

УДК 550.42 + 553.2: 551.73 (477)

**К. Г. Сущук, В. Г. Верховцев, М. П. Семенюк,
Ю. Є. Тищенко, Д. Б. Задорожний**

РОЛЬ ЕНДОГЕННИХ ФАКТОРІВ У ГІДРОГЕННОМУ РУДОУТВОРЕННІ

У процесах гідрогенного рудоутворення, обумовленого діяльністю підземних вод і в явному вигляді не пов'язаного з магматизмом, можлива участь глибинних флюїдів і термальних розчинів ендегенного походження, що є причиною нерівноважного фізико-хімічного стану з вмісними породами, мінералізації підземних вод й перетворення їх у рудоутворюючі розчини. Рудоносний флюїд має переважно водяний склад. Поведінка вуглеводнів в гідротермальних розчинах вадозного походження підпорядковується законам сумісної розчинності H_2O , CO_2 , CH_4 та рідких бітумоїдів при різних температурах і тисках. Епіплатформна активізація різновікових та різнотипних геотектонічних структур, що мають осадовий чохол, призводить до суміщення у часі, а часто і в просторі рудоутворюючих процесів, обумовлених низхідними інфільтраційними водами й висхідними гідротермальними розчинами. Такі рудоутворюючі процеси на території України простежуються у Доно-Дніпровській структурно-металогенічній зоні та Волино-Подільській металогенічній області. У Доно-Дніпровській структурно-металогенічній зоні в киммерійську металогенічну епоху (пізній тріас - рання крейда) розломні зони і тектонічно ускладнені солянокупольні антикліналі служили вогнищами розвантаження як для висхідних гідротермальних розчинів, так і для напірних інфільтраційних вод. В результаті сформувалася група полігенних родовищ уран-бітум-ртутного складу, в тому числі Адамівське уранобітумне родовище і Слов'янське родовище виявлення ртуті, розташовані в межах однієї структури. На території Волино-Подільської металогенічної області родовище виявлення киммерійської епохи утворені висхідними низькотемпературними вуглекисло-вуглеводневими хлоридними розчинами глибинного (метаморфічного або метагенетичного) походження, які до завершення рудоутворення розбавлялися підземними метеорними водами. Це призвело до перерозподілу урану і супутніх рудних елементів в процесі літогенезу осадових порід та регенерації в епоху пізньопалеозойської-ранньомезозойської тектонічної активізації за участю як екзогенних, так і ендегенних процесів. Результатом стало формування гідротермально-регенераційних родовищ урану, для яких характерні приуроченість до зон розривних порушень, прожилково-вкраплений характер мінералізації, наявність її не тільки в осадових породах, але і в зонах тріщинуватості фундаменту, асоціація уранових мінералів (коффініту, настурану) з виділеннями твердих чорних бітумів і родовищ виявлення барит-флюорит-поліметалічної формації.

Ключові слова: теорія гідрогенного рудоутворення, ендегенні процеси, уранові руди, платформні структури, осадовий чохол, Україна.

Вступ

Термін «гідрогенне рудоутворення» в теорії рудоутворення з'явився порівняно недавно, в основному у зв'язку з вивченням уранових родовищ, в утворенні яких

© К.Г. Сущук, В.Г. Верховцев, М.П. Семенюк, Ю.Є. Тищенко, Д.Б. Задорожний, 2020

чималу роль відіграють екзогенні процеси. Зокрема, найбільші відомі в світі екзогенні промислові родовища урану відносяться до класу епігенетичних, утворених на стадіях катагенезу. Більшість їх сформувалися в умовах епейрогенічного здійснення або орогенезу і приурочено до перерв осадонакопичення і поверхонь неузгодження.

У сучасній геологічній науці під гідрогенним рудоутворенням розуміються процеси рудоутворення, обумовлені діяльністю підземних вод і в явному вигляді не пов'язані з магматизмом [1-3]. Основний принцип гідрогенного уранового рудоутворення – спряженість рудного процесу зі стадіями літогенезу вміщуючих порід. Разом з тим, поряд з провідною роллю екзогенних процесів, в утворенні гідрогенних родовищ можлива участь глибинних чинників, зокрема глибинних флюїдів і термальних розчинів ендогенного походження. Комплексне вивчення характеру змін вміщуючих порід та фізико-хімічних умов рудоутворення призвело до розробки нового наукового напрямку, пов'язаного з дослідженням суміщення літогенних і ендогенних факторів в рудному процесі.

В даний час визначилися основні положення теорії гідрогенного рудоутворення, що стосуються джерел рудної речовини, умов її вилучення з порід і вод, перенесення та концентрації при процесах літо- і епігенезу. Найбільш повно ці питання викладені у фундаментальній монографії Кислякова Я.М. і Щьоточкіна В.Н. [2].

У даній статті наводяться факти впливу ендогенних факторів на гідрогенне рудоутворення, отримані при багаторічних дослідженнях уранових та інших рудних родовищ України.

Рудоутворюючі розчини та їх джерела

В основі теорії гідрогенного рудоутворення лежать уявлення про взаємодію літогенних (формаційних) розчинів з глибинними флюїдами, що несуть тепло та речовину глибоких зон земної кори і мантії. Найголовніша властивість розчинів і флюїдів, що беруть участь в гідрогенному рудоутворенні – нерівноважний фізико-хімічний стан з вміщуючими породами, що є причиною мінералізації підземних вод і перетворення їх в рудоутворюючі розчини. Участь в рудоутворенні таких ендогенних факторів, як глибинні флюїди і термальні розчини, що надходять в осадову товщу по довготривалим розломам глибокого закладання, наближають гідрогенне рудоутворення до метаморфогенного ранніх стадій метаморфізму (в разі переходу від катагенезу до метагенезу).

Приуроченість концентрацій рудних елементів в осадових товщах до довготривалих конседиментаційних розломів глибокого закладання детально

вивчена в Північно-Західному Донбасі і Дніпровсько-Донецькій западині [6]. Були показані закономірності формування рудних концентрацій при сприятливих тектонічних, літологічних, кліматичних і гідрогеологічних умовах. Контури зон з підвищеним вмістом металів у породах узгоджуються з тектонічно ослабленими зонами. Розломи сприяють створенню відновлювальних геохімічних бар'єрів в осадовій товщі, будучи, з одного боку, місцями розвантаження кисневих або глейових вод, що несуть метали, а з іншого – каналами для надходження глибинних флюїдних відновників. Максимальні (аж до рудних) концентрації металів спостерігаються в вузлах перетину різноспрямованих розломів, де прояви багатофазової розривної тектоніки сприяють циркуляції розчинів і газових еманцій в породах.

Джерелом металів (і, зокрема, урану) для формування рудних концентрацій служать тріщинуваті кристалічні породи фундаменту та їх кора вивітрювання, так само, як і самі осадові породи з фоновими (або підвищеними) вмістами рудних елементів.

Як приклад можна привести інфільтраційні родовища урану в осадовому чохлі Інгульського і Середньопридніпровського мегаблоків Українського щита (рис. 1), розташовані навколо склепінних підняттяв (купольних структур і гранітоїдних масивів), кислі породи яких містять в середньому від 2,5 до 4,5.10-4 % урану.

Зокрема, ця особливість підвищеного кларкового вмісту урану в гранітоїдах і його впливу на водогенне накопичення в осадовому комплексі палеогену чітко простежується на прикладі південного схилу Інгульського мегаблоку Українського щита.

Тут, в субширотній смузі довжиною понад 60 км, де в геологічному розрізі ранньопротерозойських кристалічних порід домінують гнейси і кристалосланці, але є й крейда-палеогенові палеодолини, виповнені алювіальними озерно-болотними відкладеннями, відсутні навіть незначні концентрації урану.

З іншого боку, на Середньопридніпровському мегаблочі Українського щита, де, по одному з найдавніших на щиті дніпровським гранітоїдам, в процесі тектоно-магматичної активізації ареально і в результаті функціонування термохімічних плюмів сформувалися реоморфічні граніти (з кларковим вмістом урану, який в 3-4 рази перевищує фонові і вищими середніх для більш ранніх гранітоїдів).

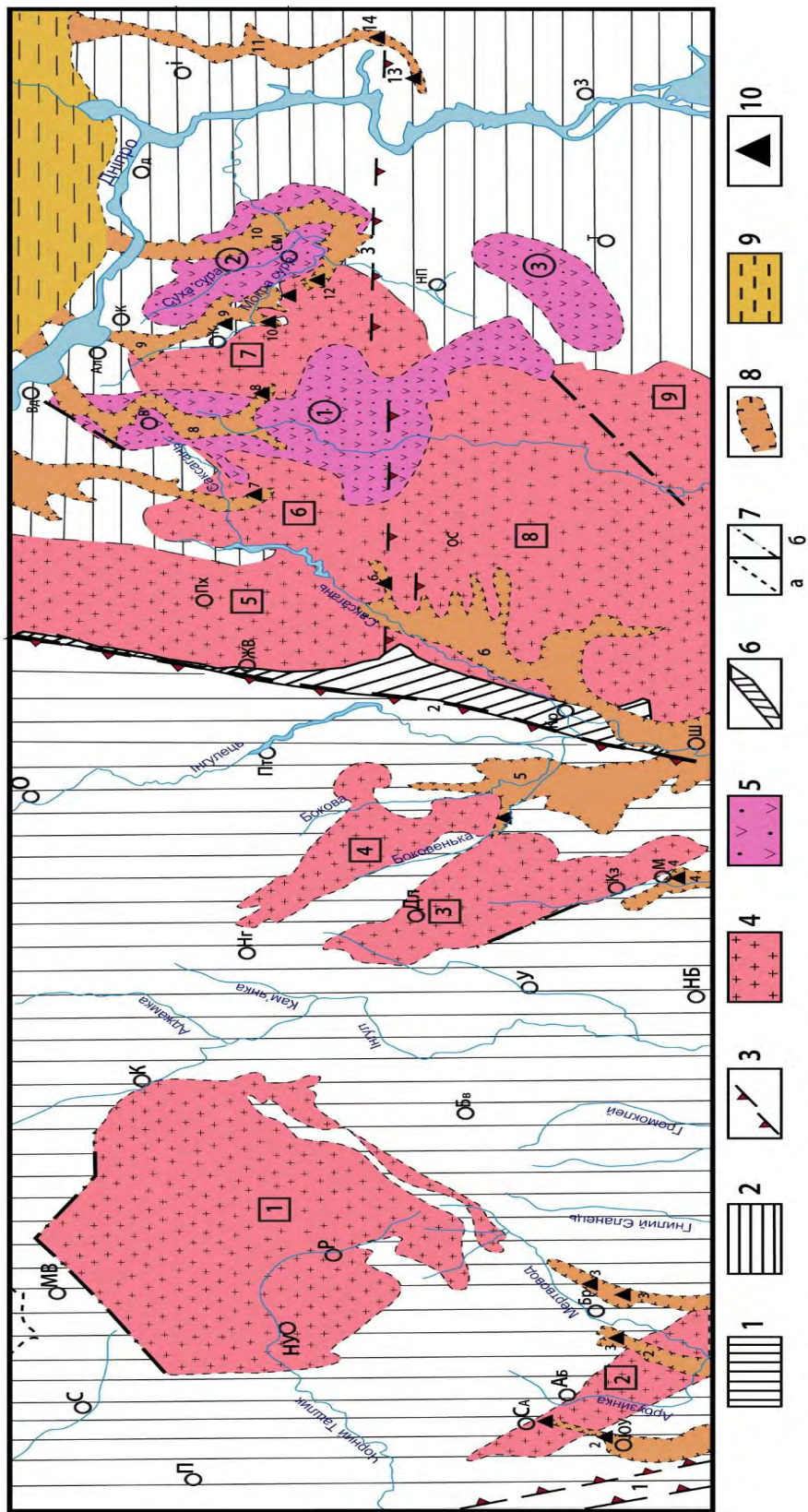


Рис. 1. Інфільтраційні родовища урану в осадовому чохлі Інгульського і Середньопридніпровського мегаблоків Українського щита

Умовні позначення:

- 1 – Інгульський (Кіровоградський) мегаблок;
- 2 – Середньопридніпровський (Придніпровський) мегаблок;
- 3 – глибинні розломи: 1 – Бузько-Миронівський, 2 – Криворізько-Кременчуцький, 3 – Девладівський;
- 4 – структурно-формаційні комплекси (СФК): переважно гранітоїдного складу (арабські цифри у прямокутнику) – масиви: 1 – Новоукраїнський, 2 – Воскресенський, 3 – Долинський, 4 – Боков'янський;
- 5 – П'ятихатський вал; куполи: 6 – Демуринський, 7 – Криничанський, 8 – Саксаганський, 9 – Камишуватський;
- 5 – зеленокам'яні СФК: 1 – Верхівцевський, 2 – Сурський, 3 – Чортомлицький;
- 6 – породи криворізької серії;
- 7 – контакти СФК: а – слабоконтактні, б – тектонічні;
- 8 – палеодолини, вивопнені відкладами бучацької світи (арабські цифри) 1 – Садово-Ташлицька, 2 – Ново-Оленівська, 3 – Кудрявсько-Весело-Роздольська, 4 – Миколаївсько-Сафонівська, 5 – Західно-Криворізька, 6 – Східно-Криворізька; 7 – Саксагансько-Домотканська, 8 – Базавлуцько-Самотканська, 9 – Криничансько-Романківська, 10 – Новогурівська, 11 – Тернівсько-Дерезуватська;
- 9 – прибережно-морські відклади бучацької світи;
- 10 – інфільтраційні (екзогенні) родовища урану: 1 – Садове, 2 – Ташлицьке, 3 – Братське (три поклади), 4 – Сафонівське, 5 – Христофорівське, 6 – Девладівське, 7 – Новогурівське, 8 – Хутірське, 9 – Криничанське, 10 – Оленівське, 11 – Грушівське (відокремлена ділянка Сурської площі), 12 – Червоноярське (відокремлена ділянка Сурської площі) (С), 13 – Петромихайлівське, 14 – Первозванівське;

населенні пункти: С – Смоліне, Л – Липняжка, НУ – Новоукраїнка, Сд – Садове, Аб – Арбузинка, ЮУ – Южно-Українськ, Бр – Братське, Бб – Бобринець, К – Кропивницький, У – Устинівка, НБ – Новий Буг, Нг – Новгородка, Дл – Долинська, Кз – Казанка, М – Миколаївка, О – Олександрія, Пт – Петрове, КР – Кривий Ріг, Ш – Широке, ЖВ – Жовті Води, Пх – П'ятихатки, В – Верховцеве. ВД – Верхньодніпровськ, Ал – Аули, К – Кам'янське, СМ – Сурсько-Михайлівка. Д – Дніпро, НП – Новопокрівка, Сф – Софіївка, Т – Томаківка, І – Іларіонове, З – Запоріжжя

Ці «молоді» граніти в значній мірі служили джерелом накопичення в бучацьких вуглистих відкладах палеодолин підвищених концентрацій урану (рис. 2).

Уранонакопиченню сприяло також тектонічне переміщення в часі вододілу (області живлення), в результаті чого в область водозабору потрапляли все нові ділянки кори вивітрювання з розсіяною урановою мінералізацією паралельно зі збільшенням напірного градієнта водоносного горизонту.

Важливим фактором умов рудоутворення є також наявність в підземних водах гідрохімічної зональності, при якій води, що містять кисень і уран, вниз за потоком змінюються сірководневими (за рахунок глибинних флюїдів), які несуть в 10 разів менше урану в результаті його відкладення на геохімічних бар'єрах. При цьому транзит урану в різних мінеральних асоціаціях водними потоками як пластового, так і тріщинного типу іноді перевищує перші кілометри.

Численними дослідженнями доведено, що епіплатформна активізація різновікових та різнотипних геотектонічних структур, які мають осадовий чохол,

призводить до поєднання в часі, а часто і в просторі, рудоутворюючих процесів, обумовлених низхідними інфільтраційними водами і висхідними гідротермальних розчинами [7, 1, 5, 12 і ін.]. Зокрема, такі рудоутворюючі процеси на території

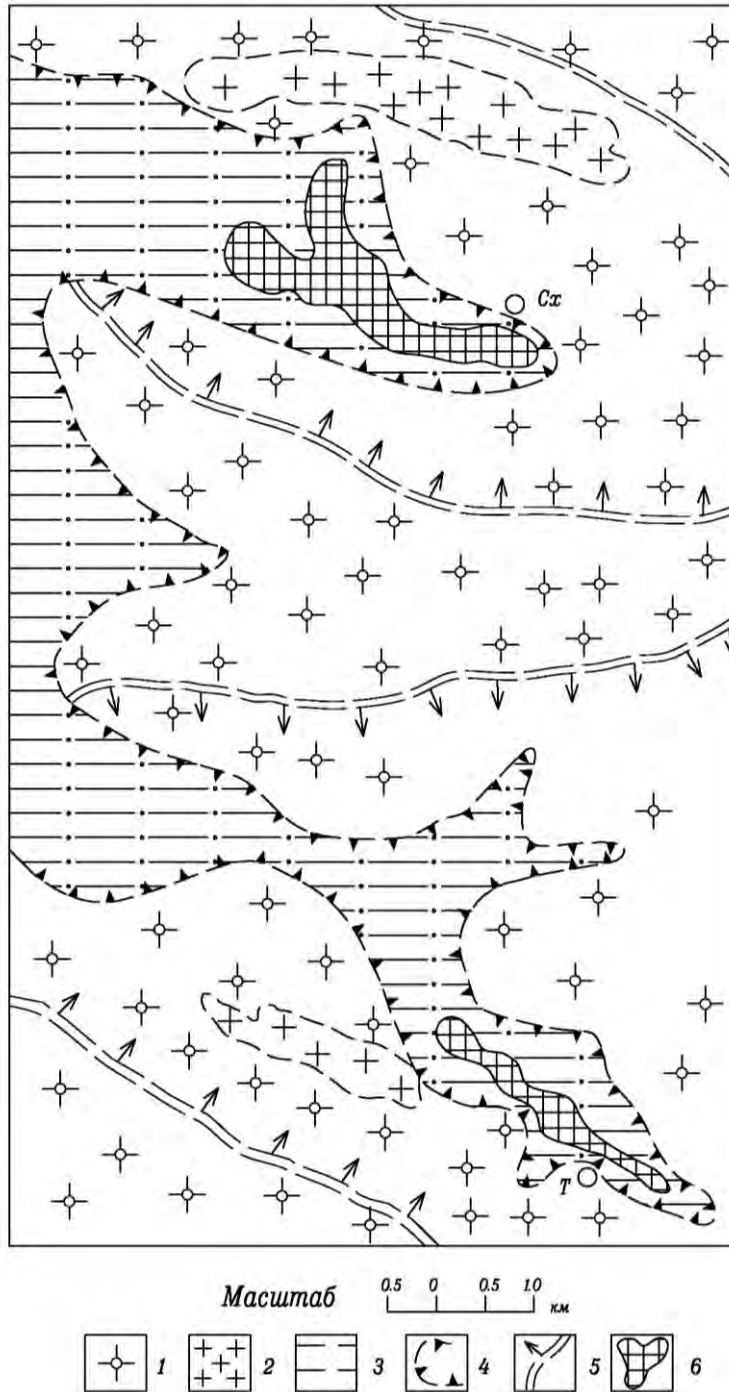


Рис. 2. Просторово-генетичний зв'язок гідрогенної уранової мінералізації в бучацьких відкладах з ендогенною урановою мінералізацією гранітоїдів Середньопридніпровського мегаблоку Українського щита.

1 – гранітоїди дніпровського комплексу; 2 – реоморфічні граніти; 3 – вуглисті піщано-глинисті відклади бучацької світи еоцену; контури: 4 – палеодепресій, виповнених бучацькими відкладами, 5 – промислових концентрацій урану в відкладах бучацької світи Хуторського родовища та Теофілівського рудопрояву; 6 – напрямок стоку підземних вод. Назви населених пунктів: Сх – Сухий Хутір, Т – Теофілівка.

України простежуються в Доно-Дніпровській структурно-металогенічній зоні і Волино-Подільській металогенічній області.

Водоносні горизонти Дніпровсько-Донецького і Волино-Подільського артезіанських басейнів в кіммерійську металогенічну епоху (пізній тріас – рання крейда) вміщували інфільтраційні глейові (безкисневі та безсірководневі, що містять підвищену кількість закисного заліза, вуглеводні, вуглекислий газ, азот, а часто і водень) ґрунтові та пластові води, які викликали епігенетичні зміни осадових порід, вилуговування і перенесення рудоутворюючих елементів. Розломні зони та тектонічно ускладнені соляно-купольні антикліналі слугували вогнищами розвантаження як для висхідних гідротермальних розчинів, так і для напірних інфільтраційних вод, що призвело до аргілізації порід та випадання з глейовими водами рудних елементів зі змінною валентністю (урану, ванадію, хрому, нікелю і ін.) [1, 5-9].

У роботах, присвячених розробці теорії гідрогенного рудоутворення, було доведено, що рудоносний флюїд має переважно водяний склад і формується в області високих температур та порівняно низьких тисків. Вивчення різних рудних родовищ в зоні Центрально-Донбаського розлому, Північно-Західного Донбасу, Подільського розлому дало можливість розшифрувати еволюцію флюїдного режиму літогенезу та рудоутворення. Зокрема, В.А. Шумлянським [7] було показано, що поведінка вуглеводнів в гідротермальних розчинах вадозного походження підпорядковується законам спільної розчинності H_2O , CO_2 , CH_4 і рідких бітумоїдів при різних тисках та температурах. Це дозволило встановити суміщення літогенетичної (ката- або метагенетичної) і металогенічної зональності рудних районів, виявити зони лінійного ката- та метагенезу в осадових товщах.

Класифікація гідрогенних родовищ

В основу сучасної класифікації гідрогенних рудних родовищ покладено гідродинамічний режим середовища рудоутворення, тобто континентальних блоків земної кори. Гідродинамічний режим, в свою чергу, визначається ендегенним тектонічним режимом – формуванням і подальшим існуванням осадових прогинів (гідрогеологічних басейнів) та орогенних або платформних

підняттях (гідрогеологічних масивів), як галузей утворення напорів підземних вод, які викликають рух розчинів і газів (і взагалі рідкої фази) у вмісних породах.

Як відомо з численних раніше опублікованих робіт дослідників гідрогенного рудоутворення [1-5 та ін.], виділяються два класи гідрогенних родовищ: інфільтраційний і ексфільтраційний, що відображають два типи гідродинамічного режиму середовища рудоутворення.

Родовища інфільтраційного класу формуються метеорними водами при активному інфільтраційному гідродинамічному режимі, обумовленому підняттям області живлення вод над областю розвантаження. У водоносних горизонтах артезіанських басейнів рух підземних вод визначається значними напірними градієнтами, а в безнапірних системах ґрунтових вод – істотним нахилом дзеркала цих вод від області живлення до області розвантаження (переважно в ерозійних формах рельєфу).

Родовища ексфільтраційного класу утворюються при активному ексфільтраційному режимі, коли п'єзомаксимуми розміщуються в нижніх частинах артезіанських басейнів або гідрогеологічних масивів. При цьому водоносні горизонти басейнів мають порову проникність і містять пластові напірні води, а гідрогеологічні масиви відрізняються тріщинно-жильною циркуляцією підземних вод. Для родовищ цього класу характерне поєднання процесів екзогенного і ендегенного рудоутворення. Найбільш чітко ці явища виявлені в Доно-Дніпровській структурно-металогенічній зоні і Волино-Подільській металогенічній області.

Доно-Дніпровська структурно-металогенічна зона

На території Доно-Дніпровської структурно-металогенічної зони, що включає Дніпровсько-Донецьку западину і Донецьку складчасту споруду, досить широко поширені ділянки суміщення інфільтраційних та гідротермальних процесів. Однією з причин цього є наявність в Дніпровсько-Донецькій западині артезіанського басейну гетерогенного інфільтраційно-ексфільтраційного типу, який характеризується одночасним співіснуванням інфільтраційних і ексфільтраційних потоків. Між ними розміщується умовна, так звана «еквінапірна поверхня», де напори потоків рівні, і яка контролює рудонакопичення з інфільтраційних вод на флюїдному ексфільтраційному бар'єрі [2].

Поєднання екзогенних і ендегенних процесів на території Доно-Дніпровської структурно-металогенічної зони пояснюється також нафтогазоносністю Дніпровсько-Донецької западини, існуванням на її території численних гідрохімічних, газових, геотермальних аномалій. Аномалії такого роду

описані в попередніх наших роботах [1, 5, 6]. В етапи тектонічної активізації регіону звільнялися і вступали в інтенсивний рух води не тільки верхніх водоносних горизонтів, а й напірні термальні води вадозного походження глибших горизонтів, які переносили метали і створювали геохімічні бар'єри, мігруючи по пластах і змішуючись з багатими киснем пластовими водами. Роль останніх була досить активною, про що свідчить значне поширення змін порід за простяганням водопроникних товщ. У той же час при руйнуванні нафтових пластів в верхні горизонти надходили високо мінералізовані води, збагачені сульфат-іоном, з відносно високою температурою завдяки їх глибокому заляганню. Такі води, з одного боку, можуть активно впливати на вміщуючі породи, вилуговування з них кремнекислоти і деяких катіонів, а з іншого – бути джерелом сірководню, що створює відновний геохімічний бар'єр. Така рудоутворююча роль вуглеводнево-газового нафтопродуцуючого флюїду і рудоносного флюїду переважно водяного складу.

Роль ендегенних факторів в гідрогенному рудоутворенні особливо чітко проявлена та найбільш повно вивчена в Північно-Західному Донбасі – зоні зчленування Дніпровсько-Донецької западини з Донецькою складчастою спорудою [1, 5, 7, 9, 10]. Просторове поєднання гідротермального і інфільтраційного процесів в межах ряду структур визначається тим, що розломи і тектонічно ускладнені соляно-купольні антикліналі служили вогнищами розвантаження як для висхідних гідротермальних розчинів, так і для інфільтраційних напірних вод.

Очевидно, екзогенний глейовий процес і гідротермальна аргілізація проявилися в Північно-Західному Донбасі майже одночасно. Однак взаємодія аргілізуючих розчинів і глейових інфільтраційних вод не привела до відкладення рудних елементів, що пов'язано з близькістю фізико-хімічних умов аргілізації і оглеєння (незважаючи на різницю температур, яка є більш високою при аргілізації). Епігенетичні зональності аргілізації і екзогенного оглеєння близькі за мінеральним складом зон, це зумовлено кислим характером розчинів і їх нейтралізацією при взаємодії з вміщуючими породами.

Рудовідкладення з глейових і кисневих пластових водах сталося після зміни аргілізуючих розчинів лужними гідротермами, що доводить вивчення послідовності мінералоутворення на Адамовському уранобітумному родовищі і Слов'янському рудовиявленні ртуті, розташованими в межах однієї структури [7]. В результаті сформувалася група полігенних родовищ уран – бітум – ртутного складу.

Судячи за геологічними та ізотопними даними, родовища урану сформувалися в тріасі (195 ± 5 млн. років) із ураноносних кисеньвмісних ґрунтових вод на флюїдному відновлювальному бар'єрі, обумовленому впровадженням у водоносні горизонти червоноколірної дронівської світи нафтоносних вуглекисло-гідрокарбонатних термальних розчинів. Ртутно-поліметалеве оруденіння на Слов'янському рудовиявленні розташоване нижче, в основі дронівської світи, переважно в зоні Південного розлому на глибинах 350 - 450 м, а також ще нижче – уздовж швів розлому в соляній діапировій брекчії, в відкладеннях пермі і верхнього карбону. Температура гомогенізації газово-рідких включень в супутніх кіноварі карбонатах становить $260-240^{\circ}\text{C}$, а в кальциті, який асоціюється з твердими ураноносними бітумами – 190°C [11]. Це підтверджує надходження в холодні водоносні горизонти дронівської світи вуглекисло-гідрокарбонатних термальних розчинів, які містили вуглеводні (бітумоїди) і ртуть. Останні викликали аргілізацію порід уздовж розривних порушень та сприяли процесам відновлення і рудоутворення.

Волино-Подільська металогенічна область

Формування осадового чохла на території Волино-Подільської металогенічної області (західний схил Українського щита) супроводжувалося накопиченням та перерозподілом в ньому урану в кілька етапів, які характеризувалися участю в рудоутворенні як екзогенних, так і ендегенних процесів, що й визначило особливості металогенії даного регіону. Особливо чітко інфільтраційне і гідротермальне мінералоутворення проявлено в межах Подільської розломної зони та Волино-Подільського артезіанського басейну [4, 5, 7, 8].

У початкові етапи формування платформного чохла утворилися осадово-діагенетичні (розсипні і сорбційні) концентрації урану, а також інфільтраційні прояви в тріщинах фундаменту, розташованих нижче древньої кори вивітрювання (1100-1200 млн. років). Надалі екзогенна уранова мінералізація в базальних відкладах осадового чохла змінювалася в тій чи іншій мірі в процесах літогенезу і регенерації в результаті накладених процесів в епоху пізньопалеозойської-ранньомезозойської тектонічної активізації. Сформувалися катагенетичні (пізній літогенез), метагенетичні (початкові стадії метаморфізму) і гідротермально-регенераційні концентрації урану.

Пізньопалеозойська-ранньомезозойська тектонічна активізація супроводжувалася швидким воздиманням регіону, оновленням розривних порушень і, в результаті, пожвавленням гідродинаміки Волино-Подільського та Молдавського артезіанських басейнів. Зони Подільського та Одеського розломів

служили областю розвантаження елізійних і ексфільтраційних термальних вод, а також шляхами руху до поверхні глибинних нагрітих флюїдів.

Рудовиявлення кіммерійської епохи (пізній тріас – рання крейда) утворені висхідними низькотемпературними вуглекисло-вуглеводневими хлоридними розчинами глибинного (метаморфічного або метагенетичного) походження, які до завершення рудоутворення розбавлялися підземними метеорними водами. Ізотопно-геохімічні дослідження сірки сульфідів і вуглецю карбонатів [1, 5, 8] дозволяють припустити, що термальні вуглеводнево-хлоридні розчини, які надходили по розривних порушеннях фундаменту, взаємодіяли з пластово-поровими водами елізійного гідрогеологічного басейну, що містять сульфати. Це призвело до нової регенерації концентрацій урану поблизу поверхні, неузгодження фундаменту та чохла і формуванню гідротермально-регенераційних рудопроявлень, для яких характерні наступні особливості: приуроченість до зон розривних порушень, прожилково-вкраплений характер мінералізації, наявність її не тільки в осадових породах, але й в зонах тріщинуватості фундаменту, асоціація уранових мінералів (коффініту, настурану) з виділеннями твердих чорних бітумів, околорудні зміни вміщуючих порід (окварцювання, діккітізація або серіцітізація), а в ряді випадків зв'язок уранової мінералізації з рудопроявами барит-флюорит-поліметалічної формації. Температура розчинів, яка визначена за кальцитом, що асоціюється з твердими бітумами і коффінітом, становить 220-200°C [3, 5, 7, 10]. Широке, хоча і слабе проявлення тектонічної тріщинуватості призвело до розосередженого розвантаження розчинів і формуванню безлічі дрібних рудопоявів.

Гідротермально-регенераційні прояви барит-флюорит-поліметалічної рудної формації також сформувалися в кіммерійську металогенічну епоху тектонічної активізації. У південно-західній частині Волино-Подільського артезіанського басейну ексфільтраційного типу розміщується область сучасного і давнього розвантаження пластових вод венду і ранньо-середнього палеозою. Це розвантаження відбувалося як в межах водоносних горизонтів, так і в Подільській зоні розломів. В результаті з термальних вод відклалися кальцит, флюорит, барит, деякі сульфіди, бітуми (керит). Тут відомо Бахтинське родовище флюориту, яке складається з двох майже ізометричних пластових покладів в базальних товщах венду [1, 5, 8].

Слід зазначити, що тверді бітуми (антраксоліт і нижчий керит, за визначенням В.Ф. Пенькова), як правило, урану не містять. Коффініт заміщає і

обрамляє виділення бітумів або утворює в них мікропрожилки в тісній асоціації з піритом, рутилом та кальцитом. Тобто бітуми виступають в ролі відновників.

Таким чином, етап сформування платформного чохла на території Волино-Подільської металогенічної області характеризувався розподілом урану і супутніх рудних елементів в процесі літогенезу осадових порід та нової регенерації в епоху пізньопалеозойської-ранньомезозойської тектонічної активізації за участю як екзогенних, так і ендегенних процесів.

Висновки.

У сучасній геологічній науці під гідрогенним рудоутворенням розуміють процеси рудоутворення, обумовлені діяльністю підземних вод і в явному вигляді не пов'язані з магматизмом. Поряд з провідною роллю екзогенних процесів в утворенні гідрогенних родовищ можлива участь глибинних флюїдів і термальних розчинів ендегенного походження.

Взаємодія літогенних (формаційних) розчинів з глибинними флюїдами, що несуть тепло і речовину глибоких зон земної кори і мантії, обумовлює нерівноважний фізико-хімічний стан з вміщуючими породами, що є причиною мінералізації підземних вод і перетворення їх в рудоутворюючі розчини.

Джерелом металів (і, зокрема, урану) для формування рудних концентрацій є тріщинуваті кристалічні породи фундаменту та їх кора вивітрювання, так само, як й самі осадові породи з фоновими (або підвищеними) вмістами рудних елементів.

Рудоносний флюїд має переважно водяний склад. Поведінка вуглеводнів в гідротермальних розчинах вадозного походження підпорядковується законам спільної розчинності H_2O , CO_2 , CH_4 і рідких бітумоїдів при різних тисках та температурах.

Численними дослідженнями доведено, що епіплатформна активізація різновікових і різнотипних геотектонічних структур, що мають осадовий чохол, призводить до поєднання в часі, а часто і в просторі, рудоутворюючих процесів, обумовлених низхідними інфільтраційними водами і висхідними гідротермальними розчинами.

Такі рудоутворюючі процеси на території України простежуються в Доно-Дніпровській структурно-металогенічній зоні і Волино-Подільській металогенічній області.

У Доно-Дніпровській структурно-металогенічній зоні в кіммерійську металогенічну епоху (пізній тріас – рання крейда) розломні зони і тектонічно ускладнені солянокупольні антикліналі служили вогнищами розвантаження як для

висхідних гідротермальних розчинів, так і для напірних інфільтраційних вод. В результаті сформувалася група полігенних родовищ уран-бітум-ртутного складу, в тому числі Адамівське уранобітумне родовище і Слов'янське родовиявлення ртуті, розташовані в межах однієї структури.

Судячи з геологічних та ізотопних даних, родовища урану сформувалися в триасі (195 ± 5 млн. років) з ураноносних кисеньвмісних ґрунтових вод на флюїдному відновлювальному бар'єрі, обумовленому впровадженням в водоносні горизонти червоноколірної дронівської світи нафтоносних вуглекисло-гідрокарбонатних термальних розчинів. Ртутно-поліметалеве оруденіння розташоване нижче, в основі дронівської світи, переважно в зоні Південного розлому і уздовж швів розлому в соляній діапировій брекчії, у відкладеннях пермі та верхнього карбону; утворилося зі згаданих вище вуглекисло-гідрокарбонатних термальних розчинів, які містили вуглеводи (бітумоїди) і ртуть, що доведено ізотопно-геохімічними дослідженнями.

На території Волино-Подільської металогенічної області рудопрояви кіммерійської епохи утворені висхідними низькотемпературними вуглекисло-вуглеводневими хлоридними розчинами глибинного (метаморфічного або метагенетичного) походження, які до завершення рудоутворення розбавлялися підземними метеорними водами. Це призвело до перерозподілу урану і супутніх рудних елементів в процесі літогенезу осадових порід та регенерації в епоху пізньопалеозойської-ранньомезозойської тектонічної активізації за участю як екзогенних, так і ендегенних процесів.

Результатом стало формування гідротермально-регенераційних родовиявлень урану, для яких характерні приуроченість до зон розривних порушень, прожилково-вкраплений характер мінералізації, наявність її не тільки в осадових породах, але і в зонах тріщинуватості фундаменту, асоціація уранових мінералів (коффініту, настурану) з виділеннями твердих чорних бітумів, околорудні зміни вміщуючих порід (окварцювання, діккітізація або серіцітізація), а в ряді випадків зв'язок уранової мінералізації з рудопроявами барит-флюорит-поліметалічної формації.

На закінчення слід зазначити, що на всіх етапах становлення теорія гідрогенного рудоутворення була найтіснішим чином пов'язана з запитами практики, що зумовило не тільки її фундаментальність, а й прикладне значення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шумлянський В.А., Сушук Е.Г. и др. Гидрогенное рудообразование в фанерозое Украины // Геохимия и экология. 2003, вып. 8. С. 82-105.
2. Кисляков Я.М., Щёточкин В.Н. Гидрогенное рудообразование. М.: ЗАО «Геоинформарк», 2000. 608 с.
3. Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования. Москва: Атомиздат, 1980. 270 с.
4. Сушук К.Г., Верховцев В.Г. Металогенія урановорудних районів в осадовому чохлі Українського щита // Зб. наук. праць ІГНС НАН України. К. 2017. Вип. 27. С. 50-74.
5. Сушук К.Г., Верховцев В.Г. Металогенія урану в фанерозої платформної частини України // Геохімія техногенезу (Зб. наук. праць ІГНС НАН України). К. 2019. Вип. 2 (30). С. 70-83.
6. Сушук Е.Г. Закономерности концентрации микроэлементов в верхнепалеозойских осадочных формациях северо-западного Донбасса. Препринт ИГФМ НАН Украины. Киев. 1976. 34 с.
7. Шумлянський В.А. Киммерийская металлогеническая эпоха на территории Украины. Киев: Наук. думка, 1983. 220 с.
8. Сушук Е.Г. Соотношение эндогенных и экзогенных процессов при формировании урановых концентраций в зоне рифей-вендского несогласия на западном склоне Украинского щита // Зб. наук. праць ІГНС НАН України. К. 2007. Вип. 15. С. 69-76.
9. Сушук Е.Г. Рудообразующая роль процессов оглеения в осадочных формациях Украины // Зб. наук. пр. ІГНС НАН України. К. 2012. Вип. 20. С. 51-59.
10. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Отв. ред. Я.Н. Белевцев, В.Б. Коваль. Киев: Наук. думка, 1995. 396 с.
11. Кузнецова С.В. О рудной минерализации Северо-Западного Донбасса // Минерал. сб. Львов. ун-та. 1971. 2, № 25. С. 11-123.
12. Металогенія урановорудних районів в осадовому чохлі Українського щита: монографія / За ред. В.Г. Верховцева; В.Г. Верховцев, К.Г. Сушук, Ю.О. Фомін, Ю.Є. Тищенко, М.П. Семенюк, Ю.М. Деміхов, І.Л. Колябіна, О.В. Вайло, І.І. Михальченко. Київ: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2019. 159 с.

REFERENCES

1. Shumlyansky, V.A. and Suschuk, E.G. 2003. *Geochemistry and ecology*, Vyp. 8, Kyiv, UA, pp. 82-105. – in Russian
2. Kyslyakov, Ya.M. and Shchotochkin, V.N. 2000. *Hydrogenic ore formation*. Moscow, RUS, 608 p. – in Russian
3. Hydrogenic uranium deposits. Fundamentals of the formation theory. 1980. Moscow, RUS, 270 p. – in Russian
4. Suschuk, K.G. and Verkhovtsev, V.G. .2017. Metallogeny of uranium ore areas in the sedimentary cover of the Ukrainian Shield. *Zb. nauk. pr. Inst. Geohimii Navkolyshn'ogo Seredovyshcha*, Vyp. 27, Kyiv, UA, pp. 50-74. in Ukrainian
5. Suschuk, K.G. and Verkhovtsev, V.G. 2019. Uranium metallogeny in the Phanerozoic platform part of Ukraine *Zb. nauk. pr. Inst. Geohimii Navkolyshn'ogo Seredovyshcha*, Vyp. 2 (30), Kyiv, UA, pp. 56-69. in Ukrainian
6. Suschuk, E.G. 1976. Regularities of the concentration of trace elements in the Upper Paleozoic sedimentary formations of the North-West Donbass. *Preprint IGFM AN USSR, Kiev*, UA, 34 p. – in Russian
7. Shumlyansky, V.A. 1983. Cimmerian metallogenic era in Ukraine. *Nauk. dumka, Kiev*, UA, 220 p. – in Russian

8. Suschuk, E.G. 2007. The ratio of endogenous and exogenous processes during the formation of uranium concentrations in the Riphean-Vendian unconformity zone on the western slope of the Ukrainian Shield. *Zb. nauk. pr. Inst. Geohimii Navkolyshn'ogo Seredovyshcha*, Vyp. 15, Kyiv, UA, pp. 69-76. – in Russian
9. Suschuk, E.G. 2012. Ore-Forming Role of Gleying Processes in Sedimentary Formations of Ukraine. *Zb. nauk. pr. Inst. Geohimii Navkolyshn'ogo Seredovyshcha*, Vyp. 20, Kyiv, UA, pp. 51-59. – in Russian
10. Genetic types and patterns of distribution of uranium deposits in Ukraine 1995. Repl. ed. Ya.N. Belevtsev, V.B. Koval, Nauk. dumka, Kiev, UA, 396 p. – in Russian
11. Kuznetsova, S.V. About ore mineralization of the North-Western Donbass. *Mineral. sb. Lvov university*, 2, № 25, Lviv, RUS, pp. 11-123. – in Russian
12. Metallogeny of uranium ore regions in the Ukrainian shield sedimentary cover 2019. Repl. ed. V.G. Verkhovtsev, Nauk. dumka, Kiev, UA, 159 p.- in Ukrainian

Е. Г. Сущук, В. Г. Верховцев, Н. П. Семенюк, Ю. Е. Тищенко, Д. Б. Задорожный

РОЛЬ ЭНДОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ГИДРОГЕННОМ РУДООБРАЗОВАНИИ

В процессах гидрогенного рудообразования, обусловленного деятельностью подземных вод и в явном виде не связанного с магматизмом, возможно участие глубинных флюидов и термальных растворов эндогенного происхождения, что является причиной неравновесного физико-химического состояния с вмещающими породами, минерализации подземных вод и превращения их в рудообразующие растворы. Рудоносный флюид имеет преимущественно водный состав. Поведение углеводородов в гидротермальных растворах вадозного происхождения подчиняется законам совместной растворимости H_2O , CO_2 , CH_4 и жидких битумоидов при различных давлениях и температурах. Эпиплатформенная активизация разновозрастных и разнотипных геотектонических структур, обладающих осадочным чехлом, приводит к совмещению во времени, а часто и в пространстве, рудообразующих процессов, обусловленных нисходящими инфильтрационными водами и восходящими гидротермальными растворами. Такие рудообразующие процессы на территории Украины прослеживаются в Доно-Днепровской структурно-металлогенической зоне и Волыно-Подольской металлогенической области. В Доно-Днепровской структурно-металлогенической зоне в киммерийскую металлогеническую эпоху (поздний триас – ранний мел) разломные зоны и тектонически осложнённые солянокупольные антиклинали служили очагами разгрузки как для восходящих гидротермальных растворов, так и для напорных инфильтрационных вод. В результате сформировалась группа полигенных месторождений уран-битум-ртутного состава, в том числе Адамовское уранобитумное месторождение и Славянское рудопроявление ртути, расположенные в пределах одной структуры. На территории Волыно-Подольской металлогенической области рудопроявления киммерийской эпохи образованы восходящими низкотемпературными углекисло-углеводородными хлоридными растворами глубинного (метаморфического или метагенетического) происхождения, которые до завершения рудообразования

разбавлялись подземными метеорными водами. Это привело к перераспределению урана и сопутствующих рудных элементов в процессе литогенеза осадочных пород и регенерации в эпоху позднепалеозойско-раннемезозойской тектонической активизации при участии как экзогенных, так и эндогенных процессов. Результатом явилось формирование гидротермально-регенерационных рудопроявлений урана, для которых характерны приуроченность к зонам разрывных нарушений, прожилково-вкрапленный характер минерализации, наличие её не только в осадочных породах, но и в зонах трещиноватости фундамента, ассоциация урановых минералов (коффинита, настурана) с выделениями твёрдых чёрных битумов и рудопроявлений барит-флюорит-полиметаллической формации.

Ключевые слова: теория гидрогенного рудообразования, эндогенные процессы, урановые руды, платформенные структуры, осадочный чехол, Украина.

K.G. Suschuk, V.G. Verkhovsev, N.P. Semenyuk, Yu.E. Tyshchenko, D.B. Zadorozhnyi

THE ROLE OF ENDOGENOUS FACTORS IN HYDROGENIC ORE FORMATION

Processes in hydrogenic ore formation by groundwater and does not explicitly associated with the magmatism, possible participation of deep fluids and thermal solutions are of endogenous origin, which is the cause of non-equilibrium physico-chemical condition of the host rocks, mineralization of underground waters and their transformation into ore-forming solutions. The ore-bearing fluid has a predominantly aqueous composition. The behavior of hydrocarbons in hydrothermal solutions of vadose origin obeys the laws of joint solubility of H₂O, CO₂, CH₄ and liquid bitumoids at various pressures and temperatures. Epiplatform activation of geotectonic structures of different ages and types that have a sedimentary cover leads to a combination of ore-forming processes in time and often in space caused by descending infiltration waters and ascending hydrothermal solutions. Such ore-forming processes on the territory of Ukraine can be traced in the Don-Dnipro structural-metallogenic zone and the Volyn-Podolsk metallogenic region. In the Don-Dnipro structural-metallogenic zone during the Cimmerian metallogenic epoch (late Triassic – early Cretaceous), fault zones and tectonically complicated salt-dome anticlines served as discharge centers for both ascending hydrothermal solutions and pressure infiltration waters. As a result, a group of polygenic deposits of uranium-bitumen-mercury composition was formed, including the Adamovskoye uranium-bitumen deposit and the Slavyanskoye mercury ore occurrence, located within the same structure. On the territory of the Volyn-Podolsky metallogenic region, Cimmerian-era ore occurrences are formed by ascending low-temperature carbon dioxide-hydrocarbon chloride solutions of deep (metamorphic or metagenetic) origin, which were diluted by underground meteor waters before the completion of ore formation. This led to the redistribution of uranium and associated ore elements during the lithogenesis of sedimentary rocks and regeneration during the late Paleozoic-early Mesozoic tectonic activation involving

both exogenous and endogenous processes. The result was the formation of hydrothermal-regenerative uranium ore occurrences, which are characterized by their proximity to zones of discontinuous faults, veined-interspersed mineralization, its presence not only in sedimentary rocks, but also in zones of foundation fracturing, association of uranium minerals (coffinite, nasturane) with the release of solid black bitumen and ore occurrences of the barite-fluorite-polymetallic formation.

Key words: theory of hydrogenic ore formation, endogenous processes, uranium ores, platform structures, sedimentary cover, Ukraine.

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

К. Г. Суцук

e-mail: mamas@i.ua

В. Г. Верховцев

e-mail: Verkhovtsev@ukr.net

М. П. Семенюк

e-mail: semenuk205@gmail.com

Ю. Є. Тищенко

e-mail: u-risk@ukr.net

Д. Б. Задорожний

e-mail: zddima0@gmail.com

Стаття надійшла: 15.12.2020