



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3832/82

16/8-82

P7-82-58

Г.Н.Флеров, Г.М.Тер-Акопьян, М.П.Иванов,
Е.А.Сокол, Г.С.Попеко, В.И.Смирнов,
Фам Нгок Чыонг, Д.В.Рундквист, Ю.К.Бурков,
А.Я.Жидков, О.А.Соболев, В.А.Черепанов

О ПОИСКЕ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Направлено в журнал "Радиохимия"

1982

В ряде работ, посвященных поиску сверхтяжелых элементов /СТЭ/ в природе, исследовались руды и минералы, а также продукты их переработки, богатые теми или иными легкими гомологами СТЭ. В целом результаты этих работ дали лишь верхние пределы содержания СТЭ. Однако не все изучавшиеся образцы могут рассматриваться как одинаково представительные для земной коры, и тем более для всего земного вещества. Например, не могут быть использованы для оценки предела содержания СТЭ данные, полученные при изучении более или менее чистых соединений различных химических элементов ^{1,2/}, "идеальных" минералов, содержащих минимальное количество примесей ^{3,4/} или сравнительно чистых химических фракций, выделенных из природных образцов ^{2,5-7,21,30/}. Разными авторами ^{5,8-15/} было исследовано в общей сложности около 300 образцов метеоритов, земных пород, руд или минералов, включающих специфические примеси различных редких элементов, соответствующие природным физико-химическим условиям формирования этих образцов. В большинстве случаев были получены пределы содержания СТЭ, находящиеся в диапазоне 10^{-12} - 10^{-11} г/г*. Несколько более низкие пределы следуют из данных измерений с нейтронными детекторами ^{11-13/} в предположении ^{16/}, что спонтанное деление СТЭ характеризуется большим числом мгновенных нейтронов $\bar{\nu} > 5/$. Однако такое предположение не может быть принято безоговорочно, и нельзя исключить, что для СТЭ $\bar{\nu} < 5/$ ^{17/}.

Таким образом, лишь для небольшого числа природных образцов были получены пределы концентраций СТЭ, меньшие чем 10^{-12} г/г ^{5,9,10/}, причем лишь в двух-трех случаях эти пределы приближались к 10^{-13} г/г.

По чувствительности, достигнутой при поисках СТЭ, выделяются данные для примитивных метеоритов Саратов, Алленде и Ефремовка. При изучении образцов этих метеоритов наблюдались события множественной эмиссии нейтронов ^{18,19/}, которые могли быть объяснены за счет спонтанного деления ранее неизвестного долгоживущего природного нуклида, по-видимому, принадлежащего к области СТЭ ^{19/}. Оценка концентрации этого нуклида для указанных метео-

* Если для поиска СТЭ применялись методы, основанные на регистрации спонтанного деления, предел концентрации оценивался в предположении, что период полураспада искомого сверхтяжелого нуклида равен 10^9 лет.

ритов оказалась в диапазоне $3 \cdot 10^{-15} - 3 \cdot 10^{-14}$ г/г^{19/}. В согласии с этой оценкой находятся данные работы^{20/}, в которой из образцов метеорита Алленде весом 8 кг, нагретых до 1000 °С, выделялись фракции, возгоняемые последовательно в токах воздуха и водорода. В другой работе^{21/} счет спонтанного деления фракции Pb, Cd и других элементов, выделенной из 2,3 кг материала Алленде растворением в сильных кислотах и последующим осаждением сульфидов при pH=5, дал отрицательный результат.

Дальнейшее исследование указанных метеоритов представляет большой интерес в связи с необходимостью проверки данных^{18,19/} и идентификации спонтанно делящегося нуклида. Однако такие эксперименты исключительно трудны ввиду очень низкого уровня активности спонтанного деления /0,02 события в сутки на 1 кг метеорита Алленде/ и практической невозможности ее существенного обогащения из-за ограниченного количества доступного материала метеоритов и неизбежности привлечения многих /иногда взаимоисключающих/ гипотез о химическом поведении искомого нуклида. По-видимому, представляется реальным поиск треков осколков спонтанного деления, которые могли аккумулироваться за период в 4,6 млрд. лет в кристаллах оливина /или в других минералах/, входящих в состав этих метеоритов. Однако данные о плотности таких треков в метеорите Алленде^{22-26/} недостаточны для определения возможного вклада СТЗ ввиду очень низкой его концентрации / 10^{-14} г/г/. При столь низкой концентрации неясной выглядит и возможность обнаружения изотопных аномалий, вызванных спонтанным делением СТЗ. Избыток тяжелых изотопов Xe в Алленде и других метеоритах, который приписывался некоторыми авторами спонтанному делению вымершего СТЗ^{27,28/}, по-видимому, объясняется без привлечения этой гипотезы^{29/}. К тому же этот избыток не менее чем на один порядок величины превосходит уровень аномалии, который мог бы быть вызван делением нуклида, о котором идет речь в работе^{19/}.

Если действительно активность спонтанного деления, обнаруженная в примитивных метеоритах, принадлежит СТЗ, образовавшемуся при нуклеосинтезе вещества Солнечной системы, среднее содержание этого элемента в земном веществе должно быть по порядку величины близким к тому, которое получено для метеоритов / 10^{-14} г/г/. Поэтому необходимым условием его идентификации является дальнейший поиск земных образцов, проявляющих активность спонтанного деления, либо другие признаки, свидетельствующие о присутствии СТЗ. Отметим, что некоторые химические элементы присутствуют в земной коре в количествах, иногда значительно /в десятки раз/ меньших, чем в каменных метеоритах. Нельзя полностью исключить эту возможность и в отношении искомого СТЗ. В таком случае поиск соответствующих земных образцов будет несколько осложнен.

Среди объектов исследования следует отметить гидротермальные источники, богатые различными тяжелыми металлами. В работе^{31/} сообщалось об обнаружении активности спонтанного деления неизвестного нуклида в продуктах, выделенных из термальных рассолов полуострова Челекен в Юго-Восточном Каспии. Хотя в некоторых продуктах наблюдавшаяся скорость счета более чем на порядок превышала скорость счета для метеорита Алленде и составляла ~1 событие в день на кг, концентрация искомого нуклида в исходном термальном рассоле была ниже, чем в метеоритах / $\sim 10^{-16}$ г/г/. Это объясняет те большие трудности, с которыми сопряжена работа по его дальнейшему извлечению и концентрированию из гидротерм Челекена^{32/}. Несмотря на это, такое извлечение и концентрирование представляет, несомненно, перспективный путь исследования проблемы СТЗ. Отрицательные результаты^{30,33/}, полученные при изучении других термальных рассолов /Атлантис II/, ни по полноте, ни по достигнутому уровню чувствительности^{33/} примененных для их извлечения химических методов^{30/} не могут служить оправданием для представлений о бесперспективности этого пути.

В настоящей статье мы хотели бы обратить внимание на целесообразность дальнейшего поиска земных образцов, обогащенных по сравнению с примитивными метеоритами искомым СТЗ. Обнаружение таких образцов могло бы иметь большое значение при рассмотрении вопроса о существовании СТЗ. Применяемые методы анализа должны удовлетворять необходимым условиям по чувствительности и экспрессности. Нами для анализа геологических образцов применялся нейтронный детектор, описанный в работе^{34/}. Детектор представлял собой блок из оргстекла диаметром 550 и высотой 700 мм, в центре которого имелся сквозной канал диаметром 160 мм для помещения исследуемого образца. Вокруг этого канала, полезный объем которого равнялся 10 л, размещалось 56 счетчиков длиной 500 мм и диаметром 32 мм, заполненных ³He с добавлением 1% CO₂ до давления 7 атм. Вероятность регистрации одиночного нейтрона делительного спектра, испущенного из центра чувствительного объема детектора, составляла 0,48. Поэтому в случае одновременного испускания нескольких нейтронов, что характерно для спонтанного деления, в течение короткого промежутка времени /~ 100 мкс/ ³He-счетчиками регистрировалось два или более электрических сигналов. Такие кратные нейтронные события отбирались электронной схемой детектора и фиксировались в качестве событий спонтанного деления. Вероятность их регистрации зависела от параметров распределения по множественности мгновенных нейтронов. Так, например, при спонтанном делении урана / $\bar{\nu} = 1,99$ / события с кратностью два и три регистрировались с вероятностью соответственно 0,2 и 0,04. При спонтанном делении ²⁵²Cf / $\bar{\nu} = 3,735$ / двойные и тройные события регистри-

ровались в большей доле случаев /0,32 и 0,18/ и, кроме того, с вероятностью более 0,06 могли наблюдаться события с кратностью четыре или пять. Отсутствие данных о величине \bar{v} для искомого СТЭ³² приводит к некоторой неопределенности в оценке вероятности регистрации его спонтанного деления. Однако, как видно из приведенных примеров, эта неопределенность не является существенной при поиске СТЭ. Мы предполагали, что вероятность регистрации СТЭ при наблюдении событий с кратностью более двух равнялась 0,25. Во всяком случае присутствие в образце весом 10 кг неизвестного спонтанно делящегося нуклида с $T_{1/2} = 10^9$ лет при концентрации $3 \cdot 10^{-13}$ г/г должно было привести к регистрации за одни сутки нескольких событий с кратностью ≥ 2 . Эти события могли быть идентифицированы с уверенностью на фоне кратных событий, возникших за счет взаимодействий космических лучей с веществом образца и детектора. Этот фон был существенно уменьшен благодаря тому, что детектор был защищен слоем бетона, эквивалентным 15 м воды, а также был снабжен системой активной защиты из пластических сцинтилляторов /см. /³⁴/ . Величина $3 \cdot 10^{-13}$ г/г всего в 30 раз больше оценки содержания СТЭ в метеорите Алленде¹⁹. Поэтому можно надеяться, что условия для такого концентрирования искомого элемента в земной коре окажутся не слишком экзотическими.

Для проведения работы необходим предварительный отбор объектов изучения, основанный на анализе предполагаемых природных механизмов миграции и обогащения ультрамалых количеств СТЭ в земной коре. Даже после такого отбора число геологических образцов, подлежащих изучению, окажется все же значительным - не менее тысячи. На первом этапе исследований нами было изучено несколько десятков образцов, представляющих некоторые породы и руды, в том числе моно- и полиминеральные образования. Выбор геологических объектов /табл.1/ производился по принципу наибольшей глубинности происхождения /кимберлиты, хромиты, анортозиты, железистые кварциты, сынныриты и др./, а также наибольшей концентраций таких элементов, которые теоретически могут явиться геохимическими аналогами соответствующих СТЭ. Наиболее предпочтительными оказались Холоднинское колчеданное свинцово-цинковое месторождение, являющееся древнейшим /> 1,5 млрд лет/ среди месторождений подобного типа и характеризующееся наличием глубинного источника рудного вещества и Сыннырский и Сакунский щелочные массивы с ультракалиевыми и глиноземными породами сынныритового и другого состава. Кроме того, измерениям были подвергнуты несколько других проб, имевшихся в нашем распоряжении.

В таблице приведены результаты измерений, проведенных с помощью нейтронного детектора. В данных, представленных в табл.1, содержится вклад от различных источников фона. Фон

установки с пустым чувствительным объемом /два события с кратностью два в день и на порядок величины меньшая скорость счета для событий более высокой кратности/ в основном вызывался взаимодействиями космических лучей с материалом детектора. Были проведены также измерения с чистыми образцами нержавеющей стали и свинца /образцы 64-66/, что дало оценку фона кратных событий от взаимодействий космических лучей с материалом образца. Вклад в фон от спонтанного деления примеси урана в образцах определялся по измеренному содержанию урана. Для этой цели готовились измельченные пробы образцов, которые наносились в виде тонких слоев на электроды ионизационной камеры. Эта камера облучалась в потоке нейтронов. Содержание урана определялось сравнением эффектов деления, индуцированных тепловыми нейтронами в изучаемом и контрольном образцах. Относительная ошибка определения урана в облучаемой пробе была не более 10% при концентрации $\geq 10^{-7}$ г/г. Однако получение с такой же точностью абсолютной оценки содержания урана в массивном образце требовало измельчения всего имевшегося материала и приготовления представительной анализируемой пробы. В ряде случаев /см. таблицу/ уран определялся в таких представительных пробах. Если же проба, облучаемая в потоке нейтронов, бралась от части образца, ошибка в оценке среднего содержания урана могла быть значительной /до 300%/.

В последнем столбце таблицы приведены пределы концентрации СТЭ, полученные на основании наблюдавшейся скорости счета от кратных нейтронных событий, из которой вычиталась скорость счета фоновых событий от спонтанного деления урана и взаимодействий космических лучей. Большинство полученных пределов составляет $2 \cdot 10^{-13}$ - $3 \cdot 10^{-13}$ г/г и определяется статистикой числа отсчетов. При этом не наблюдалось какого-либо явного избыточного эффекта кратных нейтронных событий, который бы выходил за рамки известных источников фона. Лишь в отдельных случаях /для некоторых образцов Холоднинского месторождения и сынныритов, а также образцов 32-34, 46, 47, 50, 51, 55/, возможно, наблюдался такой эффект, однако он может быть объяснен статистическим разбросом данных. Увеличение статистики должно устранить такую неопределенность. Уменьшение в 3-5 раз фона от взаимодействий космических лучей, которое представляется для данной установки возможным³⁴, позволит несколько увеличить чувствительность методики, доведя предел определяемой концентрации СТЭ до 10^{-13} г/г. При концентрации урана $> 10^{-5}$ г/г /образцы 42-45/ предел чувствительности задавался спонтанным делением урана и в данной постановке опыта не мог быть улучшен.

Нам представляется, что измерения, результаты которых приведены в таблице, являются лишь начальным этапом в поиске геологических объектов, которые могут быть обогащены гипотетическим СТЭ. Имеющиеся данные не укладываются в какую-либо геологическую концепцию, поэтому пока не представляется возможным выработать достоверную рабочую гипотезу для прогноза геологических образований, перспективных для поиска СТЭ. Тем не менее можно наметить контуры отдельных направлений дальнейшего анализа геологических объектов.

При изучении ряда образцов определенно не проявился заметный эффект множественной эмиссии нейтронов. К таким образцам относятся хромиты, кимберлиты и анортозиты. Намечая объекты изучения, среди проб, включенных в таблицу, необходимо обратить внимание на борсодержащие датолитовые руды. Представляются интересными железистые кварциты, некоторые разновидности колчеданно-полиметаллических и меднистых серноколчеданных руд Холоднинского месторождения и калсит-калишпатовые сиениты - сынныриты Сыннырского щелочного массива.

При дальнейшем поиске земных образцов, обогащенных в отношении СТЭ, следует учитывать разнообразие пути дифференциации элементов. Некоторые объекты, изученные в данной работе, образовавшиеся под действием механизмов миграции, представляющих интерес с точки зрения потенциальной возможности накопления СТЭ. По нашему мнению, поиск таких образцов должен быть значительно расширен и систематизирован. Известно, что породы, входящие в одну и ту же геохимическую ассоциацию, могут существенно различаться между собой по содержанию редких элементов. Например, содержание ряда тяжелых элементов в гранатоидах близких типов ³⁵ различается в десятки и даже в сотни раз. Следуя приведенным предположениям, целесообразно продолжить изучение месторождений различных элементов / Pb, Zn, K, Al, B, Si, As, Se, Tl, Be и др./, их ореолов рассеяния, обращая внимание на зоны разнообразных геохимических барьеров. Кажется предпочтительным изучение геологических формаций, приуроченных к тем зонам, где наиболее вероятно поступление вещества из глубинных источников /рифтовые зоны Прибайкалья, Западной Сибири, Кавказа и др./.

Изучение должно включать также продукты деятельности природных вод, различающихся по кислотности и окислительно-восстановительному потенциалу, по характеру промываемых пород и источникам редких элементов. В связи с предполагаемой летучестью СТЭ предлагается обратить внимание на гидротермы, действующие в зонах глубинных разломов земной коры, куда возможно поступление продуктов дегазации верхней мантии /что может быть установлено, например, по изотопному составу гелия, растворенного в воде/.

Наконец, допустим и несколько иной подход к поиску СТЭ. Можно предположить, что эти, безусловно, редкие химические элементы не окажутся рассеянными. В таком случае следует ожидать, что аналогично другим весьма редким химическим элементам они могут концентрироваться в некоторых минералах. Так, например, весьма редкий осмий известен в природе главным образом в форме самостоятельных минералов, а концентрация его на 7-8 порядков превышает кларк. Мантийный источник вещества и значительный масштаб концентрации редких элементов могут определить круг объектов для поиска СТЭ. В первую очередь представляют интерес минералы химических элементов платиновой группы, таллия, золота и др., известные в месторождениях Норильска и Северо-Востока СССР. Масштаб концентрации редких элементов в минералах этих объектов весьма значителен, а мантийный источник их не вызывает сомнения. Более того, минералы - концентраторы в отдельных случаях содержат летучие химические элементы - хлор и бром. Естественно, что поиск СТЭ на уровне минералов влечет применение иных методов, из которых наибольший интерес представляет локальный ионный масс-спектральный анализ.

Таблица 1

Результаты поиска событий множественной эмиссии нейтронов в геологических и других образцах. Указаны числа событий с кратностью $m=2$ и $m=3$, зарегистрированных за время Δt . Приведен ожидаемый фон от спонтанного деления урана, соответствующий измеренной концентрации этого элемента (CU). В последней колонке приведен полученный предел концентрации СТЭ.

№ Геолог. пп	Анализируемая проба и ее состав	Вес, кг	CU, 10^{-6} г/г	Δt , час	Результат		Фон		Предел содерж. СТЭ 10^{-13} н/г	
					$m=2$	$m=3$	$m=2$	$m=3$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Холоднинское месторождение										
1	A	Колчеданно-полиметаллическая руда	9,9	0,3	45	4	0	1,3	0,3	2
2	B	"-"	3,5	0,6	54	6	1	0,4	0,1	3
3	B	"-"	3,2	1,4	22	1	0	1,0	0,2	3
4	Г	Пирротиноносные углеродистые сланцы	6,1	2,4	46	1	1	2,5	0,5	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	Ж-1/8I	Богатая колчед.- полиметаллическая руда	7,9	0,5	3I	4	0	0,5	0,1	3
6	Ж-2/8I	Скарноиды	7,1	1,5	28	2	0	1,1	0,2	3
7	Ж-3/8I xx)	Прожилково-вкрап- ленная колчед.-по- лиметаллическая руда	7,5	0,5	23	4	0	0,3	0,1	3
8	Ж-4/8I xx)	Оруденелые сланцы								
9	Ж-5/8I	Колчед.-полиметал- лическая руда	6,3	0,7	23	2	0	0,4	0,1	3
10	Ж-6/8I	Серноколчеданная с халькопиритом руда	7,8	0,5	52	10	0	0,8	0,2	2
11	Ж-7/8I	Колчеданно-полиме- таллическая полос- чатая руда	7,1	0,7	23	1	0	0,4	0,1	3
12	Ж-8/8I	Серноколчеданная с халькопиритом руда	7,0	0,8	25	3	0	0,5	0,1	3
13	Ж-9/8I	Сливной кварц x)	5,5	0,2	54	6	0	0,4	0,1	2
14	Ж-10/8I	Колчеданно-поли- металлическая руда x)	8,1	1,1	127	18	1	4,0	0,8	2
15	Ж-11/8I	Колчеданно-поли- металлическая руда с высоким содержанием меди x)	7,9	0,9	14	2	0	0,4	0,1	3
16	Ж-12/8I	Серноколчеданная вкрапленная руда с галенитом и сфалеритом	8,0	1,0	11	0	0	0,3	0,1	5
17	Ж-13/8I	Колчеданно-поли- металлическая руда	9,5	0,4	109	23	1	1,6	0,3	3
18	Ж-14/8I	Богатая цинковая "шариковая" руда	8,5	0,4	28	1	0	0,4	0,1	3
19	Ж-15/8I	Ортоамфиболит x)	8,1	0,5	66	13	4	1,0	0,2	5
20	Ж-16/8I	Мончикит	7,8	4,8	67	10	1	9,4	1,8	3
21	Ж-215/8I	Ортоамфиболит	11	0,5	65	12	0	1,3	0,3	2
22	Ж-210/8I	Колчеданно-поли- метал. руда	10,5	1,1	70	8	1	3,0	0,6	2
23	Ж-26/8I	Серноколчеданная руда с халькопи- ритом	10	0,5	72	8	0	1,4	0,3	2
24	БМД - -3/80	Сыннырит Сыннырс- кого массива	9,5	0,3	60	10	0	0,6	0,1	3
25	БМД - -23/80	"-" "	9,1	2,5	21	5	0	1,8	0,4	5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
26	БМД - -4/80	Шонкинит Сыннырс- кого массива	9,7	2,5	37	4	1	2,8	0,4	4	
27		Сыннырит Сакунс- кого массива x)	6,1	3,0	36	3	0	5,5	0,5	3	
28		"-" x)	6,0	0,8	36	1	0	0,7	0,1	3	
29		"-" x)	8,7	1,7	23	1	0	1,3	0,3	3	
30		Шлам и немагнит- ная фракция сын- нырита Сакунсско- го массива x)	4,3	1,1	41	5	0	0,73	0,1	3	
31	БМД - -1/80	Пуласкит Сыннырс- кого массива	8,5	0,5	30	2	0	0,9	0,2	3	
32		Пентландит-кубанит- халькопиритовая руда x)	8,2	0,6	100	13	3	2,0	0,4	3	
33		Халькопирит-пирроти- новая (грубозерни- стая) богатая руда x)	8,6	5,0	209	37	7	37	6	4	
34		Борнитовая и халько- зиновая руда x)	9,2	0,4	24	4	1	0,4	0,1	4	
35		Полупродукт Cu, Ni x)	3,2	0,5	14	0	0	0,1		5	
36		Обжиговый (кислород- ный) возгон медно- никелевой руды x)	1,9	0,7	23	1	0	0,1		5	
37		Анортозит, Коростень- ский массив УССР	8,8	0,5	31	2	0	0,5	0,1	3	
38		Хромитовая руда	9,1	0,5	49	2	0	0,8	0,2	2	
39		" "	9,0	1,0	28	2	0	1,0	0,2	3	
40		Нимберлит	9,1		21	1	0			3	
41		" "	9,6	1,7	20	2	1	1,2	0,2	3	
42		Молибден-вольфрамо- вая руда (Казахстан)	4,3	120	9,3	9	1	17	3,4	30	
43		"-" "-" x)	3,1	17	58	12	1	12	2,2	10	
44		"-" "-"	3,6	12	39	2	1	6,3	1,2	7	
45		"-" "-"	8,1	20	30	9	0	19	3,6	6	
46	xx)	Целестин x)	3,2	1,3	25	7	0	0,6	0,1	3	
47	xx)	Железистые кварциты, Курская магнитная аномалия	2,2	1,0							
48	xx)	Гематит-магнетитовая руда, м-е Сутара	5,0			22	4	0	5,4	1,0	3
49	xx)	Медно-полиметалличес- кая руда, Алтай, Зыря- новское месторожде- ние	5,0	13							
50		Пирролизит, УССР, Ни- кольское месторожде- ние	5,0	6,1	23	7	1	2,7	0,5	5	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
51.		Железистые кварциты, Мурманская область	4,2	3,1	29	5	0	1,4	0,3	5	
52		Халькопирит-сфалерит-галенитовая руда, Кансай, Средняя Азия	4,9		39	3	0			3	
53		Свинцово-цинковая руда, Северный Кавказ, Садон	9,0	7,2	25	6	0	6,1	1,2	3	
54		" " "	9,1	4,0	16	3	0	2,2	0,4	3	
55		Датолитовая руда	2,0	2,6	36	9	0	0,7	0,1	20	
56	xx)	Коллективный концентрат летучих фракций месторождения полиметаллических руд х)	6,0	6,7		16	2	1	3,2	0,6	3
57	xx)	Ртутно-селеновый шлам	5,5	2,2							
58	xx)	Цинковый концентрат х)	6,2	7,0							
59	xx)	Свинцовый концентрат х)	6,8	5,0	11	3	0	3,8	0,7	4	
60		Свинцовый кек х)	5,3	1,0	21	4	0	0,4	0,1	4	
61	xx)	Вельц-окись после прополивания	6,2	2,3							
62	xx)	Хвосты коллективной фракции полиметаллических руд х)	5,8	6,0	14	0	0	2,7	0,5	3	
63		Молибденовый концентрат х)	6,3	0,4	2,4	4	0	0,2		3	
64		Нержавеющая сталь	5,7	0,1	261	33	3				
65		" "	35	0,1	65	20	3				
66		Свинец	24	0,1	39	11	5				

х/ Определение содержания урана проведено для представительной пробы.

xx/ Указанные пары смежных по номеру образцов помещались в детектор одновременно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1974, 20, с. 472.
2. Behringer K. et al. Phys.Rev., 1974, C9, p. 48.
3. Price P.B., Fleischer R.L., Woods R.T. Phys.Rev., 1970, C1, p. 1819.
4. Naak V. Naturwiss., 1973, 60, p. 65.
5. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1974, 20, с. 639.
6. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1975, 21, с. 9.
7. Minn J. Mc., Ihle H.R., Wagner R. Nucl. Instrum. and Meth., 1976, p. 139, 175.
8. Grimm W., Herrmann G., Schüssler H.D. Phys.Rev.Lett., 1971, p. 1040, 1408.
9. Geisler F.N., Phillips P.R., Walker R.M. Nature (London), 1973, 244, p. 428.
10. Stephan C. et al. J. Physique, 1975, 36, p. 105.
11. Cheifetz E. et al. Phys.Rev., 1972, C6, p. 1348.
12. Stoughton R.W. et al. J. Inorg. Nucl. Chem. Supplement, 1976, p. 215.
13. Stoughton R.W. et al. Nature Physical Science, 1973, 246, p. 26.
14. Fireman E.L., Ketelle B.H., Stoughton R.W. J. Inorg. Nucl. Chem., 1979, 41, p. 613.
15. Kaiser T., Piepgras D., Wasserburg G.J. Earth Planet. Sci. Lett., 1981, 52, p. 239.
16. Nix J.R. Phys. Lett., 1969, 30B, p. 1.
17. Hoffman D.C. Proc. Symp. on Superheavy Elements, Lubbock, Texas, 1978 (M.A.K. Lodhi, ed.), Pergamon, New York, 1978, p. 89.
18. Popeko A.G. et al. Phys. Lett., 1974, 52B, p. 417.
19. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1977, 26, с. 449.
20. Звара И. и др. ЯФ, 1977, 26, с. 455.
21. Lund T. et al. Inorg. Nucl. Chem., Lett., 1979, 15, p. 413.
22. Shirk J.R. Earth Planet. Sci. Lett., 1974, 23, p. 308.
23. Drozd R.J. et al. Astrophys. J., 1977, 212, p. 567.
24. Короткова Н.Н., Лаврухина А.К. Геохимия, 1980, №10, с. 1427.
25. Fraundorf P. et al. Earth Planet. Sci. Lett., 1977, 37, p. 285.
26. Flynn G. et al. Proc. Int. Symp. on Superheavy Elements, Lubbock, Texas, 1978 (M.A. Hodhi ed.), Pergamon, New York, 1978, p. 204.
27. Lewis R.S., Srinivasan B., Anders E. Science, 1975, 190, p. 1251.
28. Anders E. et al. Science, 1975, 190, p. 1262.
29. Begeman F. Rep. Prog. Phys., 1980, 43, p. 1309.

30. Lund T. et al. Z.Phys., 1981, A300, p. 285.
31. Flerov G.N. Z.Phys., 1979, A292, p. 43.
32. Flerov G.N., Ter-Akopian G.M. Pure and Applied Chemistry, 1981, 53, p. 909.
33. Halperin J. et al. Z.Phys., 1981, A300, p. 281.
34. Тер-Акопян Г.М. и др. ОИЯИ, P13-81-18, Дубна, 1981.
35. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудокопность гранитоидов. "Наука", М., 1977.

Флеров Г.Н. и др. О поиске сверхтяжелых элементов в геологических объектах P7-82-58

Проведен поиск событий множественной эмиссии нейтронов в более чем 50 образцах из различных геологических объектов. Установлен предел около $3 \cdot 10^{-13}$ г/г для концентрации спонтанно делящегося сверхтяжелого элемента. Обсуждается возможность дальнейшего поиска геологических образований, обогащенных гипотетическим сверхтяжелым элементом /по сравнению со средним веществом Земли/.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Flerov G.N. et al. On the Search for Superheavy Elements in Geological Objects P7-82-58

The search for multiple neutron emission events was carried out for more than 50 samples taken from various geological objects. The limit of concentration of approximately $3 \cdot 10^{-13}$ g/g was evaluated for spontaneously fissioning superheavy element. The possibility is discussed of further search of geological formations enriched in hypothetical element compared to bulk Earth matter.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 января 1982 года.