

## Глубинные и коровые факторы торий-уранового оруденения Голованевской зоны Украинского щита

*М. А. Ярощук, А. В. Вайло, А. Е. Ганевич, 2021*

ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», Киев, Украина  
Поступила 24 февраля 2021 г.

В статье рассмотрены особенности глубинного и корового строения Голованевской шовной зоны Украинского щита, геохронологическая последовательность основных этапов ее формирования. Дана характеристика торий-урановых рудопроявлений и месторождений, основных стадий их образования. Определены этапы последовательной концентрации урана и тория в связи с процессами седиментации, вулканизма, метаморфизма, ультраметаморфизма и тектономагматической активизации.

Концентрация урана и тория происходила многоэтапно и возрастала с каждым последующим геологическим процессом. Рассмотрены глубинные и коровые источники урана и тория, их соотношение на предрудной и основной рудогенной стадиях формирования месторождений. Показано, что образование месторождений стало возможным в протерозое, когда глубинные кислые архейские флюиды сменились нейтральными и щелочными водно-хлоридно-калиевыми, а в коре — формировались торий-урановые породные комплексы. Совокупность полученных данных является основанием для отнесения торий-уранового оруденения к метаморфогенному типу.

Наличие в Голованевской шовной зоне Лозоватского, Южного и Калиновского месторождений, а также многочисленных торий-урановых рудопроявлений определяет ее в качестве перспективной на развитие торий-урановой сырьевой базы ядерной энергетики Украины. Торий-урановое оруденение генетически типично также для Криворожско-Ингулецкой, Орехово-Павлоградской межблоковых шовных зон; для определения их перспектив необходимы детальные исследования.

Приуроченность торий-уранового оруденения именно к шовным межблоковым зонам обусловлена сочетанием следующих основных региональных признаков: наличием неоархейских торий-ураноносных породных комплексов; их метаморфизмом в условиях гранулитовой фации; интенсивным ультраметаморфизмом; развитием глубинных флюидопроводимых разломов; глубоким уровнем эрозионного среза, в котором вскрыты продукты редкометальной и колчеданной стадий торий-уранового оруденения.

**Ключевые слова:** торий, уран, стадии оруденения, источники урана и тория.

Голованевская зона представляет собой шовную структуру второго порядка, разделяющую Бугский и Ингульский сопредельные блоки по системе глубинных субмеридиональных разломов. Вопросы тектонического положения Голованевской шовной зоны (ГШЗ) в структуре Украинского щита (УЩ) и ее внутреннего строения являются дискуссионными [Гінтов та ін., 2018]. Основанием для выделения ГШЗ послужило отличие ее корового и глубин-

ного строения, а также геодинамической обстановки формирования от сопредельных блоков.

Особенность корового строения ГШЗ — совмещение в эрозионном срезе пород архейского и протерозойского структурных ярусов в складчато-глыбовых структурах, насыщенность разломными зонами и, как следствие, интенсивная флюидизация коры [Иванкин, Назарова, 2001].

Для межблоковых шовных зон и, в част-

ности, ГШЗ, установлены специфическое строение тектоносферы, увеличение мощности, наличие коромантийной смеси, перемещение верхов коры относительно ее низов, влияние глубинных факторов на рудообразующие процессы в коре.

Сложное пространственно-временное взаимодействие глубинных и коровых факторов определило особенности металлогении ГШЗ, возможные источники урана и тория, условия их миграции и последовательность локализации в конкретных коровых структурах в определенные отрезки геологического времени.

**Геологическое строение.** Наиболее изученным с точки зрения рудоносности и геологического строения является юго-восточный Побужский район ГШЗ.

Геологическое строение района обусловлено наличием разновеликих фрагментов (выступов, глыб, ступеней), сложенных метаморфическими породами днестровско-бугской серии палеоархея и эндербитами гайворонского комплекса, разделенных грабеноподобными (проторифтовыми?) структурами, сформировавшимися в северо-западных конседиментационных разломах, выполненных неоархейскими осадочно-вулканогенными породами кошаро-александровской и хачевато-завальевской свит бугской серии.

Парапороды бугской серии представлены различными гнейсами, железисто-кремнистыми кварцитами и сланцами, метаконгломератами и кальцифирами. Ортопороды представлены амфиболитами (базальтами, реже — коматиитами), силловыми телами метаультрабазитов. Количественные соотношения пород отражают особенности и интенсивность процессов вулканизма и седиментации в разобщенных Первомайско-Голованевском и Ташлыкском проторифтовых бассейнах [Ярошук, 1983].

Породы бугской серии метаморфизованы в гранулитовой фации, совместно с породами днестровско-бугской серии образуют складчато-глыбовые структуры. В периферических частях фрагментов палеоархейского фундамента кристаллосланцы

и гнейсы палеоархейской днестровско-бугской серии диафторированы.

Ультраметаморфические породы ГШЗ представлены мигматитами и различными гранитоидами бердичевского и кировоградского комплексов, эндербитогнейсами гайворонского комплекса. Мигматиты наследуют текстурно-структурные особенности пара- и ортопротолитов. Так, грубополосчатые мигматиты, вероятно, образовались по хемогенно-терригенным породам, тонкополосчатые — по хемогенным алевропелитам, а также метабазитам. Гранитоиды представлены двуполевошпатовыми трахитоидными, розово-серыми теньвыми реоморфическими аплитопегматоидными гранитами и пегматитами.

Складчато-глыбовая структура Побужского района усложнена субмеридиональными глубинными разломами, узлами их пересечения с конседиментационными северо-западными разломами, оперяющими коровыми северо-восточными разломами и разломами, ограничивающими фрагменты палеоархейского фундамента.

Наиболее ранней по времени заложения (более 3 млрд лет), вероятно, является система северо-западных глубинных зон разломов — Бугской и Братской. К этим зонам приурочены грабены (проторифты?), выполненные породами бугской серии, ограниченные разломами второго порядка.

Субмеридиональные разломы в конкретных отрезках геологического времени эродированы на разных уровнях, что определяет состав и время образования приуроченных к ним пород, а также характер пластических и хрупких деформаций.

Породы субмеридиональных зон представлены различными тектонитами по породам архейского фундамента (бластомилонитами, катаклазитами, тектонобрекчиями). Породы докембрийского фундамента в разломах интенсивно диафторированы, с развитием биотита, хлорита, мусковита, амфибола. К субмеридиональным зонам приурочены мясокрасные реоморфические, жильные пегматоидные граниты и пегматиты, тела аллохтонных трахитоидных гранитов и метасоматиты.

Метасоматиты представлены микроклинитами, биотититами, вторичными кварцитами с обособлениями граната, роговой обманки, графита; к последним приурочены акцессорная минерализация (апатит, циркон, сфен, ильменит, ксенотим, монацит), сульфиды железа, турмалин, молибденит, вольфрамит.

Для северо-западных и субмеридиональных разломов характерны этапы неоднократной протоактивизации.

Геохронологическая последовательность этапов формирования докембрия Побужского района ГШЗ, обусловленная эволюцией глубинных факторов, приведена в обобщенной табл. 1.

Формирование Голованевской межблоковой шовной зоны, вероятно, происходило в условиях особого тектонического проторифтогенного (?) режима, своеобразием которого была неоднократная смена процессов растяжения—сжатия и интенсивность тепловых флюидных потоков [Ярощук и др., 1996].

**Торий-урановые месторождения и рудопроявления.** В ГШЗ установлены и достаточно хорошо изучены Южное, Калиновское и Лозоватское торий-урановые месторождения и рудопроявление Балка Корабельная [Генетические ..., 1995] и Северо-Березнянское рудопроявление района Володарских магнитных аномалий [За-

**Т а б л и ц а 1. Геохронологические этапы формирования докембрийских пород Побужского района Голованевской шовной зоны\***

Этапы	Процессы	Время формирования пород, млн лет
Верхнепротерозойский платформенный этап	Процессы тектоно-магматической активизации субмеридиональных разломов (внедрение жильных амфиболитов и плагиогранитов)	1100—1610
Среднепротерозойский платформенный этап	Процессы тектоно-магматической активизации субмеридиональных глубинных разломов (амфиболизация, биотитизация, внутриразломная гранитизация, кремне-калиевый метасоматоз)	1640—1770
	Процессы тектоно-магматической активизации северо-западных и северо-восточных разломов (амфиболизация, биотитизация, окварцевание, внедрение мясокрасных пегматоидных гранитов)	1800—1900
Палеопротерозойский	Процессы региональной гранитизации пород бугской серии (образование порфириовидных трахитоидных гранитов, мигматитов, blastsмилонитов, аплито-пегматоидных гранитов, пегматитов)	1900—2150
	Процессы диафореза пород палеоархейского фундамента (биотитизация, амфиболизация; образование пегматоидных чарнокитов)	2250—2300
Неоархейский проторифтогенный этап	Процессы прогрессивного метаморфизма пород бугской серии (образование амфиболитов, гнейсов, метаконгломератов, железисто-кремнистых пород, кальцифиров)	2160—2400
	Процессы магматизма начальных этапов развития геосинклиналей и накопления осадочно-вулканогенных пород бугской серии	2400—2600
Палеоархейский фундамент	Процессы гранитизации палеоархейский пород (образование эндербитов, грубополосчатых мигматитов, полосчатых чарнокитов)	<3300
	Процессы прогрессивного метаморфизма пород палеоархейского фундамента днестровско-бугской серии	>3300

\*Разброс значений возраста отражает многоэтапность процессов регенерации зерен циркона, монацита; потерю аргона роговой обманкой и биотитом.

кономерности ..., 1968]. Перспективность зоны на торий-урановые месторождения определяется значительным количеством рудопроявлений и точек торий-урановой минерализации, приуроченных к Сквирско-Тетиевскому, Новоукраинскому и Лысогорскому узлам пересечения разломов.

Данные о составе рудовмещающих пород, содержании в них урана и тория, ураносодержащих и сопутствующих минералов некоторых рудопроявлений приведены в табл. 2.

В рудопроявлениях с повышенными содержаниями урана (сотые — десятки %) и тория (сотые — тысячные %) развиты метаморфические породы докембрийского фундамента, различные диафориты, мигматиты, палингенные граниты. В этих породах проявлены процессы биотитизации, амфиболизации, окварцевания, микроклинизации; установлены жильные тела аплито-пегматоидных гранитов, пегматитов, вторичных кварцитов.

Основными концентраторами урана и тория являются уранинит, настуран, коф-

**Т а б л и ц а 2. Торий-урановые рудопроявления Голованевской зоны**

Рудопроявления	Породы	Минералы		Содержание элементов, %	
		Урана, тория	Сопутствующие	Урана	Тория
Корнинское	Гнейсы, пегматиты, микроклиниты	Уранинит, урановые черни, монацит, циртолит	Сульфиды Fe, Cu, молибденит	0,01—0,05	0,02—0,007
				—	—
Лозоватское	Мигматиты	Уранинит	Апатит	0,011—0,77	—
	Пегматиты	Малакон, торит	Ильменит	—	—
Пилипчанское	Граниты, пегматиты	Урановые черни, малакон	Молибденит	0,008—0,1	0,023—0,56
	—	Торит, монацит	—	—	—
Тетиевское	Мигматиты, пегматиты	Уранинит, урановые черни	Сульфиды Fe, циркон	0,192	—
	Граниты	Торит, монацит		—	—
Сквирское	Пегматиты, микроклиниты	Урановые черни	Циркон, сфалерит	0,03	0,002
Чепыженское	Пегматиты, кварциты	Уранинит, урановые черни, коффинит	Монацит	0,062	0,007
			Ксенотим	—	—
Осичковское	Граниты, пегматиты	Урановые черни, уранинит	Сульфиды Fe, Ni	0,026—0,28	—
	Микроклиниты	Торит, монацит	—	—	—
Завальевское	Гнейсы, скарны	Уранинит, настуран	Ортит	0,028	—
Сосновское	Пегматиты, микроклиниты	Урановые черни, малакон, отенит, коффинит	Лейкоксен, турмалин	0,024—0,032	0,012—0,035
				—	—
Молчановское	Кора выветривания гнейсов, пегматитов	Урановые черни	—	0,001—0,022	0,001—0,024

финит, урановые черни, торит, монацит, в составе которых диагностированы редкоземельные элементы, в отдельных пробах скандий.

Важная особенность структурно-тектонического положения Лозоватского, Калиновского и Южного месторождений — их приуроченность к Первомайско-Константиновской ступени палеоархейского

фундамента, что определяет сочетание глубинных и коровых рудообразующих факторов (рис. 1) [Гойжевский и др., 1977].

Коровый фактор обусловлен наличием в периферической части этой ступени монацитсодержащих метапесчаников и глубинного разлома, ограничивающего палеоархейский выступ фундамента [Ярощук и др., 2019].

Рудовмещающие породы складчатых структур месторождений представлены графитсодержащими гранат-кордиерит-биотитовыми гнейсами, мигматитами и бластомилонитами, на отдельных участках установлены кальцифиры.

В зонах разломов сосредоточены разнообразные тектониты и пегматоидные образования, которые развиты по гнейсовой толще в виде согласных и субсогласных (часто соскладчатых), а также секущих жил. Пегматиты связаны с аплито-пегматоидными гранитами постепенными переходами. В пегматитах микроклин преобладает над плагиоклазом — андезином. Рост микроклина в пегматитах приводит к замещению их кварц-биотит-микроклиновыми метасоматитами и микроклинитами.

Акцессорные минералы приурочены к скоплениям биотита, представлены циртолитом, ортитом, монацитом, апатитом, цирконом; рудные — касситеритом, пиритом, пирротинном, молибденитом, пиритом, галенитом, оксидами железа [Генетические ..., 1995]. В пегматитах и метасоматитах несколько повышено содержание монацита, отмечены ксенотим, флюорит; на Лозоватском месторождении установлены леллингит и самородный висмут. Акцессорные минералы содержат редкоземельные элементы (гафний, лантан, иттрий). Содержания урана и тория в минералах (%): циркон U=0,17; Th=0,37—0,44; ксенотим U=1,64; Th=0,92; монацит U=0,15; Th=6,62; циртолит U=0,15; Th=0,51. В рудовмещающих породах и метасоматитах сопутствующие микроэлементы представлены W, Ni, Co, Ti, Mo, Cr, Zr, Cu, Y, Yb, La.

Оруденение локализовано в пегматитах в виде субсогласных линзовидных

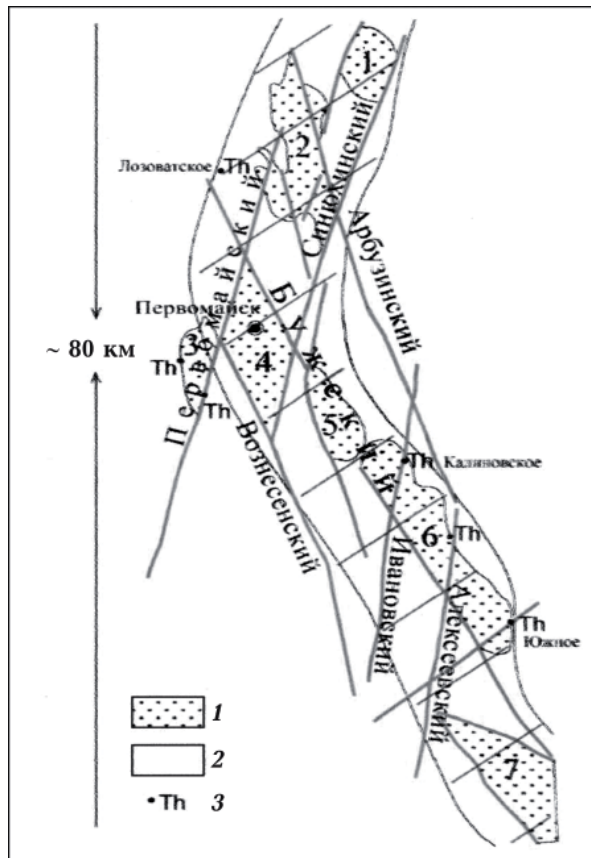


Рис. 1. Геологическое положение Южного, Лозоватского и Калиновского торий-урановых месторождений Побужского района: 1 — породы выступов палеоархейского фундамента; 2 — породы неоархейского структурного яруса; 3 — месторождения. Выступы палеоархейского фундамента: 1 — Добрянский, 2 — Ольшанский, 3 — Конецпольский, 4 — Первомайский, 5 — Мигийский, 6 — Константиновский, 7 — Вознесенский. Черные жирные линии — разломы и их названия.

Fig. 1. Geological position of the South, Lozovatsky and Kalinovskiy thorium-uranium deposits of the Pobuzhskiy region: 1 — rocks of the protrusions of the Paleoproterozoic basement, 2 — rocks of the Neoproterozoic structural stage, 3 — deposits. The protrusions of the Paleoproterozoic basement: 1 — Dobriansky, 2 — Olshansky, 3 — Konetspolsky, 4 — Pervomaisky, 5 — Migiytsky, 6 — Konstantinovskiy, 7 — Voznesensky. Black bold lines — fault and their names.



тел мощностью 10—30 м, а также кремнекалиевых метасоматитах. Оруденение имеет гнездовидно-линзовидный характер, по простиранию пегматитовых тел чередуются участки с содержанием урана до 0,01—0,5 % и участки бедных руд (0,03—0,05 %). Тип руд прожилково-вкрапленный, урановые минералы в рудах представлены уранинитом, встречаются урановые черни; реже — коффинит и настуран, торий-урансодержащие — циртолит и монацит. В небольшом количестве уран входит в состав гидрослюд и гидроокислов железа. Содержания урана, тория, суммы редких земель в минералах урановых руд приведены в табл. 3 [Соболев, Пудовкин, 1957; Гойжевский и др., 1977]. В зоне гипергенеза древних кор выветривания под влиянием окислительных процессов происходило выщелачивание четырехвалентного урана из эндогенных минералов, переход его в подвижную шестивалентную форму и миграция.

Переотложение и кристаллизация минералов четырехвалентного урана становились возможными в восстановительной обстановке зон цементации при наличии

органического вещества, сульфидов и карбонатов. Наблюдается замещение уранинита коффинитом, ненадкевитом, отмечено появление нингиоита. В молодых зонах окисления настуран замещается гуммитом, беккерелитом, уранофаном, регенерированными урановыми чернями, складовскитом; монацит изотропизирован, сфен лейкоксенизирован.

Торий-урановые руды относятся к метаморфогенному типу [Белевцев, 1979], начальные стадии образования которых обусловлены первичной концентрацией тория, в меньшей степени урана уже в метаморфизованных осадочно-вулканогенных породах и увеличением их содержания в ультраметаморфических породах предрудной стадии. В бедных рудах этой стадии, вероятно, сконцентрирован торий в кластогенных минералах терригенно-хемогенных пород. Накопление урана основной рудной стадии обусловлено его привнесом, возможно в форме металлоорганических соединений в процессе тектоно-магматической активизации разломов в гидротермальных условиях. Согласно принятой классификации [Гене-

**Таблица 3. Содержание урана, тория и редких земель в минералах урановых руд**

Минерал	Содержание элементов, %		
	ThO <sub>2</sub>	∑TR	UO <sub>2</sub> +UO <sub>3</sub>
Торит	66—74	0—7	0—1
Ураноторит	42—65	2—5	8—17
Макинтошит	45—57	0—2	20—26
Торианит	58—93	6—8	4—39
Ураноторианит	38—59	1—13	36—38
Алданит	63—64	1—4	15—29
Тухолит	1—48	2—36	6—53
Ненадкевит	~1	~1	59—60
Браннерит	1—8	0—1	40—42
Давидит	сл	1—2	7—13
Бреггерит	6—15	2—5	65—85
Ортит	—	16—23	—
Фергюссонит	1—5	~1	1—3
Нингиоит	—	3	39—42

тические ..., 1995; Перспективы ..., 2017], руды Лозоватского, Южного и Калиновского месторождений относятся к калий-урановой формации.

**Этапы формирования торий-уранового оруденения.** Детальный металлогенический анализ геологического строения, состава рудовмещающих пород и руд [Ярощук, Вайло, 2003, 2006] позволил установить многоэтапность формирования торий-уранового оруденения. Формирование торий-уранового оруденения осуществлялось в течение последовательных геологических процессов: седиментации, метаморфизма, ультраметаморфизма и многостадийной тектоно-магматической активизации.

**Осадочно-вулканогенный процесс** накопления кларковых содержаний урана и тория происходил в протолитах пород бугской серии [Перспективы ..., 2017]. Источниками урана и тория служили породы выветривавшегося палеоархейского фундамента и рудоносные флюиды, поступавшие по разломам в проторифтовые бассейны при процессах вулканизма.

Кларковые содержания урана и тория в осадочных протолитах определялись их положением на седиментогенном профиле, зависели от окислительно-восстановительных условий неархейской атмосферы и гидросферы, степени выветривания палеоархейских пород. Кларковые содержания наибольшими были в терригенно-хемогенных породах и алевропелитах и уменьшались в более глубоководных железисто-кремнистых и карбонатных осадках [Анисимов и др., 2007]. Содержания урана и тория в вулканитах определялись их основностью и щелочностью; более значимыми были в базальтах, меньшими в коматиитах [Кулиш, Михайлов, 2006]. Торий и в меньшей степени уран концентрировались в кластогенных минералах (сфене, апатите, цирконе, монаците), могли сорбироваться оксидами железа и глинозема, а также содержаться в пепловых продуктах вулканизма в рассеянном виде. Так, на возможную концентрацию урана и тория в класто-

генных минералах указывает приуроченность месторождений и рудопоявлений к периферии выступов палеоархейского фундамента, где наблюдалось сочетание коровых и глубинных факторов: концентрация в основном тория, реже урана в терригенно-хемогенных коровых породах и привнос главным образом урана в зоне разлома, ограничивающего выступ палеофундамента.

**Процесс метаморфизма** соответствовал этапу складчатости пород бугской серии. Складчатость зависела от степени раздробленности фундамента: в участках сильного влияния фундамента развивался глыбовый тип складчатости с образованием сжатых синклиналильных структур, размеры и форма которых определялись формой разделявших их глыб. Вблизи глыбовых структур складчатость была дисгармоничной (волочение, скалывание). В крупных троговых структурах развивалась складчатость общего смятия, характеризовавшаяся чередованием синклиналильных и антиклиналильных структур. Возможно, брахиантиклиналильные структуры унаследовали горсты (выступы) палеоархейского фундамента.

Складчатость и погружение пород обусловили прогрессивный метаморфизм неархейских пород бугской серии и диафторез палеоархейских пород днестровско-бугской серии.

На уровне эрозионного среза Побужского района вскрыты породы бугской серии, метаморфизованные в гранулитовой фации. Метаморфизм пород был обусловлен их погружением на значительную глубину, а также ростом температуры, в результате взаимодействия появившихся в коре кислородоемких железисто-кремнистых пород с восстановленными мантийными флюидами. Реакция взаимодействия оксидов железа с углеводородами являлась экзотермической, сопровождалась выделением окиси углерода и воды и повышением температуры. При неполном окислении глубинных углеводородов, вероятно, выделялся свободный углерод, на что указывает постоянное при-

сутствие графита в гранат-биотитовых гнейсах бугской серии.

Содержания урана и тория в метаморфических породах в общем соответствовали их содержаниям в пара- и ортопротолитах этих пород, которые являлись наиболее ранним источником этих металлов [Кулиш, Михайлов, 2006].

Уран и торий накапливались в виде вкрапленности акцессорных торий- и урансодержащих минералов (апатита, сфена, монацита, ильменита). Незначительная их собирательная перекристаллизация и концентрация были возможны в контактах гнейсов с кальцифирами при процессах скарнирования. Содержания урана и тория незначительно возрастали в диафторитах палеоархейских пород.

**Процесс ультраметаморфизма** обусловил гранитизацию пород бугской серии с образованием мигматитов, бластомилонитов, двуполевошпатовых палингенных гранитоидов кировоградского комплекса, обогащенных ураном и торием. В процессе гранитизации эндербиты днестровско-бугской серии замещались чарнокитами с увеличением в них содержания урана и тория.

Источники урана и тория были гетерогенными, незначительная их доля заимствовалась из метаморфических пород; основная часть привносилась слабокислыми щелочными хлоридно-калиевыми водными глубинными флюидами [Вольфсон, Королев, 1990; Арбузов, Рихванов, 2010; Усенко, 2015, 2018, 2019].

Ультраметаморфизм характеризовался увеличением подвижности тория, главным образом урана, и содержания и перекристаллизации акцессорных минералов. Эти минералы образуют субсогласные послойные скопления в мигматитах, концентрируются в лейкоosome и межбуждинных пространствах бластомилонитов, в скоплениях биотита в гранитах. Наблюдалось также увеличение содержания монацита, изредка появление уранинита в гранитоидах. Содержание урана и тория и соотношение Th/U в монацитах частично обусловлено их содержанием в гранитизи-

рованных метаморфических породах. Так, серые монациты чарнокитов, заместивших кристаллосланцы и эндербиты, содержат  $U=0,23\pm 0,70\%$ , розовые монациты трахитоидных гранитов, образовавшихся по гнейсам, —  $0,70—1,23\%$ .

Концентрация урана и тория в акцессорных минералах сопровождалась накоплением редкоземельных элементов в фосфатах, что может свидетельствовать о глубинной природе этих металлов.

**Процессы тектономагматической активизации зон разломов.** Эти процессы характеризовались образованием внутриразломных тел аплито-пегматоидных гранитов, протяженных жил пегматитов и развитием постмагматических процессов, сопровождавшихся образованием кремне-калиевых метасоматитов, вмещающих торий-урановое оруденение калий-урановой формации Лозоватского, Южного и Калиновского месторождений. В образовании торий уранового оруденения установлены минеральные ассоциации, отражающие стадийность и глубинность рудообразующего процесса.

Предрудная стадия проявлена в аплито-пегматоидных гранитах и пегматитах. Представлена вкрапленностью уранинита и акцессорных минералов, содержащих изоморфную примесь тория, урана и редкоземельных элементов (монацита, циркона, ортита, циртолита, ураноторианита).

Собственно рудная стадия проявлена в кремне-калиевых метасоматитах. Представлена уранинит-циртолитовой, бреггерит-уранинит-пиритовой и торогумит-полисульфидной минеральными ассоциациями. Характерными элементами-примесью рудогенной стадии являются свинец, мышьяк, висмут и редкие земли. Распределение рудных минералов гнездово-вкрапленное и прожилковое. Пострудная стадия представлена коффинит-пиритовой ассоциацией с карбонатами. Проявлена в прожилках, трещинах, псевдоморфозах по более ранним минералам (табл. 4). На некоторых участках наблюдается телескопирование продуктов разных стадий. На уровне эрозионного среза ГШЗ вскрыто



торий-урановое оруденение редкометальной и колчеданной стадий рудообразующего процесса [Таусон и др., 1987].

Источники урана и тория разных стадий, вероятно, были гетерогенными. В образовании предрудной стадии определенную роль играли кластогенные акцессорные минералы. Часть рудных элементов предрудной стадии могла извлекаться из

рудовмещающих пород. Например, источником части тория и урана могли быть графитсодержащие гранат-биотитовые гнейсы, протолитами которых были аркозопелиты, обогащенные сорбционными формами урана и тория. Присутствие графита, возможно, было обусловлено неполным окислением глубинных углеводородов с образованием воды и свободного углерода.

**Т а б л и ц а 4. Урановорудные ассоциации Южного месторождения Голованевской зоны**

Урановорудные ассоциации	Минеральный состав и формы распределения минералов (элементы-примеси)	Рудовмещающие породы	Этапы	Стадии метосоматоза и оруденения	Время окорудных процессов метосоматоза и рудообразования, млн лет
Ранняя редкоземельная	Редкая сингенетичная вкрапленность монацита, циркона, ортита, уранинита	Чарнокиты, грубополосчатые мигматиты, трахитоидные и теньевые граниты	Рудоподготовительный	Дорудная	2300—1900
Ураноторианит-редкоземельная (иногда с апатитом)	Гнездовая вкрапленность уран- и торийсодержащих циртолита, монацита, ксенотима, цералита, ортита (P, Pb, Ce, La, Y)	Биотитизированные и микроклинизированные пегматоидные граниты		Предрудная	1900—1800
Уранинит-циртолит-молибденитовая	Гнездовые и прожилковые выделения циртолита, реже уранинита, молибденита (Pb, Zr, Y, Bi, Sn)	Микроклиниты, пегматоидные граниты, кремне-кальциевые и магниевые метасоматиты с пироксеном	Рудогенный	Первая рудогенная	1800—1640
Бреггерит-уранинит-кварцевая	Псевдоморфозы уранинита по редкоземельным минералам; вкрапленность бреггерита, редкоземельных минералов (Zn, As, пирит, пирротин)	Вторичные кварциты зон окварцевания апопегматитовых тектонитов (катаклазитов, бластомилонитов, тектонобрекчий)		Вторая рудогенная	
Торогуммит-полисульфидная с самородным висмутом	Псевдоморфозы торогуммита по ураниниту; иногда — ортиту, цералиту, циртолиту. Прожилки в тектонитах (Pb, Bi, As, Mo, Th, Ce, La, Y, Sb, самородный висмут, халькопирит)				
Гидронастуран-сульфидная	Псевдоморфная и прожилковая форма выделения гидроксида урана в уранините (Zn, Pb, Ni, Co, Cu)	Зоны катаклаза и трещиноватости в рудовмещающих породах и рудах	Пострудный	Пострудная	1610—1570

Основным источником урана и тория были мантийные флюиды, состав которых определялся глубинным положением флюидогенерирующего астеносферного слоя и этапами растяжения — сжатия дренирующей их разломной зоны. Разнообразие рудных минеральных ассоциаций указывает на разный состав флюидов и различные комплексные соединения, привнесшие уран и торий. Состав флюидов эволюционировал во времени, зависел от кристаллизации верхней мантии, появления слоя частичного плавления коры и глубинного положения флюидогенерирующего астеносферного слоя [Усенко, 2015]. На рубеже архея—протерозоя кислые флюиды сменялись нейтральными и слабощелочными водными хлоридно-калиевыми флюидами, обогащенными магнием, железом, хромом, в которых резко возрастает активность тория, меньше урана.

Торий преобладал в магматогенных процессах, привносился в состав галоидных, сульфатных и аквакомплексов; при их распаде в коре накапливался в бердичевских и Кировоградских гранитах.

Уран преобладал в пневматолито-гидротермальных процессах. Формы переноса урана во флюиде зависели от его химических свойств, которые определялись наличием устойчивых четырех- и шестивалентных состояний.

Степень устойчивости четырехвалентного урана определялась присутствием очень сильных восстановителей: водорода, сероводорода, самородных элементов (железа, графита), метана. Во всех случаях наблюдается связь уранового оруденения с графитом.

Шестивалентный уран устойчив в гораздо более широком диапазоне условий. Изучение структуры урановых соединений показало, что почти все соединения содержат в своем составе группу уранила ( $UO_2$ )<sup>2+</sup> [Вольфсон, Королев, 1990]. Тенденция урана к образованию группы уранила очень велика и поэтому в природе при наличии в породах значительных масс окислителя четырехвалентная форма урана ( $U^{4+}$ ) неустойчива и основная миграция

урана происходила в виде шестивалентной формы ( $U^{6+}$ ). В гидротермальных системах шестивалентный уран ( $U^{6+}$ ) доминировал и создавал прочные комплексы с  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SiO_4^{4-}$ . Распад комплексных соединений в коре приводил к концентрации всей гаммы урановых, ториевых и уран-торийсодержащих минералов месторождений Побужья. Привнос урана и тория глубинными флюидами изменялся в течение предрудной (преобладал торий) и основной рудной (преобладал уран) стадий оруденения.

Многоэтапность торий-уранового оруденения, связь ранних концентраций урана и тория с процессами седиментогенеза, метаморфизма и ультраметаморфизма, а также вовлечение ранних концентраций в основной пневматолито-гидротермальный процесс является основанием относить это оруденение к метаморфогенному типу [Белевцев, 1979].

**Заключение.** Голованевская зона является одной из шовных структур УЩ, разделяющей сопредельные Бутский и Ингульский блоки по системе глубинных субмеридиональных разломов и отличается от блоков глубинным, коровым строением, геодинамикой формирования и металлогенией.

– Образование торий-уранового оруденения и ГШЗ было наиболее ранним процессом концентрации урана в коре УЩ, характерным именно для межблоковых шовных зон — наиболее проницаемых структур многоэтапного взаимодействия глубинных и коровых факторов.

– Формирование торий-уранового оруденения было многоэтапным, в разной мере осуществлялось при процессах седиментации, прогрессивного метаморфизма, диафтореза и тектоно-магматической активизации. Эти процессы характеризовались различным соотношением коровых и глубинных источников урана и тория и формами их концентраций в коре. Роль глубинных источников возрастала с каждым последующим петрологическим процессом.

– В образовании торий-уранового оруденения преобладали процессы тектоно-

магматической активизации с образованием реоморфических аплитов-пегматоидных гранитов, пегматитов и кремне-калиевых метасоматитов, вмещающих торий-урановое оруденение. В формировании торий-уранового оруденения установлены предрудная, основная рудная и пострудная стадии, характеризующиеся различными минеральными ассоциациями окислов, титанатов, гидрофосфатов и силикатов урана и тория. Разнообразие минеральных ассоциаций отражает глубину формирования подкоровых флюидов, привносивших торий и уран и сопутствующие элементы в карбонатных, сульфатных и галоидных комплексах; возможно в металлоорганических соединениях, на что указывает присутствие графита в рудовмещающих породах. Распад глубинных комплексных соединений был обусловлен термодинамическими, окислительно-восстановительными условиями, тектоническими особенностями коровых пород, вмещающих оруденения.

Для торий-урановых месторождений ГШЗ коровыми источниками урана и тория частично служили ранние их концентрации в метаморфических и ультраметаморфических породах, но в основном — глубинные флюиды. Образование торий-урановых месторождений с участием процессов седиментации, метаморфизма, ультраметаморфизма и пневматолито-гидротермальных процессов, тектономагматической активизации является основанием для отнесения их к метаморфогенным.

– Наличие в ГШЗ Лозоватского, Южно-

го, Калиновского месторождений и многочисленных торий-урановых рудопроявлений определяют эту зону в качестве перспективной на развитие торий-урановой сырьевой базы ядерной энергетики Украины. Торий-урановое оруденение является генетически типичным также для Криворожско-Ингулецкой, Орехово-Павлоградской межблоковых шовных зон; для определения их перспектив необходимы детальные исследования [Перспективы ..., 2014].

– Приуроченность торий-уранового оруденения именно к межблоковым зонам обусловлена сочетанием следующих основных региональных признаков: наличием неоархейских торий-ураноносных породных комплексов; их метаморфизмом в условиях гранулитовой фации; интенсивным ультраметаморфизмом; развитием глубинных флюидопроводимых разломов; глубоким уровнем эрозионного среза, в котором вскрыты продукты редкометаллической и колчеданной стадий торий-уранового оруденения. Отсутствие одного или нескольких из этих признаков может быть объяснено отсутствием калий-урановой формации в Подольском, Днепровском, Западно-Приазовском мегаблоках Украинского щита.

– Торий-урановое оруденение ГШЗ проявляет сходство с оруденением шовных межблоковых зон Канадского (Банкрософт, Шарлебуа), Бразильского (Итатая, Эскиньярос), Южно-Африканского (Россинг) докембрийских щитов.

### Список литературы

- 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.
- Арбузов С. И., Рихванов Л. П. Геохимия радиоактивных элементов. Томск: Изд-во ТПУ, 2010, 300 с.
- Белевцев Я.Н. Метаморфогенное рудообразование. Москва: Недра, 1979. 275 с.
- Вольфсон Ф. И., Королев К. Г. Условия формирования урановых месторождений. Москва: Недра, 1990. 288 с.
- Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. Отв. ред. Я. Н. Белевцев, В. Б. Коваль. Киев: Наук. думка, 1995. 391 с.
- Гінтов О. Б., Орлюк М. І., Єнтін В. А., Пашкевич І. К., Мичак С. В., Бакаржієва М. І., Шимків А. М., Марченко А. В. Структура західної і центральної частин Українського щита. Спирні питання. *Геофиз. журн.* 2018.

- Т. 40. № 6. С. 3—29. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i6.2018.151000>.
- Гойжевский А. А., Науменко В. В., Скаржинский В. И. Тектономагматическая активизация регионов Украины. Киев: Наук. думка, 1977. 112 с.
- Закономерности образования и размещения урановых месторождений. Отв. ред. Я. Н. Белевцев. Киев: Изд-во АН УССР, 1968. 763 с.
- Иванкин П. Ф., Назарова Н. И. Глубинная флюидизация земной коры и ее роль в рудогенезе, соли- и нефтеобразовании. Москва: Изд. ЦНИГРИ, 2001. 206 с.
- Кулиш Е. А., Михайлов В. А. Геохимия, минералогия, генезис и классификация месторождений урана. Киев: Логос, 2006. 213 с.
- Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України. Відп. ред. В. Г. Верховцев, М. О. Ярощук. Київ: Наук. думка, 2014. 269 с.
- Перспективи розвитку торієвої сировинної бази ядерної енергетики України. Відп. ред. В. Г. Верховцев, М. О. Ярощук. Київ: Наук. думка, 2017. 269 с.
- Соболев М. В., Пудовкин И. А. Минералы урана. Справочник. Москва: Госгеолтехиздат, 1957. 407 с.
- Таусон Л. В., Гундобин Г. М., Зорина В. Д. Геохимические поля рудно-магматических систем. Новосибирск: Наука, 1987. 200 с.
- Усенко О. В. Геодинамический процесс и его геологические проявления на континентах. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 5. С. 137—167. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147477>.
- Усенко О. В. Отражение последовательности геодинамических процессов в геологическом строении Побужья. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 3. С. 78—95. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172425>.
- Усенко О. В. Эволюция мантийных расплавов и флюидов в докембрии. *Доповіди НАН України.* 2015. № 7. С. 99—104.
- Ярощук М. А. Железородные формации Белоцерковско-Одесской металлогенической зоны. Киев: Наук. думка, 1983. 224 с.
- Ярощук М. А., Вайло А. В. Металлогения гнейсо-гранулитовых зон Украинского щита. *Сб. научных трудов ИГОС НАН Украины.* 2003. Вып. 8. С. 69—82.
- Ярощук М. А., Вайло А. В. Формационный анализ урановых рудопроявлений Голованевской гнейсо-гранулитовой зоны. *Сб. научных трудов ИГОС НАН Украины.* 2006. Вып. 12. С. 38—45.
- Ярощук М. А., Вайло А. В., Осьмачко Л. И., Ганевич А. Е. Факторы рудоносности разломно-блоковых структур Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 4. С. 194—209. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i4.2019.177388>.
- Ярощук М. А., Пашкевич И. К., Красовский С. С. Геолого-геофизические модели гранулитовых шовных зон Украинского щита как основа прогнозирования их рудоносности. *Труды совещания «Глубинное строение литосферы и нетрадиционное использование недр Земли».* Киев, 14 — 17 мая 1996 г. С. 184—185.

## Deep and crustal factors of thorium-uranium mineralization of the Golovanevskaya zone of Ukrainian Shield

*M. A. Yaroshchuk, A. V. Vaylo, A. Ye. Ganevich, 2021*

Institute for Environment Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

The article discusses the features of the deep and crustal structure of the Golovanevskaya zone, the geochronological sequence of the main stages of its formation. The characteristic of thorium-uranium ore occurrences and deposits is given; and the main stages

of their formation. The stages of successive concentrations of uranium and thorium in connection with the processes of sedimentation, volcanism, metamorphism, ultrametamorphism, and tectonic-magmatic activation are determined.

The concentration of uranium and thorium was multi-stage and increased with each subsequent geological process. The deep and crustal sources of uranium and thorium, their ratio in the pre-ore main ore-generating stages of deposit formation are considered. It is shown that the formation of deposits became possible in the Proterozoic when neutral and alkaline water-potassium fluids replaced the deep acidic Archean fluids, and the formation of thorium-uranium rock complexes became possible in the crust. The totality of the data obtained is the basis for classifying the thorium-uranium mineralization as the metamorphogenic type.

The presence in the Golovanevskaya zone of Lozovatsky, Yuzhny, Kalinovsky deposits, and numerous thorium-uranium ore occurrences determine this zone as promising for developing the thorium-uranium raw material base of the nuclear energy of Ukraine. Thorium-uranium mineralization is also genetically typical for the Kryvyi Rih-Inguletskaya, Orekhovo-Pavlograd interblock suture zones; detailed research is needed to determine their prospects.

The confinement of thorium-uranium mineralization specifically to interblock zones is due to a combination of the following main regional features: the presence of Neoproterozoic thorium-uranium-bearing rock complexes; their metamorphism under conditions of granulite facies; intense ultrametamorphism; development of deep fluid-conducting faults; deep level of the erosional section, in which the products of the rare-metal and pyrite stages of thorium-uranium mineralization were exposed.

**Key words:** thorium, uranium, mineralization stages, sources of uranium and thorium.

## References

- Anisimov, V. A., Kuzmin, A. V., Makivchuk, O. F. et al. (2007). Thorium content of Precambrian rocks of the Ukrainian shield and its slopes. *Geologichnyy Zhurnal*, (3), 51—58 (in Russian).
- Arbuzov, S. I., & Rikhvanov, L. P. (2010). *Geochemistry of radioactive elements*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 300 p. (in Russian).
- Belevtsev, Ya. N. (1979). *Metamorphogenic ore formation*. Moscow: Nedra, 275 p. (in Russian).
- Wolfson, F. I., & Korolev, K. G. (1990). *Conditions for the formation of uranium deposits*. Moscow: Nedra, 288 p. (in Russian).
- Belevtsev, Ya. N., & Koval, V. B. (Eds.). (1995). *Genetic types and patterns of location of uranium deposits in Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, 391 p. (in Russian).
- Gintov, O. B., Orlyuk, M. I., Entin, V. A., Pashkevich, I., Mychak, S. V., Bakarzhieva, M. I., Shimkiv, L. M., & Marchenko, A. V. (2018). The structure of the Western and Central parts of the Ukrainian shield. Controversial issues. *Geofizicheskyy Zhurnal*, 40(6), 3—29. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i6.2018.151000> (in Ukrainian).
- Goyzhevskiy, A. A., Naumenko, V. V., & Skarzhinskiy, V. I. (1977). *Tectonomagmatic activation of the regions of Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, 112 p. (in Russian).
- Belevtsev, Ya. N. (Ed.). (1968). *Regularities of the formation and placement of uranium deposits*. Kiev: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 763 p. (in Russian).
- Ivankin, P. F., & Nazarova, N. I. (2001). *Deep fluidization of the earth's crust and its role in ore genesis, salt and oil formation*. Moscow: Publ. of the Central Research Geological Prospecting Institute of Non-ferrous and Precious Metals, 206 p. (in Russian).
- Kulish, E. A., & Mikhaylov, V. A. (2006). *Geochemistry, mineralogy, genesis and classification of uranium deposits*. Kiev: Logos, 213 p. (in Russian).
- Verkhovtsev, V. G., & Yaroshchuk, N. A. (Eds.). (2014). *Prospects for the development of the uranium resource base of nuclear power in Ukraine*.



- Kyiv: Naukova Dumka, 269 p. (in Ukrainian).
- Verkhovtsev, V. G., & Yaroshchuk, N. A. (Eds.). (2017). *Prospects for the development of thorium raw material base of nuclear power in Ukraine*. Kyiv: Naukova Dumka, 269 p. (in Ukrainian).
- Sobolev, M. V., & Pudovkin, I. A. (1957). *Uranium minerals. Directory*. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 407 p. (in Russian).
- Tauson, L. V., Gundobin, G. M., & Zorina, V. D. (1987). *Geochemical fields of ore-magmatic systems*. Novosibirsk: Nauka, 200 p. (in Russian).
- Usenko, O. V. (2018). Geodynamic process and its geologic manifestations in the continents. *Geofizicheskij Zhurnal*, 40(5), 137—171. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147477> (in Russian).
- Usenko, O. V. (2019). Reflection of sequence of geodynamic processes in geological structure of the Bug area. *Geofizicheskij Zhurnal*, 41(3), 78—95. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172425> (in Russian).
- Usenko, O. V. (2015). Evolution of mantle melts and fluids at the Precambrian. *Dopovidi NAN Ukrainy*, (7), 99—104 (in Russian).
- Yaroshchuk, M. A. (1983). *Iron ore formations of the Belotserkovsko-Odessa metallogenic zone*. Kiev: Naukova Dumka, 224 p. (in Russian).
- Yaroshchuk, M. A., & Vaylo, A. V. (2003). Metallogeny of gneiss-granulite zones of the Ukrainian shield. In *Collection of scientific works of the Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine* (is. 8, pp. 69—82) (in Russian).
- Yaroshchuk, M. A., & Vaylo, A. V. (2006). Formation analysis of uranium ore occurrences of the Golovanevskaya gneiss-granulite zone. In *Collection of scientific works of the Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine* (is. 12, pp. 38—45) (in Russian).
- Yaroshchuk, M. A., Vaylo, A. V., Osmachko, L. S., & Ganevich, A. Y. (2019). Ore bearing factors of breaking-block structures of the Ukrainian shield. *Geofizicheskij Zhurnal*, 41(4), 194—209. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i4.2019.177388> (in Russian).
- Yaroshchuk, M. A., Pashkevich, I. K., & Krasovskiy, S. S. (1996). Geological and geophysical models of granulite suture zones of the Ukrainian shield as a basis for predicting their ore content. *Proc. of the meeting «Deep structure of the lithosphere and non-traditional use of the Earth's interior»*, Kiev, May 14—17 (pp. 184—185) (in Russian).

## Глибинні та корові фактори торій-уранового зруденіння Голованівської зони Українського щита

**М. О. Ярошук, О. В. Вайло, А. Є. Ганевич, 2021**

ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна

У статті розглянуто особливості глибинної і корової будови Голованівської шовної міжблокової зони Українського щита, геохронологічну послідовність основних етапів її формування. Наведено характеристику торій-уранових рудопроявів і родовищ, основних стадій їх утворення. Визначено етапи послідовної концентрації урану і торію у зв'язку з процесами седиментації, вулканізму, метаморфізму, ультраметаморфізму і тектономагматичної активізації.

Концентрація урану і торію була багатоетапною і зростала з кожним наступним геологічним процесом. Розглянуто глибинні й корові джерела урану і торію, їх співвідношення на предрудній та основній рудогенній стадіях формування родовищ. Показано, що утворення родовищ стало можливим у протерозої, коли глибинні кислі архейські флюїди змінилися нейтральними і лужними водно-хлоридно-калієвими, а в корі формувалися торій-уранові породні комплекси. Сукупність отриманих даних

є підставою для віднесення торій-уранового зруденіння до метаморфогенного типу.

Наявність у Голованівській шовній зоні Лозуватського, Південного і Калинівського родовищ та численних торій-уранових рудопроявів визначає цю зону як перспективну на розвиток торій-уранової сировинної бази ядерної енергетики України. Торій-уранове зруденіння є генетично типовим також для Криворізько-Інгулецької, Оріхів-Павлоградської шовних міжблокових зон; для визначення їх перспектив необхідні детальні дослідження.

Приуроченість торій-уранового зруденіння саме до міжблокових зон зумовлена поєднанням таких основних регіональних ознак: наявністю неархейських торій-ураноносних породних комплексів; їх метаморфізмом в умовах гранулітової фації; інтенсивним ультраметаморфізмом; розвитком глибинних флюїдопровідних розломів; глибоким рівнем ерозійного зрізу, в якому розкрито продукти рідкіснометалевої і колчеданної стадій торій-уранового зруденіння.

**Ключові слова:** торій, уран, стадії зруденіння, джерела урану і торію.