

## ІЗОТОПНО-ГЕОХІМІЧНІ ТА ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧНІ КРИТЕРІЇ ПОШУКІВ РОДОВИЩ УРАНУ І ЗОЛОТА ІНГУЛЬСЬКОГО МЕГАБЛОКУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

**Ю.О. Фомін<sup>1</sup>, В.Г. Верховцев<sup>2</sup>, Ю.М. Деміхов<sup>3</sup>, А.О. Студзінська<sup>4</sup>**

*(Рекомендовано акад. НАН України В.І. Лялькою та д-ром геол.-мінерал. наук В.М. Загнітком)*

<sup>1</sup> ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна,  
E-mail: yaf1941@gmail.com

*Кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент, провідний науковий співробітник.*

<sup>2</sup> ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна,  
E-mail: Verkhovtsev@ukr.net

*Доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу.*

<sup>3</sup> ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна,  
E-mail: y\_demikhov@ukr.net

*Кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії.*

<sup>4</sup> ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна,  
E-mail: anna.studz88@ukr.net

*Молодший науковий співробітник.*

Вперше для Українського щита розроблена система ізотопно-геохімічних прогнозно-пошукових критеріїв ранньопротерозойських родовищ альбітитової (натрієво-карбонатної) і малосульфідної золото-кварцової (з телуридами) рудних формацій. Перша представлена Северинівським, Мічурінським, Юрїївським, Ватутінським і Новокосянтинівським родовищами урану, друга – Східно-Юрїївським родовищем золота. В основу ізотопно-геохімічних критеріїв (регіональних і локальних) покладені наведені в розробці геолого-генетичні особливості зруденіння. Регіональні ознаки рівною мірою характеризують родовища обох формацій, до них можна віднести геологічні чинники контролю руд для всього Інгульського мегаблоку. Локальні критерії характеризують окремі рудні зони або навіть рудні тіла, їх виділення вимагає детального дослідження рудної речовини, тому вони наведені окремо для руд золота та урану.

*Ключові слова:* ізотопно-геохімічні критерії; альбітитова формація; малосульфідна золото-кварцова формація; Інгульський мегаблок; Український щит.

## ISOTOPE-GEOCHEMICAL AND GEOLOGICAL-GENETIC CRITERIA FOR SEARCH OF URAN AND GOLD DEPOSITS OF THE INGUL MEGABLOCK OF THE UKRAINIAN SHIELD

**Yu.A. Fomin<sup>1</sup>, V.G. Verkhovtsev<sup>2</sup>, Yu.N. Demikhov<sup>3</sup>, A.O. Studzinska<sup>4</sup>**

*(Recommended by academician of NAS of Ukraine V.I. Lialko and doctor geological-mineralogical sciences V.M. Zagnitko)*

<sup>1</sup> State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», Kyiv, Ukraine,  
E-mail: yaf1941@gmail.com

*Candidate of geological-mineralogical sciences, assistant professor, leading researcher.*

<sup>2</sup> State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», Kyiv, Ukraine,  
E-mail: Verkhovtsev@ukr.net

*Doctor of geological sciences, senior research fellow, head of department.*

<sup>3</sup> State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», Kyiv, Ukraine,  
E-mail: y\_demikhov@ukr.net

*Candidate of geological-mineralogical sciences, senior research fellow, head of the laboratory.*

<sup>4</sup> State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», Kyiv, Ukraine,  
E-mail: anna.studz88@ukr.net

*Junior research fellow.*

The system of isotope-geochemical criteria of forecasting and prospecting for the Early Proterozoic deposits of albitite (sodium-carbonate) and low-sulfide gold-quartz (with telluride's) ore formations was elaborated for the first time. The first is represented by Severinovskiy, Michurinskiy, Yuryevskiy, Vatutinskiy and Novokonstantinovskiy

deposits of uranium, the second – by the East-Yuryevsky gold deposit. The basis of isotope-geochemical criteria (regional and local) is laid, given in the development of geo-genetic features of mineralization. Regional features equally characterize the deposits of both formations, to which we can refer the geological factors of ore control for the entire Ingul block. Local criteria characterize individual ore zones or even ore bodies; their isolation requires a detailed study of ore matter and is therefore given separately for gold and uranium ores.

*Key words:* isotopic and geochemical criteria; albitite formation; little sulphide gold-quartz formation; Ingul megablock; Ukrainian Shield.

## ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА И ЗОЛОТА ИНГУЛЬСКОГО МЕГАБЛОКА УКРАИНСКОГО ЩИТА

Ю.А. Фомин<sup>1</sup>, В.Г. Верховцев<sup>2</sup>, Ю.Н. Деміхов<sup>3</sup>, А.О. Студзінська<sup>4</sup>

*(Рекомендовано акад. НАН України В.И. Лялько и д-ром геол.-минерал. наук В.М. Загнитко)*

<sup>1</sup> ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», Киев, Украина,  
E-mail: yaf1941@gmail.com

*Кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник.*

<sup>2</sup> ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», Киев, Украина,  
E-mail: Verkhovtsev@ukr.net

*Доктор геологических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом.*

<sup>3</sup> ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», Киев, Украина,  
E-mail: y\_demikhov@ukr.net

*Кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией.*

<sup>4</sup> ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», Киев, Украина,  
E-mail: anna.studz88@ukr.net

*Младший научный сотрудник.*

Впервые для Украинского щита разработана система изотопно-геохимических прогнозно-поисковых критериев раннепротерозойских месторождений альбититовой (натриево-карбонатной) и малосульфидной золото-кварцевой (с теллуридами) рудных формаций. Первая представлена Севериновским, Мичуринским, Юрьевским, Ватутинским и Новокопчанским месторождениями урана, вторая – Восточно-Юрьевским месторождением золота. В основу изотопно-геохимических критериев (региональных и локальных) положены приведенные в разработке геолого-генетические особенности оруденения. Региональные признаки в равной мере характеризуют месторождения обеих формаций, к ним можно отнести геологические факторы контроля руд для всего Ингульского мегаблока. Локальные критерии характеризуют отдельные рудные зоны или даже рудные тела, их выделение требует детального исследования рудного вещества, поэтому они приведены отдельно для руд золота и урана.

*Ключевые слова:* изотопно-геохимические критерии; альбититовая формация; малосульфидная золото-кварцевая формация; Ингульский мегаблок; Украинский щит.

### Вступ

Вперше для Українського щита розроблено систему ізотопно-геохімічних прогнозно-пошукових критеріїв ранньопротерозойських родовищ альбітитової (натрієво-карбонатної) і малосульфідної золото-кварцевої (з телуридами) рудних формаций. Перша формація представлена Северинівським, Мичуринським, Юріївським, Ватуїнським і Новокопчанським родовищами урану, друга формація – Східно-Юріївським родовищем золота. Всі названі родовища розташовані в Інгульському мегаблоці центральної частини щита симетрично відносно гранітно-купольних структур або навіть безпосередньо у гранітоїдах Новоукраїнського масиву.

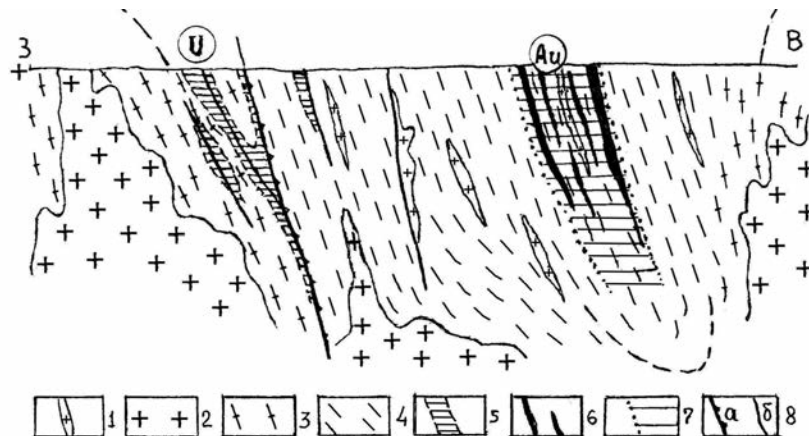
### Геолого-генетична характеристика рудних формаций

Важливо відмітити, що родовища обох формаций можуть бути локалізовані в межах єдиних тектоно-метасоматичних зон (ТМЗ).

Відносно внутрішньоблокової гранітно-купольної структури, яка складена гранітоїдними масивами новоукраїнського і кіровоградського комплексів, а також (на північ) Корсунь-Новомиргородським плутоном, прояви золота можна розглядати як зовнішню, урану – як внутрішню зони у загальній латеральній зональності. Золоторудне родовище зміщене на схід від Кіровоградського розлому в бік Приінгульського синклінального прогину. Родовище урану, навпаки, тяжіє до

крайової частини купольної області, на схід від нього. Просторові взаємовідношення об'єктів по-

казані на схематичному розрізі цього сегмента кори (рис. 1).



**Рис. 1.** Взаємовідношення Юріївського родовища урану і Східно-Юріївського родовищ золота [Фомин, Заборовская, Кравчук, 2016]

1. Апліто-пегматоїдні граніти (жиліні). 2. Гранітоїди кіровоградського комплексу. 3. Мігматити. 4. Гнейси (метапеліти) з прошарками скарноїдів (метамергелів) – чечеліївська світа. 5. Діафторити, альбітити, уранові руди. 6. Кварц-золоторудні тіла. 7. Зона окварцювання з флюїдизитами. 8. Тектонічні зони: а) Кіровоградський розлом, б) опіряючі диз'юнктиви

**Fig. 1.** The relationship between the Yuri deposit of uranium and the East Yuri deposits of gold [Фомин, Заборовская, Кравчук, 2016]

1. Aplite-pegmatoid granites. (veins). 2. Granitoids of the Kirovograd complex. 3. Migmatitis. 4. Gneisses with the layers of metamarls. Checheleevsk svita. 5. Diaphorites, albitites, uranium ores. 6. Quartz-gold-ore bodies. 7. Fluidizite zones. 8. Tectonic zones: a) Kirovograd fault; b) rest of disjunctives

Важливою відмінністю площ розповсюдження руд золота й урану також є регіональний епігенез, а саме – широкий прояв ранніх (син-гранітизаційних) флюїдизитів у межах перших і доальбітитових діафторитів у других. Крім того, при порівнянні золоторудної та уранової частин Юріївського родовища спостерігається майже повна відсутність у першій і широкий розвиток

у другій діафторованих утворень у типовому їх прояві [Комаров, Черкашин, 1991].

За вмістом золота вихідні породи обох ділянок майже не відрізняються (при загальній дещо підвищеній кількості), концентрація ж урану у полі альбітитів суттєво вища без очевидної мінеральної зміни едукту (табл. 1). Окварцювання, як з участю флюїдизитів, так і без них, супрово-

**Таблиця 1.** Вміст золота та урану (г/т) в рудовмісних породах і рудах Юріївського родовища на площах розвитку зруденіння обох типів

**Table 1.** The content of gold and uranium (g/t) in ore-bearing rocks and ores of the Yuriy deposit in the areas of development of mineralization of both types

Порода	Золоте зруденіння			Уранове зруденіння		
	n	Au	U	n	Au	U
Гнейси, мігматити, граніти	27	<0,003-0,01 0,004	<2-6,0 2,0	22	0,003-0,01 0,006	3,5-45,6 14,8
Окварцьовані гнейси, граніти	54	0,003-0,15 0,023	<2-4,0 1,6	4	0,003-0,1 0,034	7,9-56,8 22,1
Те ж золотонесних зон	5	0,03-5,0 1,266	<2-2,0 1,4	-	-	-
Діафторовані гнейси, граніти	-	-	-	12	0,003-0,03 0,015	<2-59,5 21,9
Альбітизовані породи, альбітити	9	<0,003-0,05 0,013	6,0-28,0 13,4	16	0,003-0,2 0,022	7,4-88,5 36,5
Альбітити урановорудні	-	-	-	5	0,01-0,1 0,035	167,4-3505,6 1393,0

*Примітка.* Золото визначено хіміко-спектральним, уран – рентгеноспектральним методами в Центральній лабораторії ДГП «Кіровгеологія».

*Note.* Gold is determined by chemical-spectral, uranium-X-ray spectral methods in the Central Laboratory of SGC "Kirovgeology".

джується збільшенням (в середньому в 5-6 разів) золотоносності, пов'язаним з рециркуванням золота вмісних порід. Зараженість ураном у полі альбітитів спостерігається практично у всіх породах. Золоторудному полю властивий низький вміст урану, крім проявів лужних процесів обмеженого масштабу.

Промислові концентрації золота й урану просторово не сумісні. Перші пов'язані з ділянками прояву у гнейсах лейкосоми та флюїдизитів, наступного катаклазу і рекристалізації кварцу, а також локальної (на макрорівні) колорудної калішпат-анкерит-слюдистої з піритом мінералізації [Фомин, 1999]. Другі локалізовані в зонах сумісного прояву об'ємного катаклазу, альбітизації і накладеної на неї продуктивної альбіт-гематит-анкерит-рибекітової асоціації [Генетические..., 1995].

Незважаючи на деякі літологічні розбіжності едукту, а саме – різний ступінь метаморфізму від гранітизації до діафторезу, а також наявність ознак епігенезу, включаючи залізородне скарнування, золотоносну окварцьованість та урановорудний лужний метасоматоз, вихідні породи несуть ізотопно-геохімічну (вуглець, сірка) рису належності до єдиного стратиграфічного, літологічного і вікового (ранньопротерозойського) рівня, описаного нами як гданцівсько-челіівський [Фомин, Деміхов, 2008]. Ізотопний вік порід цього рівня, судячи з цирконів у гнейсах Кіровоградської смуги, відповідає діапазону 2500-2300 млн років [Генетические..., 1995].

**Стадійність золоторудного процесу.** Деталізація золоторудної ділянки (розріз св. 3532-3549) демонструє дискретний багатоступеневий характер функціонування рудотвірної флюїдної системи [Фомин, Деміхов, 2006] (рис. 2). Важливою особливістю зруденіння, виходячи з формаційної його належності, є постійний і дуже

широкий розвиток у рудних частинах розрізів гідротермально-метасоматичного кварцу кількох генерацій, який слугує основою і частіше за все матрицею золоторудної мінералізації. Власне, золоторудна гідротермальна частина процесу включає, як мінімум, три ступеня (стадії) формування головних мінеральних асоціацій (або, можливо, груп асоціацій) послідовно: кварц-пірит-арсенопіритової з льолінгітом, піротин-халькопірит-сфалеритової і золото-вісмут-галенітової з телуридами вісмуту [Фомин и др., 2003].

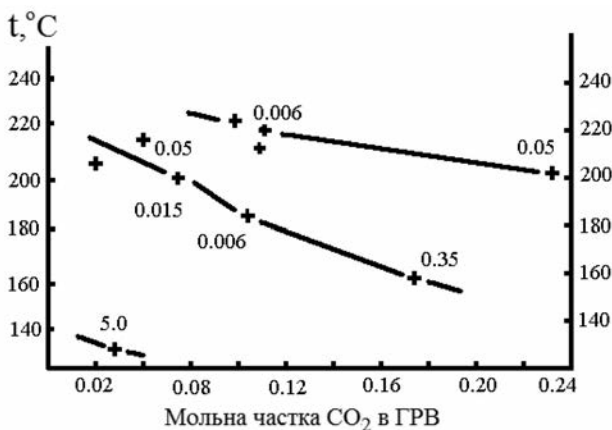
**Стадійність урановорудного процесу.** Як ілюстрацію наведемо фрагмент типової для Юріївського родовища зони (св. 2042, гл. 206-967 м):

1. Едукт – гнейси біотит-кордієритові з графітом, іноді з роговою обманкою + кварц, плагіоклаз, магнетит, апатит, сфен, циркон, монацит. У мінливих кількостях постійно присутній мікроклін (по плагіоклазу), рідко в асоціації з мірмекітовим кварцом і мусковітом (по біотиту).

2. Діафторити зеленосланцевої фації, присутні постійно. Інтенсивність діафторезу залежить від ступеня передальбітитового катаклазу. У складі діафторитів – хлорит (пенін), актиноліт, землистий епідот-кліноцоїзит, гематит, альбітолігноклаз, домішки кальциту, піриту, лейкоксену.

3. Альбітити, які на 80-85% складені альбітом двох модифікацій – альбіту-1 (по плагіоклазах) і шахового альбіту (по мікрокліну з його реліктами). Темноколірні мінерали представлені рециркульованими хлоритом (рипідолітом) і епідотом-кліноцоїзитом (кристалічними формами) та новоутвореними лужними амфіболами (рибекітом, глаукофаном), іноді егірином. Акцесорні апатит, циркон, монацит, сфен, ортит формують збільшені кристалики. Відмічаються мінерали урану (бранерит і уранініт).

4. Рудна асоціація розвинута локально на ділянках постальбітитового катаклазу і представлена альбітом-2, кварцом, залізистими мінералами – ферібіотитом, гематитом (магнетитом), анкеритом, залізистим кальцитом, піритом та прожилково-вкрапленою урановою мінералізацією.



**Рис. 2.** Тренди залежності у системі «температура гомогенізації ГРВ – мольна частка двоокису вуглецю у включеннях (мг/т) – вміст золота (цифри біля точок, г/т)» в кварці Східно-Юріївського родовища золота

**Fig. 2.** Trends of dependence in the system «the temperature of homogenization of gas-liquid inclusions – the molar fraction of carbon dioxide in inclusions (mg/t) – the content of gold (figures at points, g/t)» in the quartz of the East Yury deposit of gold

5. Пострудна асоціація – це жильні утворення кварц-кальцит-хлорит-гідрослюдистого з піритом складу.

Витримано тенденції накопичення в рудній зоні урану або свинцю (в основному за рахунок радіогенної добавки), а також зміни співвідношень ізотопів останнього (табл. 2). Що ж сто-

сується торію, то нерівномірність його розподілу у системі «руди – едукт» виходить за межі урановорудного процесу. Пов'язане це з первинно диференційованою торієносністю едукту, яка зумовлена нерівномірним розподілом акцесорних мінералів (монациту і циркону) у вихідному фліші [Фомин, 2013].

**Таблиця 2.** Вміст урану, торію і свинцю (г/т), а також ізотопів свинцю (%) в рудовмісних породах і рудах Юріївського родовища урану

**Table 2.** The content of uranium, thorium and lead (g/t), as well as lead isotopes (%) in ore-containing rocks and ores of the Yurievsky deposit of uranium

Вибірка	Число проб	U		Th		Pb	
		Діапазон	Середнє	Діапазон	Середнє	Діапазон	Середнє
1	2	20,0-20,2	20,1	11,7-12,5	12,1	25-32	28,5
2	12	1,0-40,2	19,5	6,8-72,1	19,5	15-56	26,2
3	13	9,8-41,1	24,3	3,1-18,8	12,0	16-60	30,5
4	18	10,4-56,8	28,6	1,0-81,4	23,4	6-55	24,0
5	8	59,5-167,4	95,2	7,6-38,9	17,1	31-134	54,9
6	8	355-3506	1230,9	17,2-111,7	51,8	105-1247	408,8

Вибірка (n)	Pb <sup>206</sup>		Pb <sup>207</sup>		Pb <sup>208</sup>		Pb <sup>204</sup>	
	Діапазон	Середнє	Діапазон	Середнє	Діапазон	Середнє	Діапазон	Середнє
1 (2)	26,2-27,3	26,8	19,5-21,0	20,3	51,4-52,0	51,7	1,2-1,3	1,2
2 (12)	26,6-28,9	27,5	18,6-21,4	20,3	49,5-53,1	51,0	1,0-1,3	1,2
3 (13)	26,4-37,8	30,4	16,5-21,7	19,8	41,7-51,4	48,7	0,8-1,4	1,1
4 (18)	29,5-67,5	43,4	12,6-21,4	16,9	17,9-49,1	38,7	0,5-1,3	1,0
5 (8)	53,9-83,9	69,2	10,1-16,6	13,1	5,5-28,2	17,0	0,3-1,2	0,7
6 (8)	60,4-87,6	81,2	9,5-12,9	10,5	2,5-27,3	7,8	0,2-0,9	0,5

*Примітка.* 1 – гнейси; 2 – гнейси, граніти діафторовані, діафторити; 3 – гнейси, граніти альбітізовані; 4 – альбітити безрудні; 5 – альбітити слабо рудні; 6 – уранові руди. Опробовано kern св. 2042. Аналізи виконано в Центральній лабораторії ДГП «Кіровогеологія».

*Note.* 1 – gneisses; 2 – gneisses, granite diaphthorited, diaphthorite; 3 – gneisses, granites are suspended, albitized; 4 – albitize without ore; 5 – albitize slightly ore; 6 – uranium ore. The core of wells 2042 was tested. The analyzes were carried out in the Central Laboratory of SGC “Kirovgeology”.

**Деякі генетичні висновки.** Ізотопно-геохімічне порівняння золоторудної частини Юріївського родовища з урановими об'єктами Кіровоградської ТМЗ, включаючи уранові руди Юріївського родовища, наведено у табл. 3, яка демон-

струє ідентичність вміщуючих зруденіння (золота й урану) порід при суттєвій різниці саме рудних утворень. Це цілком природно, якщо врахувати належність едукту до єдиного літолого-стратиграфічного рівня, але принципово різний генезис руд.

**Таблиця 3.** Ізотопно-геохімічне порівняння Східно-Юріївського родовища золота та урановорудних альбітитів Кіровоградської зони

**Table 3.** Isotope-geochemical comparison of the East-Yury deposit of gold and uranium ore albites of the Kirovograd zone

Параметри руд золота та урану	Золото		Уран	
	Кількість визначень	Варіації	Кількість визначень	Варіації
Вуглець валовий:				
кількість, %	35	0...0,90	67	0,01...1,64
$\delta^{13}\text{C}$ , ‰	18	-20,9...-12,0	45	-18,0...-3,2
Графіт:				
кількість, %	5	0,13...2,39	3	0,01...0,04
$\delta^{13}\text{C}$ , ‰	5	-25,9...-20,9	3	-23,0...-16,0
Сульфід, $\delta^{34}\text{S}$ , ‰	28	-0,4...+9,8	113	-20,3...+9,7

Карбонати:				
$\delta^{13}\text{C}, \text{‰}$	2	-14,0	70	-13,5...-0,4
$\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$	2	+13,9...+18,7	70	+8,0...+27,5
Кварц, $\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$	10	+9,1...+13,5	8	+4,7...+10,8
Олігоклаз, $\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$		-	4	+7,6...+8,6
Мікроклін, $\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$	3	+8,1...+13,2	10	+5,2...+8,7
Альбіт, $\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$		-	4	+3,5...+8,9
Вода флюїдних включень:				
кількість, мг/г	11	0,12...0,42	10	0,4...4,8
$\delta\text{D}, \text{‰}$	12	-83...-41	10	-81...-38
$\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$	11	-7,8...+0,4	10	-4,9...+10,0
$\text{CO}_2$ флюїдних включень:				
кількість, мг/г	11	0,02...0,22	-	-
$\delta^{13}\text{C}, \text{‰}$	12	-18,1...-7,3	-	-
$\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$	12	+11,7...+28,2	-	-

При цьому температура формування золотого й уранового зруденіння Юрїївського родовища, що визначена термобарогеохімічно [Фомін, Лазаренко, 2009], має близькі значення.

Отже, золоте й уранове зруденіння цього рудного поля повною мірою можна розглядати як полігенне, оскільки всі проявлені тут процеси приурочені до єдиного, хоча й багатоетапного, рудного циклу. Починаючи з седиментогенезу у відновних умовах напівізольованих лагун, наступного прогресивного метаморфізму і гранітизації вуглецевмісних порід і закінчуючи різновіковими епітермальними рудними системами, всі вони утворюють єдину причинно-наслідкову послідовність геологічних подій. Прогресивний етап метаморфізму остаточно сформував сприятливе геологічне середовище з необхідним металевим навантаженням.

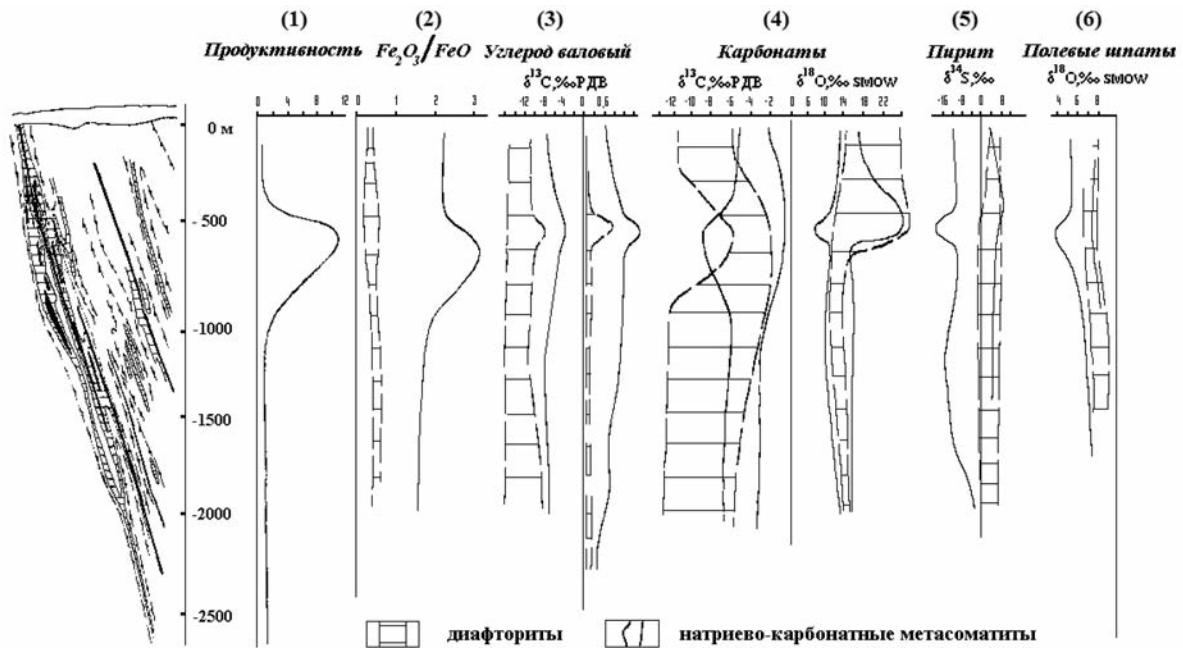
В період регресивного метаморфізму в остигаючій частині сегмента кори пластичні деформації змінилися крихкими, що супроводжувалось діафорезом порід. Діафорити відігравали важливу роль у становленні структурної основи урановорудних систем і накопиченні в них урану у вигляді мобільних ураніл-карбонатних форм.

Послідовне остигання гранітоїдних куполів привело до такого ж послідовного і зонального формування золоторудної й уранової систем, які функціонували у режимі гідротермально-метасоматичних процесів, що дискретно проявлялися, у приблизно однаковому діапазоні температур. Основу флюїду, судячи з ізотопного складу кисню та водню, складала одна і та ж

сама вода, яка в процесі міграції набувала якості метеорної та в певних умовах накопичувалась у вигляді формаційних (чи порових) розчинів. При цьому безпосередньо в рудних системах умови рудовідкладення коливалися від переважно відновних (в золоторудних) до суттєво окисних (в уранових). Змінився і тип метасоматозу: кремнієво-калієвий золоторудних систем виразним натрієво-лужним уранових.

Детальне вивчення модельного розрізу Северинівського родовища дало змогу виявити на цьому родовищі латеральну і вертикальну ізотопно-геохімічну зональність, яка має важливе генетичне значення (рис. 3, табл. 4).

Латеральна ізотопно-геохімічна зональність обумовлена положенням рудно-альбітитових ореолів в ТМЗ і зміною ізотопних параметрів від вмісних порід і діафоритів до альбітитів, в тому числі рудних на всіх рівнях зрізу зони. Вертикальна ізотопно-геохімічна зональність дуже виразно проявляється екстремальними значеннями ізотопних параметрів, що вказує на максимальну інтенсивність метасоматичного процесу, включаючи накопичення урану, саме в рудних перетинах зони, збігаючись з найбільш продуктивними її частинами. Епіцентр таких «бар'єрних» для обраного модельного розрізу значень збігається з горизонтом 620 м, що повністю підтверджується піком лінійної продуктивності (до 11,49 м<sup>0</sup>%), а також максимумом відношення  $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{FeO}$  (до 3,34). Всебічне вивчення модельного розрізу Северинівського родовища, таким чином, свідчить про функціонування в ураноносних ТМЗ геохімічних (окисних) бар'єрів.



**Рис. 3.** Ізотопно-геохімічна зональність Северинівського родовища [Генетические..., 1995]  
 Зліва – схематизований розріз (профіль 103, центральна частина родовища). Праворуч – графіки, що відображають параметри рудної зони (зліва направо): (1) Продуктивність зони – добуток потужності рудних тіл (м) і вмісту в рудах U (%), (2) Ступінь окислення – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:FeO, визначена на основі хімічних аналізів. (3) Вміст C<sub>вал</sub> (%) справа і значення δ<sup>13</sup>C<sub>вал</sub> (‰) зліва. (4) Ізотопний склад (‰) вуглецю (ліворуч) і кисню (праворуч) у карбонатних фазах. (5) Ізотопний склад сірки піритів (‰). (6) Ізотопний склад кисню польових шпатів (‰)

**Fig. 3.** Isotope-geochemical zoning of Severinovsky deposit [Генетические..., 1995]  
 To the left is a schematic section (profile 103, central part of the field). On the right, graphs reflecting the parameters of the ore zone (from left to right): (1) Productivity of the zone - the production of the ore body power (m) and U content in ores. (2) The degree of oxidation - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:FeO, determined on the basis of chemical analyzes (3) Content C common (to the right) and value δ<sup>13</sup>C<sub>shaft</sub> (‰) to the left. (4) Isotope composition (‰) of carbon (left) and oxygen (right) in carbonate phases. (5) Isotope composition of sulfur pyrite (‰). (6) Isotope composition of feldspar oxygen (‰)

**Таблиця 4.** Ізотопно-геохімічні параметри в різних перетинах урановорудної зони Северинівського родовища [Генетические..., 1995]

**Table 4.** Isotope-geochemical parameters in different sections of the uranium-ore zone of the Severinovsky deposit [Генетические..., 1995]

Параметри		Перетини зони			
		Надрудні	Рудні	Підрудні	Кореневі
Лінійна продуктивність, м*(%)		0,29-0,35	2,58-11,49	0,14	0,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :FeO порід, руд		0,19-2,18	0,15-3,34	0,26-1,64	0,26-1,40
C <sub>вал</sub>	Вміст, %	Сл.-0,63	0,03-1,64	Сл.-0,97	Сл.-0,68
	δ <sup>13</sup> C, ‰	-11,2...-7,4	-16,0...-3,9	-16,6...-5,2	-16,0...-7,6
Карбонати	δ <sup>13</sup> C, ‰	-11,4...-1,6	-9,3...-0,8	-12,5...-1,9	-13,5...-6,2
	δ <sup>18</sup> O, ‰	+11,0...+25,3	+8,0...+27,5	+9,6...+15,7	+13,2...+15,3
Пірит, δ <sup>34</sup> S, ‰		-15,9...+6,9	-20,3...+9,7	-15,8...+2,6	-6,3...+5,4
Польові шпати, δ <sup>18</sup> O, ‰		+5,2...+8,0	+3,5...+8,6	+6,5...+8,7	-

*Примітка.* Всі параметри визначені в межах показаного на рис. 3 представницького (модельного) розрізу рудної зони № 3. Зона вивчена по 8 перетинах; в тому числі: надрудних – св. 1275 і 867; рудних – гірничі виробки горизонтів 530, 620 і 710 м; підрудних – св. 869; кореневих – стволи 3000 і 3002 надглибокої свердловини. Зазначене розмежування перетинів достатньою мірою умовне.

*Note.* All parameters are defined within the limits shown in Fig. 3 representative (model) section of the ore zone № 3. The zone is studied at 8 sections; including: over-ore – well 1275 and 867; ore – horizons 530, 620 and 710 m; under-ore – well 869; supper deep – wells 3000 and 3002. The specified wells separation is sufficiently conditional.

### Ізотопно-геохімічні та геолого-генетичні пошукові критерії

Ізотопно-геохімічні прогнозно-пошукові критерії по суті являють собою генетичні ознаки рудоносності. Саме тому вони тісно пов'язані з наведеними вище генетичними особливостями родовищ золота та урану відповідно малосульфідної золото-кварцової з телуридами та альбітитової натрієво-карбонатної з ураном формацій Інгульського мегаблоку. Матричний варіант систематики прогнозно-пошукових критеріїв цих формацій наведено у табл. 5-7.

Всі критерії ми розділили на регіональні та локальні. До регіональних критеріїв (табл. 5) віднесені ознаки, що однаковою мірою характе-

ризують родовища обох рудних формацій, тобто до яких можна віднести геологічні фактори контролю зруденіння в межах всього Інгульського мегаблоку. Стратиграфічні і літологічні фактори контролю обумовлені приуроченістю обох типів руд до конкретних товщ порід, визначених як чечеліївський стратиграфічний рівень інгуло-інгулецької серії раннього протерозою, зокрема (і частіше за все) до металоносних горизонтів графітвмісних гнейсів.

Локальні пошуково-прогнознi критерії визначені окремо для родовищ кварц-золоторудної (табл. 6) та альбітитової (табл. 7) формацій. Ці ознаки дійсно мають локальне розповсюдження, вони характеризують окремі рудні зони або рудні

**Таблиця 5.** Регіональні пошуково-прогнознi критерії (родовища золота й урану)

**Table 5.** Regional search and forecasting criteria (deposits of gold and uranium)

Характеристика критеріїв	Ізотопні методи	Об'єкт, посилання
<b>Літолого-стратиграфічні критерії</b> 1. Регіональний зв'язок родовищ золота та урану з гданцівсько-чечеліївським літолого-стратиграфічним і віковим рівнем PR <sub>1</sub>	Вихідні гнейси: $\delta^{34}\text{S}$ піриту, піротину -2,8...+20,3‰; $\delta^{13}\text{C}$ графіту -28,7...-16,9‰	Гнейсові товщі чечеліївської світи Інгульського мегаблоку [Генетическое..., 1995; Фомин, Деміхов, 2008; Коржнев, Фомин, 1992]
<b>Магматогенно-метаморфогенні критерії</b> 2. Інверсія ортоклазу в мікроклін у гранітно-купольних структурах і на периферії (450-500°C). Генерація водовмісного флюїду	Релікти магматогенної води в ортоклазі з температурою 630-730°C C: $\delta\text{D}$ -78...-63‰, $\delta^{18}\text{O}$ +8,6...+10,0‰	Северинівське і Мічуринське родовища урану [Мельников, 2009; Фомин, Лазаренко, 2010; Фомин, 2012]
3. Прояв регіонального метаморфізму амфіболітової фації як основи формування водних флюїдних систем за температурним інтервалом 430-300°C	Ізотопна рівновага в системі «кварц – мікроклін – вода», яка підтверджена гомогенізацією включень	Всі вивчені родовища урану альбітитової формації [Генетическое..., 1995; Фомин, Лазаренко, 2009]
<b>Структурні (тектоногенні) критерії</b> 4. Положення родовищ золота та урану щодо гранітно-купольних структур (як джерела енергії) у зовнішній і внутрішній частинах латеральної системи, відповідно	Порівняння температурних умов формування руд золота й урану, в тому числі ізотопно-киснева рівновага	Родовища золота та урану Кіровоградської ТМЗ [Фомин, Деміхов, 2007]
5. Зв'язок родовищ золота з прогинами, заповненими гнейсовими товщами, урану – з крайовими прикупольними їх частинами, складеними мігматитами	Графітові гнейси на об'єктах золота, окислення графіту на родовищах урану. Насичення систем легким вуглецем	Там же [Фомин, Деміхов, 2007]
6. Положення родовищ у розломі: урану в лежачому боці безпосередньо у зоні розлому; золота у висячому боці на віддаленні, в «опірюючих» структурах	У рудах урану і зонах діафорезу є ізотопні ознаки глибинності, у рудах золота вони відсутні (або не знайдені)	Там же [Фомин, Деміхов, 2007; Генетическое..., 1995; Фомин, 1999]
<b>Гідрогеохімічні критерії</b> 7. Метеорна за природою вода як основа рудотвірних флюїдів на родовищах золота та урану	Вода газово-рідких включень у кварці руд золота: $\delta\text{D}$ -83...-41‰; $\delta^{18}\text{O}$ -7,8...-2,2‰; в польових шпатах руд урану: $\delta\text{D}$ -81...-38‰; $\delta^{18}\text{O}$ -4,9...-0,7‰	Северинівське, Ватутинське родовища урану, Східно-Юрїївське родовище золота [Генетическое..., 1995; Фомин, 2012]
8. Належність району родовищ урану та золота до переходу між Лісостеповою і Степовою ландшафтними зонами. Поверхневі води мають геохімічні ознаки обох зон	Значення $\delta\text{D}$ вод у межах від -103 до -54‰. Обваження з глибиною, від'ємна кореляція між $\delta\text{D}$ та pH	Інгульський мегаблок, центральна частина [Фомин, Деміхов, Суцук, 2010]



**Таблиця 6.** Локальні пошуково-прогнознi критерії (родовища золото-кварцової формації)

**Table 6.** Local search-predictive criteria (deposits of gold-quartz formation)

<b>Літологічні критерії</b> 1. Переважна локалізація золоторудних тіл родовищ золото-кварцової формації у зв'язку з графітвмісним едуктом	Графіт як метаморфізована органічна речовина: вміст 0,13-2,39%; $\delta^{13}\text{C}$ -25,9...-20,9‰	Східно-Юрiївське родовище золота [Фомин, 1999]
2. Зв'язок золотопроявів з порушеними контактами пегматоїдів і флюїдизитових кварцових жил з гнейсами	Відсутність ізотопно-кисневої рівноваги у системі «кварц – мікроклін»	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006]
<b>Структурні критерії</b> 3. Флюїдизитові тіла разом з порушеними контактами пегматоїдів і зонами окварцювання складають структурну основу родовищ золота	$\delta^{18}\text{O}$ (‰): кварцу флюїдизитів +9,1...+10; кварцу пегматоїдів +9,5...+13,2. Температура гомогенізації включень 205-225°C	Східно-Юрiївське родовище золота – клинцівський тип [Фомин, Демихов, 2006]
<b>Мінералого-геохімічні критерії</b> 4. Прояв у золоторудних зонах на мікрорівні кожильних калієвих метасоматитів кварц-адуляр-слюдисто-анкеритових з піритом складу	Адуляр і пірит гумбіїтів виділити не вдалось. Відсутність рівноваги ( $\delta^{18}\text{O}$ ) у парі «кварц (+9,2 ‰) – мікроклін (+12,6...+13,2 ‰)»	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006]
5. Різноманітність генерацій кварцу, включаючи флюїдизити і гідротермально-метасоматичні прояви як матриці рудних покладів. Ознаки регенерації	$\delta^{18}\text{O}$ від +9,1 до +13,5‰ без прояву закономірностей. Ізотопно-киснева рівновага «кварц – $\text{H}_2\text{O}$ » при 125-225°C	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006]
6. Обмежений розвиток карбонатів, які представлені тонкою вкрапленістю анкериту в кожильних «облямівках» і жильним (пострудним) кальцитом	Жильний кальцит: $\delta^{18}\text{O}$ +13,9...+18,7‰; $\delta^{13}\text{C}$ – 14,0‰. Анкерит виділити не вдалось	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006]
7. Збереженість і ознаки рециркування у рудній системі графіту. Ознаки окислення цього мінералу не встановлені	Вміст (%) графіту (0,13-2,39) і $C_{\text{вал}}$ (0-0,90) та діапазон їх значень $\delta^{13}\text{C}$ (‰): (-25,9...-20,9) і (-20,9...-12,0)	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006]
8. Наявність сульфідів: пірит і піротин у рівних співвідношеннях; халькопірит, сфалерит, галеніт, арсенопірит за відсутності баритової складової	Значення $\delta^{34}\text{S}$ в процесі рудоутворення змінювались на користь важкого ізотопу $^{34}\text{S}$ від -0,4 до +9,8 ‰	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006]
9. Відсутність на родовищі цієї формації ознак принесення глибинної речовини	Присутні ізотопні ознаки рециркування мінералів	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006]
<b>Фізико-хімічні критерії</b> 10. Регресивність рудотвірної системи. В основі ізотопно-киснева рівновага «кварц – вода» і гомогенізація флюїдних включень	Падіння температури: загалом у системі від 400 до 110°C; безпосереднє формування руд від 245 до 125°C	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006]
11. Вода рудотвірного флюїду (на основі ізотопного дослідження ГРВ у кварці) визначена виключно як метеорна	Ізотопний склад води ГРВ у кварці (‰): $\delta\text{D}$ -83...-41; $\delta^{18}\text{O}$ -7,8...-2,2	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006, 2007]
12. $\text{CO}_2$ флюїду при широких варіаціях вмісту відрізняються від діоксиду вуглецю уранових родовищ обважненим вуглецем і полегшеним киснем	$\text{CO}_2$ ГРВ у кварці руд золота: мольна частка 0,039-0,234; $\delta^{13}\text{C}$ -18,1...-7,3‰; $\delta^{18}\text{O}$ +11,7...+28,2‰	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006, 2007]
13. Зниження фугітивності кисню в процесі рудоутворення. Відновний процес золото-накопичення з телуридним завершенням в окисних умовах	Тенденція збільшення $\delta^{34}\text{S}$ в сульфідах від ранніх генерацій до пізніх; відсутність в рудах бариту і гематиту	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006, 2007]
14. Зв'язок рудоутворення з кремнієво-кислим метасоматичним процесом	Кварц як основа і матриця родовищ	Там же [Фомин, 1999; Фомин, Демихов, 2006, 2007]

**Таблиця 7.** Локальні пошуково-прогнозні критерії (родовища урану альбітитової формації)

**Table 7.** Local search and forecasting criteria (deposits of uranium of the albitite formation)

<p><b>Літологічні критерії</b></p> <p>1. «Екранування» багатих уранових руд в альбітитах зоною розвитку карбонатних фаз, які успадкували первинно-осадовий матеріал; нижче вони відсутні</p>	<p>«Екрануючий» кальцит в діафоритах:  <math>\delta^{18}\text{O} +18,8\dots+27,5\text{‰}</math>;  <math>\delta^{13}\text{C} -11,4\dots-2,5\text{‰}</math></p>	<p>Северинівське родовище: «екран» на глибині 400-600 м [Генетические..., 1995; Фомин, Деміхов, 2007]</p>
<p><b>Структурні критерії</b></p> <p>2. Прояв зон крихких деформацій з діафорезом, активізацією <math>\text{CO}_2</math> і карбонатутворенням як структурної основи альбітитових родовищ урану</p>	<p>Низькотемпературний кальцит (70-150°C) з <math>\delta^{18}\text{O}</math> та <math>\delta^{13}\text{C}</math> – див. п. 1. Облегшення вуглецю частково пов'язане з окисненням графіту</p>	<p>Северинівське родовище [Генетические..., 1995; Фомин, Деміхов, 2003]</p>
<p>3. Наявність в зонах діафорезу вод типу порових (формаційних). Можливість присутності цілком мобільних форм урану у вигляді карбонат-уранієвих комплексів</p>	<p>Розрахунок <math>\delta^{18}\text{O}</math> води в системі «кальцит (+18,8) – <math>\text{H}_2\text{O}</math> (+0,5...+6,3),‰» при 90-150°C дає воду порових розчинів</p>	<p>Там же [Фомин, Деміхов, Лазаренко, 2003]</p>
<p>4. Наявність в зонах діафорезу ознак глибинної речовини з проявом «діафоритового золота», а саме – сульфідної мінералізації із золотом</p>	<p>Пірит з <math>\delta^{34}\text{S} -1,6\dots+3,9\text{‰}</math>, збагачений Au, Ni, Co; кальцит з <math>\delta^{18}\text{O} +11,0\dots+14,7</math> та <math>\delta^{13}\text{C} -7,6\dots-7,0\text{‰}</math></p>	<p>Северинівське, Пн.-Коноплянське родовища урану [Фомин, 1990; Фомин, Деміхов, 2010]</p>
<p>5. Присутність в локально проявлених зонах дорудного катаклазу альбітитів у складі урановорудних асоціацій мінералів-носіїв глибинної речовини</p>	<p>Анкерит з <math>\delta^{18}\text{O} +8,1\dots+12,6</math> та <math>\delta^{13}\text{C} -7,9\dots-6,5\text{‰}</math>. Пірит з <math>\delta^{34}\text{S} +1,2 \text{‰}</math>, збагачений Au, Ni, Co</p>	<p>Ватутинське і Северинівське родовища урану [Фомин, Деміхов, 2007; Генетические..., 1995]</p>
<p><b>Мінералого-геохімічні критерії</b></p> <p>6. Натрієвий характер метасоматозу. Тенденція зниження <math>\delta^{18}\text{O}</math> від ранніх генерацій до пізніх у системі польових шпатів підтверджена кореляцією</p>	<p><math>\delta^{18}\text{O}</math>, ‰: олігоклаз (+10,3), мікроклін (+9,3), олігоклаз-альбіт (+7,4), шаховий альбіт (+5,8), альбіт-1 (+3,8). R Ab мол. – <math>\delta^{18}\text{O}</math> в альбіті -0,68</p>	<p>Там же [Генетические..., 1995; Фомин, Лазаренко, 2010]</p>
<p>7. Винос кварцу з альбітитів. Чітка тенденція ізотопного облегшення кисню кварцу від ранніх генерацій (едукту) до пострудних жил</p>	<p><math>\delta^{18}\text{O}</math> кварцу, ‰: едукт (+10,5), мікроклін (+9,6), діафорит (+7,1), пострудна жилка (+4,7)</p>	<p>Там же [Генетические..., 1995]</p>
<p>8. Різноманітність карбонатів, активне їх рециркулювання та ізотопне змішування. Три ряди: (1) вихідні осадові кальцити; (2) гідротермально-метасоматичні кальцити; (3) глибинні кальцит і анкерит. Тенденції обважнення C та облегшення O кальцитів (1), (2) від ранніх до пізніх</p>	<p>Карбонати, <math>\delta^{13}\text{C}</math>; <math>\delta^{18}\text{O}</math> (‰); t°C:          1. -11,4...-1,6; +16,0...+17,5; 70-235-105.          2. -13,5...-0,8; +8,0...+15,7; 110-270-125.          3. -7,9...-6,5; +8,1...+14,7; 120-250</p>	<p>Северинівське родовище урану [Фомин, Деміхов, 2007; Генетические..., 1995; Фомин, Лазаренко, 2003]</p>
<p>9. Ознаки окислення графіту у рудних системах, починаючи з діафоритів, з наступним збагаченням C кальцитів в альбітитах легким ізотопом <math>^{12}\text{C}</math></p>	<p>Зміна форм C: графіт едукту кальцитом альбітитів; <math>\delta^{13}\text{C}</math> кальциту діафоритів сягає до -11,4‰; альбітитів – до -13,5‰</p>	<p>Северинівське та інші родовища цієї формації [Генетические..., 1995]</p>
<p>10. Наявність сульфідів: у діафоритах піриту, піротину, халькопіриту, в альбітитах тільки піриту в асоціації з баритом (до 0,02-0,09%)</p>	<p>В діафоритах <math>\delta^{34}\text{S}</math> (‰) зміщується на користь ізотопу <math>^{34}\text{S}</math> (-0,1...+7,3); в альбітитах – ізотопу <math>^{32}\text{S}</math> (до -20,3)</p>	<p>Там же [Генетические..., 1995; Фомин, Деміхов, 2010]</p>
<p>11. Ізотопно-кисневе полегшення силікатів від ранніх до пізніх. Порівняння біотиту з едукту, епідоту і хлориту з діафоритів, рибекіту з альбітитів і хлориту пізніх жил</p>	<p><math>\delta^{18}\text{O}</math> (‰) у системі: біотит (+8,6), епідот (+2,9), хлорит (+2,6), хлорит жильний (+1,1). Рибекіт по біотиту (+5,9)</p>	<p>Северинівське родовище урану [Генетические..., 1995; Фомин, Деміхов, 2010]</p>

Продовж. табл. 7

12. Наявність у складі руд уранініту і гематиту, збагачених ізотопом $^{16}\text{O}$ , а також бранериту, альбіту-2, ферибіотиту, анкериту, Fe-кальциту	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) рудних мінералів: уранініту +2,7; гематиту +0,2	Там же [Генетические..., 1995]
13. Поряд з ознаками регенерації мінералів на ділянках діафорезу і передрудного катаклазу знайдені носії глибинної речовини з відповідними ізотопними та геохімічними ознаками	Пірит $\delta^{34}\text{S}$ -1,6...+3,9, Au, Ni, Co. Кальцит $\delta^{18}\text{O}$ +11,0...+14,7; $\delta^{13}\text{C}$ -7,6...-7,0. Анкерит $\delta^{18}\text{O}$ +8,1...+12,6; $\delta^{13}\text{C}$ -7,9...-6,5 (ізотопні параметри у ‰)	Там же [Генетические..., 1995; Фомин, Демихов, 2007]
<b>Фізико-хімічні критерії</b> 14. Системи регресували в інтервалі 410-100°C; рудний процес – у більш вузькому діапазоні 320-115°C	Основою є вивчення ізотопно-кисневої рівноваги у системах «альбіт – мікроклін – кварц – $\text{H}_2\text{O}$ », а також гомогенізація включень	Родовища урану альбітитової формації [Фомин, Демихов, 2007; Фомин, Лазаренко, 2012]
15. Поряд з метеорною водою у системах шляхом розрахунків встановлена вода порова (як ознаки відкриття і закриття систем). Судячи з ізотопного складу Н та О, вода флюїдів часто змішана	$\text{H}_2\text{O}$ ГРВ в карбонатах і кварці руд: $\delta^{18}\text{O}$ (‰) порової води +0,4...+9,3; метеорної -9,0...-0,3; змішаної -2,4...+2,5. $\delta\text{D}$ вод = -81...-38‰	Ватутінське, Северинівське родовища урану [Фомин, Демихов, 2003, 2007]
16. Збільшення метеорності води ГРВ: ізотопне облегшення її кисню від ранніх стадій процесу (альбітитів) до уранових руд і далі до пізніх жил	°C, $\delta^{18}\text{O}$ , ‰ води флюїду: 310-285, -5,6...+0,7 Кв – Аб – $\text{H}_2\text{O}$ ; 260-160, -11,7...-2,4 Кв – Аб – $\text{H}_2\text{O}$ ; 150-130, -14,5...-8,4 Кв – $\text{H}_2\text{O}$	Новокостянтинівське родовище урану [Фомин, Демихов, Лазаренко, 2009]
17. $\text{CO}_2$ флюїду при широких варіаціях вмісту відрізняються від діоксиду вуглецю родовищ золота облегшеним вуглецем і обважненим киснем	$\text{CO}_2$ ГРВ у мінералах руд урану: мольна частка 0,007-0,254; $\delta^{13}\text{C}$ -26,0...+1,6‰; $\delta^{18}\text{O}$ +23,6...+36,6‰	Родовища урану альбітитової формації [Фомин, Демихов, 2007; Фомин, Демихов, Лазаренко, 2003, 2009]
18. Збільшення у процесі рудоутворення фугитивності кисню; разом з посиленням окисних умов у рудних частинах зон зростає відношення $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : FeO (див. п. 20)	Тенденція зниження $\delta^{34}\text{S}$ в піритах від ранніх генерацій до пізніх (до аномальних значень); прояви бариту і гематиту, зростання частки $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Ватутінське, Северинівське родовища урану [Генетические..., 1995; Фомин, Демихов, 2007]
19. Лужний (натрієвий) характер рудотвірного метасоматичного процесу. Найбільш вірогідні значення рН розчину 6-8, не більше 9	Вміст $\text{Na}_2\text{O}$ (до 10-12%). Велика кількість лужних мінералів: альбіту, рибекіту, егірину, ферибіотиту (або лепідомелану)	Там же [Фомин, Демихов, 2007; Генетические..., 1995]
<b>Гідрогеохімічні критерії</b> 20. У водних ореолах уран геохімічно відокремлюється від радію. Ореоли радію наближені до альбітитових руд. Уран може значно мігрувати, формуючи вторинні концентрації	Коефіцієнт кореляції між ураном та радієм дорівнює +0,28, тобто близький до значущого. Але уран, порівняно з радієм, формує значно ширші ореоли	Район родовищ урану [Фомин, Демихов, Сущук, 2010]
21. Характер кореляційного зв'язку між дейтерієм поверхневих вод і радієм як ознака можливої наявності поблизу первинних уранових руд	R у парі $\delta\text{D}$ – Ra дорівнює +0,77; у парі $\delta\text{D}$ – U сягає -0,14	Там же [Фомин, Демихов, Сущук, 2010]
<b>Ізотопно-геохімічна зональність</b> 22. Рудним (продуктивним) ділянкам альбітитової зони при їх найбільш високій лінійній продуктивності для урану (2,58-11,49 м‰) властиві екстремальні значення всіх ізотопних параметрів і максимальні відношення $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : FeO (0,15-3,34)	Вміст $\text{C}_{\text{вал}}$ становить до 1,64% при $\delta^{13}\text{C}$ -16,0...-3,9‰. Карбонати: $\delta^{13}\text{C}$ -9,3...-0,8 ‰; $\delta^{18}\text{O}$ +8,0...+27,5‰. Пірит: $\delta^{34}\text{S}$ -20,3...+9,7‰. Альбіт: $\delta^{18}\text{O}$ +3,5...+8,6‰	Усі параметри наведені для Северинівського родовища урану [Генетические..., 1995]

<p>23. Низька продуктивність надрудних частин зони (0,29-0,35). Окисленість заліза в них також нижче, ніж у рудних частинах (<math>Fe_2O_3 : FeO - 0,19-2,18</math>). Характеризуються ці ділянки стійко важким ізотопним складом кисню карбонатів</p>	<p><math>C_{вал}</math>: вміст до 0,63%;  <math>\delta^{13}C</math> -11,2...-7,4‰;                  Карбонати: <math>\delta^{13}C</math> -11,4...-1,6‰;  <math>\delta^{18}O</math> +11,0...+25,3‰.                  Пірит: <math>\delta^{34}S</math> -15,9...+6,9‰.                  Альбіт: <math>\delta^{18}O</math> +5,2...+8,0‰</p>	<p>Там же                  [Генетические..., 1995]</p>
<p>24. Продуктивність і відношення <math>Fe_2O_3 : FeO</math> підрудних секцій зони, порівняно з надрудними, знижується відповідно до 0,14 та 0,24-1,64. <math>\delta^{18}O</math> карбонатів різко падає, решта ізотопних параметрів близькі до надрудних</p>	<p><math>C_{вал}</math>: вміст до 0,97%;  <math>\delta^{13}C</math> -16,6...-5,2‰.                  Карбонати: <math>\delta^{13}C</math> -12,5...-1,9‰;  <math>\delta^{18}O</math> +9,6...+15,7‰.                  Пірит: <math>\delta^{34}S</math> -15,8...+2,6‰.                  Альбіт: <math>\delta^{18}O</math> +6,5...+8,7‰</p>	<p>Там же                  [Генетические..., 1995]</p>
<p>25. Кореневі секції непродуктивні (0,03); відношення <math>Fe_2O_3 : FeO</math> в них становить 0,24-1,4; зміни ізотопних параметрів проявляються мінімально. Карбонати і сульфіди розвинуті слабо; характерні пустоти вилугування</p>	<p><math>C_{вал}</math>: вміст до 0,68%;  <math>\delta^{13}C</math> -16...-7,6‰.                  Карбонати: <math>\delta^{13}C</math> -12,5...-1,9‰;  <math>\delta^{18}O</math> +9,6...+15,7‰.                  Пірит: <math>\delta^{34}S</math> -15,8...+2,6‰</p>	<p>Там же                  [Генетические..., 1995]</p>
<p>26. Розроблену для Северинівського родовища урану модель ізотопної зональності пропонується використовувати для оцінки перспективності і рівня ерозійного зрізу об'єктів альбітитової формації</p>	<p>Ефективним є порівняння різних перетинів урановорудних зон на основі всього комплексу запропонованих ізотопно-геохімічних параметрів</p>	<p>Там же                  [Генетические..., 1995]</p>

тіла. Їх виявлення пов'язане з ретельним вивченням петрографічного, мінерально-геохімічного складу рудовмісних порід і руд, аналізом їх ізотопних чи термобарогеохімічних параметрів, тобто вимагає комплексних досліджень рудної речовини.

Важливо відмітити таке: в обох системах (урановорудній та золоторудній) встановлені численні мінералого-геохімічні (в тому числі ізотопні) ознаки неодноразового рециркування мінеральної речовини (кварцу, польових шпатів, слюд, графіту та, особливо, карбонатів і піриту). При цьому спостерігається чітка успадкованість процесів мінералоутворення у рядах «вихідні породи – дорудні та колорудні їх перетворення – руди». Ці ознаки, крім того, вказують на порушення рівноваги у системах, що дозволяє досить впевнено відносити мінерали до різних парагенезисів та у такий спосіб відслідковувати тенденції зміни умов мінералоутворення.

Для урановорудних альбітитів рециркування мінеральної речовини особливо характерне. Крім сульфідної (піритової) складової показовою для цих родовищ є карбонатна система, яка включає до 10 фаз (генерацій); причому виділення їх в повному обсязі можливе тільки з використанням ізотопних та термобарогеохімічних методів дослідження речовини [Генетические..., 1995; Фомин, Деміхов, 2003].

Ізотопно-геохімічні дослідження мають важливе значення для виявлення ознак глибинності речовини в рудних зонах (табл. 7).

Підкреслимо, що ділянки діафторезу з проявами глибинної мінералізації перспективні на пошуки локальних концентрацій золота [Фомин, 1990], тоді як знахідки таких мінералів у альбіти-тах можуть свідчити на користь наявності багатих уранових руд [Генетические..., 1995]. Що ж стосується малосульфідних золото-кварцових руд, то в них ізотопні ознаки глибинності зон не виявлені.

Для прогнозування урановорудних альбітитів важливе значення має ізотопно-геохімічна зональність (вертикальна та горизонтальна), яка дозволяє виявити комплекс екстремальних ізотопних характеристик для більшості мінералів (польових шпатів, кварцу, темноколірних силікатів, карбонатів, піриту, гематиту, уранініту) на ділянках багатих уранових руд. Крім того, на підставі ізотопно-кисневої зональності карбонатів можна з'ясувати рівень ерозійного зрізу рудних зон [Фомин, Деміхов, 2007; Фомин, Заборовская, Кравчук, 2016; Генетические..., 1995] (рис. 3, табл. 4, 7).

### Заключення

Ізотопно-геохімічні методи дослідження аж ніяк не є панацеєю. Разом з тим через свою підвищену чутливість вони дозволяють помічати найменші зміни умов в системі мінералоутворення, тобто виявляти причинно-наслідкові зв'язки. Достовірно ж пояснити ці зв'язки можна тільки на підставі ґрунтового геологічного матеріалу і скрупульозного всебічного вивчення рудної речовини.

## Список літератури

- Генетические** типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины: Белевцев Я.Н., Коваль В.Б. (отв. ред.). Киев: Наук. думка, 1995. 396 с.
- Комаров А.Н., Черкашин Л.А.** Редкометалльные тектоно-метасоматические зоны Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1991. 180 с.
- Коржнев М.Н., Фомин Ю.А.** Эволюция условий накопления пород криворожской серии по геохимическим и изотопным данным. *Геол. журн.* 1992. № 3 (264). С. 93-99.
- Мельников В.С.** Генетическое значение инверсионного перехода санидин/микроклин. 1. Флюидный фактор в трансформации двойниковой структуры щелочных полевых шпатов. *Минерал. журн.* 2009. Т. 31, № 4. С. 16-29.
- Фомин Ю.А.** Изотопный состав серы и золотоносность пирита в натриево-карбонатных метасоматитах докембрия. *Докл. АН Украины. Сер. Б.* 1990. № 6. С. 28-31.
- Фомин Ю.А.** Восточно-Юрьевское месторождение золота. *Минерал. журн.* 1999. Т. 21, № 4. С. 32-44.
- Фомин Ю.А., Шестаков Ю.П., Заборовская Л.П. и др.** Рудные минералы Восточно-Юрьевского месторождения золота (Украинский щит). *Минерал. журн.* 2003. Т. 25, № 4. С. 102-108.
- Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Лазаренко Е.Е.** Модель эволюции рудообразующей флюидной системы Севериновского месторождения урана (Украинский щит). *Зб. наук. пр. ІГНС НАН України.* 2003. Вип. 8. С. 169-178.
- Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н.** Дискретность отложения золота на Восточно-Юрьевском месторождении (Украинский щит). *Доп. НАН України.* 2006. № 3. С. 126-131.
- Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н.** Изотопно-геохимические признаки ураноносности и золотоносности Кировоградской тектоно-метасоматической зона. *Зб. наук. пр. ІГНС НАН України.* 2007. Вип. 15. С. 160-168.
- Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н.** Изотопный состав углерода и серы раннепротерозойских пород центральной части Украинского щита. *Доп. НАН України.* 2008. № 7. С. 123-129.
- Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Лазаренко Е.Е.** Особенности рудообразующего флюида Новокоптантинского месторождения урана (Украинский щит). *Доп. НАН України.* 2009. № 4. С. 130-136.
- Фомин Ю.А., Лазаренко Е.Е.** Температура формирования золотого и уранового оруденения Юрьевского месторождения (Украинский щит). *Доп. НАН України.* 2009. № 7. С. 114-120.
- Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н.** Сера в процессе эволюции урановых месторождений альбититовой формации, Кировоградский мегаблок. *Пошукова та екологічна геохімія.* 2010. № 1 (10). С. 71-81.
- Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Суцук Е.Г.** Система урановорудных альбититов как потенциальный источник поверхностных месторождений урана и/или техногенной опасности. *Зб. наук. пр. ІГНС НАН України.* 2010. Вип. 18. С. 31-49.
- Фомин Ю.А., Лазаренко Е.Е.** Щелочные полевые шпаты ураноносных альбититов Украинского щита. *Зб. наук. пр. ІГНС НАН України.* 2010. Вип. 18. С. 57-72.
- Фомин Ю.А.** Изотопный состав компонентов флюидных включений в месторождениях золота и урана докембрия Украинского щита. *Зб. наук. пр. ІГНС НАН України.* 2012. Вип. 20. С. 11-29.
- Фомин Ю.А.** Торий в урановорудных альбититах Кировоградского мегаблока. *Зб. наук. пр. ІГНС НАН України.* 2013. Вип. 22. С. 144-160.
- Фомин Ю.А., Заборовская Л.П., Кравчук З.Н.** Геолого-генетическое сопоставление руд золота и урана Юрьевского месторождения Кировоградского мегаблока (Украинский щит). *Зб. наук. пр. ІГНС НАН України.* 2016. Вип. 25. С. 107-121.
- Genetic** types and patterns of distribution of uranium deposits in Ukraine, 1995. (Eds. Belevtsev Ya.N., Koval V.B.). Kiev: Naukova Dumka, 396 p. (in Russian).
- Komarov A.N., Cherkashin L.A.**, 1991. Redmetal tectonic-metasomatic zones of the Ukrainian shield. Kiev: Naukova Dumka, 180 p. (in Russian).
- Korzhev M.N., Fomin Yu.A.**, 1992. Evolution of the conditions of accumulation of rocks of the Krivoi Rog series by geochemical and isotopic data. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (264), p. 93-99 (in Russian).
- Melnikov V.S.**, 2009. The genetic significance of the sanidine/microcline inversion transition. 1. Fluid Factor in the Transformation of the twin structure of alkaline feldspars. *Mineralogicheskij zhurnal*, vol. 31, № 4, p.16-29 (in Russian).
- Fomin, Yu.A.**, 1990. Isotope composition of sulfur and gold content of pyrite in the sodium-carbonate metamorphites of the Precambrian. *Doklady AN Ukrainy. Ser. B*, № 6, p. 28-31 (in Russian).
- Fomin Yu.A.**, 1999. East-Yuryevsky gold deposit. *Mineralogicheskij zhurnal*, vol. 21, № 4, p. 32-44 (in Russian).
- Fomin Yu.A., Shestakov Yu.P., Zaborovskaya L.P. et al.**, 2003. Ore minerals of the East Yuryevsky gold deposit (Ukrainian Shield). *Mineralogicheskij zhurnal*, vol. 25, № 4, p. 102-108 (in Russian).

- Fomin Yu.A., Demikhov Yu.N., Lazarenko E.Ye.**, 2003. Evolution of the ore-forming fluid system of the Severinovsky uranium deposit (Ukrainian Shield). *Zbirnyk naukovykh prats IGNS NAN Ukrainy*, iss. 8, p. 169-178 (in Russian).
- Fomin Yu.A., Demikhov Yu.N.**, 2006. Discreteness of gold deposition in the East-Yuryevsky deposit (Ukrainian Shield). *Dopovidi NAN Ukrainy*, № 3, p. 126-131 (in Russian).
- Fomin Yu.A., Demikhov Yu.N.**, 2007. Isotope-geochemical signs of uranium-bearing and gold content of the Kirovograd tectonic-metasomatic zone. *Zbirnyk naukovykh prats IGNS NAN Ukrainy*, iss. 15, p. 160-168 (in Russian).
- Fomin Yu.A., Demikhov Yu.N.**, 2008. The isotopic composition of carbon and sulfur Early Proterozoic rocks of the central part of the Ukrainian Shield. *Dopovidi NAN Ukrainy*, № 7, p. 123-129 (in Russian).
- Fomin Yu.A., Demikhov Yu.N., Lazarenko E.E.**, 2009. Features of ore-forming fluid Novokonstantinovsky uranium deposit (Ukrainian Shield). *Dopovidi NAN Ukrainy*, № 4, p. 130-136 (in Russian).
- Fomin Yu.A., Lazarenko E.E.**, 2009. Temperature formation of gold and uranium mineralization of the Yuryevsky deposit (Ukrainian Shield). *Dopovidi NAN Ukrainy*, № 7, p. 114-120 (in Russian).
- Fomin Yu.A., Demikhov Yu.N.**, 2010. Sulfur in the process of evolution of uranium deposits of albitite formation, Kirovograd megablock. *Poshukova ta ekologichna geohimiya*, № 1 (10), p. 71-81 (in Russian).
- Fomin Yu.A., Demikhov Yu.N., Sushchuk E.G.**, 2010. The uranium-ore albitite system as a potential source of surface uranium deposits and/or man-made hazards. *Zbirnyk naukovykh prats IGNS NAN Ukrainy*, iss. 18, p. 31-49 (in Russian).
- Fomin Yu.A., Lazarenko E.E.**, 2010. Alkali feldspars uranium-bearing albitites of the Ukrainian Shield. *Zbirnyk naukovykh prats IGNS NAN Ukrainy*, iss. 18, p. 57-72 (in Russian).
- Fomin Yu.A.**, 2012. Isotopic composition of components of fluid inclusions in the deposits of gold and uranium of the Precambrian of the Ukrainian Shield. *Zbirnyk naukovykh prats IGNS NAN Ukrainy*, iss. 20, p. 11-29 (in Russian).
- Fomin Yu.A.**, 2013. Thorium in uranium ore albite of the Kirovograd megablock. *Zbirnyk naukovykh prats IGNS NAN Ukrainy*, iss. 22, p. 144-160 (in Russian).
- Fomin Yu.A., Zaborovskaya L.P., Kravchuk Z.N.**, 2016. Geological-genetic comparison of gold and uranium ore to the Yuryevsky deposit of the Kirovograd megablock (Ukrainian Shield). *Zbirnyk naukovykh prats IGNS NAN Ukrainy*, iss. 25, p. 107-121 (in Russian).

Стаття надійшла  
05.07.2017