

Фомин Ю.А.

ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

ТОРИЙ В УРАНОВОРУДНЫХ АЛЬБИТИТАХ КИРОВОГРАДСКОГО МЕГАБЛОКА

Приведены петро-геохимический состав, радиогеохимические типы и генетические особенности гнейсов чечелеевского литолого-стратиграфического уровня, с которыми связаны ураново-альбититовые месторождения и которые изначально формируют ториеносность изученных объектов. Рассмотрено поведение тория в процессах становления указанных месторождений.

Теперь, когда человечество вступает в новый век лучистой – атомной энергии, мы, а не другие, должны знать, должны выяснить, что хранит в себе в этом отношении почва нашей родной страны.

В.И. Вернадский

Введение

Информация о ториеносности урановорудных альбититов и вмещающих их пород, содержащаяся в опубликованных (и фондовых) работах, довольно скудна и противоречива. В самой ранней сводке по месторождениям урана Украины Ю.П. Егоровым приведена подробная геохимическая характеристика Мичуринского месторождения, первого открытого из этой формации; урановые руды в ней названы безториевыми [1]. Более поздние минералогические исследования руд Ватутинского месторождения позволили В.Т. Дубинчуку [2], наряду с урановыми минералами (и в ассоциации с ними), идентифицировать торит и его разновидность – хюсонит. Из апогранитных альбититов Новокопачевского месторождения М.С. Ходоровским (та же работа) выделены акцессорные монацит, циркон, апатит и определено содержание тория в них. Во вмещающих новоукраинских гранитах этого же месторождения зафиксирована наиболее высокая концентрация тория (до 200 г/т). Из последних работ по торию отметим обобщающий отчет Е.А. Кулиша и др. (2008): выделяя как перспективную на торий редкометальную рудную формацию ураноносных альбититов, авторы в основном отсылают к северной части Криворожской зоны с Желтореченским и Первомайским месторождениями U, Sc, Y, Th. Касаясь альбититов Кировоградского блока, они ограничиваются констатацией, что эти альбититы «часто являются ураноносными рудами промышленного значения, однако тут есть и ториеносные месторождения альбититового типа».

Исходя из вышеизложенного, основной целью разработки является исследование поведения тория во всех геологических процессах, так или иначе связанных с формированием месторождений урана альбититовой формации применительно к Кировоградскому блоку [2]. При рассмотрении этих процессов можно говорить о трех этапах минерализации: седиментационном, метаморфогенном, включая сингранитизационные процессы, и постгранитизационном метасоматическом. К первому относится накопление осадков раннепротерозойского флиша; ко второму – их региональный метаморфизм (гнейсификация) в условиях амфиболитовой фации с последующей, достаточно широко проявленной гранитизацией; к третьему – щелочной метасоматоз (альбитизация) и собственно урановое рудообразование.

Наше повышенное внимание обращено к исходным гнейсам этого региона, что обусловлено рядом факторов. Важнейшим среди них является пространственная связь не только месторождений урана, но и так называемого «гнейсового» золота малосульфидной золотокварцевой (с теллуридами) формации с толщами суперквартальных пород раннего

протерозоя, в составе которых в том или ином количестве обязательно присутствуют гнейсы повышенной металлоносности. Кроме того, как будет показана ниже, эти гнейсовые толщи имеют самое непосредственное отношение к масштабам ториеносности указанных месторождений.

Состав и условия формирования гнейсов

Вмещающими для всех месторождений урановорудных альбититов Кировоградского блока являются раннепротерозойские породы метаморфогенной триады: гнейсы – мигматиты – граниты, изотопный возраст которых охватывает период от 2500—2300 млн лет (для биотитовых гнейсов Кировоградской зоны) до 2065—2026 млн лет (для ряда массивов кировоградских гранитов) и 2040—2019 млн лет (для новоукраинских гранитов) [2, 3].

В указанной триаде ближе всего к исходным образованиям находятся гнейсы ингуло-ингулецкой серии. Из многочисленных работ, посвященных этим породам, на наш взгляд, следует выделить монографию В.Н. Кобзаря [4]. Автор на основе детальной генетической реконструкции гнейсовых толщ Кировоградского блока и сопоставления их с верхними свитами криворожской серии пришел к выводу об их фациально-стратиграфической аналогии и общей металлогенической специализации в зависимости от состава денудированного архейского основания. Наши исследования [5, 6], подтверждая сделанный вывод, позволили выделить в этой части Украинского щита литолого-стратиграфический и возрастной (гданцевско-чечелеевский) уровень, характеризующийся повышенной металлоносностью (прежде всего U, Th, Au). Судя по изотопному составу углерода и сульфидной серы, рудовмещающие породы чечелеевской свиты можно считать изотопно-геохимическими аналогами гданцевской и глееватской свит Криворожья с присущими им условиями седиментогенеза: восстановительной обстановкой осадкоотложения в полуизолированных или изолированных бассейнах лагунного типа, обилием органики в илах, сульфатредукцией и ограниченным доступом сульфатных вод. Но, конечно, прежде всего, это изменение газового состава атмосферы до существенно кислородного. По содержанию углерода, его формам и их изотопному составу рудовмещающие породы зоны вполне соответствуют типичным метаморфизованным углеродисто-осадочным образованиям.

В составе гнейсов на изученных нами месторождениях преобладают биотитовые разновидности с графитом, кордиеритом, гранатом, амфиболом, гиперстеном; из породообразующих минералов, кроме того, присутствуют кварц, плагиоклазы (олигоклаз, зональный андезин) и микроклин. Иногда в них послойно развивается магнетит, сульфиды (пирротин, халькопирит, пентландит, пирит, сфалерит). Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом, монацитом, сфеном. Усредненный количественно-минералогический состав неизменных гнейсов (%): кварц 10—50, плагиоклазы с преобладанием олигоклаза 15—70 и биотит 5—45, кордиерит – до 40, гранат – до 40, графит – до 5, турмалин – до 5; часто встречаются магнетит – до 12 и сульфиды – пирротин, пирит; акцессорные – апатит, циркон и другие – 0,05—0,3 [4].

В гнейсовых разрезах присутствуют также амфибол-клинопироксеновые с плагиоклазом (андезином – битовнитом), кварцем, кальцитом, сфеном породы (скарноиды), образующие будины или небольшие линзы зонального строения. Минералогический состав зон (%), по тем же данным, следующий: внешние зоны включают плагиоклаз (андезин № 40—45) 50—70, биотит – до 15—20, гранат 10—15; промежуточные зоны состоят из андезина 40—70, кварца 5—40, зеленой роговой обманки 15—25, графита – до 5, граната, сфена; во внутренних зонах установлены лабрадор № 60—63 – до 50—60, диопсид – до 35, кварц – до 5—7, гранат – до 5—10, а также графит, сфен, апатит, магнетит, циркон. Следует подчеркнуть обычное присутствие в составе скарноидов, судя по нашим наблюдениям, карбонатной составляющей – кальцита, а также иногда пренита.

Согласно реконструкции В.Н. Кобзаря, биотитовые гнейсы с кордиеритом, графитом и гранатом представляют собой песчано-глинистую, а плагиоклаз-пироксен-амфиболовые скарноиды – мергелистую составляющие ритмичного флиша, типичного для трансгрес-

сивних осадочних отложений геосинклинальних прогибов. Характерная для гнейсов слоистость отражает существенные послонные колебания содержаний породобразующих, второстепенных и акцессорных минералов, а также изменчивость их текстурно-структурных рисунков. Например, как отмечает автор (и это подтверждается нашими петрографическими наблюдениями в рамках урановой Юрьевки), отдельные слои пород сильно различаются концентрацией акцессорных минералов, в частности, что особенно важно для нашей разработки, монацита и циркона.

Выводы автора согласуются с нашими определениями петрохимического состава гнейсов в пределах Севериновского и Ватутинского месторождений урана, а также Восточно-Юрьевского месторождения золота, а сопоставление терригенных гнейсов чечелевского уровня с типичным флишем [7] по ряду петро- и геохимических показателей (табл. 1) позволяет уточнить условия формирования рудовмещающих пород.

Таблица 1. Петро- и геохимические показатели метафлиша на месторождениях U и Au

Петро- геохимические показатели	Гнейсы				Скарноиды
	Ватутинское месторождение	Севериновское месторождение	Коноплянское месторождение	Восточно-Юрьевское месторождение	
Al ₂ O ₃ , %	14,10	14,67	—	14,19	13,35
TiO ₂ , %	0,59	0,64	—	0,50	0,44
Al ₂ O ₃ :TiO ₂	28,1	26,9	—	28,1	32,6
∑FeO:MnO	48,7	47,2	—	62,5	22,9
Zr:Cu	3,8	2,3	0,9	2,0	3,8
V:Zr	1,4	2,8	5,6	1,1	0,3
V:Cu	5,5	6,4	5,2	1,9	1,0
Zr, г/т	121,0	56,0	28,5	83,1	153,0
Cu, г/т	31,5	24,0	31,0	47,5	40,4
V, г/т	172,0	154,0	160,0	80,6	40,0
Sr, г/т	9,0	22,1	44,9	243,4	470,0
Ba, г/т	56,7	57,0	128,0	652,9	250,0
Sr:Ba	0,16	0,39	0,35	0,37	1,88
K ₂ O:Na ₂ O	0,73	1,19	—	0,81	1,56

Примечание. Средние показатели рассчитаны на основе полных силикатных и спектральных анализов, выполненных в лабораториях ВОСТГОКа (Ватутинское, Севериновское и Коноплянское месторождения урана) и ГПП «Кировгеология» (Восточно-Юрьевское месторождение золота). Материалы автора.

Полагая содержание Al₂O₃ в гнейсах как косвенный показатель глиноземистости исходных осадочных пород, следует согласиться с выводом о существенно метапелитовой их природе, в пользу чего, кроме того, свидетельствует распространение в изученных гнейсовых разрезах кордиерита и граната, а также (косвенно) графита. Судя по данным систематического опробования керн скважин ГПП «Кировгеология» и нашим материалам, гнейсы Восточно-Юрьевского месторождения золота в среднем менее «глиноземисты» (Al₂O₃ 14,19 % по 35 пробам), по сравнению с гнейсами урановорудных полей (Al₂O₃ 14,44 % по 8 пробам).

Что касается зональных метамергелей, изученных нами в пределах золоторудного поля, то петрохимически они отчетливо выделяются высоким содержанием (%) CaO (6,33—21,17) и CO₂ (0,36—1,10), а также иногда повышенным количеством P₂O₅ (до 0,60), реализованного в виде апатита, и пониженным – щелочей (Na₂O 0,19—1,06; K₂O 0,38—1,66). Количество Al₂O₃ также понижено (13,35), в том числе и в сравнении с гнейсами района. Представляется, что эти части геологических разрезов более глубоководны.

Взаимоотношения некоторых элементов способствуют решению вопроса о континентально-лагунном или морском происхождении флиша. В частности, согласно Э.Н. Янову [7], отношение Al₂O₃:TiO₂ в морских аргиллитах и известняках ниже, чем в континентальных: 15—60 и 70—120 соответственно. В наших гнейсах это отношение соответ-

ствует морским отложениям с увеличением в ряду: гнейсы Севериновского месторождения → гнейсы Восточно-Юрьевского (а также Ватутинского) месторождений → скарноиды Восточно-Юрьевского месторождения. Указанная тенденция, особенно с учетом противоположного поведения глинозема (см. табл. 1), определяется количеством в породах титана. Действительно, содержание TiO_2 в этом ряду снижается, причем на всех объектах, наряду с рядовыми его содержаниями, установлены аномальные (0,78—3,92 % TiO_2). Основным концентратором титана является сфен, возможно также присутствие рутила и ильменита. Важно подчеркнуть неравномерность распределения этих минералов в породах с обогащением ими отдельных осадочных слоев, а также постепенное уменьшение механической их примеси с глубиной.

По отношению $Fe_2O_3 + FeO:MnO$ с уверенностью можно говорить лишь о морской природе мергелистых флишоидов Восточно-Юрьевского месторождения. В гнейсах этого же месторождения данное отношение существенно выше. Основная причина – в разном содержании MnO , повышенном в первых (0,18—0,42 %) и пониженных в последних (0,06—0,09 %), что вполне соответствует фациям глубинности, а именно обогащением марганцем более глубинных карбонатных фаций. Гнейсы Севериновского и Ватутинского месторождений по отношению суммарного железа к марганцу занимают промежуточное положение между двумя группами пород Восточной Юрьевки.

Использование пар элементов с участием циркония дает хорошие результаты при невысоком содержании этого элемента (<100 г/т). По данным Э.Н. Янова отношение $Zr:Cu$ в морских алевролитах и аргиллитах (1—3,5) ниже, чем в континентальных (3,5—8), а $V:Zr$ выше (0,25—4 и 0,12—0,4 соответственно). Это вполне естественно, поскольку оба показателя количественно соотносят Zr (в виде циркона) с типично хемогенными элементами (Cu и V); в первом отношении Zr в числителе, во втором – в знаменателе. Для гнейсов Севериновского, Северо-Коноплянское и Восточно-Юрьевского месторождений с содержанием циркония (в среднем по объектам) 27,2—92,8 г/т отношение $Zr:Cu$ соответствуют морской природе отложений. В гнейсах Ватутинского и скарноидах Восточно-Юрьевского месторождений с повышенной концентрацией Zr (121—351 г/т) это отношение в среднем несущественно отличается от верхнего предела указанных для морских осадков значений. Значения же отношения $V:Zr$ для всех выборок гнейсов и скарноидов однозначно указывают на первично морскую их природу.

Сравнение $Zr:Cu$ и $V:Zr$ в исходных породах урановых месторождений и золоторудного поля, а также в гнейсах и скарноидах последнего показывает противоположные тенденции: значения $Zr:Cu$ в указанном направлении возрастают, а значения $V:Zr$ – снижаются. При этом в ряду месторождений: Севериновское (гнейсы) – Северо-Коноплянское (гнейсы) – Восточно-Юрьевское (гнейсы) – то же месторождение (скарноиды) концентрация циркония увеличивается, очевидно, за счет накопления в осадках внутригеосинклинального прогиба циркона в виде тонкой механической взвеси, тогда как медь и ванадий ведут себя альтернативно.

О морской или континентальной природе осадков позволяет судить и отношение $V:Cu$, которое, согласно Э.Н. Янову, в континентальных осадках всегда меньше 1, а в морских – превышает ее (2,5—7,7). В нашем случае наиболее низкие значения этого отношения присущи гнейсам и скарноидам Восточно-Юрьевского месторождения; для гнейсов остальных (урановых) объектов эти значения существенно выше, что также свидетельствует о нарушении соотношения ванадия и меди при смене терригенных фаций более глубинными карбонатными.

Что касается отношения $Sr:Ba$, которое является индикатором солености бассейнов, то преобладание бария над стронцием в гнейсах всех урановых месторождений, а также в большинстве их Восточно-Юрьевского месторождения золота свидетельствует о невысокой солености бассейнов, по крайней мере, в этой части региона можно говорить скорее о лагунных условиях. В скарноидах золоторудного поля, наоборот, стронций (в среднем) преобладает над барием ($Sr:Ba = 1,88$), т.е. ритмическое опускание дна скорее всего со-

проводилось підвищенням солоності води, можливо, відкриттям басейна. При цьому слід підкреслити більш високі вмісти обох елементів в вихідних породах золоторудної Юр'євки порівняно з едуктом уранових родовищ. Порівняння концентрацій цих елементів в гнейсах Севериновського, Северо-Коноплянского і Східно-Юр'євського родовищ демонструє чітку тенденцію зростання рівня їх накоплення (і в значимих масштабах) в Кіровоградській зоні в напрямку з півночі на південь, при близьких значеннях відношень Sr:Ba.

Відношення $K_2O:Na_2O$ може слугувати показником тривалості переносу обломочного матеріалу в процесі накоплення піщано-глинистого або карбонатного фліша. За думкою Л.Б. Рухина [8], при недовготривалому переносі обломочного матеріалу $Na > K$, а при тривалому його переотложенні $K > Na$. В нашому випадку $K_2O:Na_2O$ варіює в широких межах (0,32—2,81), досягаючи максимальних значень в метамергелях. В метатерригенних породах (гнейсах) воно суттєво нижче, що підтверджує висновок Э.Н. Янова [7] про більш тривале формування осадових порід при накопленні карбонатного матеріалу і, скоріше за все, на наш погляд, про більш глибоководну його природу.

Таким чином, нам представляється цілком обґрунтованим віднесення характеризуємих гнейсових товщ до терригенно-карбонатного флішу. Разом з тим, не можна не відзначити думку Л.М. Ганжи і др. (1991) про належність відкладень чечелевської свити вихідно до груборитмічної углеродисто-терригенної моласоїдної формації, метаморфізованої в умовах амфіболітової фації метаморфізму. З урахуванням геолого-тектонічної близькості цих формацій протиріччя тут ми не бачимо. Більш того, що в складі шполянської і глеватсько-гданцевської свит, дійсно, в верхніх частинах розрізів широко розвита метаконгломератова складова. Згідно Л.Б. Рухину [8] флішеві і моласові відклади належать до геосинклінальним формаціям періоду загального постінверсійного підняття з формуванням вузьких внутрігеосинклінальних прогибів і таких же підняттях. Обидві формації складені головним чином обломочним матеріалом і майже цілком утворюються, спочатку фліш, а потім моласи, шляхом розмивання підняттях і заповнення прогибів. Якщо формуванню першого відповідає розмивання верхньої частини підняттях (можливо, кори вивітрювання), то другі представляють собою руйновані підстиляючі породи. Переслаивання ж пелитових і більш глибоководних мергелистих осадових порід (в складі фліша) є наслідком ритмічного руху морського дна.

Наведені петрогеохімічні дані узгодяться і з геотектонічним положенням золотокварцевих і ураноальбітитових родовищ. Вони і інші розташовані, в основному, на периферії гранітно-купольних структур (як джерела енергії), але, якщо золоторудні локалізовані во зовнішній, то уранові – во внутрішній частині латеральної системи. Останнє сказується на співвідношенні родовищ в розломі: уранові руди майже завжди локалізовані в лежачому боці безпосередньо в зоні розлому, руди золота – в висячем боці на відстані, в оперюючих структурах; руди урана – в зонах діафтореза з ознаками відкриття мінералоутворюючих систем на глибину, для руд золота такі ознаки не виявлені. Спочатку родовища золота цього типу пов'язані з прогибами, виконаними гнейсовими товщами, уранові ж – з краєвими прикупольними їх частинами з проявом мигматизації. Звідси широке поширення графітсодержачих гнейсів (+ мергелиста складова) на об'єктах золота і інтенсивна гранітизація на об'єктах урана.

Торій і уран в гнейсах

Нижче розглянуті основні особливості розподілу торію і урана в гнейсах вивчених нами родовищ ураноносних альбітитів і золотоносної Юр'євки, проведена радіогеохімічна їх типізація, а також зроблені деякі генетичні висновки стосовно форм знаходження радіоактивних елементів і джерел мінерального речовини. Акцент зроблено на Юр'євському родовищі (золота і урана), як найбільш представительним в цьому відношенні.

При этом мы исходим из того, что исследуемые гнейсы относятся к особому литолого-стратиграфическому и возрастному уровню, проявленному значительной металлоносностью и, прежде всего, повышенной концентрацией радиоактивных элементов и золота. Но, если гнейсы в пределах урановых месторождений альбититовой формации характеризуются существенно повышенным содержанием U и Th, то исходные породы района развития золотокварцевых руд отличаются повышенным количеством Au, что подтверждается сравнением их кларков концентрации – средних содержаний по месторождениям, нормированных к их кларкам в земной коре (по А.П. Виноградову [9]).

Так, в ряду месторождений урана Ватутинское – Новоконстантиновское – Севериновское – Северо-Коноплянское – Юрьевское содержание U, нормированное к его кларку (2,5 г/т), составляет соответственно 2,8; 2,5; 1,8; 2,0; 3,0, тогда как этот показатель для гнейсов и скарноидов Восточно-Юрьевского месторождения золота равен 0,8 и 0,9 соответственно. Содержание Th, нормированное к его кларку (13 г/т), в этом ряду составляет: 2,0; 1,0; 1,7; 1,7; 2,6, что, в общем, сходно с U. И таким же снижением показателя характеризуются гнейсы и скарноиды Восточной Юрьевки – 0,9 и 1,0 соответственно. Важно подчеркнуть, что в выборках терригенной формации биотитовых гнейсов [11] либо гнейсов ингульской свиты [10] всего региона кларки концентрации урана несколько повышены (1,3 и 1,1) относительно этих показателей для тория (0,8 и 0,9).

Содержание Au в гнейсах Восточной Юрьевки (относительно кларка, 0,0043 г/т), наоборот, в 2 раза выше, чем на Юрьевском месторождении урана: 1,4—2,8; в скарноидах этот показатель снижается, оставаясь, тем не менее, повышенным – 1,6. Золотоносность гнейсов этого уровня отмечается В.Н. Кобзарем [4]: встречаемость золота в биотитовых плагиогнейсах ингульской свиты – 64,9 %, в диопсид-плагиоклазовых породах она даже выше – 75,2 %, причем около половины проб со значимым золотом содержит его 0,01—0,03 г/т, т.е. существенно больше кларка. По данным пробирно-спектрального анализа (Л.М. Ганжи и др., 1991) содержание золота в исходных породах района составляет (мг/т): гнейсы биотитовые – 5,5; гнейсы кордиерит-биотитовые – 9,1; гнейсы графит-биотитовые – 50,7; диопсид-амфиболовые породы – 16,6.

Из других элементов в гнейсах урановых месторождений устойчиво повышенными относительно кларков концентрациями характеризуются V, Pb, часто Mo, Ni, Zn; в гнейсах золоторудного поля такие содержания зафиксированы для Mo, для большинства элементов они близки к кларковым или понижены, особенно для скарноидов.

Переходя к детальной радиогеохимической характеристике гнейсов, подчеркнем крайне неравномерное, местами контрастное, распределение радиоактивных элементов, и особенно тория, в пределах отдельных конкретных разрезов пород по скважинам (табл. 2). Иногда такие разрезы вскрывают породы одного радиогеохимического типа – например, скважины 2021 с проявлением наиболее ториеносных гнейсов и 2433 с 300-метровым интервалом практически безториевых гнейсов. С другой стороны, нередко в разрезе одной скважины наблюдаются гнейсы двух и более радиогеохимических типов. Например, в скважине 2039 среди гнейсов с содержанием тория, близким к фоновому, отмечены слои как высокоториевых, так и безториевых пород. В общем, по содержанию тория и урана, а также по отношению этих элементов (Th:U) с известной долей условности можно выделить 5 радиогеохимических типов гнейсов (табл. 2—4).

1. К первому типу отнесены гнейсы с близким к кларковым значениям содержанием U и Th: в среднем 1,9 г/т и 12,0 г/т, иногда с отклонениями относительно кларков в ту или другую сторону, чаще в сторону понижения, и повышенным отношением Th/U – 6,3. Такие разновидности пород особенно характерны для Восточно-Юрьевского месторождения золота, где выборка их весьма представительна (111 проб, табл. 4), хотя они встречаются и на других объектах. Типичные для этого разреза скарноиды на мергелистой основе, по сравнению с гнейсами, несколько обогащены радиоактивными элементами, особенно ураном: U – 2,6; Th – 12,7 г/т; Th/U – 4,9, что соответствует кларкам элементов. В общем, этот тип в сред-

нем радиогеохимически близок всему массиву гнейсов ингульской свиты ингуло-ингулецкой серии Кировоградского мегаблока [10], включающему 158 проб на U и 294 пробы на Th.

Таблица 2. Послойное распределение U и Th (г/т) в гнейсах чечелевской свиты Юрьевского месторождения урана и золота

№ скв.	Глубина, м	n	U		Th		Th:U	
			пределы	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее
Юрьевское месторождение урана								
2023	125—823	10	4,0—13,6	7,8	8,4—15,3	12,9	0,8—3,4	1,6
2025	476—687	2	7,6—7,9	7,8	12,2—12,3	12,2	1,5—1,6	1,6
2028	139—398	4	6,6—10,9	8,7	11,8—18,2	14,9	1,1—2,3	1,7
2039	88—996	11	5,1—9,9	6,5	10,8—24,7	14,6	1,1—3,8	2,2
2021	197—327	7	5,7—12,5	9,4	92,1—104,0	97,7	7,6—17,5	10,4
2039	689—702	2	6,1—10,3	8,2	118,8—127,7	119,8	11,5—20,9	14,6
2039	724—802	3	4,5—5,2	4,9	<2	1,0	0,2	0,2
Радиогеохимические типы гнейсов								
Тип 2		27	4,0—13,6	7,4	8,4—24,7	13,8	0,8—3,8	1,9
Тип 3		3	4,5—5,2	4,9	<2	1,0	0,2	0,2
Тип 4		9	5,7—12,5	9,1	92,1—127,7	102,6	7,6—10,9	11,3
Восточно-Юрьевское месторождение золота								
3549	193—534	17	1,0—5,0	2,2	7,0—14,0	10,1	2,2—10,0	4,6
2911	205—270	4	3,0—5,0	4,0	17,0—26,0	20,8	3,4—8,7	5,2
2911-3	637—781	4	1,0—4,0	2,2	<2	1,0	0,2—1,0	0,4
2433	301—600	5	1,0—6,0	3,4	<2	1,0	0,2—1,0	0,3
2948	339—451	3	2,0—5,0	3,3	<2	1,0	0,2—0,5	0,3
2948	156—268	4	2,0—3,0	2,8	13,0—15,0	13,8	4,3—6,5	4,9
2948	79—118	2	2,0—3,0	2,5	39,0—47,0	43,0	15,7—19,5	17,2
3349	46,5—240	6	1,0—5,0	2,3	8,0—16,0	12,5	3,2—15,0	5,4
3350	107—209	5	1,0—3,0	1,8	10,0—16,0	12,6	5,3—12,0	7,0
3139	109—113	2	<2	1,0	14,0—16,0	15,0	14,0—16,0	15,0
3141	86—225	4	1,0—4,0	2,2	10,0—12,0	11,2	3,0—12,0	5,1
3150	101—115	3	1,0—2,0	1,7	9,0—10,0	9,7	4,5—10,0	5,7
3151	93—197	4	1,0—2,0	1,2	8,0—12,0	10,2	5,5—12,0	8,5
3154	54—98	4	1,0—2,0	1,5	9,0—12,0	10,2	4,5—11,0	6,8
Радиогеохимические типы гнейсов								
Тип 1		53	1,0—5,0	2,2	7,0—26,0	12,0	2,2—16,0	5,4
Тип 3		12	1,0—6,0	3,0	<2	1,0	0,2—1,0	0,3
Тип 5		2	2,0—3,0	2,5	39,0—47,0	43,0	15,7—19,5	17,2

Примечание. Кроме собственных данных, использованы материалы ГП «Кировгеология». Описание радиогеохимических типов гнейсов приведено ниже.

2. Второй тип гнейсов включает породы с повышенной концентрацией U (4,0—7,4 г/т) и близким к среднему либо повышенным содержанием Th (12,7—23,4 г/т); отношение Th/U варьирует от 1,9 до 5,8. Этот тип является доминирующим на всех изученных урановых месторождениях, а на Новоконстантиновском, Северо-Коноплянском и Севериновском – единственно выявленным. С учетом того, что количество урана в таких гнейсах в среднем превышает как кларк земной коры [9], так и опубликованные региональные кларки [10, 11], с высокой степенью уверенности можно предположить, что часть урана в этих породах связана с вторичными процессами. Сюда следует отнести так называемый «сорбированный» (легкоподвижный) уран, присущий всем урановым месторождениям. В частности, широким распространением пользуются сорбционные накопления урана в породах Мичуринского, Севериновского, Ватутинского и Новоконстантиновского месторождений [1, 13—15], где они связаны с гидроокислами железа, эпидотом-клиноцоизитом,

хлоритом, лейкоксеном, гидрослюдами, карбонатами, пиритом, развитыми пусть и в небольших количествах, но повсеместно.

Таблица 3. Au, U, Th (г/т) в гнейсах и скарноидах чечелеевской свиты Восточно-Юрьевского месторождения золота

Породы	n	Au		U		Th		Th: U	
		пределы	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее
Скважина 3549-2									
1	23	0,003—0,05	0,014	1,0—4,0	1,7	9,0—21,0	13,6	3,5—21,0	8,0
2	10	0—0,02	0,007	1,0—6,0	2,8	4,0—16,0	12,7	0,7—14,0	4,5
Скважина 3532-2									
1	35	0,003—0,05	0,011	1,0—4,0	1,5	6,0—19,0	11,0	2,3—15,0	7,3
2	3	0,003—0,01	0,005	1,0—3,0	2,0	12,0—14,0	12,7	4,0—14,0	6,4
Скважины 3549-2 и 3532-2									
1	58	0,003—0,05	0,012	1,0—4,0	1,6	6,0—21,0	12,0	2,3—21,0	7,5
2	13	0—0,02	0,007	1,0—6,0	2,6	4,0—16,0	12,7	0,7—14,0	4,9

Примечания: 1 – биотитовые, биотит-графитовые с кордиеритом и гранатом гнейсы; 2 – пироксен-амфиболовые с карбонатом породы (скарноиды).

Таблица 4. Уран и торий (г/т) в гнейсах чечелеевской свиты месторождений урана и золота Кировоградского блока.

Месторождение	n	U		Th		Th:U	
		пределы	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее
Юрьевское урана	27	4,0—13,6	7,4	8,4—24,7	13,8	0,8—3,8	1,9
	9	5,7—12,5	9,1	92,1—127,7	102,6	7,6—10,9	11,3
	3	4,5—5,2	4,9	<2	1,0	0,2	0,2
Восточно-Юрьевское золота	12	1,0—6,0	3,0	<2	1,0	0,2—1,0	0,3
	111	1,0—5,0	1,9	6,0—26,0	12,0	2,2—21,0	6,3
	2	2,0—3,0	2,5	39,0—47,0	43,0	15,7—19,5	17,2
	13**	1,0—6,0	2,6	4,0—16,0	12,7	0,7—14,0	4,9
Севериновское	10	1,0—9,0	4,6	18,0—37,0	25,7	3,4—29,0	5,6
Север-Коноплянское	17	2,0—9,0	4,7	11,0—29,0	22,1	2,1—11,5	4,7
Ватутинское	15	2,0—14,0	7,1	11,0—32,0	21,6	1,2—13,5	3,0
	5	1,0—11,0	6,8	39,0—95,0	57,6	3,9—39,0	8,5
	10	3,0—12,0	7,2	52,0—77,0	63,5	5,2—25,0	8,8
Н-Константиновское:	3	2,0—11,3	6,2	3,0—21,0	12,7	1,5—2,7	2,0
Гнейсы биотитовые*			3,2		11,0		3,4
Гнейсы ингульской св.			2,8		11,3		4,0
Гнейсы графитовые			7,5		—		—

Примечания:

* Формация терригенная биотитовых гнейсов (PR₁), Я.Н. Белевцев, А.Н. Комаров [11]; гнейсы ингульской свиты ингуло-ингулецкой серии (PR₁), Я.Н. Белевцев и др. [10]; гнейсы графитовые в составе той же серии (PR₁), А.М. Жукова и др. [12].

** Пироксен-амфибол-карбонатные породы; другие выборки золоторудной Юрьевки относятся к гнейсам.

3. Третьему типу гнейсов присущи рядовые содержания U (3,0—4,9 г/т) при весьма низком количестве Th – ниже порога чувствительности аналитического метода (<2 г/т); поэтому об отношении Th/U говорить сложно. Такие породы обнаружены только на Юрьевском месторождении, как урана, так и золота, но ураноносность тех и других различна. На урановом рудном поле, по сравнению с золоторудным, содержание урана в гнейсах в 1,6 раза выше и достигает уровня второго типа, очевидно, также за счет некоторой доли «сор-

бированного» элемента. Ближе к реальным (исходным) для этого типа гнейсов количеством урана, по-видимому, обладают аналогичные породы Восточно-Юрьевского месторождения золота. Из других урановых объектов, вероятно, такие гнейсы развиты на Мичуринском месторождении, по данным Ю.П. Егорова [1] руды этого месторождения, как уже отмечалось выше, относятся к безториевым ($Th = 0,000$), среди радиогенных свинцов количество Pb^{208} в среднем понижено (%): $Pb^{206} - 83,7$; $Pb^{207} - 10,7$; $Pb^{208} - 5,0$; $Pb^{204} - 0,0$.

4. К четвертому типу относятся ториеносные гнейсы с повышенной концентрацией урана ($U - 9,1$; $Th - 102,6$ г/т; $Th/U = 11,3$), которые максимально распространены на Юрьевском месторождении урана, где слагают отдельные прослои в гнейсовой толще. Стволовая мощность таких гнейсов по скважинам различна – от 13 м (скв. 2039) до 130 м (скв. 2021), причем именно в скв. 2039 слой пород, обогащенных торием, подстилается слоем пород безториевых, т.е. третьего типа (78 м), и оба этих слоя находятся среди гнейсов второго типа (908 м). Эта их специализация, по-видимому, связана с устойчивой примесью в породах монацита. Что же касается существенно повышенных концентраций урана, то среди его источников, вероятно, следует назвать, наряду с рассеянной (атомарной по В.И. Вернадскому) формой, также изоморфную в акцессорных минералах, прежде всего, в монаците, а также «сорбированный» уран наложенных минералов.

5. Пятый тип образуют гнейсы с повышенным количеством тория (и урана), особенно характерные для Ватутинского месторождения, где, наряду с обычными (пара) гнейсами ($U - 6,8$; $Th - 57,6$ г/т; $Th/U = 8,5$), присутствуют и ортогнейсы, развитые по древним дайкам микрогранодиоритов ($U - 7,2$; $Th - 63,5$ г/т; $Th/U = 8,8$). Возможно, между ними существует генетическая связь. Такая геохимическая специализация пород, наиболее вероятно, связана с их обогащением в той или иной степени цирконом, что подтверждается высокой концентрацией в тех и других Zr (116—233 и 264—452 г/т соответственно), а также отчетливой прямой корреляцией Zr и Th. Вообще, циркон очень характерен для этого объекта. Кроме того, гнейсы с повышенным содержанием Th (43,0 г/т) при фоновом количестве U (2,5 г/т) и, соответственно высоким отношением Th/U (17,2) выявлены в пределах Восточно-Юрьевского месторождения золота. Разница в содержании U между урановорудной Ватутинкой и золоторудной Юрьевкой (первые богаче вторых в 2,7—2,9 раза) вполне естественна и объяснена выше.

Торий в ультраметаморфических и метасоматических процессах (породах)

О поведении тория в условиях гранитизации и постгранитизационной микроклинизации, а также (и главным образом) урановорудного щелочного метасоматоза (альбитизации) можно судить из таблицы 5 с информацией по Юрьевскому месторождению урана и по некоторым опубликованным отрывочным сведениям [1, 2]. Таблица демонстрирует, прежде всего, высокую (сквозную), унаследованную от исходных гнейсов ториеносность рудовмещающих пород, натриевых метасоматитов и урановых руд без существенных изменений концентрации элемента.

В таблице 5 приведен разрез урановорудной зоны с проявлением ториеносных гнейсов четвертого типа: вариации содержаний Th в них (92,1—104,0 г/т) не очень отличаются от вариаций в рудных альбититах (101,6—112,5 г/т), как и в других, промежуточных образованиях. Разумеется, мы не можем точно ответить на вопрос, связаны ли эти вариации с наложенными процессами или с изменением концентраций тория в разрезе самой исходной гнейсовой толщи, но соотношения изотопов свинца полностью соответствуют урановорудному процессу, свойственному месторождениям альбититовой формации.

С выводом о «сквозной», унаследованной от гнейсофицированных метаосадков ториеносности всей системы месторождений урана альбититовой формации согласуются данные о практически безториевых рудах Мичуринского месторождения [1].

Но, с другой стороны, самые высокие концентрации тория, достигающие 200 г/т, зафиксированы в новоукраинских гранитах Новоконстантиновского месторождения, имеющих ультраметаморфическое происхождение. А в апогранитных альбититах этого же объ-

екта, судя по материалам В.Б. Коваля и М.С. Ходоровского [2], детально изучавших выделенные из ураноносных зон месторождения акцессорные минералы (апатит, циркон, монацит), происходит их частичное перераспределение с потерей U, Zr, Y, Th. Причем наибольшая потеря Th зафиксирована в центральных частях рудных зон, т.е. связана с максимальной интенсивностью процесса, тогда как во внешних частях рудных зон, в участках слабой альбитизации, также во вмещающих новоукраинских гранитах акцессорные минералы характеризуются повышенной концентрацией тория (и урана). О таком перераспределении акцессорных минералов, причем с укрупнением кристаллов, как в ходе гранитизации, так и в последующем щелочном метасоматическом процессе свидетельствуют и обычные петрографические наблюдения.

Таблица 5. Распределение урана, тория и свинца в разрезе вмещающих пород, метасоматитов и урановых руд скважины 2021 Юрьевского месторождения урана

Выборка (n)	U		Th		Th/U	Pb	
	пределы	среднее	пределы	среднее		пределы	среднее
1 (7)	5,7—12,5	9,4	92,1—104,0	97,7	10,4	20—33	24,7
2 (7)	3,5—17,0	9,9	107,2—122,8	114,6	11,6	14—52	32,7
3 (3)	7,9—12,3	10,5	81,9—96,8	89,9	8,6	17—32	26,3
4 (4)	8,9—21,7	14,4	104,6—118,6	113,0	7,8	14—38	26,8
5 (2)	7,4—34,5	21,0	89,1—90,5	89,8	4,3	15—21	18,0
6 (2)	37,0—102,2	69,6	83,6—117,3	100,4	1,4	36—48	42,0
7 (2)	529,3—543,9	536,6	101,6—112,5	107,0	0,2	155—216	185,5

Выборка (n)	Pb ²⁰⁶		Pb ²⁰⁷		Pb ²⁰⁸		Pb ²⁰⁴	
	пределы	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее
1 (7)	25,1—28,2	26,6	19,2—22,6	21,0	49,3—52,4	51,3	1,0—1,3	1,1
2 (7)	25,9—28,6	27,2	20,2—22,5	21,1	48,4—52,6	50,5	1,1—1,3	1,2
3 (3)	27,6—31,9	29,6	20,0—20,7	20,3	47,3—50,6	49,1	0,8—1,1	1,0
4 (4)	26,9—31,4	29,0	20,5—21,4	21,0	46,9—50,9	48,9	1,0—1,2	1,1
5 (2)	32,8—55,2	44,0	14,4—19,1	16,7	29,5—47,2	38,4	0,9	0,9
6 (2)	56,2—64,0	60,1	13,5—15,4	14,4	21,8—28,0	24,9	0,4—0,7	0,6
7 (2)	74,9—83,8	79,3	9,8—11,7	10,8	5,6—12,8	9,2	0,6—0,8	0,7

Примечания: 1 – Гнейсы биотитовые. 2 – Граниты аплит-пегматоидные биотитовые, существенно микроклинизированные. 3 – Гнейсы окварцованные. 4 – Гнейсы (и граниты) диафторированные и альбитизированные. 5 – Альбититы по гнейсам безрудные. 6 – Альбититы по гнейсам слаборудные. 7 – Альбититы по гнейсам рудные. Содержание Au (г/т) составляет: в гнейсах и гранитах 0,003—0,01 (6); в окварцованных гнейсах 0,03 (1); в диафторированных и ощелоченных породах 0,01—0,03 (2); в альбититах безрудных по диафторированным (с пиритом) гнейсам 0,1—0,2 (1); в рудных альбититах по гнейсам 0,01 (1). В скобках указано количество проб.

Приведенные данные подтверждают вывод С.Д. Туровского и Ш.А. Абакирова [16] о значительной подвижности тория в гидротермальных условиях в галоидно-карбонатно-сульфатной среде при избытке щелочей и Fe, т.е. в щелочных растворах, вплоть до относительно низкотемпературных, в виде карбонатных, сульфатных, галоидных и др. комплексных соединений. Хотя в случае недостатка тория и/или летучих компонентов подвижность его будет весьма ограниченной.

Формы нахождения и возможные источники тория

Основными минералами концентраторами тория в гнейсах, таким образом, являются акцессорные минералы: прежде всего, монацит, а также циркон, апатит и сфен. Ниже приведены содержания Th, U, TR и некоторых других элементов в монаците, апатите и цирконе Новокозантиновского месторождения урана (табл. 6, 7 [2]).

Принимая подход В.И. Орсы [19] к делению архейских аплит-пегматоидных гранитов Приднепровья на основании распределения в них редких земель на три типа: монаци-

товий, ксенотимовий и ортит-цирконовый с селективным цериевым (+ лантан), иттриевым и комплексным составом лантаноидов (соответственно), убеждаемся в присутствии в составе рудовмещающих пород района урановых месторождений в переменных количествах всех перечисленных акцессорных минералов [2, 17].

Таблица 6. Состав монацита в альбититах Новокопстантиновского месторождения урана

Оксид	1 (5)	2 (14)	3 (3)	4 (2)	5 (3)	6 (8)
La ₂ O ₃	10,97	12,54	13,98	13,65	13,10	22,12
Ce ₂ O ₃	24,83	26,49	28,08	29,60	30,86	35,75
Pr ₂ O ₃	2,39	3,13	3,17	3,37	2,36	2,76
Nd ₂ O ₃	10,17	10,60	10,09	12,02	12,98	6,69
Sm ₂ O ₃	0,64	2,26	0,92	1,04	2,05	0,33
Eu ₂ O ₃	0,38	0,52	0,36	0,06	1,30	0,53
Gd ₂ O ₃	1,64	1,64	0,47	0,67	2,05	0,35
Y ₂ O ₃	0,88	1,77	1,82	0,68	0,11	0,26
UO ₂	1,40	0,79	н. о.	0,19	0,31	0,36
ThO ₂	14,14	9,52	10,20	9,14	5,44	0,82
P ₂ O ₅	26,25	28,23	28,19	29,40	18,12	28,66

Примечания: 1 – микроклин-альбитовый метасоматит; 2—5 – альбититы рибекит-эгириновой с эпидотом фации, краевые части метасоматического тела; 6 – альбитит гранат-диопсидовой фации, центральная часть ореола. Содержание (%) определено рентгеноспектральным методом. В верхней строке в скобках указано количество определений.

носительно легкого празеодима (2,36—3,37 %).

Ториенность монацитов Новокопстантиновского месторождения оценивается значениями 0,82—14,14 % ThO₂, что, в общем, соответствует диапазону содержаний ThO₂ в архейских монацитах (0,46—9,30 %). По отношению ThO₂:U₃O₈ (2,8—48,1 и более) монациты в альбититах также близки большей части проб монацитов архея, исключение, возможно, составляют минералы аплитов-пегматоидных гранитов.

Таблица 7. Элементы-примеси в апатите и цирконе альбититов Новокопстантиновского месторождения

Генерация минерала	Sr	Y	U	Pb	Th	Hf
Апатит						
1	100—120	—	—	—	—	—
2	500—1500	1000—1500	6—40	9—40	8—20, до 65	—
3	3500—6800	100—1200	30—70	25—50	10—25	—
Циркон						
2	20—200	2000—10000	350—2000	100—570	25—1000	7000—25000
3	10—30	1000—5000	120—1200	100—450	—	3000—21000

Примечания: Генерации минералов: 1 – примесь в новоукраинских гранитах; 2 – реликты в альбититах; 3 – новообразования в альбититах. Содержание элементов-примесей в апатите и цирконе (г/т) определено в единичных зернах на рентгенофлуоресцентной установке АРФ-6.

Таким образом, говоря о первично седиментогенном происхождении повышенных концентраций тория в гнейсах и продуктах их последующей переработки, со всей определенностью можно утверждать связь этих концентраций с формированием древних (раннепротерозойских) россыпей акцессорных минералов, прежде всего монацита и циркона.

Причем сравнение состава монацитов раннего протерозоя (Новокопстантиновского месторождения) и архея демонстрирует общее сходство. Это, в частности, преобладание церия над иттрием при весьма широких вариациях отношения Ce:Y – 15,0—280,5 (8,5—249,8 в архейских монацитах), а также преобладание легких редкоземельных элементов (Ce и La) над тяжелым (Nd) по формуле Ce > La > Nd, но при этом для всех зон альбититов, кроме внутренней, содержания лантана и неодима весьма сближены и только в альбититах внутренней зоны это соотношение устанавливается в полной мере. От архейских монацитов минералы альбититов отличаются пониженным количеством от-

Источниками таких россыпей (иначе говоря, областями сноса материала) служили геологические формации эродировавшегося архейского фундамента.

По мнению В.Н. Кобзаря [4], основной областью первичного размыва являлась территория западного обрамления Кировоградского региона, сложенная преимущественно основными и ультраосновными ортопородами росинско-тикичской серии архея, которые, однако, как правило, обеднены акцессорными минералами. Монацит же (до 19 г/т) в этом районе отмечается только в гранитных комплексах (Ставищенском и Уманском) с возрастом 2050—1990 млн лет [22], т.е. моложе гнейсов ингуло-ингулецкой серии. Не исключая связи кировоградского флиша с породами Росинско-Тикичского района, весьма логичной с точки зрения фациальных гнейсовых переходов, тем не менее, мы не обнаружили в этих породах источников монацита для ториевых россыпей в исследуемом районе. Вместе с тем представляется важным предположение автора о существовании альтернативных источников первичного питания в Западно-Ингулецком районе, т.е. в восточной части Кировоградского блока. Это – «окна» архейского фундамента, разделяющие синклинальные структуры и сложенные метабазами и гранитоидами, т.е., по существу, аналогами пород гранит-зеленокаменных структур Среднего Приднепровья. Именно в таких образованиях выявлены и описаны монациты [18, 20, 21].

Торий в рудной массе

Переходя к практическим вопросам, касающимся ториеносности рудной массы альбититовых месторождений, подчеркнем крайнюю неравномерность в его распределении в рудовмещающих породах и урановых рудах.

Наиболее низким содержанием тория характеризуется Мичуринское месторождение (табл. 8). Количество элемента здесь не превышает нескольких г/т. На южных флангах Мичуринского месторождения (Северо-Коноплянский участок) оно несколько повышается, особенно в забалансовых рудах, безрудных альбититах и вмещающих породах (в среднем 24,6—25,1 г/т), оставаясь низким (9,5 г/т) в рудных альбититах. В пределах Севериновского месторождения количественно торий не особенно коррелируется с ураном: содержание его варьирует от 5,0—13,0 до 59,0—71,0 г/т.

Таблица 8. Содержание тория (г/т) в месторождениях урана альбититовой формации

	Вмещающие породы			Альбититы безрудные			Урановые руды		
	п	вариации	среднее	п	вариации	среднее	п	вариации	среднее
1	36	8,0—70,0	23,5	58	5,0—59,0	18,6	21	13,0—71,0	32,1
2	—	—	—	30	0,5—2,2	1,4	9	1,7—4,3	2,8
3	17	6,0—64,0	24,6	30	4,0—51,0	25,1	6	1,0—19,0	9,5
4	14	6,8—72,1	18,4	39	1,0—81,4	18,3	8	17,2—111,7	51,8
5	17	81,9—122,8	103,3	8	83,6—118,6	104,0	2	101,6—112,5	107,0
6	17	11,0—77,0	32,1	34	6,0—101,0	32,3	15	20,0—83,0	46,9
7	21	5,2—200,0	37,9	8	7,0—25,0	11,6	9	—	28,0
8	20	1,0—14,0	9,4	5	3,0—12,0	6,2	—	—	—

Примечания: Месторождения урана: 1 – Севериновское; 2 – Мичуринское; 3 – Северо-Коноплянское; 4—5 – Юрьевское (4 – скважина 2042; 5 – скважина 2021); 6 – Ватутинское; 7 – Ново-константиновское; 8 – Восточно-Юрьевское месторождение золота, скважина 3549.

Юрьевское месторождение выделяется высокой вариабельностью тория, вероятно, связанной с различной и дискретно отличающейся концентрацией этого элемента в гнейсах рудовмещающей толщи ингуло-ингулецкой серии. В таблице 8 приведены данные касательно тория в двух скважинах (2042, 2021) уранового месторождения и для сравнения в скважине 3549 золоторудного месторождения. Диапазон по Th весьма широк: от стабильно низкого содержания (<2 г/т), до устойчиво высокого (81,9—122,8 г/т). Преобладают, тем не менее, породы и руды с рядовыми или повышенными концентрациями – от нескольких до 70—80 г/т. Следует подчеркнуть тот факт, что альбититы и урановые руды унаследуют содержание тория вмещающих пород, т.е. в отвалах оно не будет отличаться

от рудной массы. Ватутинскому месторождению также присуще неравномерное распределение Th (6,0—101,0 г/т) с несколько повышенным средним содержанием, особенно в рудных альбититах.

Самые высокие концентрации Th, достигающие 200 г/т, зафиксированы в новоукраинских гранитах Новокопчанского месторождения. Количество монацита в породах (при содержании ThO₂ в минерале 0,82—14,14 %) может быть здесь достаточно высоким: пробы альбититов массой 0,2—0,3 кг обычно содержит от единиц до первых десятков зерен монацита [2]. В зонах метасоматической колонки апогранитоидных ураноносных альбититов этого месторождения концентрация Th (г/т) составляет: в неизмененных новоукраинских гранитах – 0,19; в альбитизированных гранитах – 0,17—0,38; в микроклин-альбитовых десилицированных метасоматитах – 0,14—0,16; в пироксен-гранатовых альбититах – 0,39. В цирконах месторождения содержание Th варьирует в широких пределах (25—1000 г/т; при количестве циркона в альбититах от 100 до 600 г/т) с закономерным увеличением ториеносности новообразованных цирконов по сравнению с реликтовыми в направлении от внешних зон альбититов к внутренним, т.е. в результате перераспределения. В апатитах Th присутствует в относительно небольших количествах (8—65 г/т) и также с отчетливым перераспределением между различными генерациями в пределах метасоматических зон. Но при этом содержание апатита в породах достигает 1000 г/т. Важно подчеркнуть, таким образом, с одной стороны, довольно высокую концентрацию в породах минералов-носителей тория, а с другой – его способность к перераспределению даже в условиях относительно стабильных минеральных форм, т.е. некоторую его подвижность.

Из других форм Th в урановорудных альбититах следует назвать сфен, возможно, гранат, а также некоторые урановые минералы, прежде всего браннерит. Так, в браннерите Севериновского и Мичуринского месторождений установлено 0,11—0,40 % ThO₂ [1, 2]. Фактически ториевый браннерит представляет собой изоморфный ряд торутит ThTi₂O₆ – браннерит UTi₂O₆. Повышенное количество Th отмечено в ненадкевите (0,01 % Th) и настуране (0,2 % ThO₂) Мичуринского месторождения.

Таким образом, в составе урановорудных альбититов и вмещающих их пород Кировоградского блока, в частности в пределах Новокопчанского, Юрьевского и Ватутинского месторождений, установлены участки ториевых руд, которые, согласно систематике таких руд, приведенной Е.А. Кулишом и др., 2008, отнесены к категории убогих (Th 0,010—0,49 %). Если принять в качестве бортового содержание тория 0,01 % (100 г/т) и следовать рекомендациям В.А. Анисимова, А.В. Кузьмина и др. [23] по определению ранга ториепроявлений, то отмеченные нами концентрации тория следует отнести к проявлениям минерализации.

Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что в пределах Кировоградского блока указанными авторами [23] зафиксировано 40 рудопроявлений и 412 проявлений ториевой минерализации различного генезиса. Среди них: осадочно-метаморфизованные (2 и 20), магматические (ультраметаморфические), связанные с гранитоидами (5 и 318), метасоматические и гидротермальные (33 и 74), т.е. принадлежащие последовательному генетическому ряду, описанному выше. Интерес в этом плане представляет возраст ториепроявлений, приведенный в этой же работе. Первый раннепротерозойский период (2600—2400 млн лет) включает торий, накопившийся механическим путем в осадочных породах в результате разрушения архейских выступов с последующим метаморфизмом этих древних россыпей. Сюда отнесены криворожская свита и ее аналоги. Второй раннепротерозойский период (2300—2100 млн лет) связан с калиевой фазой гранитизации, представленной, в частности, гранитами и мигматитами кировоградского комплекса, а также гранитоидами Новоукраинского массива. К третьему раннепротерозойскому периоду (2000—1800 млн лет) авторы отнесли субщелочные и щелочные гранитоиды пержанского комплекса с торий-редкоземельной минерализацией, описание которых приведено нами в другой работе. Но к этому же (третьему) периоду следует отнести и урановорудный щелочной (натриево-

карбонатный) метасоматоз, повлекший за собой рециклирование торий-содержащих минералов ранних периодов.

Особо следует сказать об отмеченном авторами ториевом проявлении в blastomylonites Новокоптяковской месторождения (скв. 461) со средним содержанием Th 0,08 % (U – 0,02 %). Изотопный возраст проявления по торий-свинцовому отношению (500 млн лет) свидетельствует о формировании этих промышленных концентраций путем перетолжения металла «на границе позднего протерозоя и палеозоя».

Поисковые критерии ториевых концентраций

Исходя из приведенных материалов, в основе изучения ториевости зон с локализацией месторождений урана (и золота) в пределах Кировоградского блока, прежде всего, должно быть исследование ториевости исходных гнейсовых толщ. Отсюда вытекают также и признаки (прямые и косвенные) повышенных концентраций тория, имеющих оценочно-поисковое значение и рассмотренных ниже как факторы контроля ториевых пород.

Литолого-стратиграфические факторы. Главным критерием ториевости гнейсов является их принадлежность к чечелевскому литолого-стратиграфическому уровню метаосадков, исходно относящихся к раннепротерозойской флишевой формации [5, 6]. Основная особенность метафлиша – ритмичное переслаивание метапесчаников, метаалевролитов и метапелитов с прослоями метамергелей, т.е. пород, с одной стороны, однотипных, но, с другой, отличающихся весьма существенными вариациями содержания минералов, как породообразующих, так и акцессорных. Молассовая составляющая для районов урановых месторождений не характерна.

Наиболее высокое содержание U, Au и некоторых элементов-спутников в составе флиша присуще горизонтом графитовых с сульфидной минерализацией гнейсов – метаосадков с обилием органического вещества как хорошего сорбента металлов. Что же касается Th, то для него действителен другой признак, а именно концентрация в осадках акцессорных минералов. При этом связь цикличности (фациальности) литогенеза с накоплением акцессорных элементов изучена недостаточно. По некоторым косвенным признакам [4] более высокая концентрация акцессориев присуща тонкому материалу, а в составе грубообломочных пород (конгломератов, гравелитов) – так называемому «гнейсовому цементу».

Структурные факторы. В структурном отношении благоприятным для формирования таких отложений является наличие узких линейных прогибов (области накопления), соседствующих с локальными поднятиями (области сноса). В пределах последних важны признаки развития (и разрушения) древних кор выветривания.

Таким, в геотектоническом плане, представляется рудное поле Юрьевского месторождения, которое разделено Кировоградской тектоно-метасоматической зоной с признаками глубинного разлома на золоторудную (восточную) и урановую (западную) части. Первая (Au) – приурочена к западному крылу Приингульской синклинали, сложенной парагнейсовой толщей с участием метамергелистой составляющей, ультраметаморфизм здесь проявлен слабо (аплит-пегматоидной лейкосомой). Вторая (U) – обнаруживает черты поднятия с обилием, наряду с гнейсами, продуктов их гранитизации (мигматитов и гранитов) [14]. Именно гнейсам Юрьевского рудного поля свойственно дифференцированное и, участками, повышенное содержание тория, наиболее высокое в пределах урановой Юрьевки, т.е. на склоне поднятия.

Метаморфические и магматические факторы. Основой проявления этих факторов имеем высокую (сквозную) ториевость в ряду рудовмещающих пород, натриевых метасоматитов и связанных с ними урановых руд, унаследованную от исходных гнейсов без существенных изменений концентрации элемента. Массивы ториевых палингеновых гранитов (как и мигматитов) залегают исключительно в толщах гнейсов, обогащенных акцессорными минералами (монацитом либо цирконом), причем такая закономерность установлена и для архейских образований [20].

Примером высокоториевых палингенных гранитов в районе урановорудных альбититов являются новоукраинские граниты Новокопчанского месторождения.

Метасоматические факторы. Установленные в апогранитных (и апомигматитовых) альбититах явления регенерации акцессорных минералов (апатита, циркона, монацита) сопровождаются частичным их перераспределением с укрупнением кристаллов и потерей U, Zr, Y, Th [2]. Наибольшая потеря тория, в частности, зафиксирована в центральных частях рудных зон, т.е. связана с максимальной интенсивностью щелочного урановорудного процесса. Как показано для Новокопчанского месторождения, во вмещающих новоукраинских гранитах и во внешних частях рудных зон, а также в участках слабой альбитизации, акцессорные минералы характеризуются повышенной концентрацией тория (и урана). Иначе говоря, внешние зоны альбититовых ореолов могут быть более перспективными на торий.

Минералого-геохимические факторы. Указанные факторы проявлены почти исключительно обогащением отдельных участков разрезов акцессорными минералами, прежде всего, монацитом, цирконом и ксенотимом. Ториенность собственно урановых минералов в соответствующих рудах незначительна. Индикатором минеральной формы концентрации элемента в породах может быть характер распределения в них редких земель с выделением, например, монацитового, ксенотимового и ортит-цирконового типов пород (гранитов) с селективным цериевым (+ лантан), иттриевым и комплексным составом этих элементов соответственно [19]. Такие элементы, как фосфор, цирконий, титан имеют вспомогательное (уточняющее) значение.

Петролого-геохимические факторы. Индикаторную роль могут играть некоторые петрохимические и геохимические показатели. Так, содержание Al_2O_3 в гнейсах, как показатель их «глиноземистости» или вероятной связи с корами выветривания, в исходных породах Юрьевского месторождения золота ниже, по сравнению с гнейсами урановорудных полей. Из того, что первые сформировались в прогибе, а вторые на склоне поднятия, вытекает большая перспективность на обнаружение ториевых акцессорных минералов именно урановых полей. Ряд петро-геохимических отношений (в особенности с участием циркония, титана, фосфора) позволяет проследивать фациальные переходы седиментогенеза и, следовательно, также определять перспективы накопления монацита и циркона в метаосадках.

Изотопно-геохимические факторы. Чечелевский литолого-стратиграфический уровень гнейсифицированных метаосадков, являясь изотопно-геохимическим аналогом гданцевско-глеватского уровня [5, 6] с присущими ему специфическими условиями седиментогенеза: восстановительной обстановкой осадкоотложения в полуизолированных или изолированных бассейнах лагунного типа, обилием органики в илах, сульфатредукцией и ограниченным доступом сульфатных вод, характеризуется вполне определенным изотопным составом углерода и сульфидной серы. Содержание углерода, его формы и изотопный состав ($\delta^{13}C$ графита —28,7...—16,9 ‰), а также значения $\delta^{34}S$ пирита и пирротина (—2,8...+20,3 ‰) в исходных метаосадках отражают указанные условия и выдержаны для всего Кировоградского блока.

Выводы

1. Содержание и распределение Th в системах урановых месторождений альбититовой формации (а также золота Au-кварцевой формации) практически полностью определяется концентрацией акцессорных минералов, прежде всего, монацита и циркона в гнейсах чечелевского литолого-стратиграфического уровня, или (исходно) в древнем (PR₁) флише. Состав флиша, в зависимости от фациальных условий, ритмично меняется от метапелитового до мергелисто-глинистого с соответствующим неравномерным обогащением пород U, Th, Au и некоторыми другими элементами. Источниками материала при формировании металлоносного (включая Th) флиша в прогибах Кировоградского блока, предположительно, были породы пенепленизированных и затем погребенных выступов архейского основания.

2. Соотношения Th и U в гнейсах условно определяются пятью радиогеохимическими их типами. Тип 1 содержит радиоэлементы в количествах, близких к кларковым при Th/U = 4,9—6,3 в среднем для разновидностей пород; характерен для Юрьевского месторождения золота. Типу 2 присущи повышенные содержания U, в меньшей мере Th (Th/U = 1,9—5,8), в основном за счет «сорбированного» урана; этот тип преобладает на всех урановых месторождениях. Тип 3 является практически безториевым, но с кларковым или повышенным относительно кларка содержанием урана, он наблюдался на Юрьевском месторождении (U, Au). Тип 4 (монацитовый) отличается аномально высокой ториеносностью и повышенной концентрацией урана (Th/U = 11,3); обнаружен на Юрьевском месторождении урана. Тип 5 (цирконовый) характеризуется существенно повышенным количеством тория и урана (Th/U = 8,5—8,8); проявлен на Ватутинском месторождении.

3. Важнейшим представляется вывод о «сквозной», унаследованной от гнейсифицированных метасадков ториеносности всей системы альбититовых месторождений урана. Палингенез, постгранитизационная микроклинизация и диафторез, а также собственно урановорудный щелочной метасоматоз, сопровождались лишь частичным перераспределением торий-содержащих минералов и, возможно, их дальнейшей индивидуализацией. Т.е. ураново-образующий процесс не был одновременно и ториено-образующим. Отсюда вытекает практическое следствие: отвалы по своей ториеносности не отличаются от рудной массы.

4. Ториеносность изученных урановых месторождений различна. Наибольшей вариабельностью содержаний тория характеризуется Юрьевское месторождение: от стабильно низких (< 2 г/т) до устойчиво высоких (81,9—122,8 г/т), с преобладанием рядовых или повышенных (от нескольких до 70—80 г/т) концентраций. Близко к нему Ватутинское месторождение (6—101 г/т). Самое низкое содержание тория установлено на Мичуринском месторождении (0,5—4,3 г/т), самое высокое в новоукраинских гранитах Новокопчанского месторождения (до 200 г/т) при пониженной ториеносности самих альбититов и руд; Севериновское и Северо-Коноплянское месторождения характеризуются промежуточными значениями (1—71 г/т).

5. Главными формами нахождения Th во вмещающих породах, включая гнейсы, а также в альбититах и рудах являются акцессорные минералы монацит, циркон и апатит. При довольно высокой концентрации в породах минералов-носителей Th предполагается способность этого элемента к перераспределению даже в условиях относительно стабильных минеральных форм, т.е. некоторая его подвижность. Из других форм нахождения Th можно назвать сфен, ортит, ксенотим и некоторые урановые минералы – браннерит, неадкевит, настуран.

6. Закономерности распределения тория на изученных месторождениях определяют также прямые и косвенные признаки ториеносности этих объектов, сформулированные как факторы контроля аномальных концентраций элемента. Среди последних выделены: (1) литолого-стратиграфические, (2) структурные, (3) метаморфические и магматические, (4) метасоматические, (5) минералого-геохимические, (6) петролого-геохимические и (7) изотопно-геохимические.

7. Выявленные в составе рудовмещающих гнейсовых толщ, а также мигматитов, гранитов и метасоматитов, участки, устойчиво (и прогнозируемо) обогащенные торием (100—200 г/т), по Е.А. Кулишу и др. (2008) относятся к убогим ториевым рудам, представляющим собой древние монацитовые (+ циркон) россыпи, рециклированные последующими процессами. С учетом этого настоятельной нашей рекомендацией является изучение ториеносности не только таких, перспективных на торий, участков земной коры, но и хвостохранилищ отработанных урановых руд.

1. *Закономерности образования и размещения урановых месторождений Украины* / Отв. ред. Я.Н. Белевцев. – Киев: Б. и., 1968. – 763 с.
2. *Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины* / Отв. ред. Я.Н. Белевцев, В.Б. Коваль. – Киев: Наук. думка, 1995. – 396 с.

3. *Cuney M., Shcherbak M.P., Emetz A.V. et al.* Petrological and Geochronological Peculiarities of Novoukrainka Massif Rocks and Age Problem of Uranium Mineralization of the Kirovograd Megablock of the Ukrainian Shield // *Мінерал. журн.* – 2008. – **30**, № 2. – С. 5—16.
4. *Кобзарь В.Н.* Нижнепротерозойское осадконакопление и вопросы металлогении центральной части Украинского щита. – Киев: Наук. думка, 1981. – 104 с.
5. *Коржнев М.Н., Фомин Ю.А.* Эволюция условий накопления пород криворожской серии по геохимическим и изотопным данным // *Геол. журн.* – 1992. – №3. – С. 93—99.
6. *Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н.* Изотопный состав углерода и серы раннепротерозойских пород центральной части Украинского щита // *Доп. НАН України.* – 2008. – № 7. – С. 123—129.
7. *Янов Э.Н.* Геохимия кавказского и крымского флиша // *Литология и полезные ископаемые.* – 1971. – № 1. – С. 84—101.
8. *Рухин Л.Б.* Основы литологии. Учение об осадочных породах. – Л.: ГНТИ нефтяной и горно-топливной литературы, 1961. – 779 с.
9. *Справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошников, В.Г. Прохоров.* – Москва: Недра, 1990. – 480 с.
10. *Белевцев Я.Н., Егоров Ю.П., Титов В.К. и др.* Средние содержания урана и тория в главнейших типах горных пород Украинского щита // *Геол. журн.* – 1975. – **35**, вып. 4. – С. 96—117.
11. *Белевцев Я.Н., Комаров А.Н.* Уран в метаморфических породах и процессах / *Радиоактивные элементы в горных породах.* – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 133—140.
12. *Жукова А.М., Бергман И.А., Жуков Г.В.* Распределение урана в геологических формациях Украинского щита // *Геохимия.* – 1975. – № 7. – С. 1084—1096.
13. *Смыслов А.А.* Уран и торий в земной коре. – Ленинград: Недра, 1974. – 231 с.
14. *Фомин Ю.А.* Генетическое соотношение золотого и уранового оруденения Кировоградской тектоно-метасоматической зоны // *Збірник наук. праць ІГНС НАН та МНС України.* – 2006. – Вип. 12. – С. 11—18.
15. *Минеева И.Г.* Минералого-геохимические аспекты формирования ураноносных альбититов докембрия // *Сов. геология.* – 1986. – № 3. – С. 87—93.
16. *Туровский С.Д., Абакиров Ш.А.* К геохимии тория в гидротермальном процес се / *Радиоактивные элементы в горных породах.* – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 166—171.
17. *Фомин Ю.А.* Восточно-Юрьевское месторождение золота // *Мінерал. журн.* – 1999. – **21**, №4. – С. 32—44.
18. *Фомин Ю.А., Иванов А.С.* Торий-редкоземельная минерализация в архейских золото-железистых рудах балки Широкой (Средне Приднепровская гранит-зеленокаменная область) // *Доп. НАН України.* – 1995. – №10. – С. 101—105.
19. *Орса В.И.* Гранитообразование в докембрии Среднеприднепровской гранит-зеленокаменной области. – Киев: Наук. думка, 1988. – 204 с.
20. *Орса В.И.* Про акцесорні монацити з гранітоїдів Середнього Наддніпров'я // *Доп. АН УРСР, Сер. Б.* – 1969. – №8. – С. 694—699.
21. *Орса В.И.* Особенности распределения урана и тория в акцессорных минералах некоторых гранитоидов Среднего Приднепровья / *Радиоактивные элементы в горных породах. Часть I.* – Новосибирск, 1972. – С. 107.
22. *Щербаков И.Б.* Петрология Украинского щита. – Львов: ЗУКЦ, 2005. – 366 с.
23. *Анисимов В.А., Кузьмин А.В., Макивчук О.Ф. и др.* Ториеносность докембрийских пород Украинского щита и его склонов. – *Геол. журн.* – 2007. – №3. – С. 51—58.

Фомін Ю.О. ТОРІЙ В УРАНОВОРУДНИХ АЛЬБІТИТАХ КІРОВОГРАДСЬКОГО МЕГАБЛОКУ

Наведено петро-геохімічний склад, радіогеохімічні типи та генетичні особливості гнейсів чечелеївського літолого-стратиграфічного рівня, з якими пов'язані ураново-альбітитові родовища і які первинно формують торієносність вивчених об'єктів. Розглянуто поведінку торію в процесах становлення зазначених родовищ.

Fomin Yu.A. THORIUM IN THE URANIUM-ORE ALBITITES OF KIROVOGRAD BLOCK

Petro-geochemical composition, radio-geochemical types and genetic peculiarities of the gneisses of Chechelevsky litologic-stratigraphy level are presented. These gneisses are containing the deposits of uranium ore albitites and are the foundation for its thorium concentrations. The thorium behavior at the processes of these deposits formation is investigated.