

УДК [553.493 : 546.841 + 551.311] (477)

Сушук К. Г.

ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

ЗАКОНОМІРНОСТІ МІГРАЦІЇ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ТОРІЮ В ЗОНІ ГІПЕРГЕНЕЗУ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Міграція торію в зоні гіпергенезу на території Українського щита відбувається у формі стійких до вивітрювання мінералів, що містять торій, та в іонній формі із помірно лужними та кислими водами. Концентрація торію у мінеральній формі відбувається переважно в корах вивітрювання кристалічних порід з утворенням вторинних акумуляцій та у розсипах різного типу та віку. Рухомим торієм збагачуються глинисті мінерали каолінової групи кір вивітрювання, гідроксиди алюмінію бокситів та гідроксиди заліза й марганцю в гідрогенних уранових родовищах.

Вступ

Сучасна ядерна енергетика з метою застосування більш безпечних реакторів, ніж існуючі, передбачає використання в якості палива торію. МАГАТЕ вже з 1991 року підтримує програми із застосуванням в АЕС ядерного палива на основі торію, як більш безпечного, ніж уран. Відпрацьоване торієве ядерне паливо вимагає значно менше різного роду витрат для його переробки і зберігання, ніж уранове. У зв'язку з цим в останні десятиліття інтерес до торію істотно зріс, зокрема до наявності сировинної бази, яка могла б задовольнити потреби промисловості.

Враховуючи той факт, що основний промисловий потенціал торію в світі становлять розсипні його родовища, які формувалися у гіпергенних умовах в різні геологічні епохи, виявлення закономірностей його міграції і концентрації в зоні гіпергенезу на території Українського щита становить певний науковий та практичний інтерес. В основу проведених досліджень покладено аналіз відомих геологічних матеріалів – результатів пошукових робіт, публікацій, тощо, – а також особисті спостереження автора під час вивчення закономірностей міграції та концентрації в зоні гіпергенезу іншого радіоактивного елементу – урану.

Основні значущі концентрації торію в осадовому чохлі УЩ відомі у корі вивітрювання кристалічних порід, делювіальних та елювіальних розсипах ближнього зносу, як правило, генетично пов'язаних з концентраціями торію у корах вивітрювання, та в гідрогенних (екзогенних та полігенних) родовищах урану. Дослідження сучасних делювіальних та елювіальних розсипів необхідні для розуміння закономірностей формування древніх метаморфізованих розсипів докембрійського віку.

Торій у корі вивітрювання кристалічних порід. У корі вивітрювання торій представлений стійкими до вивітрювання, переважно торійвмісними мінералами: твердими ($H > 5$) безводними малорозчинними у воді, слабких кислотах та лугах фосфатами (монацит, ксенотим), оксидами (лопаріт) та силкатами (ортит, циркон). Всі ці мінерали, крім торію, містять інші метали (Ta, Nb, Be, P, U, Zr), які вилучаються з комплексних руд одночасно.

В екзогенних умовах торій мігрує переважно в іонній формі, хоча певна роль належить колоїдним розчинам. При цьому торій свою валентність не міняє, на відміну від урану, який переходить у шестивалентну форму. Лабораторні дослідження по вилугуванню торію з порід свідчать про його можливу міграцію у гіпергенному процесі із помірно лужними та кислими водами [12].

В зоні гіпергенезу торій, як правило, не формує власних мінералів. Вилучений з ендегенних утворень в розчиненому стані, він або розсіюється, або адсорбується на гідроксидах Fe, Mn, Al. Як виняток, можна навести факт встановлення ураноториту та ферриториту в зоні окислення на Миколаївському торій-урановому родовищі [2]. Зазвичай в каолінах, бокситах та глинах вміст торію, мінералогічні форми знаходження й

співвідношення з іншими елементами (гідролізаторами) наслідуються з кори вивітрювання, що залягає нижче (а в підсумку залежать від вмісту в корінних породах).

Проведеними дослідженнями на території СНД у різні роки встановлено, що боксити багатьох рудних районів характеризуються підвищеною радіоактивністю. Зокрема, ряд бокситових покладів на території Сибірської платформи відрізняються аномальними, а то й високими концентраціями торію ($25 - 50 \cdot 10^{-4} \%$, а іноді до $200 - 764 \cdot 10^{-4} \%$) безпосередньо в бокситах. Експериментальними роботами встановлено, що вміст торію в бокситах залежить від концентрації глинозему [7, 12].

Численними дослідженнями доведено, що вміст торію в корах вивітрювання прямо залежить від вмісту його в кристалічних породах, а також від розподілу його під впливом гіпергенних процесів. Зокрема, геохімічні дослідження на території УЩ [3] показали, що не всі породи у складі фундаменту можуть розглядатися у якості джерел надходження мінералів торію в кори вивітрювання. Так, до монацитоносних комплексів відносяться гранітоїди бердичівського, житомирського, уманського, кіровоградського, новоукраїнського, анадольського комплексів, а також чарнокіти побузького та ендербіти гайворонського комплексів. Плагіогранітоїдні комплекси (звенигородський, інгулецький, дніпропетровський та інші), гранітоїди гайсинського комплексу та формації рапаківі, а також більшість метаморфічних утворень не можуть розглядатись у такій якості.

На підставі проведених досліджень, в тому числі співставлення вмісту радіоактивних елементів в породах (торію, урану, калію) з тепловими потоками в земній корі, автори допускають, що зменшення вмісту радіоактивних елементів в земній корі з глибиною слід шукати у перерозподілі їх під впливом гіпергенних процесів. В ході вивітрювання кристалічних порід торій (разом з ураном) вилугується з верхнього шару порід, де відбувається каолінізація. Разом з водами, що містять кисень, він переміщується у більш глибокі шари й накопичується на відносно відновлювальному бар'єрі в нижній частині кори вивітрювання та безпосередньо під нею у незмінених породах.

Як приклад можна навести дослідження Ю.Г. Герасимова та ін. [4], проведені для Подільського блоку УЩ, де потужність кори вивітрювання зазвичай складає 20-40 м, а в зонах розломів збільшується до 100-120 м. Авторами встановлено, що для верхніх зон кори вивітрювання (каолінової) характерні окислювальні умови з $pH = 6,0-6,5$. Для нижніх, починаючи з нижньої частини гідролудисто-каолінової зони, нерідко співпадаючої із дзеркалом тріщинних вод, характерні більш відновлювальні умови з $pH = 7,5-8,0$. На цьому відновлювальному бар'єрі й починається накопичування ряду елементів, в тому числі радіоактивних, що виносяться із верхніх зон. Торій, що знаходиться переважно у стійких мінералах, має тенденцію до меншого виносу з верхніх зон і накопиченню в проміжних.

Вивчення кір вивітрювання різного типу в минулі роки на території колишнього СРСР дозволило встановити ряд закономірностей поведінки в них торію. Так, в корі вивітрювання каолінітового типу гранітів та в елювії гідролудистої стадії лужних трахітів ряду районів [15] вміст торію збільшується у 2-3 рази у порівнянні з незміненими породами. Тобто, відбувається відносне накопичення торію у корі вивітрювання в результаті його виносу на стадіях проміжного й кінцевого вилугування з корінних порід. Вивітрювання ефузивів до стадій проміжного вилугування також супроводжується виносом торію, і кількість його в елювії зон кінцевого вилугування різко збільшується. При цьому розподіл торію в елювії зон вилугування усіх профілей в загальних рисах співпадає з розподілом деяких рідкісних елементів, а, крім того, в профілях вивітрювання ефузивів – з розподілом оксиду алюмінію. Встановлено також, що глинисті мінерали каолінітової групи із зон вилугування гранітів іноді значно збагачені рухомим торієм. Вміст рухомого торію знаходиться у прямій залежності від обводнення глинистих мінералів [15].

Таким чином, короутворення на кристалічних породах супроводжується міграцією торію з утворенням вторинних акумуляцій, а в разі вивітрювання збагачених торієм порід ці вторинні акумуляції можуть досягати промислових концентрацій. З цієї точки зору особливої уваги заслуговують діючі каолінові комбіати. Таким об'єктом на території Українського

щита є Глухівецько-Турбівський рудний вузол – один з найбільших за площею, запасами та ресурсами каолінів, рідкісноземельних металів, торію та цирконію. У субстраті кори вивітрювання Глухівецько-Турбівського рудного вузла переважають граніти бердичівського комплексу з досить високим вмістом монациту та циркону. На площі розвитку бердичівських гранітів в корах вивітрювання вміст монациту подекуди сягає 5 кг/м^3 при середньому вмісті 100 г/м^3 . Додатковим джерелом концентрації цих мінералів у корі вивітрювання є кварц-польовошпатові метасоматити зон розривних порушень з циркон-рідкісноземельною мінералізацією; середній вміст циркону і монациту в них сягає кількох кілограмів на метр кубічний.

Особливої уваги заслуговує промислове освоєння відходів збагачення діючих каолінових комбінатів і вилучення з них рідкісних земель та торію. У відвалах Глухівецького комбінату середній вміст монациту складає 219 г/м^3 , а в пісках відвалів – в середньому 650 г/м^3 . Монацитовий концентрат тут містить 30-36 % TR_2O_3 . На Турбівському комбінаті в концентраті з піщаних фракцій відходів вміст монациту сягає 34 кг/м^3 при вмісті суми лантанодів переважно церій-лантанової групи 25,5 %. Вміст оксиду торію в монациті кір вивітрювання і корінних порід не перевищує 4,3 % [9]. Слід зазначити, що залишився не виясненим вихід піщаних фракцій з первинних каолінів і концентрату з цих фракцій. На Великогадоминецькому родовищі помітним є надлишок суми TR у пробах порівняно з концентраціями монациту до 60-84%. Згідно з [9] це наводить на думку, що там наявна концентрація рідкісних земель у немінеральній, а вірогідніше – у іонно-адсорбційній формі по типу рідкісноземельних іонних руд у корах вивітрювання Китаю. Мінерагенічний потенціал монациту та циркону в запасах і ресурсах каоліну дуже великий.

Аналіз рудоносності кори вивітрювання УЩ, проведений [8], дозволив провести металогенічне районування і виділити рудні райони, розшифрувати деталі їх будови, визначити закономірності розподілу рудних формацій та прогнозні площі різного ступеню перспективності. Встановлено, що торій найбільш характерний для Подільського та Приазовського рудних районів. Але разом з тим він присутній і в інших рудних районах у корах вивітрювання гранітоїдів з високим вмістом монациту. В басейнах річок Інгул, Інгулець, Мертвовод кора вивітрювання гранітоїдів кіровоградського та новоукраїнського комплексів і, особливо, пегматитів в окремих пробах містить до 12 кг/м^3 монациту, але розміри цих ділянок незначні і помітні алювіальні чи делювіальні розсипи з ними не пов'язані.

Високі концентрації монациту були встановлені аеропошуковими роботами [10] у корі вивітрювання різних комплексів докембрійських порід на значній території в басейнах річок Березівка, Бокова і Боковенька. Максимальний вміст монациту у корінних породах – 1500 г/т . В процесі руйнування вказаних порід в делювії сформувались скупчення монациту лінзовидної форми значно більші за розмірами та вмістом мінералу, ніж в корінних породах. Площа „рудних” тіл – 40-45 м на 40-70 м, потужність – 0,2-2,0 м, концентрація монациту становить 1800 – 3000 г/т. В асоціації з монацитом простежується підвищений вміст циркону (до 100-150 г/т) та ксенотиму (до 35 г/т). Мінералогічний аналіз показав, що монацити з корінних порід, кори вивітрювання та делювію в загальних рисах однотипні, але дещо різняться за окрасою: від солом'яно-жовтої, прозорої до червоно-бурої, непрозорої. Темніша окраса пояснюється підвищеним вмістом торію. Зустрічаються кристали монациту молочно-білі за рахунок домішки барію (десяті долі відсотку) та включень бариту. Всі різновиди монациту містять цілі відсотки церію, лантану, ітрію, соті долі титану, хрому, марганцю, тисячні долі галію, скандію, ітербію, сліди срібла та берилію. В деяких фракціях монациту містяться цілі відсотки свинцю. Радіоактивні супутники монациту – циркон та ксенотим, метаміктно змінені, містять уран.

Торій у гідрогенних (екзогенних та полігенних) уранових родовищах. Торій постійно присутній у гідрогенних (екзогенних та полігенних) родовищах урану у тій або іншій кількості. Це пояснюється, перш за все, спільними джерелами надходження металів у підземні води, яким належить провідна роль у рудоутворенні.

На інфільтраційних родовищах неогенової епохи уранового рудоутворення на території УЩ незмінні породи бучацької світи містять торій у кількості два – чотири кларків концентрації. В уранових рудах вміст торію дещо зростає, але рудних концентрацій не досягає. Торій міститься у глинистій та вуглистій речовині та у важкій фракції в монацитах і цирконах.

У континентальних відкладах нижньої крейди (неоком -апт) на південному схилі УЩ, Новоодеський, Вісунський і Молочанський рудопрояви урану, і ряд аномальних точок мають підвищений вміст торію. Вони розташовані у давніх долинах на поверхні кристалічного щита, породи якого на даній території характеризуються приблизно однаковим вмістом урану (близько $4 \cdot 10^{-4}$ %), але різним вмістом торію. Торієм збагачені кристалічні породи в західній частині схилу (близько $40 \cdot 10^{-4}$ % в порівнянні з $10\text{--}12 \cdot 10^{-4}$ % у середній і східній частинах).

Кора вивітрювання характеризується більш різноманітним вмістом урану і торію. Спостерігається збагачення ураном майже вдвічі автохтонної (в середньому $9,5 \cdot 10^{-4}$ %) і ще більшою мірою алохтонної (в середньому $16,7 \cdot 10^{-4}$ %) кори в західній частині схилу і різке зростання вмісту торію в алохтонній корі ($48,7 \cdot 10^{-4}$ %) у середній частині схилу [11].

Взагалі увесь комплекс неоком-апту на південному схилі УЩ тісно пов'язаний з доранньокрейдовою каоліновою корою вивітрювання й складений продуктами її перевідкладення. Спостерігається також спадковість вмісту урану, торію та інших елементів у ряду перетворень: породи фундаменту – автохтонна кора вивітрювання – алохтонна кора вивітрювання – осадові породи нижньої пачки рудовмісної товщі.

У відкладах нижньої крейди в цілому середній вміст торію зменшується з заходу на схід на протязі 500 км від Новоодеської грабен-западини до Молочанської і складає

$37,7 \cdot 10^{-4}$ % у нижній (базальній) пачці відкладів неоком-апту і $12,8 \cdot 10^{-4}$ % у верхній. Ця тенденція зберігається як для нижньої і верхньої пачок крейди в цілому, так і для окремих літологічних і фаціальних різновидів порід.

У нижній пачці найбільш збагачені торієм каолінові глини, приблизно в 2-2,5 рази в порівнянні з древніми ґрунтами, і в 3 рази в порівнянні з пролювіальними пісковиками. Ця тенденція, при різних середніх вмістах торію в каолінових глинах, простежується на всьому протязі південного схилу УЩ. Мабуть, поряд з присутністю торійвмісних мінералів, торій знаходиться в сорбованій формі в каолініті.

Серед порід верхньої пачки піски і пісковики пролювіальні та прибережно-морського генезису (конуси виносу в море) найбільш збагачені торієм – $25,0 \cdot 10^{-4}$ % Th. Трохи нижче вміст торію у озерних та лиманних чорних глинах і помітно нижчими середніми вмістами торію відрізняються лиманні чорні і білі кварцові піски – $7,0\text{--}5,5 \cdot 10^{-4}$ %. У морських відкладах крейди, що перекривають товщу апта, відзначається зменшення вмісту торію від теригенних порід альбу до крем'янистих пород сеноману і далі – до карбонатних порід турону – від $10,6$ до $2,8 \cdot 10^{-4}$ % [11].

Відносно високі концентрації торію приурочені до підніжжя давніх піднятих фундаменту і до верхівів палеодолин, зменшуючись у напрямку осьових частин останніх. Осадконакопичення відбувалося в зоні слабо розчленованого прибережжя. Близька область знесення продуктів каолінової кори вивітрювання і перенесення кластичного матеріалу водними потоками зумовили накопичення стійких до вивітрювання мінералів і серед них уран-торійвмісних – циркону, ортиту, цоїзиту. Крім того, міграція торію з областей зносу здійснювалася, ймовірно, в розчинах й суспензіях, зокрема, в сорбованому вигляді на каолініті, про що свідчить підвищений вміст в ньому торію.

Найбільш значні концентрації торію простежуються у полігенних родовищах урану, де крім екзогенних процесів мають місце глибинні фактори, що призводять до рудоутворення. Найбільш яскравий приклад (і поки що єдиний на території УЩ) становить Миколаївське торій-уранове родовище в зоні зчленування щита з Донецькою складчастою спорудою, де в базальних пісковиках девону, що залягають на кристалічному фундаменті, відомий цілий ряд уранових рудопоявів, характерною особливістю яких є асоціація

уранової мінералізації з торієм [2].

Торій-уранове зруденіння Миколаївського родовища приурочене до базального астероксилонного горизонту ейфельського ярусу середнього девону, що залягає на метаморфічних породах докембрійського фундаменту і слабо метаморфізований корі вивітрювання і перекритий (незгідно) відкладами живетського, франського і фаменського ярусів середнього і верхнього девону. Зруденіння утворює в плані переривисту смугу північно-західного простягання, що має пересічне положення по відношенню до контакту палеозою з докембрієм. У південно-східній частині родовища зруденіння розкрито на контакті докембрію з палеозоєм під чохлам четвертинних відкладів, а в північно-західній частині воно віддалене від контакту на 1,5-2 км. і встановлене на глибині 200-250 м. В межах описуваної смуги, що має протяжність 10 км, ширину від декількох сотень метрів до 1 км і потужність зрудених порід від 1 до 6 м, зруденіння розподілене нерівномірно, з частим чергуванням багатших і бідніших ділянок. Найбільш збагачені ураном і торієм (а також барієм, стронцієм, свинцем) грубозернисті алювіальні пісковики і підгірно-віялові конгломерати, в меншій мірі – заплавні і віяло-відстійні глинисті породи (зеленувато-сірі аргіліти), а також верхня частина гідрослюдистої зони кори вивітрювання і зона дезінтеграції порід фундаменту. Пластоподібні поклади торій-уранових руд в плані перетинають фаціальні межі, переходять з одного літологічного типу порід в інший, захоплюючи і кору вивітрювання. Глибина залягання рудних тіл – 100-150 м (до 450 м). Вміст урану в рудах – від 0,02 до 1,2 % (в середньому – соті частки відсотка), вміст торію звичайно 0,015-0,03 %, рідко досягає 3,5%. Концентрація торію в рудних покладах зменшується із заходу на схід, а також вниз по падінню відкладів приблизно в 4 рази, тоді як вміст урану залишається більш менш постійним. Торієва мінералізація по відношенню до уранової займає вище гіпсометричне положення в рудному пласті, тобто основна кількість торію знаходиться ближче до виходу голів пластів. В межах рудного поля відомі уранові прояви, в яких відсутній підвищений вміст торію.

Склад рудоносних псефіто-псамітових порід – кварцовий, польовошпато-кварцовий і кварц-польовошпатовий, цемент гідрослюдистий (у складі гідрослюд переважає ілліт), гідроксидно-гідрослюдистий (гідрогетит, гематит, псиломелан, ілліт). Зустрічається монтморилоніт, рідко – каолініт. Рудні пісковики переважно середньозернисті, погано відсортовані. У них зустрічаються залишки псилофітової флори, що обвуглилися, у вигляді детриту, розташованого по шаруватості порід, і бітумами, що заповнюють пори. За даними бітумінологічного аналізу, пісковики містять бітуму А – 0,051 %, бітуму С – 0,083 %, гумінових кислот – 0,05 %. Вторинні процеси – це озалізнєння, окварцювання, в меншій мірі – серицитизація, каолінізація, карбонатизація, пелітизація і баритизація.

Основна кількість урану і торію не утворює видимої мінеральної форми і знаходиться, швидше за все, в сорбованому стані в цементі псефіто-псамітових порід в оксидах і гідроксидах заліза, марганцю, в гідрослюдах, монтморилоніті і вуглистій речовині. Встановлено, що в гідроксидах заліза міститься близько 70 % загальної кількості урану і більше 90% торію, в глинисто-гідрослюдистій речовині – 3-4 % урану і 2-3 % торію, у вуглистій речовині – 4-5 % урану. Частина урану і торію знаходиться в мінеральній формі. Мінеральні форми урану представлені настураном (менше 1% загальної кількості урану) і урановою черню (близько 20 %), торію – ураноторитом і феритоторитом (2-3 % загальної кількості торію). Близько 1 % урану міститься в лейкоксені і ураноториті, 3-5 % загальної кількості торію входить до складу циркону і монациту.

Відмічена пряма залежність вмісту торію і заліза. Спостереження рудного пласта в розвідувальній шахті показало, що підвищені торієві концентрації розташовуються в ділянках найбільш інтенсивного озалізнєння. Мінеральні форми торію (ураноторит і феритоторит) встановлені за допомогою електродіалізу, рентгенографічного і мінералогічного аналізів. Ураноторит присутній тільки в цементі пісковиків в асоціації з тонкодисперсними гідроксидами заліза, дрібнозернистим апатитом і гідроксидами марганцю типу псиломеланваду і ніколи не спостерігається у складі кластогенних зерен. В ураноториті міститься 0,7-1,8% урану і 1,2-2,98 % рідкісноземельних елементів.

На думку З.О. Некрасової [2], яка вивчала торієву мінералізацію на Миколаївському родовищі, ураноторит належить до гіпергенних утворень. Про це свідчить: 1) наявність торію в ореолах свердловин, що розкривають водоносний горизонт в пісковицях ейфельського ярусу і самовиливаються на денну поверхню; 2) присутність ураноториту тільки в цементі кластогенних порід; 3) тісний зв'язок ураноториту з гідроксидами заліза гіпергенного походження. Це в певній мірі пояснює більш високе положення торію в пласті по відношенню до урану. Очевидно, торій відкладався раніше за більш рухомий уран при нижчих значеннях рН і при позитивних, але близьких до нульових значень Eh.

Під час розвідки Миколаївського родовища були проведені детальні експериментальні дослідження умов міграції Th у водах зони гіпергенезу [2]. Вилуговування торію здійснювалось з пісковиць із вмістом ThO_2 0,058 % та з концентрату із 2,65 % ThO_2 розчинами, близькими за складом до природних вод зони гіпергенезу, в різних температурних та газових режимах. В результаті експериментів встановлено, що цими розчинами вилуговується 0,04 – 8,0 % Th. Присутність у водах різних газів призводить до підвищення інтенсивності вилуговування. Найбільша кількість Th вилуговується кислими та карбонатними розчинами. В той же час вплив аніонного складу розчинів на вилуговування однаковий при кімнатній температурі та при 100°C.

Можна припустити, що фіксація урану і торію в цементі пісковиць, збагаченому залізом і марганцем, відбулася на ранніх стадіях літогенезу. Подальші процеси метагенезу і гідротермальних перетворень призвели до виникнення в осадових породах кварцового цементу регенерації і перерозподілу урану і торію. Ізометричні зерна новоутвореного кварцу включають напівокатані уламки кластогенного кварцу, оточені облямівкою реліктів гідрослюдисто-залізного цементу, який містить уран і торій. Одночасно з регенерацією кварцу внаслідок руйнування цементу відбувалося вивільнення урану і перевідкладення в міжзерновому просторі у вигляді настурану.

Визначення віку уран-торієвого зруденіння ізотопно-спектральним і свинцево-урановим методом дає розкид від 139 до 572 млн. років [2], в середньому 320 ± 60 млн. років. Отже, процес рудоутворення у відкладах ейфельського ярусу відбувався на ранніх стадіях літогенезу протягом середнього і пізнього девону, з подальшими перетвореннями при метагенезі і можливій участі гідротермальних процесів. Про полігенне походження зруденіння за участю як екзогенних, так і глибинних процесів свідчать такі факти, як:

- широкий площинний розвиток уран-торієвого зруденіння в базальних відкладах девону різної фаціальної приналежності;
- концентрація руд поблизу нижньої межі зони гіпергенезу з утворенням ролів, мішкоподібних покладів і дрібної вкрапленості;
- часте розташування мінералізації на межі окислених і відновлених порід;
- наявність торію в ореолах свердловин, що само виливаються, і постійна асоціація його з гідроксидами марганцю;
- і в той же час приуроченість уранової мінералізації (оксидів) в основному до тріщин при асоціації з дрібнозернистими агрегатами сульфідів заліза і апатиту, рідше – з баритом, флюоритом, хлоритом і гематитом.

На завершення слід зазначити, що наявність торію у гідрогенних та полігенних родовищах урану має, скоріше за все, науковий інтерес з точки зору розшифровки закономірностей рудоутворення. Супутнє з ураном видобування торію потребує розробки спеціальних технологій.

Торій у розсипах. Розсипні родовища торію, які формувалися у гіпергенних умовах в різні геологічні епохи, становлять основний промисловий потенціал цього металу в світі. Вони репрезентовані елювіальними, алювіальними, алювіально-делювіальними та прибережно-морськими розсипами. Елювіальні пов'язані з мезо-кайнозойськими кораами вивітрювання мігматитів, карбонатитів, пегматитів, гранітів та сієнітів, збагачених монацитом, пірохлором, торитом та іншими торійвмісними мінералами. Ці розсипи не мають

значних масштабів і відпрацьовуються попутно при розробці корінних рідкіснометалевих родовищ. Алювіальні розсипи формуються за рахунок елювіальних та елювіально-делювіальних продуктів вивітрювання головним чином монацитонесних порід і займають помітне місце у видобутку монациту в ряді країн. Основним промисловим типом світових родовищ торію є прибережно-морські берегові монацитовмісні розсипи четвертинного (головним чином сучасного) віку, що зазвичай супроводжуються еоловими дюнними розсипами. Значно менш вивчені поховані розсипи цього типу третинного та мезозойського віку. Помітне місце у видобутку торію та рідкісноземельних елементів займають давні метаморфізовані розсипи [6].

В Україні рідкісноземельні, в т.ч. і торієві, розсипи інтенсивно вивчалися в 40-50-і роки минулого сторіччя, коли створювалася вітчизняна сировинна база атомної промисловості. У ці роки в різних регіонах країни було виявлено певне число розсипів з торійвмісними мінералами. Відкрито і оцінено ряд монацитонесних розсипів, що розміщуються в межах районів, розташованих переважно в західній і східній (Приазовській) частинах Українського щита.

На підставі існуючих даних про вік рудопроявів торію та історію геологічного розвитку території УЩ рядом дослідників [1] виділені 7 періодів концентрації торію в докембрійських породах УЩ та його схилів. В тому числі, перший з них, ранньопротерозойський період (2400-2600 млн. років) пов'язаний з утворенням грубозернистих осадків у базальних горизонтах вулканогенно-осадових товщ, що залягають на архейському цоколі. Торій в них накопичувався механічним шляхом в результаті розмиву архейських гранітоїдів, які були збагачені торійвмісними мінералами. Пізніше ці древні розсипи були метаморфізовані разом із породами, що їх вміщують. Прикладом подібних утворень, що містять торій, є криворізька серія, дібровська світа.

Другий період формування древніх розсипів (з числа виділених семи періодів накопичення торію в докембрії) – це пізньопротерозойський період (600-900 млн. років) – час формування грубозернистих відкладів венду у прирозломних западинах, врізаних в поверхню кристалічного архей-протерозойського фундаменту на західному та північно-західному схилах УЩ, а можливо, і в Білокорівчеській западині. Одночасно з цими осадками внаслідок розмиву порід фундаменту відбувалася концентрація стійких в екзогенних умовах торійвмісних мінералів.

Відповідно до розміщення монацитовмісних комплексів докембрійського фундаменту УЩ в його межах виділені 6 районів розвитку монацитових розсипів: Казатинський, Придністровський, Побузький, Інгуло-Інгулецький, Вовчанський, Приазовський [14]. Майже всі розсипи різних типів в породах різного віку розташовані в межах цих районів або тяжіють до них. Безпосереднім джерелом при формуванні розсипів були кори вивітрювання. Наприклад, на Тетеріво-Бузькому вододілі невеликі розсипи елювіально-делювіального і алювіального типів четвертинного віку безпосередньо пов'язані з дрібними покладами монациту в корах вивітрювання. На північному схилі УЩ відомі невеликі алювіальні розсипи з вмістом монациту до 232 г/м^3 . Розвідані невеликі елювіальні розсипи в районі с. Васильківки з вмістом монациту 273 г/м^3 . В Центральному та Східному Приазов'ї монацитонесний елювій розвинений у верхів'ях р. Мокрі Яли та на ділянці Катеринівського масиву гранітів, а також в басейнах річок Кальчик та Берда. Тут навіть підраховані невеликі запаси монациту в зоні дезінтеграції пегматитів, де вміст монациту іноді досягає $5,4 \text{ кг/м}^3$, але розміри цих ділянок малі.

На південно-західному схилі УЩ відомі поховані континентальні розсипи венду. Середній вміст торію в них сягає 0,069 % на потужність 0,97 м (Новоушицький вузол), а максимальні параметри зруденіння на одному з рудопроявів складають 0,075% на потужність 4,3 м. Серед палеозойських утворень треба відмітити відклади силуру в Придністров'ї, де місцями вміст монациту в похованих розсипах складає 250 г/м^3 , а також пізнього девону в зоні зчленування Донбасу з Приазовським мегаблоком УЩ [2].

Мезозойські утворення околиць УЩ також в цілому слабо збагачені монацитом. В окремих місцях південного борту ДДЗ в утвореннях середнього та раннього карбону вміст торію досягає 0,03%, що пов'язане з наявністю монациту та ортиту. Монацит відмічений в тріасових відкладах південного борту ДДЗ і в так званих «шарах Вержиківського» пізньої крейди в районі міста Канева, де вміст його досягає 500 г/м³. В кайнозойських відкладах монацит зустрінутий в породах полтавської світи в басейні річки Синюхи (до 378 г/м³), на Вовчанському виступі (до 500 г/м³), в північній частині Конксько-Ялинської западини (в окремих пробах до 1 кг/м³), в басейні р. Гайчур (до 460 г/м³). В басейні р. Конки в окремих пробах вміст монациту досягає 0,8-1,6 кг/м³, а в басейні р. Молочної – 1,4 кг/м³. В неогені монацитом збагачені відклади сарматського ярусу в басейнах річок Бугу і Дністра (до 200 г/м³), особливо багато дрібних, збагачених монацитом, ділянок в Нижньому Побужжі (район м. Первомайськ), де в окремих пробах вміст його досягає 4 кг/м³. В межах Вовчанського виступу, північно-західного та південного схилів приазовської частини УЩ у відкладах неогену місцями також відмічений вміст монациту до 450-500 г/м³. Сучасні прибережно-морські розсипи монациту відомі на узбережжях Азовського та Чорного морів, але вони характеризуються складною морфологією, малими потужностями, частим перемивом у хвилюприбійній зоні і в цілому низьким вмістом цього мінералу.

Як видно з викладеного, найбільш насичені монацитом третинні відклади та кори вивітрювання порід фундаменту УЩ, а найбільш високим вмістом монациту відрізняються різновікові та різнотипові розсипи Приазов'я. Проте все це дрібні об'єкти в цілому з низьким вмістом корисного компоненту, що не мають промислового значення, особливо якщо врахувати, що за бортове значення вмісту монациту в поверхневих розсипах приймається 1500 г/м³ [5]. Слід відмітити, що за даними цього ж дослідника при урахуванні торію в комплексних титан-цирконієвих та інших розсипах нижньою межею слід рахувати вміст монациту на рівні 0,5 кг/м³. За даними [13, 14] сумарні ресурси монациту в третинних розсипах УЩ оцінюються в 4900 т. Що стосується прибережно-морських розсипів у межах ДДЗ, то за тими ж даними їх ресурси оцінюються в 24 800 т монациту. Загальні ресурси монациту в третинних розсипах УЩ та прилягаючої території ДДЗ складають 29 700 т. Якщо врахувати, що вміст торію в монацитах гранітоїдів бердичівського комплексу коливається в межах від 3,8 до 12,4 %, кіровоградського складає 6-7 %, новоукраїнського 7 %, мокромосковського і анадольського 8-10 %, то ресурси торію в згаданих розсипах можна оцінити дуже скромною величиною, що не перевищує 3000 т.

Разом з тим слід відмітити, що незважаючи на негативну оцінку виявлених розсипів в межах УЩ, Україна в цілому, враховуючи інші регіони та інші генетичні типи рудопроявів торію, володіє певними ресурсами, реалізація яких, ймовірно, здатна повністю задовольнити її внутрішні потреби в торії і створити належну мінерально-сировинну базу.

Висновки

Виявлення закономірностей міграції і концентрації торію в зоні гіпергенезу на території Українського щита має певний науковий та практичний інтерес у зв'язку з тим, що основний промисловий потенціал торію в світі становлять розсипні його родовища, які формувалися у гіпергенних умовах в різні геологічні епохи, в тому числі і в докембрії.

Основні значущі концентрації торію в осадовому чохлах УЩ відомі у корі вивітрювання кристалічних порід та делювіальних і елювіальних розсипах ближнього зносу, як правило, генетично пов'язаних з концентраціями торію у корах вивітрювання, де торій представлений стійкими до вивітрювання, переважно торійвмісними мінералами: твердими (Н > 5) безводними малорозчинними у воді, слабких кислотах та лугах фосфатами (монацит, ксенотим), оксидами (лопаріт) та силікатами (ортит, циркон).

Лабораторні дослідження по вилуговуванню торію з порід свідчать про його можливу міграцію у гіпергенному процесі із помірно лужними та кислими водами. В екзогенних умовах торій мігрує переважно в іонній формі, хоча певна роль належить колоїдним розчинам. При цьому торій свою валентність не міняє, на відміну від урану.

В зоні гіпергенезу торій, як правило, не формує власних мінералів. Вилучений з ендегенних утворень в розчиненому стані, він або розсіюється, або адсорбується на гідроксидах Fe, Mn, Al. Як виняток, можна навести факт встановлення ураноториту та ферриториту в зоні окислення на Миколаївському торій-урановому родовищі. Зазвичай в каолінах, бокситах та глинах вміст торію, мінералогічні форми знаходження й співвідношення з іншими елементами (гідролізаторами) наслідуються з кори вивітрювання, що залягає нижче. Експериментальними роботами встановлено, що вміст торію в бокситах залежить від концентрації глинозему, а глинисті мінерали каолінітової групи із зон вилугування гранітів іноді значно збагачені рухомим торієм. Вміст рухомого торію знаходиться у прямій залежності від обводнення глинистих мінералів.

Вміст торію в корах вивітрювання напряму залежить від вмісту його в кристалічних породах, а також від розподілу його під впливом гіпергенних процесів. При цьому відбувається відносно накопичення торію у корі вивітрювання в результаті його виносу на стадіях проміжного й кінцевого вилугування з корінних порід. На території УЩ до монацитонесних комплексів відносяться гранітоїди бердичівського, житомирського, уманського, кіровоградського, новоукраїнського, анадольського комплексів, а також чарнокіти побузького та ендербіти гайворонського комплексів. Найбільш характерний торій для Подільського та Приазовського рудних районів.

Короутворення супроводжується формуванням вторинних акумуляцій торію, які можуть досягати промислових концентрацій. З цієї точки зору особливої уваги заслуговують діючі каолінові комбінати (Глухівецько-Турбівський рудний вузол та інші), де у відвалах середній вміст монациту складає 219 г/м³, а в пісках відвалів – в середньому 650 г/м³. Монацитовий концентрат тут містить 30-36 % TR₂O₃.

Торій постійно присутній у гідрогенних (екзогенних та полігенних) родовищах урану у тій або іншій кількості. Це пояснюється, перш за все, спільними джерелами надходження металів у підземні води, яким належить провідна роль у рудоутворенні.

Основний промисловий потенціал торію в світі становлять розсіпні (елювіальні, алювіальні, алювіально-делювіальні та прибережно-морські) родовища, які формувалися у гіпергенних умовах в різні геологічні епохи. На території УЩ найбільш насичені монацитом третинні відклади, а найбільш високим вмістом монациту відрізняються різновікові та різнотипові розсипи Приазов'я.

Взагалі слід відзначити, що Україна в цілому, враховуючи інші регіони та інші генетичні типи рудопроявів торію, володіє певними ресурсами, реалізація яких, ймовірно, здатна повністю задовольнити її внутрішні потреби в торії і створити належну мінерально-сировинну базу.

1. *Анисимов В.А., Кузьмин А.В.* Ториеносность докембрийских пород Украинского щита и его склонов / Геол...журн. – 2007. -№3. - С. 51-58)
2. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Отв. ред. Белевцев Я.Н., Коваль В.Б. – К.: Наук. думка, 1995. – 395 с.
3. *Герасимов Ю.Г., Кутас Р.И.* Вертикальное распределение радиоэлементов в земной коре Украинского щита. Препринт ИГФМ – 81. Киев, 1981, 34 с.
4. *Герасимов Ю.Г., Сонкин Л.С., Завьялова Н.Н.* Распределение радиоактивных и малых элементов в коре выветривания Чудново-Бердичевских гранитов Украинского щита // Радиоактивные элементы в горных породах ч.1, Новосибирск – 1972. - С.49-50.
5. *Котова В.М.* Минерально-сырьевая база тория и перспективы ее использования в ядерной энергетике России в XXI веке. Фонд КП «Кировгеология». 2000.
6. *Куліш Є.О.* та ін. Наукове обґрунтування шляхів розширення і вдосконалення мінерально-сировинної бази урану і перспективи території України на виявлення родовищ торію. Ч.2 Перспективи території України на виявлення родовищ торію. -Звіт за проектом 2007-2008. Фонди ІГНС НАНУ. – 2008. - 125 с.
7. *Лаубенбах А.И. и др.* Уран, торий и калий в бокситах и возможности их использования для оценки перспектив бокситоносности. // Радиоактивные элементы в горных породах ч.1, Новосибирск – 1972 - . С.65-66.

8. *Лепігов Г.Д., Войновський А.С., Василенко А.П.* Металогенічне районування кори вивітрювання Українського щита. // Геологія і генезис рудних родовищ України. Матеріали наук.-техн. наради 27-29.04.2004 р., Київ.- С.23-25.
9. *Лепігов Г.Д., Василенко А.П.* Глуховецько–Турбівський рудний вузол (Геологічна будова, проблеми вивчення) / Мінеральні ресурси України. - 2005.- № 2. - С.13–15.
10. *Сушук Е.Г.* Перспективи поисків россыпей редкоземельных и радиоактивных минералов в осадочном чехле Украинского щита.//Збірник наук. праць ІГНС. – 2006 - №12. – С. 85-87.
11. *Сушук Е.Г.* Закономерности уранонакопления в ходе литогенеза базальных отложений раннего мела на южном склоне Украинского щита.//Збірник наук. праць ІГНС. – 2010. - № 18. – С. 73-79.
12. *Цибульчик В.М.* Поведение тория в коре выветривания основных пород и продуктах её переотложения (глинах и бокситах). //Радиоактивные элементы в горных породах ч.1, Новосибирск – 1972. - С. 64-65.
13. *Чирков И.В.* Ториеносные рудные формации СССР //Материалы по геологии урановых месторождений. Вып. 40 – Москва. – 1975.
14. *Чирков И.В.* Минерально-сырьевые ресурсы тория // Торий. Его сырьевые ресурсы, химия и технология. – Атомиздат.- Москва. – 1960. - С. 9-58.
15. *Шалмина Г.Г., Малясова З.В., Кривоуцкая Л.М., Корнева Т.А., Ковалева Л.Т.* Некоторые особенности поведения урана, радия, тория и калия в корях выветивания каолинового типа. //Радиоактивные элементы в горных породах ч.1, Новосибирск – 1972. - С.51-52.

Сушук Е.Г. ЗАКОНОМЕРНОСТ МИГРАЦИИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ТОРИЯ В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНСКОГО ЩИТА.

Миграция тория в зоне гипергенеза на территории Украинского щита происходит в форме стойких к выветриванию минералов, содержащих торий, и в ионной форме с умеренно щелочными и кислыми водами. Концентрация тория в минеральной форме происходит преимущественно в корях выветривания кристаллических пород с образованием вторичных аккумуляций и в россыпях различного типа и возраста. Подвижным торием обогащаются глинистые минералы каолиновой группы кор выветривания, гидроокислы алюминия бокситов и гидроокислы железа и марганца в гидрогенных урановых месторождениях.

Sushchuk K.G. MIGRATION PATTERNS AND THORIUM CONCENTRATION IN THE HYPERGENESIS ZONE ON THE TERRITORY OF UKRAINIAN SHIELD.

Migration of thorium in the hypergenesis zone on the territory of Ukrainian shield occurs in form of resistant-to-weathering minerals which contain thorium, and in ionic form with medium alkaline and acidic waters. Thorium concentration in mineral form occurs mainly in the residual soil of crystalline rocks with formation of secondary accumulations in the placers of various types and ages. Movable thorium enriches clay minerals of kaolin group of residual soil, aluminum hydroxides of bauxites and hydroxides of iron and manganese in hydrogenic uranium deposits.