

Відгук
офіційного опонента Синицина Василя Олександровича
на дисертацію Карли Захара Вадимовича
**«Геохімія рідкісноземельно-уран-торієвих рудопроявів західної частини
Українського щита»**, представлену на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук за спеціальністю 04-00-02 – геохімія

В межах України відомо два геолого-промислові типи уранових родовищ: уран-натрієвий (альбітитовий) та пісковиковий (в осадовому чохла фанерозою). Обидва типи родовищ розробляються тривалий час, і на багатьох із них видобуток руди не вирізняється економічною ефективністю. В зв'язку з цим виникає необхідність переоцінки ресурсів та запасів уранових руд в родовищах, які не входили до групи геолого-промислових. До таких відносяться родовища калій-уранової формації, які відомі в Голованівській шовній зоні (Калинівське, Лозуватське, Остапівське та Южне). Останніми роками рудопрояви цієї формації відкриті і в інших мегаблоках Українського щита (УЩ): у Волинському – Безіменний, у Дністровсько-Бузькому – Хмільницький та Заваллівський, у Росинсько-Тікицькому – Гайворонський. Ці родовища та рудопрояви локалізовані в гнейсово-мігматитових товщах, що знаходяться в зонах тектонічних порушень УЩ. Специфічною особливістю цих родовищ є кремнієво-калієвий характер рудоносних метасоматитів та контрастний і комплексний характер зруденіння. Уранові мінерали в таких рудах сильно збагачені торієм ($\text{ThO}_2 = 9-10\%$), окрім того вони асоціюють з Ce, REE, Mo, Bi, що знаходяться в промисловій кількості.

Саме вивченню речовинного складу нових рудопроявів калій-уранової формації і присвячена дисертаційна робота З.В. Карли.

Необхідність надійного прогнозу для виявлення найбільш перспективних геологічних ділянок на пошуки та розвідку REE-U-Th зруденіння в докембрії УЩ зумовлює **актуальність** поданої роботи.

Метою дисертаційної роботи є геохімічне, ізотопно-геохімічне та рудно-мінералогічне дослідження речовинного складу REE-U-Th метасоматитів та з'ясування головних закономірностей їх утворення в докембрійських комплексах західної частини УЩ. Основні завдання досліджень: 1) виконати геохімічні дослідження розподілу U, REE, Th, Mo і Bi у рудоносних метасоматитах та породах, що їх вміщують; 2) виявити характерні ознаки головних мінералів-концентраторів U, REE, Th, Mo і Bi; 3) визначити вікові межі формування рудоносних апліто-пегматоїдних гранітів та пов'язаних з ними кремнієво-калієвих метасоматитів.

Особистий внесок здобувача. Робота виконана у відділі геології та геохімії рудних родовищ ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, під час навчання в аспірантурі з відривом від виробництва. Польові роботи на рудоносних об'єктах та дослідження речовинного складу REE-U-Th метасоматитів, в тому числі петрографічні, рудно-мінералогічні виконані автором самостійно. Автором дисертації самостійно проаналізовано та

узагальнено результати великого масиву аналітичних даних (мікрозондових вимірювань, визначень вмісту рудних та петрогенних елементів, а також ізотопно-геохімічних характеристик). Як впливає з тексту дисертації та переліку авторських публікацій, значна частина нової аналітичної інформації отримувалась за співучасті З.В. Карли. Автором сформульовані ідеї, мета, завдання та висновки дисертаційної роботи, а також розроблені рекомендації щодо практичного застосування отриманих результатів. Здобутки автора за темою дисертації відображені у нижче зазначених публікаціях у фахових виданнях та матеріалах доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 4-х розділів, висновків та списку використаної літератури. Повний обсяг дисертації складає 150 сторінок, в тому числі 42 рисунки, 57 таблиць і 36 найменувань джерел використаної літератури.

Зміст роботи. У першому розділі «Геолого-структурні умови локалізації та речовинний склад рідкісноземельно-уран-торієвих рудопроявів в мегаструктурах Українського щита» наведено опис просторового розміщення рудопроявів та родовищ калій-уранової формації на території УЩ на основі прийнятого геолого-структурного районування в межах Волинського, Росинсько-Тікицького, Дністровсько-Бузького мегаблоків та в Голованівській шовній зоні. При описі геолого-структурних умов локалізації конкретних рудопроявів у розділі наводяться достатньо детальні геолого-структурні карти та схеми, що базуються на використанні та узагальненні результатів робіт виробничих геологічних організацій, даних, наведених в літературних джерелах, а також з використанням результатів польових робіт, проведених автором на низці об'єктів. Ці графічні матеріали наглядно показують геологічну позицію досліджених рудопроявів серед різноформаційних комплексів порід.

Основні висновки автора щодо аналізу геолого-структурних умов локалізації REE-U-Th мінералізації полягають в тому, що в західній частині УЩ головними рудолокалізуючими структурами є вузли перетину систем розломів північно-західного і північно-східного напрямів. Автор розглядає ці вузли як важливий фактор, що сприяв активній магматичній та постмагматичній гідротермально-метасоматичній діяльності, з якою пов'язано утворення метасоматитів калій-уранової формації. Автором встановлена чітка приуроченість кремнієво-калієвих метасоматитів до синклінальних структур (Кочерівської, Заваллівської та Братської). В цих структурах поширені графітовмісні гнейси та кристалосланці, в контакті апліто-пегматоїдних гранітів з якими і локалізуються рудоносні метасоматити.

У Розділі II «Геохімічні особливості рудоносних метасоматитів та вміщуючих порід» автор висвітлює геохімічні особливості порід, що вміщують REE-U-Th рудопрояви.

Для геохімічної характеристики вмісних порід та рудоносних кремнієво-калієвих метасоматитів автором виділяються дві групи елементів: 1 – Th, U, Bi, Mo, Pb; і 2 – Cr, Ni, Co, Cu, Zn, V, Sc. Перша – це елементи-

індикатори REE-U-Th родовищ калій-уранової формації. Друга є характерною для metabазитів і метапелітів, що дуже поширені серед метаморфічних порід і з якими знаходяться в тісній асоціації плагіограніти. Обидві групи елементів виразно демонструють генетичні особливості всього комплексу порід. Найбільш збагачені елементами першої групи апопегматитові кварц-біотит-мікроклінові та приконтантові гранат-біотит-силіманітові і кварц-біотит-олігоклаз-кумінгтонітові метасоматити. Приконтантові метасоматити спостерігаються на контакті графітовмісних гнейсів і суттєво мікроклінових пегматитів. Найбагатші за вмістом корисних компонентів і спектру мінеральних різновидів є зони, де відбувається накладення процесів приконтантової збірної перекристалізації графітовміщуючих гнейсів, магнезійно-залізисто-калієвого метасоматозу та окварцювання.

Автор зазначає, що в графітовмісних гранат-біотитових гнейсах вміст Th, U, Bi, Mo підвищений порівняно з іншими типами метаморфітів. На підставі цього дисертант вважає, що графітовмісні гнейси є спеціалізованими на Th, U, Bi, Mo та, вірогідно, являються первинними органогенно-осадковими породами, за рахунок гранітизації яких утворились рудоносні апліто-пегматоїдні граніти та пов'язані з ними кремнієво-калієві та магнезійно-залізисто-калієві метасоматити.

На генетичний зв'язок між апліто-пегматоїдними гранітами і кремнієво-калієвими метасоматитами вказують просторовий зв'язок (приуроченість до одних і тих же інтрузивних тіл) та близькі значення первинних відношень $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ у вміщуючих породах та апліто-пегматоїдних гранітах.

У Розділі III «Мінерали-концентратори урану, торію, рідкісноземельних елементів та супутні рудні мінерали» дисертаційної роботи викладені результати рудно-мінералогічних досліджень REE-U-Th рудопроявів та родовищ у західній частині УЩ.

На підставі рудно-мінералогічних досліджень дисертантом виділяються наступні мінеральні типи рудної мінералізації: оксидна, рідкісноземельно-уран-торієва, сульфідна, арсенідна і молібдено-вісмутова. Кожен із цих типів добре обґрунтований численними мікрозондовими аналізами та електронно-мікроскопічними знімками. Особливо детально автором роботи досліджений мінеральний склад REE-U-Th мінералізації, яка представлена апатитом, цирконом, монацитом, торитом, ксенотимом, уранінітом, настураном, кофінітом, урановою черню, отенітом і скупітом. Як зазначає автор, процес формування рудної мінералізації в кремнієво-калієвих метасоматитах був багатостадійним (від високо-, середньо- до низькотемпературних рудних мінеральних асоціацій).

Цікавою є інформація про епігенетичну ураново-рудну мінералізацію Гпйворонського рудопояву. Дисертантом вперше для докембрію УЩ встановлена епігенетична урановорудна мінералізація в зонах тріщинуватості апліто-пегматоїдних гранітоїдів, яка по тектонічних розломах розповсюджується глибше 330 м. Цей факт свідчить про те, що процеси

гіпергенних змін порід відбуваються не тільки на поверхні кристалічного фундаменту, але і на великих глибинах в зонах тектонічних порушень. Тут під впливом як постмагматичних розчинів, так і метеорних вод, що поступають по розломах у вміщуючі гранітоїди, які збагачені монацитом, відбуваються тривалі процеси хімічного руйнування монациту і вилуговування з нього урану. Уран відкладається у вигляді низькотемпературних оксидів і гідроксидів, по тріщинках в яких поширені гідрослюдисто-карбонатні агрегати, оксиди заліза, оксиди марганцю. Окрім того, автором тут же виявлений раніше невідомий в докембрії УЩ дуже рідкісний мінерал коронадит.

Цей факт, встановлений дисертантом, має величезне значення при пошуках уранових родовищ інфільтраційного типу не тільки в зонах стратиграфічних неузгоджень, але і в межах тектонічних порушень, в яких широко розвинута лінійна кора вивітрювання, що поширена на значні глибини.

У Розділі IV «Ізотопно-геохімічні дослідження та визначення віку та генезису апліто-пегматоїдних гранітів та пов'язаних з ними рідкісноземельно-уран-торієвих метасоматитів» дисертаційної роботи наведено результати ізотопно-геохімічних досліджень рубідій-стронцієвої ізотопної системи порід та визначення U-Pb відношень у монацитах з REE-U-Th рудопроявів та родовищ західної частини УЩ.

В цьому розділі дисертантом наводяться результати ізотопно-геохімічних та радіогеохронологічних досліджень рудоносних апліто-пегматоїдних гранітів та пов'язаних з ними REE-U-Th метасоматитів. З метою визначення походження (кора – мантія) рудної речовини у відділі радіогеохронології ІГМР НАН України вивчено ізотопні системи порід Калинівського родовища та Лисогірського масиву, флюїдна система гранітоїдів якого спричинила формування рудної мінералізації на родовищі.

Як видно з отриманих дисертантом результатів, ε_{Sr} , розраховане на час формування метасоматитів, досить добре збігається з таким в гранітоїдах Лисогірського масиву, що дає підстави стверджувати про корове походження як гранітів, так і рудоносних метасоматитів та говорити про їх генетичний зв'язок.

Окрім того, автором досліджений ізотопний склад стронцію апатитів в кристалічних породах (гранітоїдах та гнейсах), що містили монацит (основний мінерал концентратор урану, рідкісноземельних елементів та торію) та ізотопні системи плагіоклазів.

Як видно з отриманих дисертантом даних, усі породи, що містять монацити, характеризуються досить високими значеннями ε_{Sr} , що свідчить про їх корове джерело.

Важливою є інформація про визначення часу формування REE-U-Th метасоматитів. Автором використовувалось U-Pb ізотопне датування за монацитом.

У результаті цих досліджень визначено, що в західній частині УЩ рудоносні апліто-пегматоїдні граніти та пов'язані з ними REE-U-Th

метасоматити кремнієво-калієвої формації були сформовані в широкому віковому інтервалі – 2080–1980 млн років. Волинський мегаблок – 2078 ± 2 млн р. (Безіменний рудопрояр); Росинсько-Тікицький мегаблок – $2035,4 \pm 3,8$ млн р. (Гайворонський рудопрояр); Дністровсько-Бузький мегаблок – $2038,8 \pm 8,2$ млн р. (Хмільницький рудопрояр) та $1981,2 \pm 8,4$ млн р. (Завалівський рудопрояр); Голованівська шовна зона – $2047 \pm 3,4$ млн р. (родовище «Балка Корабельна») та $2029 \pm 6,2$ млн р. (Калинівське родовище).

У висновках, наведених у дисертаційній роботі, автором сформульовано головні критерії локалізації REE-U-Th мінералізації в докембрійських комплексах УЩ – структурний, літологічний, магматичний, мінералогічний та ізотопно-геохімічний, які мають важливе значення при геолого-пошукових роботах

В цілому дисертація заслуговує позитивної оцінки. Дисертант в роботі виявив впевнене володіння методологією досліджень в геохімічній галузі (спеціальності, що захищається), в мінералогії та петрографії. Крім того, слід відзначити, що в цілому геохімічна робота спирається на великий об'єм структурно-геологічної інформації, в якій автор орієнтується достатньо професійно.

Проте, у рецензента, є низка зауважень щодо дисертаційної роботи З.В.Карли. В деяких розділах (зокрема в першому та четвертому) не достатньо чітко проводиться межа між особистими результатами автора та даними інтегрованими з літературних або інших джерел інформації. Хоча читач з контексту роботи доходить до висновків про особистий внесок автора, але це певною мірою утруднює цілісне сприйняття роботи. Інше загальне зауваження стосується загальної структури та порядку викладення матеріалу, що виражається зокрема в тому, що деякі констатації автора, які за змістом є узагальнюючими, подекуди (наприклад у розділі 1) висловлюються до повного викладу фактологічного матеріалу. Крім того, рецензенту важко погодитись з висновками З.В.Карли щодо оцінки кислотно-лужних властивостей метасоматичних розчинів, які він відносить до лужних, спираючись лише на те, що метасоматити вміщують більше лужних компонентів (калію) ніж вихідні породи. Дійсно це свідчить про калієву спеціалізацію розчину, але нічого не говорить про величину рН, яка задається концентрацією кислот. Тому при значних концентраціях калію, розчин може бути досить кислим, якщо в ньому концентрація кислоти (наприклад, соляної) теж є високою. Не досить вдалою також є термінологічне виокремлення метасоматитів з силіманітом, піроксеном та кумінгтонітом в особливу групу порід, що випадає з ряду калієвих метасоматитів. Проте ці «особливі» породи містять до 50% калієвого польового шпату.

В цілому наведені зауваження не впливають на високу оцінку дисертаційної роботи. Всі положення, що захищаються, обґрунтовані і достовірні, про що свідчать публікації в наукових фахових виданнях та в доповідях, що зроблені на міжнародних наукових конференціях. Автореферат за змістом і будовою відповідає основному тексту дисертації.

Підсумовуючи викладене вище, слід констатувати, що дисертаційна робота З.В. Карли "Геохімія рідкісноземельно-уран-торієвих рудопроявів західної частини Українського щита" відповідає п. 9, 11 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор - Карли Захар Вадимович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.02 - геохімія.

Офіційний опонент

кандидат геол.-мін. наук, с.н.с.,

завідувач науково-дослідної лабораторії

мінералого-геохімічних досліджень ННІ "Інститут геології"

Київського національного університету

ім. Тараса Шевченка

В.О. Синицин

*Підпис Синицина В.О.
завідуючого секретаря
Київського А.В.*

