

ГЕОХИМИЯ

Б. М. МЕЛИКСЕТЯН

К ГЕОХИМИИ УРАНА И ТОРИЯ В НЕКОТОРЫХ
ГРАНИТОИДАХ ЮГА АРМЯНСКОЙ ССР

Изучению геохимии акцессорных радиоактивных элементов в изверженных породах в последнее время придается большое значение как за рубежом, так и у нас.

Вопрос о геохимической истории радиоактивных элементов в ходе дифференциации магматического очага и формирования интрузий имеет не только теоретическое значение, но и представляет определенный практический интерес в связи с использованием радиоактивных методов при поисках месторождений редких металлов (в частности Th, Y, Nb и др.), а также выяснения магматической истории региона [1].

Объектом наших исследований являлся полифазный полифациальный Мегринский плутон. Основными задачами исследований являлись: определение содержаний урана и тория в гранитоидах разновременных фаз, выявление характерных ассоциаций акцессорных минералов, выяснение форм нахождения радиоактивных элементов в породах и поведение радиоэлементов в ходе эволюции магматического очага.

Исследованиями по геохимии урана и тория были охвачены все петрографические типы пород на площади около 800 км². Из крупных проб весом 10—12 кг, отобранных для получения искусственных шлихов, оквартовывалась навеска измельченной породы для определения урана и тория*. Пробы на площади плутона располагались равномерно (одна проба примерно на 5—6 км²). Из искусственных шлихов отбирались мономинеральные фракции для определения урана и тория. Всего было взято и обработано около 250 проб.

Описываемый полифазный интрузивный комплекс представляет собой один из наиболее крупных и интересных в петрометаллогенетическом отношении интрузивных массивов Малого Кавказа.

Плутон прорывает сводовую часть Сюникского антиклинория общекавказского простирания, сложенного метаморфическими сланца-

* Определение содержания урана и тория производилось в лаборатории радио-химии. Уран определялся (дважды) люминисцентным методом аналитиком С. С. Акоповой. Точность определения $\pm 10-20\%$. Торий определялся химическим анализом по методу Остроумова аналитиками Ф. В. Акопян и Д. А. Казарян. Точность $\pm 5-10\%$.

Краткая петрографическая характеристика главных типов пород Мегринского плутона

Таблица 1

Породы	Нижепалеозойские граниты р. Малев	П е р в а я ф а з а		В т о р а я ф а з а	Т р е т ь я ф а з а
		Моноциты и сиенито-диориты	Щелочные сиениты	Граносиениты, гранодиориты	Порфировидные граниты и гранодиориты
1	2	3	4	5	6
Второстепенные фации и жильные породы	Встречаются разности, близкие к гранито-гнейсам. Развита аплиты и пегматиты.	Диориты, габбро-диориты, габбро, габбро-пироксениты, жильные породы: I этап — микромоноклиты, граниты, аплиты. II этап — диорит порфириты, габбро-диабазы, лампрофиры.	Щелочные пегматиты: а) калиполевошпатовые, мусковит-корундовые и др. б) фельдшпатондные с нефелином, содалитом и др.	В эндоконтактах: габбро, габбро-диориты, банатиты и «целировые» диориты. Широко развиты аплиты и пегматиты.	В эндоконтактах: кварцевые сиенито-диориты, кв. диориты и др. жильные породы: I этап — микрограниты, аплиты и пегматиты. II этап — диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры и др.
Распространенность	Площадь выхода 20 км ² ; в самой южной части плутона.	Занимают 60—70% площади интрузии (400 км ²). Габброиды около 15%, щелочные сиениты — 19—15%.	Развита в юго-восточной и восточной части интрузии. Площадь 30—40 км ² .	Развита в ЮЗ части плутона; площадь 150 км ² .	Развита в СЗ части плутона; площадь 200—250 км ² .
Количественно-минералогический состав	Калишпат (нерешетчатый) — 32,5%, плагиоклаз (№ 23—24) — 28,6%, кварц — 21,2%, биотит — 5,8%, роговая обманка — 1%, акцессории — 1,2%.	Очень непостоянный. Анортоклаз — 30—35%, плагиоклаз (№ 38—50) — 35—50%, биотит — 3—15%, моноклиновый пироксен — 0—5%, роговая обманка — 5—10%. Вторичные — 1—2%: эпидот, хлорит, серицит. Акцессории — 1,5—2%.	Калишпат — 50—55%, плагиоклаз (№ 26—37) — 20—25%, альбит (4—10) — 10—15%, биотит — 1—5%, роговая обманка и феррогастингсит — 5—10%, моноклиновый пироксен (диопсид-геденбергит, реже эгирин) — 1—5%, нефелин — 0—3%. Вторичные — цеолит, канкринит и др.	Непостоянный. Анортоклаз — 30—35%, плагиоклаз (№ 32—38) — 30—40%, биотит — 3—5%, роговая обманка — 5—10%, кварц — 5—15%. Вторичные — 1%: хлорит, эпидот. Акцессории — 1—1,5%. Колеблется содержание темноцветных минералов.	Анортоклаз — 30—50%, плагиоклаз зональный (№ 22—36) — 25—35%, кварц — 10—20%, редко 25%, биотит — 1—5%, роговая обманка — 3—10%. Акцессории — 1—2%. Вторичные — 1,5—2%: хлорит. Резко колеблется содержание анортоклаза.

1	2	3	4	5	6
Текстура и структура	Массивная, гнейсовидная. Среднезернистая, гипидиоморфнозернистая.	Массивная, пятнистая, флюидальная. Обычно монцонитовая, реже гипидиоморфнозернистая.	Среднезернистые, пегматоидные. Гипидиоморфнозернистая, гранобластовая.	Средне-мелкозернистая. Гипидиоморфнозернистая, реже таксиговая.	Порфировидная (крупные порфиробласты анортоклаза). Гипидиоморфнозернистая, реже аплиговая и микропегматитовая.
Состав и содержание характерных акцессориев	Магнетит (0,8%), апатит (0,28%), циркон (0,05%), редко: циртолит, торит, ортит, ксенотим и пирит.	Магнетит (0,6—0,7%), апатит (0,5—0,6%), сфен (0,3—0,5%), редко: циркон, ортит (0,006%), монацит (0,005—0,03%), циртолит, турмалин, торит, ильменит, анатаз, пирит, халькопирит и др.	Магнетит (0,03—0,4%), апатит (0,4—0,5%), сфен (0,5, иногда до 1,2%), бадделент, флюорит, ортит, монацит, турмалин и др.	Магнетит (0,4—0,5%), апатит (0,4—0,5), сфен (0,35%), циркон (0,05%), ксенотим, торит, шеелит, рутил, пирит, халькопирит, молибденит и др.	Магнетит (0,3—0,5%), апатит (0,4%), сфен (0,2—0,3%), циркон (0,03%), ураноторит (0,001—0,004%), гидроторит, уранинит, эвксенит, касситерит, циртолит, малакон, молибденит, висмутин и др.
Примечания	Рвутся монцонитами и сиенито-диоритами.	В виде штокообразных тел дополнительные интрузии мелкозернистых гранитов, граносиенитов и гранодиоритов. В участках развития габброидов много ксенолитов (порфириты и известняки). Переходы к щелочным сиенитам и габброидам постепенные.	В „шлировых“ диоритах и сиенито-гранитах много ксенолитов. Дополнительные интрузии мало распространены: гранодиорит-порфиры и аплитовидные граниты. Дайки II этапа очень редки.	В виде сателлитов штоки лейкократовых гранитов и гранодиоритов, (сс. Карчеван, Агарак). В эндоконтактах и эпикальных частях много ксенолитов. В виде штоков дополнительные интрузии гранодиорит-порфиров (Джбанд, Джиндара) и аплитовидные граниты.	

ми нижнего палеозоя, песчано-аргиллитовыми и карбонатными породами верхнего мела и, наконец, вулканогенно-осадочными породами нижнего эоцена.

Возраст плутона, согласно стратиграфической схеме С. С. Мкртчяна [8], датируется как верхний эоцен—олигоцен. Это подтверждается и проведенными нами предварительными определениями абсолютного возраста (по слюдам) кали-аргоновым методом (25—50 млн. лет, что по шкале Марбла соответствуют верхнему эоцену—олигоцену)*.

Формирование плутона протекало в три главные фазы [8], что подтверждается и проведенными исследованиями:

I. Породы „монцонитового ряда“ (кварцевые и бескварцевые монцониты, сиенито-диориты и др.), с которыми петрогенетически связаны породы основного и щелочного состава.

II. Граносиениты, гранодиориты, а также банатиты и диориты.

III. Порфировидные граниты, гранодиориты и граносиениты.

В соответствии с фазами внедрения интрузии выделяются фазы и этапы внедрения дополнительных интрузий и жильных пород (табл. 1).

С формированием плутона, в пространственной связи с дайками гранодиорит-порфиров, генетически связаны крупные медно-молибденовые и более мелкие полиметаллические и др. месторождения. Краткая характеристика пород разновременных фаз и средние химические составы главных типов пород приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 2

Средние химические составы главных типов пород Мегринского плутона

Содержание окислов в вес. %	Pz ₁	Первая фаза			Вторая фаза		Третья фаза	
	Гранит р. Малев, среднее	Монцонит, среднее из 14 анализ.	Сиенито-диорит, среднее из 8 анализ.	Щелочной сиенит, среднее из 8 анализ.	Гранодиорит, среднее из 8 анализ.	Граносиенит, среднее из 3 анализ.	Гранодиорит, среднее из 12 анализ.	Гранит, среднее из 16 анализ.
SiO ₂ . . .	72,00	52,81	55,63	56,68	63,94	66,68	64,43	68,66
TiO ₂ . . .	0,10	1,05	0,37	0,29	0,36	0,37	0,42	0,28
Al ₂ O ₃ . . .	16,25	19,46	19,88	21,20	16,81	16,62	16,20	16,27
Fe ₂ O ₃ . . .	0,93	3,28	3,40	2,50	2,49	1,26	2,39	2,45
FeO . . .	1,72	3,70	2,88	2,26	2,05	2,20	1,96	1,44
MnO . . .	0,03	0,10	0,10	0,15	0,08	0,05	0,15	0,08
MgO . . .	0,72	3,46	1,74	1,22	2,05	0,70	1,84	0,92
CaO . . .	1,52	6,23	5,21	4,01	4,10	1,88	3,94	2,69
Na ₂ O . . .	1,78	3,63	3,76	4,61	3,51	3,72	3,82	3,78
K ₂ O . . .	4,77	3,76	4,11	5,06	3,56	3,56	3,77	3,86
п.п.п. . . .	0,37	0,35	1,14	1,28	0,33	1,20	0,94	0,10
Сумма	100,19	99,83	99,22	99,26	99,28	99,24	99,86	100,53

* Шесть радиологических определений К—Аг методом произведены в лаборатории Дагестанского ФАН СССР.

более детальная петрографо-петрохимическая характеристика дана в опубликованных работах [8].

Характерными петрохимическими особенностями умеренно-кислых гранитоидов плутона являются повышенные содержания, по сравнению со средними типами по Дэли, таких окислов, как: CaO , Fe_2O_3 , FeO , отчасти TiO_2 и MgO . Отношение $\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}$ сильно варьирует (от 0,7 до 1,2), несколько возрастая в гранитоидах поздних фаз.

В соответствии с петрохимическими особенностями пород находится и состав акцессорных минералов в гранитоидах (табл. 1) плутона. Широко распространены кальциевые (ортит, сфен, апатит), титановые (ильменит, титаномagnetит, рутил, анатаз) акцессории и магнетит, реже встречаются монацит, циркон, циртолит, ураноторит, уранинит, торит, титанониобаты и др. акцессории.

Распределение урана и тория в породах разновременных фаз

Вмещающие плутон породы и граниты р. Малев. Метаморфическая толща палеозоя(?), сложенная рассланцованными амфиболитовыми и амфиболит-биотитовыми сланцами и порфиристы нижнего эоцена характеризуются весьма слабой радиоактивностью (см. табл. 3). Вблизи контакта с интрузией, кроме обычных акцессорных минералов—магнетита, апатита, эпидота, рутила, гематита—появляются метасоматический циркон (циртолит) и реже ураноторит. Содержание урана в палеозойских сланцах— $2,5 \cdot 10^{-40}\%$, а в нижнеэоценовых порфиритах— $1,5 \cdot 10^{-40}\%$; тория, соответственно, $2,0 \cdot 10^{-30}\%$ и $1 \cdot 10^{-30}\%$. В древних гранитах основными носителями радиоактивных элементов являются циркон, малакон, ксенотим и ортит. Содержание урана $4-5 \cdot 10^{-40}\%$, тория— $4,5 \cdot 10^{-30}\%$. Как для вмещающих пород, так и для древних гранитов характерно высокое отношение Th/U , равное 8—10.

Породы первой интрузивной фазы. Петрографическое и петрохимическое изучение этих пород указывает на значительную роль процессов ассимиляции и гибридизма.

Результаты определения содержания урана и тория показывают (табл. 3) их высокую активность и резкое обогащение торием при повышенном содержании урана. Среднее содержание урана в породах этой фазы составляет $4,75 \cdot 10^{-40}\%$, а тория— $3,0 \cdot 10^{-30}\%$, что превышает кларки этих элементов в средних породах в 3—4 раза.

В распределении радиоэлементов намечаются некоторые закономерности. Если в общем содержание урана в габброндных фациях довольно низкое— $3,2 \cdot 10^{-40}\%$, то в некоторых участках (г. Калакар) в пяти пробах отмечались аномально повышенные содержания даже в гранитоидах— $1,0 \cdot 10^{-30}\%$. Переходные породы состава монцонит-сиенодиорит по содержанию урана подвержены резким колебаниям. Отмечается определенная закономерность к возрастанию содержания урана в крайних северных и центральных участках, а также

Таблица 3

Распределение урана и тория в породах Мегринского плутона

Интрузивные фазы и главные типы пород	У р а н		Т о р и й		Th/U
	Количество анализов	Среднее содержание 10 ⁻³ %	Количество анализов	Среднее содержание 10 ⁻³ %	
<i>Вмещающие породы</i>					
Порфириты (ниж. эоцен)	2	1,5	1	1,0	7,0
Метаморфические сланцы Pz ₁ . . .	2	2,5	1	2,0	8,0
Граниты р. Малев Pz ₂ ?	3	4,5	1	4,5	10,0
<i>Первая интрузивная фаза</i>					
Габбро, габбро-диориты	10	3,2	3	2,5	8,0
Монциты, сиенито-диориты . . .	26	5,2	10	3,25	6,3
Гранодиориты, граниты	13	4,6	3	3,4	7,5
Щелочные сиениты	7	5,6	3	2,5	4,5
Жильные граниты	5	5,8	4	3,5	5,3
Аплиты, пегматиты	20	28,0	6	7,75	2,6
Среднее	56	4,75 · 10 ⁻⁴	20	3,0 · 10 ⁻³	6,4
<i>Вторая интрузивная фаза</i>					
Граносиениты, гранодиориты, квар- цевые диориты	8	4,7	3	2,8	6,2
Лейкократовые граниты, гранодио- риты р. Бугакяр	8	5,5	4	3,5	6,3
Аплиты, пегматиты	6	8,5	1	4,0	4,7
Среднее	22	5,2 · 10 ⁻⁴	15	3,2 · 10 ⁻²	6,1
<i>Третья интрузивная фаза</i>					
Порфировидные гранодиориты . . .	8	6,2	2	3,5	5,7
Порфировидные граниты	13	6,7	4	3,75	5,6
Аплитовидные граниты	5	8,0	2	4,25	5,3
Аплиты, пегматиты (I этап)	16	41,6	3	11,5	2,5
Гранодиорит-порфиры (II этап) . .	6	8,2	2	4,0	4,8
Среднее	48	6,4 · 10 ⁻⁴	10	3,6 · 10 ⁻³	5,6
Диорит-порфириты, габбро-диабазы, лампрофиры и другие (III этап)	6	3,4	2	2,5	7,5

П р и м е ч а н и е: При вычислении среднего содержания по главным типам пород завышенные данные не учитывались. В средние содержания по отдельным фазам жильный комплекс не входит.

в самых южных частях монцитовой интрузии и вдоль восточного контакта. Содержание урана в указанных частях монцитовой интрузии достигает $6-3 \cdot 10^{-4}\%$ и даже $1 \cdot 10^{-3}\%$. В западных и юго-запад-

ных частях интрузии отмечаются самые низкие содержания— $3 \cdot 10^{-4}\%$, реже $4 \cdot 10^{-4}\%$, что связано с заметно глубокой эродированностью этой части интрузии. Заметно обеднены, по сравнению с общим фоном, гранитоиды норраревикского типа (субфаза). Сильно радиоактивны фации мелкозернистых гранитов ($1,4 \cdot 10^{-3}\%$ урана).

Щелочные сиениты, особенно его лейкократовые фации, имеют высокое содержание урана— $5,6 \cdot 10^{-4}\%$ и самое низкое торий-урановое отношение—4,5, что, вероятно, связано с некоторыми специфическими условиями их генезиса и особенностями химического состава.

Кислые жильные породы раннего этапа несколько обогащены ураном ($5,8 \cdot 10^{-4}\%$) и торием ($3,5 \cdot 10^{-3}\%$). Максимальные концентрации отмечаются в аплитах и пегматитах, где среднее содержание урана составляет $2,8 \cdot 10^{-3}\%$, а тория— $7,2 \cdot 10^{-2}\%$.

Отношение Th/U в пределах первой интрузивной фазы совершенно отчетливо понижается от основных (8,0) к более кислым фациям (5,3), особенно низко в щелочных сиенитах (4,5), и от кислых жильных дериватов (5,3) к аплитам и пегматитам (2,6).

Следует отметить, что в вышеуказанных участках интрузии с повышенным содержанием урана отмечаются более низкие Th/U отношения (4,5—5), причем интересно, что содержание тория в этих участках довольно однообразное— $3,25—3,5 \cdot 10^{-3}\%$.

Это, несомненно, свидетельствует о некотором перераспределении, вернее, перемещении в процессе остывания монцонитовой интрузии подвижных соединений урана (совместно с летучими) в участки с пониженным давлением (контакты). Подобное явление впервые отмечалось Гроссом [3], позднее многими исследователями [13, 14].

Породы второй интрузивной фазы характеризуются более кислым составом и меньшим разнообразием фаций. Процессы гибридизма и контаминации проявлены сравнительно слабо. В общем наблюдается некоторое обеднение граносиенитов как торием ($2,8 \cdot 10^{-3}\%$), так и ураном ($4,7 \cdot 10^{-4}\%$); содержание их несколько ниже, чем в монцонитах и сиенито-диоритах первой фазы. А в некоторых участках („шлировые диориты“, сиенито-граниты, кварцевые диориты) содержание урана понижается до $2—3 \cdot 10^{-4}\%$, что в два раза меньше, чем в молодых порфировидных гранитах. Несколько высоко содержание урана ($5,5 \cdot 10^{-4}\%$) и тория ($3,5 \cdot 10^{-3}\%$) в лейкократовых гранитах и гранодиоритах р. Бугакар. В целом заметно низкое содержание урана и тория в породах второй фазы наследуется и связанными с ними аплитами и пегматитами. Возможно, что эта особенность гранитоидов второй фазы связана либо с ассимиляцией слабо-радиоактивных пород кровли, либо, что более вероятно глубокой эродированностью исследованной части интрузива. Отношение Th/U находится в пределах 6—6,3 и несколько повышается в поздних дериватах (табл. 3).

Породы третьей интрузивной фазы представлены порфировидными гранитами и гранодиоритами. Процессы ассимиляции выражены

в контактной контаминации с образованием роговообманковых гранодиоритов и кварцевых сиенито-диоритов.

Среднее содержание урана в целом по интрузии порфировидных гранитов составляет $6,4 \cdot 10^{-4}\%$, что почти вдвое выше кларка. Содержание тория также высокое — $3,6 \cdot 10^{-3}\%$. Распределение урана и тория в интрузии неравномерное. С одной стороны максимальные содержания урана и тория ($8 \cdot 10^{-4}\%$ до $1 \cdot 10^{-3}\%$ урана и $4,0—5,0 \cdot 10^{-3}\%$ тория) приурочены к более кислым, богатым калием породам, с другой — тяготеют к контактовой и частью к апикальной полосе интрузии.

Обогащение периферийных частей штока порфировидных гранитов ураном и торием, (а также K_2O и SiO_2) обусловлено, как указывалось выше, перемещением соединений урана вместе с летучими в конечные стадии кристаллизации магмы (эманационная дифференциация) к участкам с пониженным давлением (зона разлома и контактовая полоса с порфиритами). Прекрасным подтверждением перемещения (и даже выноса) урана к эндоконтактовым и экзоконтактовым участкам штока является сравнительно высокое содержание акцессорного ураноторита, реже уранинита в краевых участках (до 0,0035, вместо обычных $0,001\%$) и нахождение метасоматического ураноторита в порфиритах вблизи от контакта.

Следует заметить, что эта полоса, шириной примерно 700—800 м, вдоль северо-запад—север-северо-восточного направления представлена биотитовыми и лейкократовыми гранитами, которые далее к центру интрузии постепенно сменяются роговообманковыми гранитами и гранодиоритами. В центральных частях массива, да и в краевых участках, значительные колебания концентрации урана и тория в порфировидных гранитоидах обусловлены неравномерным распределением акцессорных минералов—носителей урана и тория (ураноторита, гидроторита, циртолита и др.).

По сравнению с ранними фазами, здесь фиксируется самое низкое торий-урановое отношение (5,6), закономерно понижающееся в более поздних дифференциатах этой интрузии (аплитовидные граниты—5,3, в гранодиорит-порфирах—4,8 и, наконец, в аплитах и пегматитах—2,5). Так, в аплитовидных гранитах и гранодиорит-порфирах около $8—10 \cdot 10^{-4}\%$ урана и $4—4,5 \cdot 10^{-3}\%$ тория. Среднезернистые гранодиориты (ущ. р. Макан), являющиеся более глубоко эродированной фазией интрузии, имеют сравнительно низкое содержание урана ($4,5—5 \cdot 10^{-4}\%$) и меньшее количество акцессорного ураноторита.

Максимальные концентрации урана и тория отмечаются в аплитах—в среднем $4,16 \cdot 10^{-3}\%$ урана и $1,15 \cdot 10^{-2}\%$ тория. Причем, пегматиты обогащаются ураном в большей степени, чем торием.

Значительные колебания в содержании урана и тория в центральных частях штока объясняются различной эродированностью кровли интрузива. Как показывают исследования, северная и северо-восточная часть интрузива менее эродирована, чем южная и юго-восточная.

Штокообразные тела лейкократовых гранитов и гранодиоритов (сс. Агарак, Карчеван) по степени радиоактивности, как и по составу акцессориев, резко выделяются на фоне гранитоидов второй фазы и являются, несомненно, сателлитами главного тела—интрузии.

Жильные породы позднего этапа: гранодиорит-порфиры, диорит-порфиры, габбро-диабазы и лампрофиры различного состава характеризуются низкими содержаниями радиоактивных элементов (урана $3,4 \cdot 10^{-4}\%$, тория— $2,5 \cdot 10^{-3}\%$) и весьма высоким отношением Th/U, приближающимся к гибридным породам первой фазы (6—7,5). Однако, следует отметить, что многие из лампрофиров (керсантиты и спессартиты), а также отдельные дайки гранодиорит-порфиров, связанные с третьей интрузивной фазой, (вероятно ранней генерации, обычно содержащих ураноторит), характеризуются некоторым накоплением урана ($5 \cdot 10^{-4}\%$) и тория ($3,5 \cdot 10^{-3}\%$).

Жильные породы раннего этапа и особенно аплиты и пегматиты, характеризуются высокими содержаниями урана (порядка $2—5 \cdot 10^{-3}\%$) и тория ($1—2 \cdot 10^{-2}\%$). В пегматитах, кроме обычных для изверженных пород акцессориев, содержащих уран и торий, встречается ряд редких урано-ториевых (уранинит, торинит и др.) и ниоботанталовых минералов (виикит, пирохлор, эвксенит, бетафит и др.).

Зоны гидротермально-измененных пород характеризуются в общем высокой радиоактивностью. В окремненных, частью карбонатизированных породах г. Джбанд содержание урана (в 2—3 раза выше фона в неизмененных породах) составляет (среднее из 4)— $1,2 \cdot 10^{-3}\%$; в турмалинизированных породах р. Ванк— $5 \cdot 10^{-4}\%$; в измененных породах—до $1 \cdot 10^{-3}\%$.

В гидротермально измененных породах (окварцованных, серицитизированных) рудных месторождений (Каджаран, Агарак, Давачи, Джиндара) наблюдается скачкообразное изменение содержания урана от $3 \cdot 10^{-4}\%$ до $1,0 \cdot 10^{-3}\%$ и даже $1,5 \cdot 10^{-3}\%$ (Джиндара), т. е. примерно в пять раз.

Вероятно, в зависимости от характера изменений и состава растворов, уран может выщелачиваться этими растворами (а может и привноситься) и затем в благоприятных условиях отлагаться. Постмагматическая геохимическая история урана в тему настоящего сообщения не входит.

Распределение и формы нахождения урана и тория в минералах гранитоидов

Для понимания геохимии урана и тория в магматическую стадию, важное значение имеет вопрос распределения этих элементов по минералам гранитоидов.

Вопрос о формах нахождения урана и тория в породах пока еще недостаточно выяснен. Ряд исследователей склонен считать, что

основная масса урана и тория в породах (70—90%) сконцентрирована в минералах тяжелой фракции [2, 6, 16]. Другая группа исследователей отмечает, что главная масса урана (и некоторая часть тория) в породах находится в легкоподвижном состоянии („неизоморфная форма“) и легко выщелачивается (около 70—80%) различными растворителями [9, 12, 14].

В таблицах 4 и 5 приводятся средние содержания урана и тория в породообразующих и акцессорных минералах из пород Мегринского плутона.

Таблица 4

Содержание урана и тория в породообразующих минералах из пород Мегринского плутона*

Минералы	У р а н		Т о р и й		Th/U	Примечание
	Число проб	Среднее содержание в ‰	Число проб	Среднее содержание в ‰		
Анортоклаз	3	0,0005	2	0,003	6	В одной пробе 0,005‰ (примесь ураноторита)
Плагноклаз (№ 22—30)	3	0,0004	2	0,002	5	
Нефелин	2	0,0004	1	0,005	12,5	
К в а р ц	2	0,0003	1	0,002	6,3	Возможно, включения оранжита
Содалит	1	0,0003	1	0,004	13,3	
Мусковит	2	0,00035	2	0,022	63	
Б и о т и т	7	0,0006	2	0,006	10	Редко 0,001‰ за счет включений циркона
Роговая обманка	4	0,00035	3	0,002	5,8	
Пироксен	1	0,0002	—	—	—	
Турмалин	2	0,00025	1	0,003	12	
Эпидот	2	0,0004	1	0,006	15	

* Определения урана произведены С. С. Акоповой, определения тория Ф. В. Акопяном и Д. А. Казаряном.

При рассмотрении содержания радиоэлементов в породообразующих минералах обращает на себя внимание несколько пониженный, по сравнению с гранитоидами, порядок содержаний урана и тория в кварце, плагноклазе, пироксене, роговой обманке, турмалине и нефелине из щелочных пород. В то же время порядок содержаний урана и тория в анортоклазе и биотите идентичен таковому в породе.

Колебания в содержании урана и тория в породообразующих минералах показывают, что в породах, характеризующихся высокими содержаниями урана и тория, породообразующие минералы также несколько обогащены этими элементами. Для урана намечается некоторая приуроченность к калневым минералам. Отношение Th/U в главных породообразующих минералах (анортоклаз, кварц, биотит, роговая обманка и плагноклаз) примерно такое же, что и в гранитоидах (5—6,5, редко 10—в биотите).

Таблица 5

Содержание урана и тория в акцессорных минералах из гранитоидов
Мегринского плутона*

	У р а н		Т о р и й		Th/U	Примечание
	Число проб	Содержа- ние в ‰	Число проб	Содержа- ние в ‰		
Магнетит	7	0,0006	4	0,005	8,3	В лвух пробах 0,005 0,02‰ урана (сростки с цирконом)
С ф е н	7	0,010—0,03	2	0,12	12	Редко 0,1—0,3‰
Апатит	6	0,005	4	0,05	10	Нередко до 0,1—0,3
Циркон	6	0,065	3	0,10	1,5	Бесцветные 0,01—0,03‰ розовые 0,03—0,1
Анатаз	2	0,1	2	0,3	3,0	
Ильменит	1	0,001	1	0,01	10	
О р т и т	3	0,012	3	1,28	12,0	В метамиктных—до 0,3‰ урана
Монацит	2	0,3	2	10,0	30	
Ксенотим	2	3,0	2	5,0	1,6	
Циртолит	6	1,0	6	0,7—3	3,0	
Малакон	4	1,—3,0	4	3—10	3,0	
Торит	2	0,3—1	2	10	30	
Танталониобат	10	1,0—3,0	10	~3,0	3,0	
Ураноторит	2	9,8	2	~46	4,5	

* Содержание урана и тория определены химически для магнетита, сфена, апатита, циркона, ортита, ураноторита, в остальных минералах спектральным и рентгеноспектральным методом в лаборатории ИГН АН АрмССР и в ИМГРЭ АН СССР.

В наиболее распространенных акцессорных минералах (сфен, ортит, апатит, циркон, магнетит, ильменит) содержание урана порядка 0,005—0,01‰, реже 0,03‰; в 10—20 раз больше, чем в породах. Наиболее высокое содержание урана устанавливается в цирконах.

В то же время торий концентрируется преимущественно в ортите и монаците и частью в торите и др. минералах. Заметное количество урана и тория концентрируется в редко встречаемых акцессориях: циртолите, малаконе, торите, титанониобатах и уранините. Только в ураноторите из порфировидных гранитов сконцентрировано около 15‰ урана и 30‰ тория от общего содержания в породе.

Отношение Th/U в сфене, апатите, магнетите, ильмените, ортите вдвое выше, чем в гранитоидах (8—12), а в цирконе, рутиле, ксенотиме, циртолите, малаконе, танталониобатах, ураноторите—очень низкое (от 2 до 5).

В одних и тех же минералах (в сфене, цирконе, ортите, монаците и др) из гранитоидов поздних фаз, по сравнению с породами ранней фазы, намечается как общее возрастание содержания радиоэлементов, так и уменьшение отношения Th/U.

Как видно из результатов пересчета* общего содержания урана в породах по минералам (табл. 6), значительная часть урана, около 60—65% приурочена к кварц-полевошпатовой части. Остальная часть— 30—35%, заключена в акцессориях. На долю фемических минералов в кислых гранитоидах приходится весьма незначительная часть (около 1%), в более основных породах (монзониты), содержащих значительное количество амфибола и биотита, содержится примерно 20% урана.

Таблица 6

Распределение урана по минералам главных типов гранитоидов
Мегринского плутона

Минералы	Среднее содержание минерала в породе в %	Содержание в минерале в г/т	Количество урана в минерале при пересчете на 1 т породы в г/т	Уран, приходящийся на данный минерал
----------	--	-----------------------------	---	--------------------------------------

Монзонит (I фаза), среднее содержание 5,2 г/т

К в а р ц	2,3	3,0	0,07	1,2
Калишпат	35,0	4,0	1,70	33
Плагиоклаз	36,0	3,0	1,05	20
Б и о т и т	15,0	6,0	0,80	15,2
Роговая обманка	10,0	3,0	0,35	7,2
Магнетит и пр.	2,0	6,0	0,12	0,2
Апатит, сфен, циркон, цирколит, ортит	0,68	160	1,08	20,31
М о н а ц и т	0,02	2000	0,40	7,2
	100,0		5,57	104,3

Порфировидный гранит (III фаза), среднее содержание 6,4 г/т

К в а р ц	25	3,0	0,75	11,8
Калишпат	40,0	5,0	2,0	35,8
Плагиоклаз	30,0	4,0	1,2	18,8
Б и о т и т	2,0	6,0	0,12	0,4
Роговая обманка	2,5	3,5	0,07	0,2
Ортит, сфен, апатит, циркон	0,5	250	1,25	19,5
Ураноторит	0,001	100 кг	1,0	13,7
	100,0		6,38	100,0

Примечание: содержания породообразующих минералов в породах даны для средних типов. Содержание акцессорных минералов установлено в результате подсчета зерен в шлихах из пород с последующим определением весового процента.

Что же касается распределения тория в породах, то следует отметить, что на долю акцессорных, особенно ортита, монацита, ураноторита и торита, приходится 50—60% от общего его содержания

* Результаты пересчета, вероятно, завышены для содержания урана в породообразующих минералах за счет включений акцессориев, содержащих U и Th.

в породе. Об этом свидетельствует тот факт, что порядок содержания тория в породообразующих минералах почти вдвое ниже, чем в породах.

Рассматривая общий характер распределения радиоэлементов по минералам изученных гранитоидов, необходимо отметить, что формы нахождения в них радиоактивных элементов различны. В акцессорных минералах (в цирконе, циртолите, малаконе, сфене, ортите, монаците, апатите и др.), уран и торий изоморфно входят в кристаллические решетки этих минералов, однако, кристаллохимическая зависимость изоморфизма Th и U от содержания в них редких земель и иттрия делает изоморфные замещения ограниченными.

Этим в свою очередь объясняется наличие в гранитоидах урановых и ториевых минералов (ураноторита, торита, уранинита, эвксенита и др.).

В породообразующих минералах весьма незначительная часть атомов урана и тория, увлекаемая титаном и железом в решетки амфиболов и биотита, может находиться в состоянии захвата—эндокриптии. В связи с этим многие исследователи приходят к выводу, что часть урана в породообразующих минералах (и в породе) находится в неизоморфной форме.

Так, Д. И. Нейерберг [9] выделяет до шести форм нахождения урана в гранитоидах. Экспериментальные исследования [9, 12, 14] по выщелачиванию урана из пород показали, что около 70—80% урана легко выщелачивается слабыми растворителями (в наших гранитоидах не более 30—40%). Однако, учитывая весьма незначительные размеры ураноторита, уранинита, малакона и ксенотима (0,01—0,06 мм) и их неустойчивое метамиктное состояние, а также наличие на первичных минералах растворимых вторичных продуктов (хиблит, гидроторит и др.) и довольно жесткие условия опытов, можно полагать, что неизоморфная форма в породах не превышает 30—40%, а возможно и меньше.

Высокие же содержания радиоэлементов в породообразующих минералах обусловлены, вероятно, включениями (импрегнацией) субмикроскопических выделений указанных выше акцессорных или тонкодисперсных частичек вторичных урановых минералов.

Понижение содержания урана и тория в глубокоэродированных частях интрузий объясняется, в частности, уменьшением содержания или полным исчезновением торита, ураноторита, малакона, циртолита и др., развитых обычно в апикальных частях интрузий, что также говорит о связи урана и тория с акцессорными минералами. Таким образом, на долю породообразующих минералов падает довольно незначительная часть урана гранитоидов.

Несомненным является и атомарное рассеяние урана (на гранях кристаллов, в интерстициях, газовой-жидких включениях и др.), высказанное В. И. Вернадским и А. Е. Ферсманом.

Поведение урана и тория в ходе формирования плутона

Среднее содержание урана в целом по плутону составляет $5,2 \cdot 10^{-4}\%$ и превышает кларк в гранитоидах всего в 1,7 раза, а среднее содержание тория— $3,3 \cdot 10^{-3}\%$, что выше кларкового содержания в 2,5 раза (табл. 7).

Таблица 7

Средние содержания урана и тория в главных типах пород плутона

Породы	У р а н			Т о р и й			Th/U
	Фактическое содержание в ‰	Кларк по А. П. Виноградову в ‰	Концентрация	Фактическое содержание в ‰	Кларк по А. П. Виноградову в ‰	Концентрация	
<i>I интрузивная фаза</i>							
Габброиды	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	4,0	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	8,3	8,0
Монциты, сиенитодiorиты . . .	$4,75 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	2,6	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	4,2	6,4
Щелочные сиениты	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,1	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	3,6	4,5
<i>Гранитоиды II фазы</i>	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	1,5	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	1,7	6,1
<i>Гранитоиды III фазы</i>	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	1,8	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	2,0	5,6
Среднее содержание по плутону	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	1,7	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	2,5	6,5

Примечание: при вычислении среднего содержания по плутону в целом учитывалось площадное распространение главных типов пород.

В пределах отдельных фаз, как это видно из диаграммы, содержание урана и тория закономерно возрастает к крайним членам дифференциации. В общем, поведение урана и тория в магматическом процессе носит циклический характер.

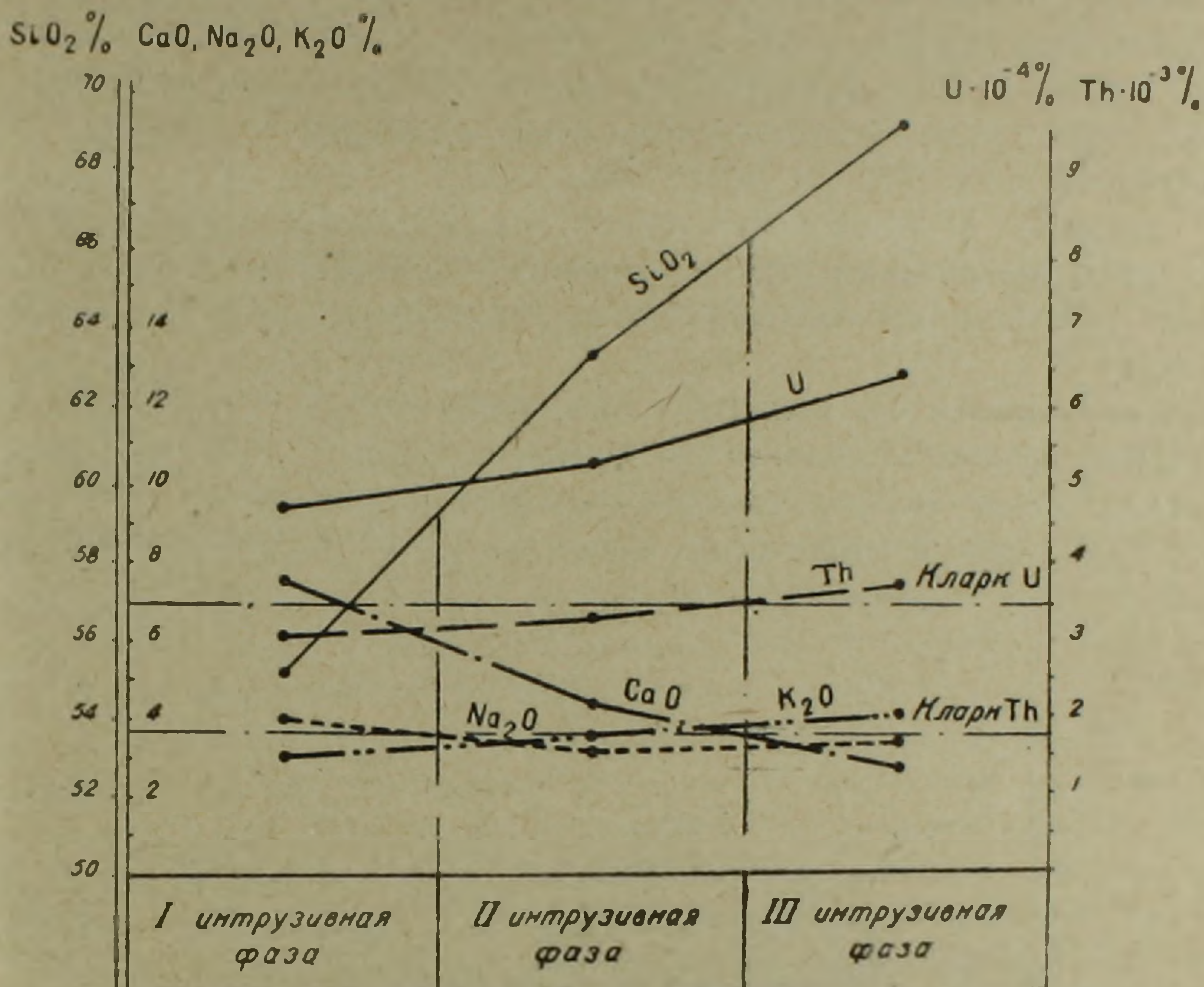
При общей аналогии поведения радиоэлементов в каждой отдельной фазе содержание урана и тория несколько выше, чем в предыдущей. Это совпадает с общим ходом дифференциации—возрастанием содержания кремнекислоты и калия, при понижении содержания извести и натрия (фиг. 1).

Концентрация урана и тория в породах отдельных фаз заметно понижается при переходе от первой фазы к третьей.

Так, если концентрация урана в первой фазе равна примерно 3, то во второй и третьей—1,5—2 (по сравнению с кларковыми содержаниями в соответствующих типах пород). Аналогичная закономерность наблюдается и для тория. Если по сравнению с кларком в первой фазе концентрация тория увеличивается в 4—5 раз, то в поздних фазах вдвое меньше (1,7—2,0).

Указанная закономерность понижения степени концентрации урана и тория в ходе развития магматического процесса установлена некоторыми исследователями [1, 14, 13] для других районов СССР (Сев. Казахстан, Зап. Киргизия и др.).

Поведение урана и тория в магматическом процессе примерно совпадает с поведением редких земель и иттрия. Причем, кристаллохимическая общность урана и иттрия (и иттриевых редких земель) с одной стороны, тория и редких земель цериевой группы — с другой, принимает одинаковую геохимическую направленность.



Фиг. 1. График зависимости между содержанием U и Th и химическим составом гранитоидов разновременных фаз Мегринского плутона (кларки U и Th даны по А. П. Виноградову).

Обращает внимание высокое торий-урановое отношение ($\text{Th}/\text{U}=6,5$) по плутону в целом. Причем, это отношение закономерно понижается от ранних продуктов кристаллизации к породам поздних фаз (от 8—6,5 до 5,6).

Таким образом, в ходе дифференциации при общем возрастании содержания радиоэлементов в породе, содержание урана возрастает в большей степени, чем тория.

Заметная обогащенность щелочных сиенитов ураном ($\text{Th}/\text{U}=4,5$), вероятно, связана с довольно высоким содержанием K_2O , равным 6—5%. Однако характерной особенностью щелочных сиенитов и, особенно, связанных с ними нефелин-сиенитовых пегматитов, является также высокое содержание Na_2O (4,5—7,0%), образующееся при процессах позднемагматического щелочного метасоматоза.

Установившееся в литературе мнение о связи урана с калием, а тория с натрием (А. Е. Ферсман, Гольдшмит) является, по-видимому,

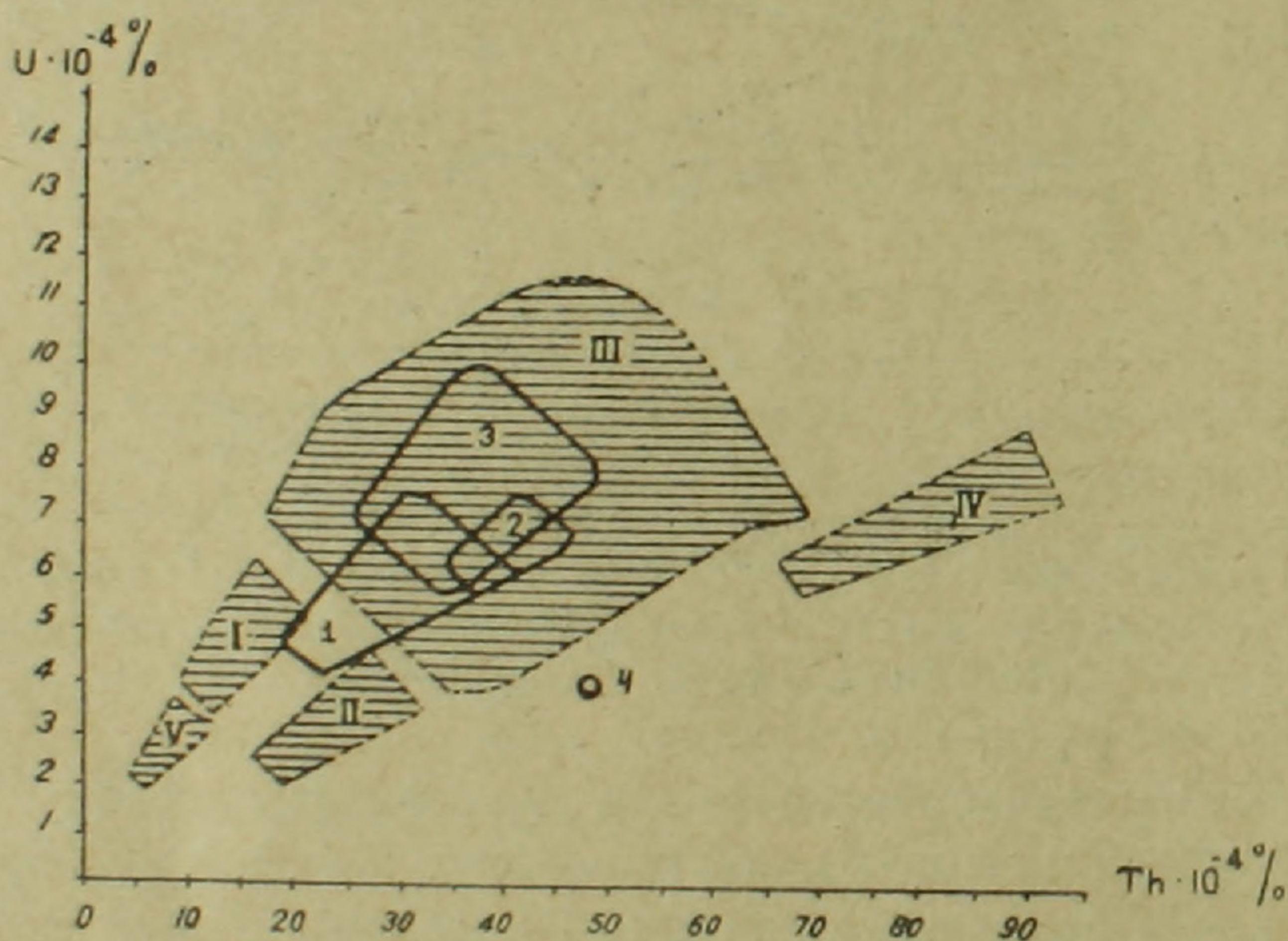
не обязательным. В последнее время заметная обогащенность, примерно в 4 раза выше, чем в гранитоидах, установлена для Ловозерского массива [10].

В некоторых участках щелочных сиенитов содержание урана достигает $7-8 \cdot 10^{-4}\%$ (т. е. в 1,5 раза больше, чем в гранитоидах поздних фаз); вместе с тем содержание тория ниже, чем в остальных, более кислых породах плутона (не выше $2,5-3 \cdot 10^{-3}\%$).

Отношение Th/U гранитоидов плутона значительно выше (почти в 2 раза) среднего отношения этих элементов в земной коре (Th/U=3).

Заметная обогащенность торием по отношению к урану (почти в 1,5 раза) Мегринского плутона, возможно, свидетельствует о наличии в описываемом районе существенно ториевой геохимической провинции.

Л. В. Комлев [4], подводя итоги многолетних исследований по изучению среднего содержания урана и тория в гранитных массивах СССР, выделил пять основных типов гранитоидных массивов (фиг. 2). На фиг. 2 графически изображено положение гранитоидов



Фиг. 2. Положение гранитоидов Мегринского плутона среди радиохимических типов гранитных массивов по Л. В. Комлеву (последние обозначены римскими цифрами и оконтурены точками). 1—монцонитовая интрузия (I фаза); 2—граносиенитовая интрузия (II фаза); 3—гранитная интрузия (III фаза); 4—граниты р. Малев (нижний палеозой).

разновременных фаз плутона среди обобщенных радиохимических типов Л. В. Комлева. Из диаграммы видно, что гранитоиды Мегринского плутона ближе всего соответствуют гранитоидам третьего типа, т. е. гранитоидам редкометального типа, для которых характерным

является высокое содержание Sn, W, Mo, Be, Bi и TR и отношение $Th/U=5-6,5$. Однако, учитывая специфические особенности гранитоидов Мегринского плутона, являющихся не типично редкометальными, целесообразным кажется выделить его в отдельный подтип. Характерным для этого подтипа является: отношение $Th/U=6,5$, повышенные содержания Mo, Cu, Ti, TR, присущие исследуемой геохимической провинции, умеренно-кислый состав гранитоидов с признаками ассимиляции и контаминации и специфический среднетемпературный медномолибденовый тип оруденения.

Граниты р. Малев (нижний палеозой) по отношению $Th/U=10$ относятся к IV типу (ториеносному типу), и этим существенно отличаются от третичных гранитоидов плутона.

В целом гранитоиды плутона относятся к категории типов средней и высокой радиоактивности, при несколько повышенной ториеносности их.

При сравнении геохимических карт первичных ореолов рассеяния урана и молибдена, проявляется одна интересная закономерность. Как в пространстве, так и во времени повышенные содержания этих элементов совпадают. Более того, как для урана, так и для молибдена в пределах отдельных фаз намечается приуроченность их высоких содержаний к эндоконтактовым зонам интрузий. Так, содержание Mo в эндоконтактовых зонах порфировидных гранитов $6,2 \cdot 10^{-4}\%$ (кларк Mo— $2 \cdot 10^{-4}\%$), а в центральных— $3 \cdot 10^{-4}\%$. Содержание урана в соответственных участках $1 \cdot 10^{-3}\%$ (3 кларка). Высокой радиоактивностью характеризуются рудные поля (особенно участки, прилегающие к месторождениям) медно-молибденовых штокверково-вкрапленных месторождений.

Приуроченность оруденения, в частности молибденового, к участкам максимальной радиоактивности в гранитоидных массивах является, вероятно, общей закономерностью, так-как в других районах СССР (и за рубежом), в частности в Кузнецком Алатау, Алтае и др., наблюдается отчетливая зависимость повышенной радиоактивности (гамма-полей) от наличия молибденовой, вольфрамовой и др. минерализации [2], не говоря уже о наличии такой закономерности для ниобиевого, редкоземельного оруденения, где она имеет не столь эмпирический характер.

Приуроченность молибденового оруденения к наиболее радиоактивным участкам гранитоидных интрузий свидетельствует о том, что пути движения летучих компонентов, вместе с которыми мигрирует уран, и пути миграции рудных (молибденоносных) растворов в пространстве сопрягаются. Во времени молибденовая минерализация, возможно, несколько предшествует урановой. К аналогичным выводам приходят и другие исследователи на основании изучения гамма-полей интрузивных массивов других районов СССР [2, 4].

Основные выводы

1. Формирование Мегринского плутона происходило тремя главными фазами внедрения магмы. Эволюция состава гранитоидов трех фаз внедрения выражена в направлении уменьшения содержания Са, Mg, Na и возрастания содержания кремнекислоты, калия, урана, тория, редких земель и молибдена в более поздних фазах.

2. По содержанию наиболее характерных акцессорных минералов гранитоиды плутона делятся на три близких типа:

а) апатит-титанит-ортитовый (монацитовый)—породы I фазы внедрения,

б) титанит-apatит-ортитовый (циркониевый)—гранитоиды II фазы,

в) апатит-титанит-ураноторитовый (циркониевый) — гранитоиды III фазы.

3. Уран и торий в породах плутона частично (около 35—40) до 50—60% сконцентрированы в акцессориях. Другая часть сконцентрирована в породообразующих минералах (в состоянии рассеяния, субмикроскопических включений уран-ториевых минералов и изоморфной примеси).

4. В пределах отдельных фаз внедрения не наблюдается четкой зависимости изменения содержания урана от вариации состава и структуры пород. Основное влияние на распределение урана и тория в пределах отдельных фаз оказывают глубина эрозионного среза, поведение летучих (эманационная дифференциация) и в некоторой степени процессы ассимиляции и контаминации, в совокупности изменяющих распределение акцессорных минералов в породе—основных носителей урана и тория. Акцессорные минералы и, особенно, ураноторит, уранинит, торит, ксенотим, малакон и др. с глубиной в содержании уменьшаются.

5. Гранитоиды Мегринского плутона относятся к особому подтипу третьей группы гранитных интрузий среди радиохимических типов по Л. В. Комлеву. Среднее содержание урана $5,2 \cdot 10^{-40}\%$, тория— $3,3 \cdot 10^{-30}\%$; отношение $\text{Th/U}=6,5$. Характеризуются умеренно-кислым составом и повышенным содержанием Mo, Cu, TR и Ti.

6. Граниты р Малев, характеризующиеся общей низкой радиоактивностью, относятся к IV группе среди радиохимических типов гранитоидов. Эти признаки и ряд других соображений геохимического и геологического характера позволяют считать их более древними, чем гранитоиды полифазного Мегринского плутона.

7. Данные по геохимии урана и тория, полученные при изучении гранитоидов плутона, подтверждают ранее отмечавшиеся в поведении их закономерности: приуроченность радиоэлементов к кислым, богатым щелочами гранитоидам, накопление в крайних членах дифференциации гранитоидной магмы, различие в поведении урана и тория при переходе от магматической к постмагматической стадии

процесса, обусловленное различием их подвижности, большую роль гидротермальных изменений в перераспределении радиоэлементов и некоторое перемещение урана (частично и тория) к контактовым участкам интрузий в конечные стадии кристаллизации расплава.

8. Отношение Th/U закономерно убывает от пород ранней фазы к породам третьей фазы. Причем накопление (концентрация) урана в поздних дифференциатах происходит в меньшей степени, чем тория, что, по-видимому, связано с более высокой подвижностью урана, чем тория в магматическом процессе. Торий в основном выделяется в твердую фазу в магматическую стадию, а уран—преимущественно в послемагматическую.

9. Приуроченность высоких содержаний молибдена и урана к одним и тем же участкам гранитоидных интрузий, а также наличие зависимости между повышенной радиоактивностью пород и молибденовым оруденением на примере плутона, позволяет утверждать, что радиоактивные методы (изучение гамма-полей и радиохимические исследования), наряду с другими методами, могут являться поисково-оценочными критериями при оценке перспективности конкретных площадей, характеризующихся высокой радиоактивностью, на молибден и другие редкие элементы.

10. Радиоактивность пород и отношение Th/U может применяться наряду с другими геохимическими данными, как критерий при расчленении и корреляции интрузивных массивов. Общая радиоактивность от древних к молодым интрузиям повышается, а отношение Th/U понижается.

* * *

В заключении автор выражает свою искреннюю благодарность академику АН АрмССР И. Г. Магакьяну, канд. геол. мин. наук А. Е. Кочаряну и М. А. Савченко за ценные указания и помощь в выполнении настоящей работы.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 6. VI. 1960.

Բ. Մ. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՐ ՀԱՐԱՎԱՅԻՆ ՄԱՍԻ ՈՐՈՇ ԳՐԱՆԻՏՈՒԴՆԵՐՈՒՄ ՈՒՐԱՆԻ
ԵՎ ԹՈՐԻՈՒՄԻ ԳԵՈԳԻՄԻԱՅԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Մեղրու պլուտոնի ձևավորումը տեղի է ունեցել մագմայի տեղադրման
երեք գլխավոր փուլերով: Նշված 3 փուլերի գրանիտոիդների էվոլյուցիան
արտահայտվում է K_2O -ի, U -ի, Th -ի, TR -ի, Mo -ի և SiO -ի պարունակու-
թյան աճմամբ:

Պլուտոնի ապարներում ուրանի և թորիումի $40-60\%$ -ը կուտակված է ուղեկից միներալներում (օրթիտ, մոնացիտ, ցիրկոն, ուրանաթորիտ և այլն), իսկ մնացած մասը՝ ապար կազմող գլխավոր միներալներում իզոմորֆ և անիզոմորֆ խառնուրդների ձևով:

Մեղրու պլուտոնի գրանիտոիդներն ըստ բնորոշ ուղեկից միներալների պարունակության բաժանվում են 3 տիպի.

ա) ապատիտ-տիտանիտ-օրթիտային (մոնացիտային) — առաջին փուլի ապարներ,

բ) տիտանիտ-ապատիտ-օրթիտային (ցիրկոնային) — երկրորդ փուլի ապարներ,

գ) ապատիտ-տիտանիտ-ուրանաթորիտային (ցիրկոնային) — երրորդ փուլի ապարներ:

Առաջին փուլի գրանիտոիդներում ուրանի միջին պարունակությունը կազմում է $4,75 \cdot 10^{-4} \%$, իսկ թորիումինը՝ $3,0 \cdot 10^{-3} \%$:

Երկրորդ փուլի ապարները բնորոշվում են թորիումի և ուրանի ավելի ցածր պարունակությամբ ($U-4,7 \cdot 10^{-4} \%$, $Th-2,8 \cdot 10^{-3} \%$): Ուրանի և թորիումի ամենաբարձր պարունակությունները ($U-6,4 \cdot 10^{-4} \%$, $Th-3,6 \cdot 10^{-3} \%$) հանդիպում են երրորդ փուլի գրանիտոիդներում:

Ինտրուզիաներում ուրանի և թորիումի բաշխումը անհավասարաչափ է:

Այդ տարրերի ամենաբարձր պարունակությունները կապված են տարրեր փուլերի ինտրուզիաների էնդոկոնտակտային մասերի հետ, որտեղ նրանք համընկնում են մոլիբդենի բարձր պարունակության հետ:

Գրանիտոիդային մագմայի դիֆերենցման պրոցեսում տեղի է ունենում ուրանի և թորիումի կուտակում նրա ավելի ուշ ածանցյալներում: Այդ նույն ուղղությամբ նկատվում է $Th:U$ հարաբերության նվազումը ($8,0$ -ից մինչև $5,6$):

Մեղրու պլուտոնի գրանիտոիդները վերագրվում են գրանիտային խմբի ինտրուզիաների երրորդ ենթախմբին (ըստ Լ. Վ. Կոմլեի), որոնց համար բնորոշ է չափավոր թթու կազմ, Mo -ի, Cu -ի, TR -ի և Ti -ի բարձր պարունակություն և $Th:U=6,5$ հարաբերություն (ընդ որում պլուտոնում ուրանի միջին պարունակությունը $5,2 \cdot 10^{-4} \%$ է, իսկ թորիումինը՝ $3,3 \cdot 10^{-3} \%$):

Գրանիտոիդներում ուրանի և մոլիբդենի բարձր պարունակությունների օրինաչափ համընկնելը և պղինձ-մոլիբդենային հանքայնացում պարունակող ապարների բարձր ռադիոակտիվությունը թույլ են տալիս եզրակացնելու, որ բարձր ռադիոակտիվությունը կարող է ծառայել որպես որոնման չափանիշ մոլիբդենի համար:

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович И. И. Уран и торий в интрузивных породах Центральной и Западной Тувы. Геохимия, № 4, 1959.
2. Амшинский Н. Н. Зональность гамма-полей и акцессорных минералов. „Геология и Геофизика“, Изд. СОАН СССР, № 1, 1960.
3. Гросс У. Х. Радиоктивность как указатель руд. „Геохимические методы поисков рудных месторождений“. Сб. статей, И. Л., 1954.
4. Комлев Л. В. Некоторые вопросы геохимии урана и тория в гранитных магмах. Сб. посвящ. ак. Вернадскому, 1936.

5. Крылов А. Я. Радиоактивность различных комплексов пород хребта Терский Ала-Тау. Геохимия, № 3, 1958.
6. Крылов А. Я., Атрашенок Л. Я. О формах нахождения урана в гранитах. Геохимия, № 3, 1959.
7. Ларсен Ф., Готтфрид, Смит и др. Уран в магматической дифференциации. Материалы Международной конференции в Женеве. Изд. ООН, том 6, 1955.
8. Мкртчян С. С. Зангезурская рудоносная область. Изд. АН АрмССР, 1958.
9. Нейерберг Д. Уран в изверженных породах США. Материалы Международной конференции. Изд. ООН, Женева, 1955.
10. Сапрыкина Т. В. О распределении урана в породах Ловозерского щелочного массива. Геохимия, № 5, 1959.
11. Таусон Л. В., Злобин Б. И., Леонова. Распределение урана в гранитоидном комплексе Сусамырского батолита (Центр. Тян-Шань). Геохимия, № 7, 1959.
12. Таусон Л. В. К геохимии урана в гранитоидах Черновицкого массива (Горный Алтай), № 3, 1956.
13. Туровский С. Д. К геохимии урана и тория. Распределение радиоактивных элементов в изверженных породах Сев. Киргизии. Геохимия, № 2, 1957.
14. Смыслов А. А. Радиоактивные элементы в изверженных породах Сев. Казахстана. Геохимия, № 3, 1958.
15. Филиппов М. С., Комлев Л. В. Уран и торий в гранитоидах Среднего Приднпровья. Геохимия, № 5, 1959.
16. Ченцов И. Г., О вхождении урана в некоторые породообразующие минералы. Сб. Вопросы геохимии, вып. 28, 1959.