

УДК 553.078

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРИЯ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОДАХ УКРАИНСКОГО ЩИТА

Кузьмин А.В. , Ярощук М.А.

Кузьмин А.В. ст. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Ярощук М.А. д. г.-м. н., в.н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Состояние минерально-сырьевой базы урана и ряд проблем в атомной энергетике обуславливают необходимость использования тория в качестве топлива на АЭС. Кратко охарактеризованы состояние изученности на торий территории Украины, особенности его геохимии и металлогении. Приведены данные по ториеносности пород фундамента Украинского щита и истории накопления в них тория. Даны параметры ториевой минерализации в породах основных геологических формаций Украинского щита (среднее содержание тория, среднее Th/U отношения, коэффициенты вариации содержаний тория и урана). Показано размещение ториеносных и геохимически специализированных на торий кристаллических пород в мегаблоках и межблоковых шовных зонах Украинского щита. Сделан вывод, что основные перспективы создания минерально-сырьевой базы этого металла следует связывать с развитием щелочного интрузивного магматизма, метасоматоза и гидротермальной деятельности в фундаменте щита.

Ключевые слова: *распределение тория, кристаллические породы, ториеносные формации, атомная энергетика, периоды накопления, геохимия тория.*

Введение

По данным [1] разведанные месторождения урана могут обеспечить сырьём атомную энергетику на 70 лет. По другим оценкам [2] в ближайшее время экономическую привлекательность сохранят лишь ресурсы урана ценовой группы до 80 долларов США за килограмм, разведанными запасами которой, по данным Всемирной ядерной ассоциации, промышленность обеспечена на 50 лет при современном уровне потребления. Вместе с тем, по тем же оценкам, до 2020 года этот уровень вырастет на 43%, т.е. обеспеченность снизится до 35 лет. Вовлечение в разработку дополнительных ресурсов связано с весьма неравномерным их распределением между странами и континентами и практической полной отработкой в таких развитых странах как США, Франция, Германия, Англия, Испания, Италия, Чехия, Япония. Поэтому сохранится разделение стран на экспортеров и импортеров урана, что будет определять высокий уровень цен на него. По данным МАГАТЭ [3] суммарный дефицит между производством урана за счет разведанных запасов и потреблением его до 2050 года составит около 850 тыс. тонн. Изменить положение с производством природного урана может лишь открытие крупных месторождений с невысокой себестоимостью добычи. Однако, учитывая беспрецедентно интенсивные геологоразведочные работы на уран за последние 60 лет, можно ожидать выявления лишь новых рудных полей с ограниченными ресурсами [4].

Атомная энергетика XXI века требует мобилизации всех своих ресурсов, в т.ч. и использования в качестве топлива ещё одного природного радиоактивного элемента – тория. Начиная с 1991 года, МАГАТЭ поддерживает программы с применением на АЭС ядерного топлива на его основе. В 1985 году в Германии был запущен первый в мире промышленный

ториевый реактор. Строятся реакторы с использованием тория в США, Индии, Норвегии, Бразилии, Израиле и других странах. В России в число приоритетных задач Министерства по атомной энергетике входит координация работ по ториево-топливному циклу [5]. Применение тория в ядерной энергетике рассмотрено в работе [1]. Коротко остановимся лишь на основных моментах. Интерес к этому металлу-энергоносителю, кроме ограниченности ресурсов урана, связан с поисками решения ряда важных проблем в самой ядерной энергетике: экономической эффективности, ядерной безопасности, сбережения и переработки отработанного топлива и другими. Эти проблемы решаются при включении в топливный цикл тория. В качестве ядерного топлива используется весь торий в виде изотопа ^{232}Th , в то время как из природных изотопов урана практически используется лишь ^{235}U , составляющий 0,7% от общего количества природного урана. Это создает мировую экологическую проблему отвалов урана. Ториевая энергетика, в отличие от урановой, не вырабатывает плутоний и трансурановые элементы, что важно как с экологической точки зрения, так и с точки зрения нераспространения ядерного оружия. Значительно упрощается технология получения ядерного топлива в случае использования тория, ибо снимается операция разделения природных изотопов. Нет необходимости создания новых реакторов, достаточно модернизировать существующие. Ториевый реактор, загруженный один раз, будет работать до почти полного «выгорания» топливных элементов (до 20 лет), в отличие от уранового, требующего замены топливных элементов при «выгорании» не более 10% активного вещества, т.е. каждые 1,5-2 года. Модернизированные реакторы обеспечивают более высокую безопасность и надежность АЭС.

Атомная энергетика производит около 49% всей электроэнергии в Украине, однако, несмотря на значительные ресурсы урана, потребление его на АЭС покрывается собственными источниками лишь на 30%, главным образом, в связи с низким качеством руд. Рассчитывая на применение тория в качестве энергетического сырья в будущем, уже сейчас необходимо определиться в возможностях создания сырьевой базы этого полезного ископаемого.

Изученность ториеносности горных пород на территории Украины

Системное изучение ториеносности горных пород на территории Украины не проводилось. В период до 1960 года были выполнены лишь работы по поискам рассыпных месторождений, не давшие положительных результатов. В дальнейшем данные по ториеносности горных пород накапливались попутно как при проведении поисково-разведочных работ на уран КП «Кировгеология», так и в процессе массовых поисков урана другими геологическими организациями. Характеристика выявленных россыпей приведена в работе [1]. В целом алювиально-делювиальные, аллювиальные и пляжные россыпи, а также коры выветривания гранитоидов, характеризуются ограниченными размерами, неравномерным и в целом низким содержанием (от 0,1 до 1,0 кг/м³) монацита, хотя в отдельных пробах содержание его достигает 7 кг/м³ (при бортовом содержании 1,5 кг/м³). Крупные прибрежно-морские комплексные россыпи бедны монацитом (до 0,1 кг/м³). Имеющиеся отдельные сведения о возможности получения монацитовых концентратов из прибрежно-морской россыпи Малышевского месторождения [1] и каолиновых кор выветривания Глуховецко-Турбовского района [6] пока не позволяют рассматривать эти виды сырья как основу минерально-сырьевой базы тория.

Первая попытка систематизации имеющегося материала по ториеносности пород докембрийского фундамента Украинского щита (УЩ) была сделана в 2007 году [7]. Дальнейшая работа над материалом позволила дать характеристику ториеносности основных

геологических формаций, разделить их на классы по уровню концентрации тория и наметить историю накопления в них тория.

Особенности геохимии и металлогении тория

Торий – радиоактивный элемент, родоначальник радиоактивного семейства, заканчивающегося стабильным изотопом ^{208}Pb . В природе он представлен одним долгоживущим изотопом ^{232}Th с периодом полураспада $1,39 \cdot 10^{10}$ лет. Химические свойства тория подобны редкоземельным элементам, урану, цирконю. В земной коре его в 3,5 раза больше, чем урана. Известно 225 ториевых и торийсодержащих минералов, относящихся в основном к кислородным и кремниевым соединениям, в меньшей мере к фосфатам, карбонатам, титанатам, ниобатам. Сульфидов, арсенидов, селенидов, фторидов, ванадатов и вольфрамов он не образует. Около 160 минералов содержат до 0,1% ThO_2 , 25 – от 2 до 7% и около 40 – более 7% ThO_2 . К основным его промышленным минералам относятся монацит (до 28% Th), торит (до 81% Th), торианит (до 76% Th) и их разновидности. В последнее время всё большее значение приобретают торийсодержащие минералы, из которых он может рентабельно извлекаться попутно с другими металлами. К ним относятся лопарит, эвдиалит, браннерит, пирохлор, бастнезит, паризит и некоторые другие. Подобно урану, для тория характерно накопление в остаточных расплавах [8]. В породах он находится как в рассеянном состоянии в породообразующих, так и в виде примесей в акцессорных минералах, где содержание его колеблется в широких пределах. Например, в монацитах бердичевского комплекса оно меняется от 3,4 до 12,4%, а монациты черниговского комплекса практически не содержат тория. Торий-урановое отношение в цирконах колеблется от 0,4 до 1,0, в сфенах и апатитах – от 1,0 до 2,0, а в монацитах иногда достигает 60 [9]. Во всех природных соединениях торий четырехвалентен и, в отличие от урана, не принимает участия в окислительно-восстановительных процессах. Для изверженных пород характерно нарастание содержания его (как и урана) в ряду ультраосновные – основные – средние – кислые (от $5 \cdot 10^{-7}$ до $1,8 \cdot 10^{-3}\%$), пропорционально росту содержания кремнекислоты и калия. Магматические образования повышенной щелочности в общем случае характеризуются повышенным содержанием тория.

Сходное строение внешних электронных оболочек атомов и их величины Th, U и TR обусловили общие закономерности их поведения в магматических и постмагматических процессах. Близость ионных радиусов определила их широкий изоморфизм [10], но при этом существуют некоторые отличия в поведении легких и тяжелых лантаноидов, урана и тория. Торий по величине ионного радиуса ближе к легким лантаноидам, а уран – к элементам иттриевой группы [8, 11]. В эндогенных условиях для лантаноидов и актиноидов единым общим петрогенным геохимическим аналогом, вследствие близости ионных радиусов, является кальций. Поэтому его минералы являются одними из основных носителей этих элементов в породах на уровне кларковых концентраций [12]. Изоморфизм Ca и Th широко проявлен и в постмагматических процессах, особенно высокотемпературных. В целом в щелочных породных комплексах и связанных с ними постмагматических образованиях происходит преимущественно накопление легких лантаноидов и тория. Тяжелые лантаноиды и уран при высоких температурах в основном дают соединения с фтором и отгоняются в апикальные части интрузий метасоматически измененных щелочных или субщелочных гранитов в ассоциации с флюоритом. Повышение кислородного потенциала в постмагматическую стадию ведет к изменению валентности урана и выносу его в растворимых соединениях. Отделение тория и лантаноидов от урана базируется на разной устойчивости их соединений при снижении температуры. Уран дольше всех удерживается в

карбонатных растворах, совсем теряя связь с торием и лантаноидами в средне-низкотемпературном гидротермальном процессе.

Таким образом, основная масса не только магматических, но и постмагматических концентраций тория имеет комплексный торий-редкоземельный, значительно реже торий-редкометалльный или торий-урановый состав, который меняется в рудах различных генетических типов. Основная масса TR, Y, Th и U в интрузивных щелочных и гранитоидных комплексах сосредоточена в акцессорных торийсодержащих минералах. Количество их растет в поздних фазах и высокотемпературных метасоматитах. Лишь иногда встречаются гидротермальные жилы или небольшие массивы щелочных гранитов, в которых присутствуют собственные минералы тория – торит, торианит и их разновидности. В полевых шпатах в безминеральной форме обычно накапливаются легкие лантаноиды и торий, а в фемических минералах – тяжелые лантаноиды и уран. Незначительные концентрации лантаноидов и тория в расплаве при высокой концентрации кальция ведет к их рассеиванию в кальцийсодержащих минералах без образования акцессориев.

В процессе выветривания торий, главным образом содержащийся в породообразующих минералах, адсорбируется поверхностями кристаллов гидратов окислов железа, марганца, а в водных растворах связывается стойкими комплексными соединениями – карбонатами, фторидами, нитратами. Основная масса торийсодержащих акцессорных минералов устойчива в зоне гипергенеза и фиксируется в россыпях. Поэтому подвижность тория в экзогенных условиях ограничена. Хемогенные осадочные или инфильтрационные месторождения его не известны.

Все значительные эндогенные рудные концентрации тория и тесно связанных с ними лантаноидов приурочены к жестким элементам континентальной земной коры – щитам, срединным массивам, консолидированным складчатым системам. Они обычно локализованы в зонах тектоно-термальной активизации (ТТА) и генетически или парагенетически связаны со щелочными или субщелочными магматическими, метасоматическими или ультраметаморфическими формациями. Размещение месторождений обычно контролируется глубинными долгоживущими зонами разломов и сопряженными с ними разрывными структурами более высоких порядков. Их появление, за исключением собственно магматических, связано в основном с высоко-среднетемпературным метасоматическим замещением. Выполнение открытых полостей играло резко подчиненную роль и происходило лишь в среднетемпературную гидротермальную стадию.

Щелочные магматические комплексы обязаны своим образованием глубинным (подкоровым) процессам [13, 14, 15]. Региональный метаморфизм обуславливал вынос из пород и в основном рассеивание некоторой части тория [16]. Так называемое метаморфогенно-гидротермальное оруденение появляется далеко не во всех метаморфических комплексах и многими исследователями относится к регионально-плутоническому типу. Его развитие обусловлено поступлением по зонам глубинных разломов теплового потока, а вместе с ним ряда петро- и рудогенных элементов из глубин Земли, ибо геотермический градиент не может обеспечить необходимой для масштабной мобилизации в земной коре рудогенных элементов тепловой энергии [17]. Это оруденение обычно вытянуто вдоль зон глубинных разломов. Палингенно-анатектическое (в основном изохимическое) гранитообразование приводит к формированию массивов гранодиоритов и плагиогранитов, как и метаморфиты, в целом бедных на радиоактивные элементы. Появление эндогенных концентраций тория, обычно в тесной связи с лантаноидами и ураном, как при формировании гранитоидных комплексов, так и в ходе щелочного магматизма, метасоматоза и гидротермальной деятельности прямо или опосредовано (через развитие гранитоидного магматизма и флюидизма в земной коре) обусловлено процессами,

происходящими в мантии. Основная масса этих элементов поступала из глубин земли в составе щелочных расплавов и глубинных флюидов (сквозьмагматических [18], интрателлурических [19] растворов или плюмов [20]), которые обуславливали и развитие палингенно-метасоматического гранитообразования. Согласно [14], верхняя мантия неоднородна по своему составу, как на глубину, так и по латерали. В земной коре выделен класс мантийных рудных месторождений, источники рудного вещества которых находятся в подкорковых зонах и связаны с существованием «рудных» неоднородностей в мантии, обогащенных рассеянными элементами, среди которых TR, Th, U. Это, в частности, подтверждается тем, что уровень концентрации лито- и халькофильных элементов в ультраосновных породах мантии может быть на 1-2 порядка выше, чем предполагалось ранее [21]. По данным [22] содержание тория в кимберлитах и некоторых других породах глубинного происхождения (в частности в карбонатитах) близко к содержанию его в гранитоидах, а в пределах Сибирской платформы кларк концентрации тория в кимберлитах по отношению к его содержанию в земной коре составляет 1.8 [23]. Флюидные потоки, пересекая по зонам глубинных разломов мантию и кору, на своем пути захватывали компоненты пород разных уровней формирования и обуславливали развитие магматизма и метасоматоза. В коре они могли смешиваться с магматогенными и метаморфогенными растворами и при выходе в верхнюю часть земной коры мало чем отличаться от гидротермальных растворов.

Ториеносность породных комплексов фундамента Украинского щита

Основная часть территории щита сложена гранитоидами различных типов и времени формирования, а содержание и минеральная форма тория в них неоднородны. Хотя с гранитоидами генетически не связаны промышленные концентрации тория, рассмотрение особенностей его распределения в них необходимо для понимания общей эволюции ториенакопления в породах фундамента и роли в нём гранитообразования. Содержание тория и состав торийсодержащих акцессорных минералов в гранитоидах различных петрогенетических типов УЩ приведено в табл. 1.

Гранитоиды первого типа сформировались в палеоархее и характеризуются невысоким уровнем концентрации актиноидов (повышенное содержание тория в эндербитах гайворонского комплекса обусловлено более поздним его привнесением). В гранитоидах второго типа, образовавшихся в неогархее и палеопротерозое, содержание тория несколько выше. В прогрессивных палингенно-метасоматических гранитоидах, сформированных в палеопротерозое, оно превышает кларковые значения. Регрессивные гранитоиды этого типа также характеризуются повышенным содержанием тория, в то время как в ремобилизованных гранитоидах оно ниже кларковых значений. Гранитоиды третьего типа в основном сформировались в палеопротерозое. Среди них существенно повышенным содержанием тория характеризуются интрузивные чарнокитоиды. Гранитоиды четвертого типа появились в мезопротерозое. По отношению к предыдущему типу здесь более сложный фациальный состав и более четкая аллохтонность. Они приурочены к тем же блокам фундамента, что и гранитоиды третьего типа, а их появление связано с автономной мезопротерозойской ТТА палеопротерозойской платформы. Содержание тория в редкометальных лейкогранитах и породах габбро-сиенитовой формации превышает кларковые значения. Относительно повышенным содержанием тория характеризуются и граниты рапакиви.

В распределении актиноидов и лантаноидов в гранитоидах важную роль играли глубины становления массивов и их размеры. К мезоабиссальному типу относятся все гранитоиды эндербит-плагитогранитного и чарнокит-гранитного этапов формирования земной коры, а также коростенского и корсунь-новомиргородского комплексов. В массивах

этих гранитоидов процессы кристаллизационной дифференциации угнетены, что не способствовало накоплению рудогенных элементов. К гипабиссальному типу можно отнести небольшие интрузивные массивы редкометальных лейкогранитов, выделяющиеся повышенным содержанием актиноидов. Общая низкая рудоносность докембрийских гранитоидов сложилась в связи с тем, что в докембрии резко преобладают автохтонные, а в фанерозое – аллохтонные ортомагматические гранитоиды. Кроме того, в докембрийских интрузиях в связи с глубоким эрозионным срезом не сохранились верхние части, обычно обогащённые актиноидами и лантаноидами. Формирование даже небольших поздних интрузий редкометальных лейкогранитов приводило к обогащению их радиоактивными элементами лишь на геохимическом уровне.

В метаморфических толщах содержание тория, в целом, ниже, чем в палингено-метасоматических гранитоидах. При формировании их как по метатерригенным толщам, где уровень содержания тория выше, так и по метаморфизованным офиолитам и особенно диабазо-спилитам, где он значительно ниже, уровень концентрации тория в целом возрастал независимо от содержания его в субстрате (табл. 2).

Таблица 1. Радиогеохимическая характеристика основных типов гранитоидов Украинского щита (по данным К.Е. Есипчука (1988 год.) с дополнениями)*

Стадия гранитообразования Петрогенетический тип	Геологическая формация	Породный комплекс	Содержание Th $\cdot 10^{-4}$	Th/U	Радиоактивные акцессорные минералы
Граносиенит – рапакивигранитная стадия. IV петрогенетический тип	Редкометальных лейкогранитов	Пержанский	38,2	2,3	Цирколит, торит, бастнезит
		Каменномогильский	46,0	3,7	Ксенотим, циркон, торит, монацит
	Анортозит-рапакивигранитная	Коростенский	16,4	4,3	Циркон, апатит, сфен, ортит
		Корсунь-Новомиргородский	15,0	4,3	Циркон, апатит, сфен, ортит
Чарнокит-гранитная стадия, III петрогенетический тип	Интрузивных чарнокитоидов	Новоукраинский	18,0-32,1	7,8-11,8	Монацит, циркон, апатит, ортит
	Интрузивных субщелочных гранитоидов	Хлебодаровский	9,8	9,8	Циркон, апатит, сфен, ортит
		Кишинский	7,4	3,9	Апатит, циркон, сфен
	Интрузивных диоритов и гранодиоритов	Осницкий	11,2	3,1	Апатит, циркон, ортит
Интрузивных диоритов и плагиогранитов	Сурский	6,6	5,1		
Чарнокит-гранитная стадия II петрогенетический тип	Прогрессивных плагиоклаз-микроклиновых гранитов	Житомирский	16,7-22,9	4,7-4,8	Монацит, циркон, сфен, апатит
		Кировоградский	16,0-31,2	4,6-9,7	Монацит, циркон, ксенотим, апатит
	Регрессивных микроклиновых гранитов	Поповский	75,0	8,0	Циркон, ортит, торит, бастнезит
		Анадольский	28,7	11,5	Монацит, циркон, сфен, апатит
Регрессивных плагиоклаз-	Уманский	42,0	7,1	Монацит, бастнезит, рабдофанит	

Стадия гранитообразования Петрогенетический тип	Геологическая формация	Породный комплекс	Содержание Th $\cdot 10^{-4}$	Th/U	Радиоактивные акцессорные минералы
	микроклиновых гранитов	Мокромосковский	20,8	6,7	Монацит, ортит, торит, циркон
	Регрессивных диоритов и гранодиоритов	Гайсинский	19,6	19,6	Апати, сфен, циркон
	Ремобилизованных глиноземистых гранитов	Бердичевский	14,0	12,7	Монацит, циртолит, ксенотим, циркон, апатит
	Ремобилизованных автохтонных чарнокитов	Побужский	11,0	8,5	Монацит, апатит, циркон
	Ремобилизованных автохтонных плагиигранитов	Ингулецкий	7,5	7,5	Апатит, циркон, сфен
		Саксаганский	11,5	4,8	Апатит, циркон, сфен
Эндербит – плагиигранитная стадия. I петрогенетический тип	Тонолит-плагиигранитов	Днепропетровский	12,1	8,6	Апатит, циркон, сфен
	Эндербитов	Гайворонский	17,0	18,9	Монацит, циркон, сфен
		Ремовский	10,0	5,6	Апатит, циркон, сфен

* в таблицу не вошли некоторые малораспространённые и неизученные в радиохимическом отношении гранитоидные комплексы

Это подтверждает привнос тория глубинными флюидами, ибо неоднократное длительное гранитообразование должно было бы истощить земную кору, и последние гранитоидные магмы должны были бы быть обеднены, а не обогащены актиноидами и лантаноидами. В частности редкометальные лейкограниты появляются из самостоятельных расплавов, контролируемых глубинными разломами и относятся к сквозным образованиям, не зависящим от состава вмещающих пород [25].

Украинский щит является уникальной провинцией развития докембрийского щелочного магматизма [26]. В его пределах выявлено около 40 проявлений щелочных пород, главным образом, в пределах Приазовского мегаблока, однако на фоне гранитоидов и метаморфитов эти породы выглядят локальными петрологическими аномалиями и занимают лишь около 0,7% территорий щита. Они вмещают торийсодержащее редкометальное и редкоземельное оруденение, сформировавшее ряд месторождений и рудопроявлений, в пределах которых торий изучался попутно.

Таблица 2. Параметры ториевой минерализации в образованиях основных геологических формаций фундамента Украинского щита

№ п/п	Наименование формаций, комплексов, серий	Кол – во определений	Среднее содержание Th $\cdot 10^{-4}\%$	Среднее Th/U	Стандартное отклонение содержаний Th $\cdot 10^{-4}\%$	Коэф. вариации содержаний Th, %	Коэф. вариации содержаний U, %
1	Формация диабазо-спилитовая (Ar)	531	3,2	4,1	3,1	94	74
2	Формация офиолитовая (Ar)	173	8,0	8,9	5,0	62	100

№ п/п	Наименование формаций, комплексов, серий	Кол – во определенных	Среднее содержание Th $\cdot 10^{-4}\%$	Среднее Th/U	Стандартное отклонение содержания Th $\cdot 10^{-4}\%$	Коэф. вариации содержания Th, %	Коэф. вариации содержания U, %
3	Формация аргиллит-песчаниковая, частично основных эффузивов, бугская серия (Ar)	28	5,1	6,2			
4	Формация гипербазитовая (серпентиниты, актинолититы, тремолититы, перидотиты и пироксениты измененные)	125	2,0	5,0			
5	Формация гранитов и мигматитов плагиоклазовых, субстрат – диабазово-спилитовая формация (Ar)	543	7,1	6,3	5,8	81	51
6	Формация гранитов и мигматитов плагиоклазовых, субстрат – офиолитовая формация (Ar)	84	15,1	16,7	16,6	110	72
7	Формация гранитов и мигматитов плагиоклазовых, субстрат не ясен	383	7,4	9,2	4,2	56	63
8	Формация гранитов плагиоклазовых аплит-пегматоидных (Ar)	152	2,3	3,3	0,8	33	87
9	Формация кварцито-песчаниковая (нижняя свита криворожской серии) (Pr ₁)	27	12,9	3,0			
10	Формация железисто-кремнистая (средняя свита криворожской серии) (Pr ₁) а) железистые кварциты б) сланцевые горизонты	70 28	2,0 10,3	2,5 6,5			
11	Формация карбонатно-песчано-сланцевая (верхняя свита криворожской серии) (Pr ₁)	58	11,3	5,0			
12	Формация аргиллит-песчаниковая,	366	9,5	4,3	4,9	51	50

№ п/п	Наименование формаций, комплексов, серий	Кол – во определенных	Среднее содержание Th $\cdot 10^{-4}\%$	Среднее Th/U	Стандартное отклонение содержания Th $\cdot 10^{-4}\%$	Коэф. вариации содержания Th, %	Коэф. вариации содержания U, %
	частично основных эффузивов, ингуло-ингулецкой и тетеревской серий (PR ₁)						
13	Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат – диабазо-аплитовая и кератофиросланцевая формации архея, метаморфизованные в условиях амфиболитовой и гранулотовой фаций (Ar ₃ -PR ₁)	1233	37,6	6,7	32,2	87	54
14	Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат неясен (Pr ₁)	363	15,5	5,3	11,5	71	48
15	Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат – офиолитовая и карбонатно-песчано-глинистая формация архея, метаморфизованные в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций (PR ₁)	753	18,4	11,7	11,2	65	59
16	Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат терригенный нижнепротеройский, метаморфизованный в амфиболитовой фации	2206	20,2	5,8	10,4	55	50
17	Формация сиенит-граносиенитовая, хлебодаровский комплекс (PR ₁)	110	4,5	5,2	2,9	69	35
18	Формация микроклиновых аплит-пегматоидных гранитов (PR ₁)	706	14,1	5,2	11,3	93	74

№ п/п	Наименование формаций, комплексов, серий	Кол – во определенных	Среднее содержание Th $\cdot 10^{-4}\%$	Среднее Th/U	Стандартное отклонение содержания Th $\cdot 10^{-4}\%$	Коэф. вариации содержания Th, %	Коэф. вариации содержания U, %
19	Формация сланцево-кератофировая (осницкая серия) (PR ₂)	58	13,2	3,9	7,0	53	59
20	Формация габбро-диорит-гранитовая, осницкий комплекс (PR ₂)	187	12,3	4,5	7,1	58	45
21	Формация габбро-анортозит-рапакивигранитовая (PR ₂): а) граниты рапакиви, граносиениты; б) габбро-анортозиты	337	15,7	4,3	6,3	41	37
		125	4,4	3,7	3,4	75	92
22	Формация редкометальных лейкогранитов (PR ₂)	147	39,2	2,5	14,9	38	41
23	Формация трещинных интрузий (перидотиты, диабазы, габбро-диабазы, диабазовые порфириды) (PR _{2,3})	75	4,0	4,7	2,8	58	63
	В целом по породам фундамента	8868	17,2	6,3	11,9	66	56

Докембрійський щелочної магматизм початкового етапу платформеного розвитку УЩ включає щелочну ультраосновну (с карбонатитами), щелочну габброїдну (габбро-сиєнітову) і щелочну гранітоїдну формації. К щелочної ультраосновної формації віднесені чернігівський (Приазовський блок), проскуровський і городницький (Подольський мегаблок) комплекси. Для неї характерні породи якупірангіт – мельтейгіт – ійолітової серії, нефелінові і щелочні сієніти. Образовання цієї формації вмещають Новополтавське фосфорно-редкометально-редкоземельне с торієм і Петрово-Гнутове торій-редкоземельне місцезнаходження в Приазов'ї. Габбро-сієнітова формація складає інтрузії южно-кальчикського і октябрського комплексів в східній частині Приазовського мегаблоку і Малотерсянську інтрузію в крайній північно-західній частині Орехово-Павлоградської шовної зони, Маловісковський масив і ряд малих інтрузивних тіл в північній частині Інгульського і Ястребецький масив в північно-західній частині Волинського мегаблоку. Образовання южно-кальчикського комплексу вмещають редкометально-редкоземельне с торієм Азовське місцезнаходження і ряд рудопроявлень октябрського – редкометального с торієм Мазуровське і редкоземельне с торієм Анадольське місцезнаходження і ряд рудопроявлень. Формація щелочних і субщелочних гранітів або редкометальних лейкогранітів складає невеликі інтрузії каменномогільського комплексу в східній частині Приазовського, Русскополянську інтрузію в північній частині Інгульського і пержанський комплекс в північній частині Волинського мегаблоку. Образовання цієї формації характеризуються підвищеним вмістом торію.

Параметри торієвої мінералізації в породах фундамента УЩ на формаційному рівні розраховані на основі даних, наведених в роботі [27], як середні значення,

взвешенные на количество проб по породам определенной формации (табл. 2). В соответствие с разработанным в КП «Кировгеология» методическим пособием по радиогеохимическому картированию пород фундамента УЩ, верхний предел фоновых значений содержания урана и тория определяется по формуле $x_{\phi} = \bar{x} + 1,3s$, а аномальное значение по формуле $x_{ан.} = \bar{x} + 3s$, где x_{ϕ} – верхний предел фоновых значений для совокупности пород, $x_{ан.}$ – аномальное значение, \bar{x} – среднее значение, s – стандартное отклонение содержания. Таким образом, верхний предел фонового значения содержания тория в породах фундамента $x_{\phi} = 17,2 + 15,5 = 32,7 \cdot 10^{-4}\%$, аномальное значение – $x_{ан.} = 17,2 + 35,7 = 52,9 \cdot 10^{-4}\%$. Породы с содержанием тория ниже $17,2 \cdot 10^{-4}\%$ можно отнести к классу слабо ториеносных, с содержанием в диапазоне $17,2 - 32,7 \cdot 10^{-4}\%$ – к классу ториеносных и с содержанием выше $32,7 \cdot 10^{-4}\%$ – к классу геохимически специализированных на торий. Аномально высокие содержания тория отмечены лишь в породах Пержанской зоны и гранитах Токовского массива (Табл. 3). В Пержанской зоне непредставительная выборка (12 определений) относится к сиенитам Ястребецкой интрузии габбро-сиенитов, внедрившейся в гранитоиды пержанского комплекса. В гранитах Токовского массива коэффициент вариации содержания тория находится на уровне 40%, что свидетельствует о довольно равномерном распределении его в породе, не характерном для металлогенически специализированных образований. К тому же рудопроявления тория в северной приразломной части массива имеют герцинский возраст. Таким образом, нет оснований судить о возможной металлогенической специализации на торий не только метаморфитов, но и гранитоидов УЩ, даже поздних интрузий щелочной гранитной формации – редкометальных лейкогранитов.

В приведенной выше работе очень слабо охарактеризовано содержание тория в породах габбро-сиенитовой и совсем не охарактеризовано в породах щелочной ультраосновной формаций. Вместе с тем, отмеченное выше значительное количество генетически связанных с интрузиями габбро-сиенитовой формации торийсодержащих месторождений редких и редкоземельных элементов и отрывочные данные по Ястребецкой интрузии позволяют отнести образования этой формации и связанные с нею метасоматиты к металлогенически специализированным на торий. В образованиях ультраосновной щелочной формации в пределах УЩ пока не зафиксированы значительные концентрации тория. На изученном Новополтавском месторождении гетчеттолит и пироксид практически не содержат тория, даже в монаците его содержание низкое. Лишь в жильных карбонатитах, контролируемых Кальмиусским разломом (Восточное Приазовье), выявлено небольшое Петрово-Гнутовское месторождение и несколько проявлений минерализации.

Ториеносными и геохимически специализированными на торий являются гранитоиды калиевого ряда (табл. 3).

К формации плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстратом для которых были образования диабазо-спилитовой и кератофиро-сланцевой формации архея, метаморфизованные в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций, в пределах Белоцерковского мегаблока отнесены ториеносные граниты Богуславского и мигматиты Уманского массивов.

Гранити Уманського масива геохімічно спеціалізовані на торій. Зде ж розташований гайсинський геохімічно спеціалізований на торій комплекс і торієносні мигматити к западу от г. Белой Церкви.

На території Дніпровського мегаблоку к этой формации отнесені торієносні мигматити верхівий р. Базавлука і району с. Новогурьєвки, а також геохімічно спеціалізовані на торій граніти Токовського масива. Все эти образования по условиям формирования принадлежат к регрессивному типу.

Таблиця 3. Розміщення торієносних і геохімічно спеціалізованих на торій порід в фундаменті Українського щита *

Формационная принадлежность и типы пород	Кол-во определений	Содерж. Th $\cdot 10^{-4}\%$	Отношение Th/U
Волынский мегаблок			
Формация редкометальных лейкогранитов, апограниты) пержанского комплекса ●	128	38,2	2,3
Формация габбро-сиенитовая, сиениты Ястребецкого массива ●	12	66,0	3,7
Формация габбро-диорит-гранитная (осницкий комплекс), граниты Устиновского массива	18	17,1	2,3
Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат терригенный палеопротерозойский:			
а) граниты порфиробластические:			
Красногорский массив ●	54	43,6	8,4
б) граниты среднезернистые:			
Киянский массив	20	30,8	5,3
Красногорский массив ●	76	37,5	7,2
Гулинский массив	41	21,0	1,7
Курчицкий массив	11	28,0	6,1
Сербовский массив ●	56	39,1	7,1
в) мигматиты порфиробластические:			
район с. Трояны	21	19,4	13,5
район к югу от г. Новоград-Волынского	29	17,4	5,1
Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат неясен, граниты порфиробластические:			
район г. Новоград-Волынского	22	22,0	4,7
Барашевский массив	27	17,0	4,5
Подольский мегаблок			
Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат – офиолитовая и карбонатно-песчано-глинистая формация архея, бердичевский комплекс, мигматиты района г. Бердичева	79	19,8	19,8
Белоцерковский мегаблок и Голованевская шовная зона			
Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат терригенный палеопротерозойский:			
а) граниты порфиробластические:			
Уманский массив ●	619	42,0	7,1
Богуславский массив	99	21,2	4,3
б) мигматиты порфиробластические:			
район г. Звенигородки	26	18,3	8,3
район к западу от г. Белой Церкви	40	24,0	7,5
экзоконтакты Уманского массива	21	27,3	9,7
район г. Гайсина ●	6	36,3	19,1

Формационная принадлежность и типы пород	Кол-во определений	Содерж. Th $\cdot 10^{-4}\%$	Отношение Th/U
Ингульский мегаблок и Ингулецко-Криворожская шовная зона			
Формация микроклиновых гранитов аплит-пегматоидных			
Боковьянский массив	27	22,0	8,5
район с. Аджамки и с. Субботцев	28	19,8	6,8
Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат терригенный палеопротерозойский:			
а) граниты порфиробластические	24	40,9	17,0
Бобринецкий массив ●	134	29,5	6,7
Кировоградский массив	48	31,2	9,7
Вознесенский массив			
б) граниты среднезернистые	24	19,9	4,0
район г. Знаменки			
Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат – офиолитовая и карбонатно-песчано-глинистая формации архея:			
а) граниты порфиробластические:	28	32,1	8,7
Боковьянский массив ●	26	18,0	7,8
Верблюжский массив	49	30,0	10,3
Чигиринский массив	167	22,4	11,8
Новоукраинский массив			
б) монциты Новоукраинского и Боковьянского массивов	39	17,0	13,5
в) мигматиты порфиробластические Боковьянского массива	16	17,6	9,8
Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат неясен, мигматиты			
район с. Новгородка	14	20,4	5,2
район с. Михайловка	22	19,0	5,4
район с. Христофоровка	22	18,4	3,4
Днепровский мегаблок			
Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат – диабазо-спилитовая и кератофиросланцевая формации архея, граниты порфиробластические			
Токовский массив ●	129	75,0	8,0
Мокромосковский массив		20,8	6,7
верховья р. Базавлук	16	24,0	6,8
район с. Новогурьевка	38	20,8	6,7
Приазовский мегаблок и Орехово-Павлоградская шовная зона			
Формация редкометальных лейкогранитов, апограниты каменноугольного комплекса ●	19	46,0	3,7
Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат – диабазо-спилитовая и кератофиросланцевая формации архея, граниты порфиробластические Анадольского массива		28,7	11,5
Формация плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстрат неясен, мигматиты Лозоватского антиклинория	33	18,7	14,4

* **Примечание:** породы, геохимически специализированные на торий, обозначены знаком ●

К формации плагиоклаз-микроклиновых гранитов, нерасчлененных по субстрату, относятся ториеносные граниты Барашевского массива и района г. Новоград-Волынска, пегматоидные граниты района г. Житомира и рапаквивиподобные граниты Устиновского массива в пределах Волынского мегаблока. Ториеносными также являются мигматиты района с.с. Новгородка, Михайловка и Христофоровка в Ингулецко-Криворожской шовной зоне, Лозоватского антиклинория в западной части Призаовского мегаблока, а также пегматоидные граниты Боковьянского массива и района с. Субботцев на территории Ингульского мегаблока.

К формации плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстратом для которых явились образования офиолитовой и карбонат-песчано-глинистой формации архея, метаморфизованные в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций, на территории Подольского мегаблока отнесены ториеносные мигматиты района г. Бердичева. А в пределах Ингульского мегаблока – ториеносные гранитоиды Верблюжского, Чигиринского и Новоукраинского массивов, а также геохимически специализированные на торий гранитоиды Боковьянского массива. Мигматиты района г. Бердичева принадлежат одноименному ремобилизованному комплексу, а все образования на территории Ингульского мегаблока – интрузивным чарнокитоидам новоукраинского комплекса.

К формации плагиоклаз-микроклиновых гранитов, субстратом для которых были терригенные толщи палеопротерозоя, метаморфизованные в условиях амфиболитовой фации, в пределах Волынского мегаблока отнесены ториеносные граниты Кишинского, Гулинского и Курчицкого небольших массивов, мигматиты районов г. Новоград-Волынска и с. Троянов, а также геохимически специализированные на торий граниты Красногорского и Сербовского массивов. Они возникли в процессе прогрессивного гранитообразования в толще гнейсов тетеревской серии. На территории Голованевской шовной зоны ториеносными являются порфиробластические мигматиты района г. Звенигородки. В пределах Ингульского мегаблока к ториеносным отнесены граниты Вознесенского и Березовского массивов и небольшие тела гранитов района г. Знаменки, а к геохимически специализированным на торий – граниты Бобринецкого массива. Все эти гранитоиды также возникли в процессе прогрессивного гранитообразования в гнейсовой толще ингуло-ингулецкой серии.

Формация редкометальных лейкогранитов, геохимически специализированных на торий, в пределах Волынского мегаблока представлена пержанским, а в пределах Призаовского – каменноугольским комплексами.

В целом на общем радиогеохимическом фоне пород фундамента УЩ выделяются геохимически специализированные на торий образования формации редкометальных лейкогранитов. В меньшей мере это касается массивов интрузивных чарнокитоидов новоукраинского комплекса и автохтонных массивов гайсинского, уманского, токовского регрессивных и житомирского, и кировоградского прогрессивных гранитоидных комплексов. Большой распространенностью и повышенными концентрациями тория характеризуются плагиоклаз-микроклиновые гранитоиды разной формационной принадлежности в пределах Волынского и Ингульского мегаблоков, которые характеризуются более динамичным развитием в платформенный период. Для Призаовского мегаблока в этот период характерно интенсивное развитие щелочного магматизма. В слабо ториеносных гранитоидах торий главным образом входит в состав породообразующих и в меньшей мере – слабо радиоактивных акцессорных минералов (сфена, апатита, циркона). В ториеносных гранитоидах он, кроме того, концентрируется в более высокордиоактивных акцессориях – монаците, ортите, ксенотиме, а в геохимически специализированных на торий к ним добавляются циртолит, торит, бастнезит, рабдофанит (табл. 1).

Накопление тория в истории формирования Украинского щита

Этот вопрос впервые рассмотрен в работе [7]. Дальнейшее изучение имеющегося материала позволило уточнить и дополнить намеченную схему. Целесообразно выделить палеоархейский (> 3200 млн. лет) период ториенакопления, характеризующийся формированием ранней земной коры преимущественно из основных и ультраосновных пород. В них торий присутствует в рассеянном состоянии в породообразующих минералах. В мезоархейский период (3200-2800 млн. лет) в пределах Днепровского и западной части Приазовского мегаблоков в процессе становления гранит-зеленокаменных структур произошел привнос урана, лантаноидов и тория в земную кору с концентрацией его, кроме породообразующих, и в некоторых радиоактивных акцессорных минералах [28]. Неоархейский период (2800-2600 млн. лет) ознаменовался привносом тория и урана в калиевую фазу архейского гранитообразования, что особенно четко проявилось в пределах Днепровского мегаблока формированием массивов токовского и мокромосковского комплексов. В них торий главным образом накапливался в форме акцессорных циркона, ортита, торита, баснезита. Первый палеопротерозойский период (2600-2400 млн. лет) характерен образованием грубозернистых осадков в депрессиях архейского основания. Торий в них накапливался механическим путем в торийсодержащих акцессорных минералах в результате размыва архейских гранитоидов и гранит-зеленокаменных структур. Впоследствии эти россыпи подверглись метаморфизму и в настоящее время сохранились в базальном слое нижней свиты криворожской серии. Второй палеопротерозойский период (2200-2000 млн. лет) ознаменовался широким развитием на территории щита регионального метаморфизма и продуктов чарнокит-гранитной стадии становления земной коры. Эти процессы были связаны с развитием первой фазы протерозойского мантийного диапиризма, обусловившей ультраметагенную протоактивизацию и формирование протоплатформенных массивов [29]. Торий в гранитоидах и кремний-калиевых метасоматитах продолжал накапливаться в основном в форме акцессорных минералов – монацита, циртолита, ортита, циркона, ксенотима, апатита, в меньшей мере бастнезита и рабдофанита. С мантийным диапиризмом связано и внедрение в конце этого периода интрузий щелочной ультраосновной формации в пределах Подольского и Приазовского мегаблоков, в которых торий в основном накапливался в форме карбонатов и ниобатов. Мезопротерозойский период (2000-1700 млн. лет) выделяется внедрением интрузий габбро-сиенитов и редкометальных лейкогранитов в пределах Волынского и Приазовского, в меньшей мере Ингульского мегаблоков, а также плутонов анортозит-рапакивигранитной формации на территории Волынского и Ингульского, меньшей мере Приазовского, мегаблоков в связи с автономной ТТА, обусловленной проявлением второй фазы протерозойского мантийного диапиризма. В гранитоидах торий накапливался, в основном, в монаците, торите, ксенотиме, ортите, циртолите, а в габбро-сиенитах – в бритоците, пирохлоре, бетаците, цирконе, ортите, в меньшей мере в торите, что привело к образованию комплексных редкометально-редкоземельных с торием руд. В этот же период в Ингульском мегаблоке мантийный диапиризм обусловил появление промышленного оруденения урановой формации в приразломных натриевых метасоматитах, ранние высокотемпературные минеральные типы которой вмещают торий. Неопротерозойский период (1300-600 млн. лет) характерен широким развитием на территории щита ториепроявлений гидротермального жильно-штокверкового и метасоматического типов в связи с магматическими и флюидными процессами в земной коре, обусловленными гренвильской и байкальской ТТА. В байкальское время на западном и юго-западном склонах УЩ в приразломных впадинах фундамента сформировались грубозернистые осадки венда, в которых накопились стойкие в экзогенных условиях монацит и циркон. Фанерозойский период (< 600 млн. лет) достаточно

полно охарактеризован в работе [7]. Как и в предыдущий период, в это время продолжалось образование гидротермальных ториепроявлений в связи с герцинской и киммерийской ТТА. На северо-восточном склоне щита в базальном слое среднего девона сформировалось убогое урановое с торием оруденение спорного (скорее всего гидротермально-осадочного) генезиса. В мезо-кайнозойских осадках чехла, а также в коре выветривания фундамента образовались охарактеризованные выше россыпи.

Выводы

1. Атомная энергетика XXI века требует мобилизации всех своих ресурсов, в т.ч. и использования тория в качестве топлива. Использование его в ядерном цикле способно не только устранить сложности в обеспечении АЭС сырьём в связи с ограниченностью ресурсов урана, но и решить ряд проблем в самой атомной энергетике: экономической эффективности, ядерной безопасности, сбережения и переработки отработанного топлива и других.

2. Особенности геохимии тория определяют комплексный характер минерализации, а особенности металлогении обуславливают накопление его в эндогенных условиях как при формировании гранитоидных комплексов, так и при развитии щелочного интрузивного магматизма, метасоматоза и гидротермальной деятельности. Эндогенные концентрации тория связаны, прямо или косвенно (через развитие гранитоидного магматизма и флюидизма в земной коре), с процессами, происходящими на подкоровых глубинах.

3. Для докембрия УЩ характерно сингенетическое накопление тория в породах как в породообразующих, так и в акцессорных минералах. По содержанию его метаморфиты и палингенно-анатектические плагиогранитоиды относятся к классу слабо ториеносных образований, где торий преимущественно входит в состав породообразующих минералов и в меньшей мере слабо радиоактивных акцессориев – сфена, апатита, циркона. Заметный рост его содержания отмечается в автохтонных палингенно-метасоматических и аллохтонных плагиоклаз-микроклиновых гранитоидах чарнокит-гранитного этапа формирования земной коры в конце мезоархея и, особенно, в конце палеопротерозоя. Значительная часть их по содержанию тория относится к классам ториеносных и геохимически специализированных на торий. В них он преимущественно сконцентрирован в таких акцессорных минералах как монацит, ортит, ксенотим, циртолит, появляются торит, бастнезит, рабдофанит. В мезопротерозое сингенетическое накопление тория продолжалось в интрузиях геохимически специализированных на него редкометальных лейкогранитов и металлогенически специализированных габбро-сиенитов.

4. В мезопротерозое началось и продолжилось в неопротерозое и фанерозое накопление тория на территории УЩ в форме эпигенетических гидротермальных жильно-штокерковых и метасоматических концентраций в связи с магматическими и флюидными процессами в земной коре, обусловленными разновозрастной ТТА. Местами в палеопротерозойских, вендских и особенно мезо-кайнозойских осадках и корах выветривания пород фундамента щита сформировались незначительные монацитсодержащие россыпи различных типов. Промышленные комплексные концентрации тория следует ожидать в образованиях габбро-сиенитовой формации, а также в продуктах гидротермальных и метасоматических рудообразующих процессов в фундаменте щита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулиш Е.А., Комов И.П., Яценко В.Г. и др. Стратегические минеральные ресурсы Украины для ядерной энергетики. К.: Логос, 2010. – 285 с.
2. Шумилин М.В. Проблема мирового рынка природного урана в обозримой перспективе // Минеральные ресурсы России. – 2007. – №5. – С. 53-56.

3. *Андерхилл Д.Х.* Анализ мирового обеспечения ураном до 2050 года // Уран на рубеже веков: природные ресурсы, производство, потребление. Труды международного симпозиума по геологии урана. – Москва. – 2002. – С. 4-7.
4. *Шумилин М.В.* Урановорудные провинции мира и ресурсный потенциал урана: попытка количественного анализа // Отечественная геология. – 2007. – №2. – С. 48-51.
5. *Котова В.М.* Минерально-сырьевая база тория и перспективы её использования в ядерной энергетике России в XXI веке. // Уран на рубеже веков: природные ресурсы, производство, потребление. Труды международного симпозиума по геологии урана. – Москва. – 2002. – С. 16-19.
6. *Лепігов Г.Д., Василенко А.П.* Глухівсько-Турбівський рудний вузол. // Мінеральні ресурси України. – 2005. – №2. – С. 13-15.
7. *Анисимов В.А., Кузьмин А.В., Макивчук О.Ф. и др.* Ториеносность докембрийских пород Украинского щита и его склонов // Геологический журнал. – 2007. – №3. – С. 51-58.
8. *Минеева И.Г., Тарханова Г.А.* Поведение урана и тория в послемагматическом процессе комплекса калиевых щелочных пород. // Геология рудных месторождений. 1964. №4. – С. 34-43.
9. *Каплан Г.Е., Успенская Т.А., Чирков И.В.* Торий, его сырьевые ресурсы, химия и технология. Москва. 1960. 224 с.
10. *Сауков А.А.* Геохимия. Москва. Наука. 1966. 381 с.
11. *Семёнов Е.И.* Оруденение и минерализация редких земель, тория и урана (лантаноидов и актиноидов). Москва. «ГЕОС». 2001. 307 с.
12. *Невский В.А.* Геология постмагматических ториево-редкометалльных месторождений. Москва. Атомиздат. 1972. 407 с.
13. *Гинзбург А.И.* Источники рудного вещества в эндогенных месторождениях редких элементов. // Геология рудных месторождений. 1975. №4. – С. 44-52.
14. *Щеглов А.Д.* Основные проблемы современной металлогении. Вопросы теории и практики. Ленинград. Недра. 1987. 231 с.
15. Прогнозирование рудопроявлений редких элементов Украинского щита. Донецк. Вебер. 2007. 220 с.
16. *Смыслов А.А.* Уран и торий в земной коре. Ленинград. Недра. 1974. 231 с.
17. *Буряк В.А.* Некоторые особенности метаморфогенного рудообразования. Ленинград. Наука. 1970. – С. 258-274.
18. *Коржинский Д.С.* Трансмагматические потоки растворов подкорового происхождения и их роль в магматизме и метаморфизме. Международный геологический конгресс. XXIII сессия, 1968. – С. 238-251.
19. *Овчинников Л.Н.* Интрателлурические растворы, магматизм и рудообразование. // Проблемы магматической геологии. Москва. Наука. 1973. – С. 318-329.
20. *Добрецов Н.Л.* Геологические следствия термохимической модели плюмов. // Геология и геофизика. 2008. №7. – С. 587-604.
21. *Барсуков В.А., Дмитриев Л.В.* О роли мантийных источников рудного вещества в формировании и размещении некоторых месторождений полезных ископаемых. // Геология рудных месторождений. 1975. №4. – С. 17-19.
22. *Смыслов А.А.* Торий в минеральном веществе континентальной земной коры. Сборник научных трудов «Процессы концентрирования тория в земной коре». Москва. 1987. – С. 4-8.
23. *Лебедева Л.И., Илупин И.П.* Торий в кимберлитах Сибирской платформы. Сборник научных трудов «Процессы концентрирования тория в земной коре». Москва. 1987. – С. 9-18.
24. *Есипчук К.Е.* Петролого-геохимические основы формационного анализа гранитоидов докембрия. Киев. Наукова думка. 1988. 263 с.
25. *Шеремет Е.М.* Происхождение гранитоидов областей тектоно-магматической активизации запада Восточно-Европейской платформы. Известия АН СССР, серия геологическая. 1990. №5 – С. 22-34.
26. *Загнитко В.Н., Кривдик С.Г., Легкова Г.В. и др.* Геохронология, петрология и рудоносность щелочных массивов Украинского щита. // Изотопное датирование эндогенных рудных формаций. Москва. Наука. 1993. – С. 27-38.
27. *Белевцев Я.Н., Егоров Ю.П., Титов В.К. и др.* Средние содержания урана и тория в главнейших типах горных пород Украинского щита. // Геологический журнал. 1975. №4. – С. 96-118.

28. Коваль В.Б. Генетические особенности формирования месторождений урана. Общие положения. // Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. Киев. Наукова думка. 1995. – С. 202-208.
29. Оровецкий Ю.П. Мантийный диапиризм. Киев. Наукова думка. 1990. 172 с.

REFERENCES

1. E. Kulish, I. Komov, V. Yacenko i dr. Strategicheskie mineral'ny'e resursy' Ukrainy' dlya yadernoy e`nergetiki. [Strategic mineral resources of Ukraine for nuclear power] К. : Logos, 2010. - 285 p. К.: Logos, 2010. – 285 s. [in Russian]
2. M. Shumilin Problema mirovogo ry'nka prirodnogo urana v obozrimoy perspektive [The problem of the world market of natural uranium in the nearest future] // Mineral'ny'e resursy' Rossii. – 2007. – №5. – S. 53-56. [in Russian]
3. D. Anderhill Analiz mirovogo obespecheniya uranom do 2050 goda // Uran na rubeje vekov: prirodny'e resursy, proizvodstvo, potreblenie. Trudy mejdunarodnogo simpoziuma po geologii urana. [Analysis of the world uranium provision to 2050] – Moskva. – 2002. – S. 4-7. [in Russian]
4. M. Shumilin Uranovorudny'e provincii mira i resursny'y potencial urana: popytka kolichestvennogo analiza [The world's uranium ore provinces and resource potential of uranium: an attempt for quantitative analysis] // Otechestvennaya geologiya. – 2007. – №2. – S. 48-51. [in Russian]
5. V. Kotova Mineral'no-sy'r'evaya baza toriya i perspektivy' ee' ispol'zovaniya v yadernoy energetike Rossii v XXI veke. [Mineral resources base of thorium and prospects for its use in the nuclear power industry of Russia in the XXIst century] // Uran na rubeje vekov: prirodny'e resursy', proizvodstvo, potreblenie. Trudy mejdunarodnogo simpoziuma po geologii urana. – Moskva. – 2002. – S. 16-19. [in Russian]
6. G. Lepigov, A. Vasilenko Gluhi'vs'ko-Turbi'vs'kiy rudnyy vuzol. // Mi'nera l'ni' resursi Ukraїni. – 2005. – №2. – S. 13-15. [in Ukrainian]
7. V. Anisimov, A. Kuz'min, O. Makivchuk i dr. Torienosnost' dokembriyskih porod Ukrainского sch'ita i ego sklonov [Thorium-bearing of Precambrian rocks of the Ukrainian Shield and its slopes] // Geologicheskij jurnal. – 2007. – №3. – S. 51-58. [in Russian]
8. I. Mineeva, G. Tarhanova Povedenie urana i toriya v poslemagmaticheskom processe kompleksa kalievyy'h sch'elochny'h porod. [The behavior of uranium and thorium in the post-magmatic process of potassic alkaline rocks complex.] // Geologiya rudny'h mestorojdeniy. 1964. №4. – S. 34-43. [in Russian]
9. G. Kaplan, T. Uspenskaya, I. Chirkov Toriy, ego sy'r'evy'e resursy', himiya i tehnologiya. [Thorium and its raw materials, chemistry and technology.] Moskva. 1960. 224 s. [in Russian]
10. A. Saukov Geohimiya. [Geochemistry] Moskva. Nauka. 1966. 381 s. [in Russian]
11. E. Seme'nov Orudnenie i mineralizaciya redkih zemel', toriya i urana (lantanoidov i aktinoidov) [The ore deposits and mineralization of rare earth elements, thorium and uranium (lanthanides and actinides)]. Moskva. «GEOS». 2001. 307 s. [in Russian]
12. V. Nevskiy Geologiya postmagmaticheskikh torievo-redkometal'ny'h mestorojdeniy. [Geology of postmagmatic thorium-rare-metal deposits] Moskva. Atomizdat. 1972. 407 s. [in Russian]
13. A. Ginzburg Istochniki rudnogo veschestva v e`ndogenny'h mestorojdeniyah redkih e`lementov. [Ore sources in the endogenous deposits of rare elements.] // Geologiya rudny'h mestorojdeniy. 1975. №4. - S. 44-52. [in Russian]
14. A. Sch'eglov Osnovny'e problemy' sovremennoy metallogenii. Voprosy' teorii i praktiki. [The main problems of the modern metallogeny. Theory and practice.] Leningrad. Nedra. 1987. 231 s. [in Russian]
15. Prognozirovaniye rudoproyavleniy redkih e`lementov Ukrainского sch'ita. [Prognosis of occurrences of rare elements in the Ukrainian Shield] Doneck. Veber. 2007. 220 s. [in Russian]

16. A. *Smy'slov* Uran i toriy v zemnoy kore.[Uranium and thorium in the earth's crust] Leningrad. Nedra. 1974. 231 s. [*in Russian*]
17. V. *Buryak* Nekotory'e osobennosti metamorfogenno rudoobrazovaniya. [Some features of metamorphic ore mineralization] Leningrad. Nauka. 1970. – S. 258-274. [*in Russian*]
18. D. *Korjinskiy* Transmagmaticheskie potoki rastvorov podkorovogo proishojdeniya i ih rol' v magmatizme i metamorfizme. [Transmagmatic flows of solution of subcrustal origin and their role in magmatism and metamorphism.] Mejdunarodny'y geologicheskij kongress. XXIII sessiya, 1968. – S. 238-251. [*in Russian*]
19. L. *Ovchinnikov* Intratelluricheskie rastvory', magmatizm i rudoobrazovanie. [Intratelluric solutions, magmatism and ore formation.] // Problemy' magmaticheskoy geologii. Moskva. Nauka. 1973. – S. 318-329. [*in Russian*]
20. N. *Dobrecov* Geologicheskije sledstviya termohimicheskoy modeli plyumov. [Geological sequents of thermochemical plume model] // Geologiya i geofizika. 2008. №7. – S. 587-604. [*in Russian*]
21. V. *Barsukov*, L. *Dmitriev* O roli mantiyny'h istochnikov rudnogo vesch'estva v formirovanii i razmesh'eniі nekotory'h mestorojdeniy polezny'h iskopaemy'h. [On the role of mantle sources of ore matter in the formation and placement of some mineral deposits] // Geologiya rudny'h mestorojdeniy. 1975. №4. – S. 17-19. [*in Russian*]
22. A. *Smy'slov* Toriy v mineral'nom vesch'estve kontinental'noy zemnoy kory' [Thorium in mineral substance of the continental crust]. Sbornik nauchny'h trudov «Processy' koncentrirovaniya toriya v zemnoy kore». Moskva. 1987. – S. 4-8. . [*in Russian*]
23. L. *Lebedeva*, I. *Ilupin* Toriy v kimberlitah Sibirskoy platformy'. [Thorium in kimberlites of the Siberian platform] Sbornik nauchny'h trudov «Processy' koncentrirovaniya toriya v zemnoy kore». Moskva. 1987. – S. 9-18. [*in Russian*]
24. K. *Esipchuk* Petrologo-geohimicheskije osnovy' formacionnogo analiza granitoidov dokembriya. [Petrological and geochemical bases of formation analysis of Precambrian granitoids.] Kiev. Naukova dumka. 1988. 263 s. [*in Russian*]
25. E. *Sheremet* Proishojdenie granitoidov oblastey tektono-magmaticheskoy aktivizacii zapada Vostochno-Evropeyskoy platformy'. [Origin of granitoid areas of tectonomagmatic activization of the East of European platform.] Izvestiya AN SSSR, seriya geologicheskaya. 1990. №5 – S. 22-34. [*in Russian*]
26. V. *Zagnitko*, S. *Krivdik*, G. *Legkova i dr.* Geohronologiya, petrologiya i rudonosnost' sch'elochny'h massivov Ukrainskogo sch'ita. [Geochronology, petrology and ore-bearing alkaline massifs of the Ukrainian shield.] // Izotopnoe datirovanie endogenny'h rudny'h formaciy. Moskva. Nauka. 1993. – S. 27-38. [*in Russian*]
27. Ya. *Belevcev*, Yu. *Egorov*, V. *Titov i dr.* Srednie sodержaniya urana i toriya v glavneyshih tipah gorny'h porod Ukrainskogo sch'ita. [The average content of uranium and thorium in the most important types of rocks of the Ukrainian shield] // Geologicheskij jurnal. 1975. №4. – S. 96-118. [*in Russian*]
28. V. *Koval'* Geneticheskie osobennosti formirovaniya mestorojdeniy urana. Obsch'ie položeniya. [Genetic features of uranium deposits formation. General statements.] // Geneticheskie tipy' i zakonomernosti razmesh'eniya uranovy'h mestorojdeniy Ukrainy'. Kiev. Naukova dumka. 1995. – S. 202-208. [*in Russian*]
29. Yu. *Oroveckiy* Mantiyny'y diapirizm. [Mantle diapirism] Kiev. Naukova dumka. 1990. 172 s. [*in Russian*]

РОЗПОДІЛ ТОРІЮ В КРИСТАЛІЧНИХ ПОРОДАХ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Кузьмін А.В., Ярощук М.О.

А.В. Кузьмін ст. н.с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»
М.А. Ярощук д. г.-м.н. пр. н.с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Стан мінерально-сировинної бази урану і низка проблем в атомній енергетиці обумовлюють необхідність використання торію в якості палива на АЕС. Коротко охарактеризовані стан вивченості на торій території України, особливості його геохімії і металогенії. Наведені дані з торієносності порід фундаменту Українського щита і історії накопичення в них торію. Надано параметри торієвої мінералізації в породах основних геологічних формацій Українського щита (середній вміст торію, середнє Th/U відношення, коефіцієнти варіації вмістів торію та урану). Показано розміщення торієносних і геохімічно спеціалізованих на торій кристалічних порід у мегаблоках і міжблокових шовних зонах Українського щита. Зроблено висновок, що основні перспективи створення мінерально-сировинної бази цього металу слід пов'язувати з розвитком лужного інтрузивного магматизму, метасоматозу і гідротермальної діяльності в породах фундаменту щита.

Ключові слова: розподіл торію, кристалічні породи, торієносні формації, атомна енергетика, періоди накопичення, геохімія торію.

DISTRIBUTION OF THORIUM IN THE CRYSTALLINE ROCKS OF THE UKRAINIAN SHIELD

A. Kuz`min, M. Yaroshchuk

A. Kuz`min, senior research scientist SI "Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine"
M. Yaroshchuk, Dr. Sci. in Geology and Mineralogy, leading researcher SI "Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine"

The state of the mineral resource base of uranium and a number of problems in nuclear power approves the necessity to use Thorium as a fuel for nuclear power plants. The paper briefly describes the state of knowledge about thorium in Ukraine, especially its geochemistry and metallogeny. The data on thorium-bearing of Ukrainian shield basement rocks is given. Also is given the history of thorium accumulation in the rocks. The parameters of thorium mineralization in rocks of basic geological formations of the Ukrainian Shield (mean thorium content, mean Th/U ratio, coefficients of variation of thorium and uranium contents) are shown. The places of locations of thorium-bearing and geochemically specialized formations on thorium in crystalline rock, in mega blocks and inter block suture zones of the Ukrainian Shield are described. It is concluded that the main prospects for the creation of the mineral resource base of the metal should be associated with the development of an alkaline intrusive magmatism, metasomatosis and hydrothermal activity in the foundation board of the Shield.

Keywords: distribution of thorium, crystalline rocks, thorium-bearing, nuclear power, the accumulation period, thorium geochemistry.