

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Захара Вадимовича Карли
**“Геохімія рідкісноземельно-уран-торієвих рудопроявів західної частини
Українського щита”**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата
геологічних наук за спеціальністю 04.00.02 – геохімія

Актуальність теми дисертації. Останніми десятиріччями в Українському щиті відкрито і розвідано кілька нових рудопроявів калій-уранової формації постмагматичного рідкісноземельно-уран-торієвого (REE-U-Th) промислового типу. Їхня спільна риса – просторовий зв’язок з апліт-пегматоїдними гранітами зон палеопротерозойської тектоно-магматичної активізації і прожилково-вкраплений (штокверковий) характер багатих руд, промислове значення в яких належить мінералам урану, рідкісноземельних елементів, торію, молібдену і вісмуту – стратегічних металів як основи створення сучасних технологій у низці галузей промисловості. Тому дуже важливим є мінералого-петрографічне, геохімічне і радіогеохронологічне вивчення цих REE-U-Th рудопроявів. Разом з даними по середніх і крупних родовищах натрій-уранового альбітитового типу, частина з яких вже експлуатується, це сприятиме надійному прогнозу, пошукам і розвідці REE-U-Th зруденіння у докембрії Українського щита (УЩ).

Окреслені чинники й визначають актуальність теми дисертації З. В. Карли “Геохімія рідкісноземельно-уран-торієвих рудопроявів західної частини Українського щита”, яку виконували у рамках наукових тем Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України: “Геохімія, мінералогія та вік торій-уранового зруденіння докембрію Українського щита” (2006–2010 рр., ДР № 0106U000681), “Генезис уранових родовищ із центральної частини Українського щита” (2011–2015 рр., ДР № 0111U001015).

Дисертаційна робота повним обсягом 150 сторінок складається із вступу, 4 розділів, висновків та списку використаної літератури із 36 найменувань. Виклад супроводжується 42 рисунками і 57 таблицями. Рукопис структуровано відповідно до чинних вимог.

У розділі 1 “Геолого-структурні умови локалізації та речовинний склад рідкісноземельно-уран-торієвих рудопроявів в мегаструктурах Українського щита” наведено дані про поширеність, геолого-структурні умови локалізації та речовинний склад рудопроявів REE-U-Th мінералізації в межах УЩ, зокрема, вперше досліджених нових рудопроявів: Безіменного – у Волинському, Хмельницького і Завалівського – у Дністровсько-Бузькому, Гайворонського – у Росинсько-Тікицькому мегаблоках його західної частини.

REE-U-Th-мінералізація у “Безіменному” рудопрояві (південно-східна частина Кочерівської западини) локалізована в інтенсивно катаклязованих метаморфічних metabazитах нижньої підсвіти кочерівської світи і ультраметаморфічних гранітоїдах, в яких наявні прояви інтенсивного окварцювання, калішпатизації і біотитизації. Максимально ж контрастне зруденіння встановлено у штокверкових жилах і прожилках.

Хмельницький рудопрояв пов’язаний з масивом апліто-пегматоїдних гранітів (північно-західне обрамлення Літинського граніто-гнейсового купола на перетині Хмельницького північно-західного і Літинського північно-східного розломів другого порядку). В розрізі, розкритому свердловинами, переважають апліто-пегматоїдні двопольовошпатові граніти, апліти і пегматити мікроклінові. На рудопрояві автором виділяються апогранітні кремнієво-калієві метасоматити з підвищеним вмістом урану, торію та рідкісноземельних елементів.

У Завалівському рудопрояві (північно-східна частина однойменного родовища графіту), приуроченому до тіл апліто-пегматоїдних гранітів, що проривають метаморфічні породи хащувато-завалівської світи, вперше для родовищ калій-уранової формації виділені REE-U-Th магнезіально-залізисто-глиноземисті метасоматити гранат-біотит-силіманітового складу, які локалізовані в зонах катаклазу апліто-пегматоїдних гранітів.

У межах Гайворонського рудопрояву (південне обрамлення Уманського гранітного масиву) в катаклязованих апліто-пегматоїдних гранітах, пегматитах,

аплітах та апогранітних кварцитах зафіксовано найвищий вміст урану і торію. В зонках подрібнення і катаклазу гранітоїдів на гл. 326,9 м дисертантом вперше виявлено епігенетичну уранову чернь в асоціації із серицитом, каолінітом, лімонітом, манганітом та коронадитом.

У **розділі II** “Геохімічні особливості рудоносних метасоматитів та вміщуючих порід” висвітлено геохімію REE-U-Th рудопроявів західної частини УЩ. Автором з’ясовано, що формування REE-U-Th метасоматитів відбувалося під впливом рудогенерувальних гранітних інтрузій орогенного етапу розвитку УЩ, складених лейкократовими апліто-пегматоїдними гранітами, пегматитами і пов’язаними з ними кремнієво-калієвими, метасоматитами. Їхньою спільною рисою є невеликі розміри, куполо- і штокоподібна форма, січний характер контакту з вмісними породами. Ці граніти, на відміну від інших (“безрудних”), мають високий ступінь кремнекислотності та агпаїтності і низький ступінь окиснення заліза. Вони збагачені фтором і бором. Характерною рисою хімізму гранітів є перевага калію над натрієм і значний прояв процесів мікроклінізації та альбітизації. Кремнієво-калієві метасоматити відрізняються від апліто-пегматоїдних гранітів високим вмістом калію і значними варіаціями – кремнію.

Автором дисертації виділено два типи геохімічних асоціацій елементів – індикаторів процесу рудогенезу: перша – **Th, U, Bi, Mo, Pb** – характерна для уранових родовищ калій-уранової формації (палеопротерозойські апліто-пегматоїдні двопольовошпатові граніти, пегматити, апліти, кремнієво-калієві та магнезіально-залізисто-калієві метасоматити), друга – **Cr, Ni, Co, Cu, Zn, V, Sc** – характерна для метапелітів та метабазитів.

Інформативнішою є перша асоціація з такими характерними акцесорними мінералами як монацит і уранініт та появою у зонах катаклазу порід й інших низькотемпературніших уранових мінералів. Зазначається, що в графітовмісних гранат-біотитових гнейсах вміст Th, U, Bi, Mo підвищено, порівняно з іншими типами метаморфітів. Оскільки апліто-пегматоїдні граніти і пов’язані з ними

REE-U-Th метасоматити асоціюють з графітовмісними гнейсами і останні часто знаходять як релікти серед апліто-пегматоїдних гранітів, то автор допускає, що спеціалізовані на Th, U, Bi, Mo графітовмісні гнейси є первинними органогенно-осадовими породами, під час гранітизації яких утворилися рудоносні апліто-пегматоїдні граніти та пов'язані з ними кремнієво-калієві метасоматити. На генетичний зв'язок між апліто-пегматоїдними гранітами і кремнієво-калієвими метасоматитами вказують і близькі значення первинних відношень $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

У **розділі III** “Мінерали-концентратори урану, торію, рідкісноземельних елементів та супутні рудні мінерали” викладено дані мінералогічних досліджень REE-U-Th рудопроявів та родовищ у західній частині УЩ.

Детально вивчено мінеральний склад рудної мінералізації та виявлено її наступні типи: оксидна, рідкісноземельно-уран-торієва, сульфідна, арсенідна і молібдено-вісмутова. Головними мінералами-концентраторами REE, U і Th в кремнієво-калієвих метасоматитах є апатит, циркон, монацит, торит, ксенотим, уранініт, настуран, кофініт, уранова чернь, отеніт і скупіт. Процес формування рудної мінералізації в кремнієво-калієвих метасоматитах був багатостадійним (від високо-, середньо- до низькотемпературних рудних мінеральних асоціацій).

Наведеними даними обгрунтовано мінералогічні критерії локалізації REE-U-Th зруденіння, в яких типохімічні ознаки монациту і уранініту віднесено до конкретних породних асоціацій, що набуває важливого значення при пошуку родовищ калій-уранової формації і в інших мегаблоках УЩ.

У **розділі IV** “Ізотопно-геохімічні дослідження та визначення віку та генезису апліто-пегматоїдних гранітів та пов'язаних з ними рідкісноземельно-уран-торієвих метасоматитів” наведено дані ізотопно-геохімічних досліджень рубідій-стронцієвої ізотопної системи порід та визначення U-Pb відношень монацитів з REE-U-Th рудопроявів та родовищ західної частини УЩ.

Як впливає з результатів вивчення ізотопних систем порід Калинівського родовища та Лисогірського масиву, флюїдна система гранітоїдів якого

спричинила формування рудної мінералізації на родовищі, ε_{Sr} , розраховане на час формування рудоносних 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 їхній генетичний зв'язок.

За даними U-Pb ізотопного датування за монацитом, стійкість якого при дезінтеграції порід дає змогу досить добре зберігати замкнутою свою уран-свинцеву ізотопну систему в зоні окиснення і, отже, визначати час формування уранового зруденіння навіть при повному заміщенні гідрооксидами оксидів урану, встановлено, що в західній частині УЩ рудоносні апліто-пегматоїдні граніти і пов'язані з ними REE-U-Th метасоматити кремнієво-калієвої формації були сформовані в широкому віковому інтервалі – 2080–1980 млн років.

Наукові новації дисертації.

1. З'ясовано, що графітовмісні гнейси, збагачені U, Th, REE, Mo, Bi, ймовірно, є первинно органогенно-осадовими породами, за рахунок гранітизації яких утворилися рудоносні апліто-пегматоїдні граніти та пов'язані з ними кремнієво-калієві метасоматити. На генетичний зв'язок апліто-пегматоїдних гранітів і кремнієво-калієвих метасоматитів вказує їхня приуроченість до тих самих інтрузивних тіл та близькі значення первинних відношень $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

2. Встановлено, що головними мінералами-концентраторами REE, U і Th в кремнієво-калієвих метасоматитах є апатит, циркон, монацит, торит, ксенотим, уранініт, настуран, кофініт, уранова чернь, отеніт і скупіт. Процес формування рудної мінералізації був багатостадійним (від високо-, середньо- – до низькотемпературних рудних мінеральних асоціацій).

3. Вперше визначено широкий віковий інтервал формування рудоносних апліто-пегматоїдних гранітів та пов'язаних з ними REE-U-Th метасоматитів кремнієво-калієвої формації (у млн р.) – 2080–1980, зокрема, 2078 ± 2 (Безіменний рудопрояр); $2035,4 \pm 3,8$ (Гайворонський рудопрояр); $2038,8 \pm 8,2$

(Хмільницький рудопрояр) і $1981,2 \pm 8,4$ (Завалівський рудопрояр); $2047 \pm 3,4$ (родовище «Балка Корабельна») і $2029 \pm 6,2$ (Калинівське родовище).

4. Вперше у докембрії УЩ виявлено епігенетичну урановорудну мінералізацію в зонах тріщинуватості гранітоїдів, яка простежується до глибини понад 300 м і представлена низькотемпературними оксидами і гідрооксидами урану, зокрема такими рідкісними для докембрію УЩ як коронадит і скупіт.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації, забезпечується значним обсягом геологічних, кам'яних та аналітичних матеріалів, отриманих автором упродовж навчання аспірантурі з відривом від виробництва. Апробація результатів на міжнародних наукових конференціях і опублікування у наукових фахових виданнях України, зокрема тих, які включено до міжнародних наукометричних баз, підтверджує наукову новизну і належну обґрунтованість отриманих даних, а також повне ознайомлення наукової громадськості з основними положеннями дисертації.

Практична значимість праці полягає у встановленні комплексного характеру рудної мінералізації на REE-U-Th рудопроявах західної частини УЩ. Результати геохімічних, рудно-мінералогічних і геохронологічних досліджень автора, якими ідентифіковано промисловий вміст в рудах не лише REE, U, Th, але й Mo і Bi, використовувалися в процесі проведення геолого-розвідувальних робіт виробничими організаціями КП «Кіровгеологія».

Зауваження.

1. Для кращого сприйняття уявлень про речовинний склад як рудоносних метасоматитів, так і вмісних порід у розділі I необхідно було навести розрізи свердловин, які розкрили рудоносні метасоматити по кожному рудопрояву.

2. Крім геохімічної інформації про характер розподілу елементів-домішок у рудоносних метасоматитах і вмісних породах, у розділі II варто акцентувати на мас-спектрометричних даних з розподілу рідкісноземельних елементів як передумови визначення генезису рудоносних апліто-пегматоїдних гранітів.

3. Як автор пояснює пізніший вік REE-U-Th метасоматитів Завалівського рудопрояву (1981 млн р.) порівняно з віком інших рудопроявів (2080–2035 млн р.), адже за його даними Хмільницький, Гайворонський та інші рудопрояви сформувалися в подібних геолого-структурних умовах? Чому введені поправки на звичайний свинець на вік (за Стейсі і Крамером) значно відрізняються для розмаїтих рудопроявів і родовищ? (розділ IV: с. 136, 138, 139, 141, 143, 144).

4. Які характерні риси процесу гранітизації первинно-осадових протерозойських та архейських порід, внаслідок якого утворилися апліто-пегматоїдні граніти- рудогенерувальні гранітні інтрузії? До речі яке, на думку автора, співвідношення процесів “гранітизації”, “палінгенезу” і “анатексису”?

5. Автор наголошує на відкладанні урану у вигляді низькотемпературних оксидів і гідрооксидів по тріщинках, однак не вказує значень температури і типу метасоматизму: дифузійний чи інфільтраційний (а згадує лише побіжно).

6. Дивує відсутність окремого розділу про методи досліджень, які є основою геохімічної праці, оскільки геохімія – це наука, яка вивчає явища і процеси на атомно-молекулярному рівні (атоми розмаїтих елементів та ізотопів, іони і молекули). Інтерпретацію геохімічних і мінералогічних даних значно полегшив би розрахунок кристалохімічних формул. Не завжди в таблицях не вказано аналітиків та умов проведення визначень (марок приладів!).

7. Який зміст автор вкладає у дефініції “пневматолітово-гідротермальні розчини”, “мінерагенічне вивчення”? Викликає запитання вживаний автором термін “рудно-мінералогічний”, адже “руда” – поняття економічне.

8. В авторефераті відсутні посилання на праці автора за темою, що ускладнює розмежування отриманих ним і літературних даних. Деякі використані джерела із списку оформлено з порушенням вимог МОН України.

9. У тексті трапляються помилки перекладу, зокрема з використання суфіксів -уч-, -юч-, а також певні неточності, до прикладу, а що до В. О. Сьомки (2012) геолого-структурної схеми УЩ масштабу 1:2 500 000 не було (с. 9)?

Висновок. Висловлені зауваження не впливають на загальну високу оцінку наукових новацій і не піддають сумніву основні наукові положення та висновки дисертації З. В. Карли, по них можна легко дійти консенсусу в ході дискусії під час обговорення. Робота ґрунтується на особисто отриманих даних із застосуванням комплексу сучасних методів вивчення мінеральної речовини.

Автореферат повністю відповідає змістові і послідовності розділів дисертації, містить висновки, список опублікованих за темою дисертації праць, анотації українською, російською і англійською мовами. Основні наукові результати, положення і висновки роботи повністю висвітлено у наукових фахових виданнях, зокрема тих, які включено до міжнародних наукометричних баз. Результати апробовано на міжнародних наукових конференціях.

У підсумку вважаю, що дисертаційна робота З. В. Карли є самостійною завершеною науковою працею, в якій вирішене актуальне наукове завдання з комплексного вивчення речовинного складу REE-U-Th метасоматитів, з'ясування головних закономірностей їхнього утворення і локалізації у докембрійських комплексах західної частини УЩ як основи для розроблення надійних металогенічних критеріїв рідкісноземельно-уран-торієвого зруденіння.

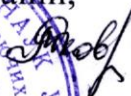
Дисертація відповідає п. 9, 11 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор – Карли Захар Вадимович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.02 – геохімія.

Доктор геологічних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач відділу геохімії глибинних флюїдів
Інституту геології і геохімії горючих
копалин НАН України



І. М. Наумко

Власноручність підпису І. М. Наумка засвідчую:
Вчений секретар ІГГГК НАН України,
кандидат геологічних наук



М. Б. Яковенко

