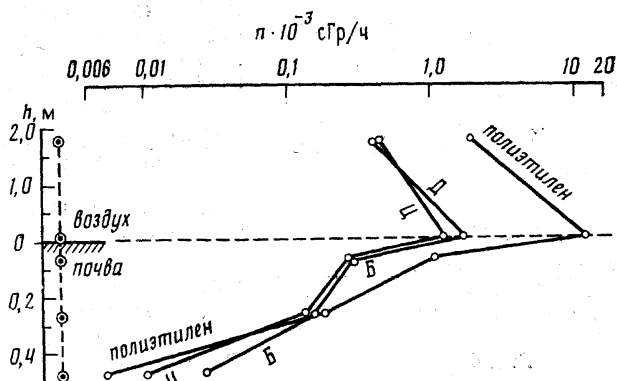


Рис. 3. Распределение доз γ , β -радиоактивности в разрезе лесной подзолистой почвы

доз иловых отложений существенно отличается от характеристики метаморфических пород ольхонской и шарыжелгайской свит докембрия (от 3—4 до $(9-16) \cdot 10^{-6}$ сГр/ч), слагающих коренной берег и скальное ложе Байкала в этом районе. Мощности доз песчано-галечных береговых отложений $(7-8) \cdot 10^{-6}$ сГр/ч близки к γ -активности пород указанных свит. Минимальные мощности доз γ -измерения вод Байкала обусловлены низкими содержаниями в них радиоэлементов: U — $(40-60) \cdot 10^{-5}$, K — $(1-1,1)$, Th $< 10^{-7}$ мг/л. Возрастание дозы в приповерхностном и придонном слоях воды до $(40-50) \cdot 10^{-6}$ сГр/ч обусловлено увеличением содержаний радиоэлементов за счет твердых взвесей, поступающих в результате надува пылевых частиц с берега, а также взмучиванием частиц ила придонным течением или оползнем ила на крутом склоне дна.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основная доля радиоактивности исследованных горных пород, рудных образований, почв и водной среды, измеренных детекторами ДТГ-4, обусловлена присутствием в них источников γ -излучения в виде изотопов рядов U—Th и ^{40}K . β - и α -излучение частично или полностью экранируется материалом упаковок-носителей детекторов вплоть до энергий 3,3 МэВ.

В ряду урана наибольшим вкладом γ -излучения обладает группа короткоживущих изотопов: ^{214}Pb , ^{214}Bi и ^{214}Po , квантовый выход γ -переходов которых составляет 95% от суммы квантового выхода всего ряда. В ряду тория практически все γ -излучение связано также с короткоживущими изотопами: ^{228}Ac , ^{228}Pb , ^{212}Bi и ^{208}Tl , на долю которых приходится 98,8% квантового выхода γ -переходов всего ряда тория. Вклад γ -излучения изотопа ^{40}K особенно велик в существенно полевошпатовых породах, слюдоносных метасоматитах, калийных солях, в которых содержание калия превышает 2—2,5 мас. %.

Вероятно, что во многих случаях исследованные породы представляют собой равновесные системы радионуклидов урана и тория. В связи с этим наблюдается соответствие между количеством эквивалентного урана

$$(U_{\text{экв}} \cdot 10^{-4} \% = U_{\text{обц}} \cdot 10^{-4} \% + 0,37 \text{ Th} \cdot 10^{-4} \% + 1,25 \text{ K} \cdot 10^{-4} \%)$$

и величиной мощности дозы γ -излучения для различных типов пород (рис. 4). Менее определено выражена зависимость между валовыми содержаниями урана и измеренной мощностью дозы.

Проведение дозиметрических измерений различных комплексов пород должно сопровождаться специальными измерениями фона для каждого типа пород с последующим учетом этих значений при вычислении средних значений их дозных характеристик. Использование свинцовых экранов толщиной 20 мм позволило снизить влияние фона, создаваемого окружающими породами, например для Тажеранского полигона, на

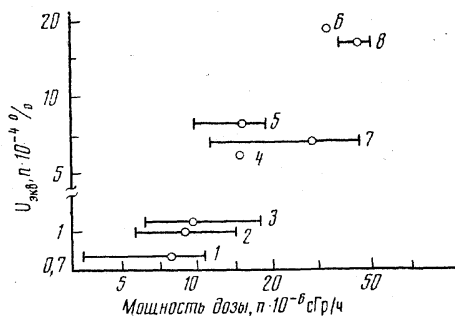


Рис. 4

Рис. 4. Соотношение содержания эквивалентного урана и мощностей измеренных доз γ -излучения пород Тажеранского массива

Цифры у точек соответствуют номерам в табл. 2

Рис. 5. Распределение доз γ -излучения в толще воды оз. Байкал

1 — породы берега и дна, 2 — точки дозиметрических измерений

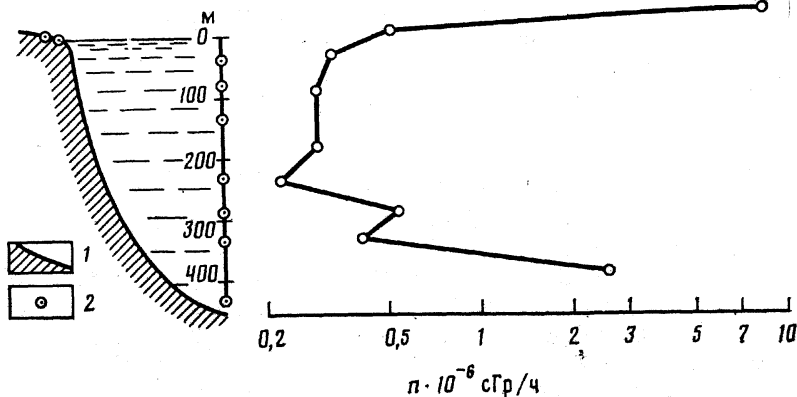


Рис. 5

$2,7 \cdot 10^{-6} - 5,4 \cdot 10^{-6}$ сГр/ч, что составило 17,5—32% от измеренной дозы без экрана.

Полученные результаты радиогеохимических исследований позволяют сделать вывод, что применение термолюминесцентных монокристаллических детекторов типа ДТГ-4 дает возможность непосредственно в полевых условиях измерить дозные характеристики γ -излучения горных пород, почв и природных вод, различных по химическому составу и содержанию радиоэлементов, а также охарактеризовать вклад β -излучения в разрезах почв. Дозиметрические измерения радиоактивности мраморов и роговиков показали возможность количественного обнаружения концентраций радиоэлементов на уровне $10^{-4} - 10^{-2}$ г/т.

Кроме описанных примеров практического применения ТЛД существует ряд радиогеохимических задач, в решении которых этот метод имеет технологические преимущества перед традиционными радиометрическими методами, использующими электронную радиометрическую аппаратуру типа СРП-68-01-02, ДП-3, ДРГЗ-3 и их аналоги. Такие свойства ТЛ-детекторов, как высокая чувствительность, способность к интегрированию минимальных доз излучений в течение длительной экспозиции, возможность селективной регистрации различных видов ионизирующих излучений, а также небольшие размеры и масса самих кристаллов обуславливают технологические преимущества метода ТЛД при решении следующих задач:

1) изучении γ , β -радиоактивности различных геологических объектов и окружающей среды в условиях, недоступных для использования существующей геологоразведочной радиометрической аппаратуры, например для дозиметрии на глубоководных станциях, исследования донных частей водных бассейнов и т. д.;

2) режимных наблюдениях неограниченной экспозиции за динамикой радоновых вод в гидрогеологических скважинах и перемещением водонефтяных контактов в нефтяных скважинах;

3) низкофоновых α , γ , β -спектрометрических исследованиях миграции естественных и осколочных радионуклидов в горных породах, почвах, водных бассейнах и других средах.

Дальнейшее совершенствование самой методики измерений радиоактивности различной природы ТЛ-детекторами состоит в развитии α , γ , β -спектрометрии путем конструирования сборок, состоящих из детекторов и серий фильтров, а также использовании детекторов на основе фторида кальция, селективных по отношению к α , γ -излучению. Предполагается также применение защитных низкофоновых камер малого объема с кратностью ослабления не менее 10^3 — 10^4 для измерения низкорadioактивных пород и минералов, содержащих концентрации радиоэлементов на уровне 10^{-3} — 10^{-4} г/г.

ВЫВОДЫ

1. Предложена методика ТЛД в радиогеохимических исследованиях с использованием монокристаллических детекторов ДТГ-4 на основе LiF (Mg, Ti).

2. В результате полевых радиогеохимических исследований ряда геологических объектов получены дозиметрические характеристики γ -активности различных по химическому составу и содержаниям естественных радиоэлементов изверженных, метаморфических и метасоматических горных пород, почв и низкоминерализованных вод оз. Байкал.

3. Намечены перспективы применения ТЛД в режимных наблюдениях динамики радиоактивных вод, перемещении водонефтяного контакта в нефтяных скважинах, в глубоководных радиогеохимических исследованиях и низкофоновых спектрометрических исследованиях миграции радионуклидов в различных геохимических процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Radiation Protection Information. Naturally occurring Radiation in the Nordic Countries Levels. The Radiation Protection Institutes in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, 1983. 35 p.
2. Stranden E., Ulbakt K., Endwall H., Jonassen N. // Radiat. Prot. Dosim. 1985. V. 12. № 1. P. 33.
3. Франк М. Ф., Штольц В. Твердотельная дозиметрия ионизирующего излучения. М.: Атомиздат, 1973. 100 с.
4. Глазунов О. О., Калитина Н. Г., Непомнящих А. И., Царегородцев Ю. Н. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1986. Т. 50. № 3. С. 578.
5. Непомнящих А. И., Мироненко С. Н., Афонин Г. П., Селявко А. И. // Атомная энергия. 1985. Т. 58. Вып. 4. С. 257.
6. Гусев Н. Г., Кимель Л. Р., Машкович В. П. и др. Защита от ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1969. 470 с.
7. Самойлов В. С., Конев А. А. Контактный метаморфизм и метасоматоз в ореоле Тажеранской щелочной интрузии. Новосибирск: Наука, 1974. 220 с.

Институт геохимии
СО АН СССР, Иркутск

Поступила в редакцию
4.III.1987

USING OF THERMOLUMINESCENCE DOSIMETRY IN RADIOGEOCHEMICAL STUDIES

PAMPURA V. D., NEPOMNYASHCHIKH A. I., MIRONENKO S. N., AFONIN G. P.

Method of thermoluminescence dosimetry using monocrystalline detectors «DTG-4» with LiF (Mg, Ti) basis is suggested for radiogeochemical studies. Dosimetric characteristics of gamma-activity have been obtained for various in bulk chemistry and natural radionuclides' contents igneous, metamorphic and metasomatic rocks, soils and low-mineralized waters of Baykal lake.