

УДК 553/495: 553.061.6 (477)

МЕТАЛОГЕНІЯ УРАНОВИХ РУДНИХ РАЙОНІВ В ОСАДОВОМУ ЧОХЛІ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Сущук К.Г., Верховцев В.Г.

Сущук К.Г. канд. геол.-мін. н., пров. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Mamas @ i. ua.
Верховцев В.Г. докт. геол. н., зав. відділу ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»,
Verkhovtsev@ukr.net.

Металогенія уранових рудних районів в осадовому чохлі Українського щита (УЩ) визначається такими факторами, як історія формування та будова осадового чохла, структурно-тектонічні і гідрогеологічні умови формування гідрогенних уранових родовищ, літологічні та мінералогічні особливості окремих родовищ, можливості видобутку, прогноз нарощування запасів. Мезо-кайнозойський осадовий чохол УЩ сформований упродовж юрського, крейдового, палеогенового, неогенового та пліоцен-четвертинного тектоно-седиментаційних циклів. Континентальна вуглисто-теригенна формація бучацького віку середнього еоцену, що сформувалася впродовж палеогенового тектоно-седиментаційного циклу, містить гідрогенні інфільтраційні промислові родовища урану. Геолого-структурні особливості формування уранових родовищ визначалися тектонічним режимом УЩ. Гідрогеологічні умови рудоутворення обумовлені характером області живлення водоносних горизонтів осадового чохла, наявністю сучасної гідрогеохімічної зональності в підземних водах та закономірностями переміщення потоків ґрунтових і пластових підземних вод. Металогенічна урановорудна область в осадовому чохлі УЩ складається з трьох рудних районів – Південно-Бузького, Інгуло-Інгулецького, Саксагансько-Сурського. Окремі уранові родовища визначаються характерними особливостями. Уранове зруденіння супроводжується концентраціями Re, Se, Sc, TR, придатними для супутнього видобування. Викладена загальна генетична схема гідрогенного рудоутворення. Сформульовано пошукові критерії та надано прогноз пошуків і нарощування урановорудного потенціалу.

Ключові слова: уран, Український щит, металогенічні епохи, осадовий чохол, гідрогенні родовища, фактори рудонакопичення.

Вступ

Дослідження металогенії уранових рудних районів в осадовому чохлі УЩ: закономірностей їх розміщення та формування, характеристика окремих родовищ, їх промислової цінності і рентабельності видобутку – необхідні як для ефективного прогнозу пошуків та розвідки промислових родовищ урану і цінних супутніх елементів, так і для наукового розвитку та вдосконалення теорії гідрогенного рудоутворення, яке в сучасному розумінні означає формування родовищ підземними водами внаслідок процесів, явною мірою не пов'язаних з магматизмом. Металогенія рудних районів визначається такими факторами, як історія формування та будова осадового чохла, структурно-тектонічні і гідрогеологічні умови формування гідрогенних уранових родовищ, літологічні та мінералогічні особливості окремих

родовищ, можливості видобутку, прогноз наросування запасів.

Історія формування та будова осадового чохла УЩ

В осадовому чохлі УЩ, як і в осадових чохлах платформ взагалі, можливість рудоформуючого процесу, його інтенсивність, місце і час у взаємопов'язаному ланцюгові геологічних подій визначали такі фактори, як еволюція палеобасейнів седиментації та областей денудації, джерело рудної речовини, геотектонічний, структурний, кліматичний, палеогеографічний, фаціальний рудоконтролюючі фактори, прояви тектонічної і магматичної активізації, неотектоніка. Аналіз наведених факторів сприяє ефективному прогнозу пошуків та розвідки рудних родовищ і, зокрема, промислових родовищ урану.

УЩ уособився як самостійна горстова структура на південному заході Східноєвропейської платформи наприкінці протерозою. Оформлення щита зі схилами і закладання суміжних структур розпочалося з рифею. Повне замикання його сучасного контуру завершилося в ранній крейді.

Мезо-кайнозойський осадовий чохол УЩ сформований впродовж юрського, крейдового, палеогенового, неогенового та пліоцен-четвертинного тектоно-седиментаційних циклів. При цьому він має переважно кайнозойський вік, а мезозойські відклади потужністю від 0 до декількох десятків метрів розвинені лише на 2-3 % його площі.

Наприкінці кімерійської та на початку альпійської епох в історії розвитку регіону, як і всієї платформи, виділяються два тектоно-седиментаційних цикли – юрський і крейдовий, з послідовними стадіями еволюції трансгресивно – регресивних і континентальних режимів та відповідними групами і комплексами формацій [1]. *Юрський формаційний комплекс* на УЩ, його схилах і на суміжних площах структур обрамлення представлений континентальними, морськими і континентально-морськими (лагунними) теригенно-вугленосними і теригенними формаціями. Відклади (річкові, алювіально-озерні, озерно-болотні, флювіальні, морські кременисто-карбонатно-теригенні тощо) фаціально не витримані. *Крейдовий формаційний комплекс* представлений континентальними (переважно ранньокрейдowymi) і морськими формаціями. До складу комплексу входить континентальна бокситоносно-вугленосна теригенна формація, розвинена на північно-східному та південному схилах УЩ, на Волинському, Подільському, Уманському і Інгульському блоках, а також в межах північного борту Причорноморської западини і на Приазовському масиві. В фаціальному відношенні відклади континентальних формацій представлені флювіальною і озерно-болотною групами генетичних типів відкладів. Аптський вік і початок альбського віку ранньої крейди відзначалися нестабільністю і нерівномірністю проявів вертикальних рухів, що сприяло змінам

врізання річок та частковому або й повному розмиву раніш накопичених флювіальних і озерно-болотяних фацій. Найбільш нестійким був режим в зонах активізації, що знайшло відображення у випаданні окремих частин розрізу або різкому зростанні потужностей відкладів, формуванні густої сітки древніх долин, ступенево-бар'єрній будові структурних зон. Морські формації нижньої-верхньої крейди, що майже повністю перекривають континентальні, складені переважно кременисто-теригенними, кременисто-карбонатними і теригенно-карбонатними товщами.

У другій половині пізньої крейди альб-сеноманська трансгресія змінилася регресією, і на початку палеогенового тектоно-седиментаційного циклу територія регіону являла собою занижену вирівняну поверхню, розпад якої на різновисотні блоки відбувся на початку палеогену. Відклади палеогену відкриває теригенно-карбонатна формація палеоценового віку. Раньоеоценові формації переважно глауконіт-теригенного складу розвинені на північно-східному схилі і суміжних ділянках щита. Найбільшу цікавість з точки зору металогеї становлять континентальні формації бучацького віку середнього еоцену, що покривають значну частину УЩ. Серед них виділяються такі комплекси фацій: долинні – алювіальні і озерно-болотяні; прибережних низин – у вигляді покровів на значних, у тому числі міждолинних площах; великих озерних водоймищ (Конксько-Ялинської і Болтишської западин). Бучацькі відклади простежуються у вигляді численних розгалужених смуг довжиною до 50-80 км (в районі Олександрії більше 100 км), шириною 3-7, іноді до 10 км і потужністю від кількох метрів до 40-50, іноді до 70-80 м. В цілому вони складають вугленосно-теригенну формацію, у складі якої виділяються дві субформації: верхня теригенна і нижня вуглисто-теригенна.

Вуглисто-теригенна субформація, що містить промислові гідрогенні родовища урану, має чітку тричленну будову. Підвугільна базальна товща, розвинена у нижніх вузьких частинах долин, представлена русловими фаціями теригенних порід. Вугленосна товща побудована більш складно. Виділяються заплавні, озерно-болотяні, рідше руслові фації, складені вуглистими пісками, глинами, бурим вугіллям, лінзами каолінів та пісковиків. Глиниста складова відкладів представлена каолінітом [2]. Надвугільна теригенна товща, іноді вуглиста, потужністю 10-12 м розповсюджена на більшій території, ніж вугільна, але нерідко відсутня внаслідок розмиву.

Таким чином, на початку палеогенового тектоно-седиментаційного циклу осадконагромадження було пов'язане із формуванням озерно-болотяних та флювіальних обстановок, палеоценове море покривало тільки нижню частину північно-східного схилу щита

і частину Чорноморської западини. В ранньому еоцені море трансгресувало на північ уздовж північно-східного схилу, і в той же час в долинах щита почалося формування торфовищ. Але підвищений рівень суходолу і значна швидкість течії річок не сприяли стабільному осадконагромадженню, внаслідок чого рослинний детрит виносився у море і розсіювався. В середньому еоцені (*бучацький вік*) трансгресія моря продовжувала розвиватися на північно-східному і частково південному схилах щита, а на основній його території настав час найбільш інтенсивного континентального осадконагромадження і розвитку торфовищ у флювіальних та озерно-болотяних умовах на просторах акумулятивних рівнинах і прибережних заболочених низинах. Пізньоеоценові (київські) відклади утворили теригенно-мергельну формацію на більшості території УЩ, а в олігоцені відбулася регресія, і наприкінці віку море залишилося лише на півдні Причорноморської западини.

Неогеновий тектоно-седиментаційний цикл розвитку регіону розпочався формуванням континентальної вугленосно-теригенної формації, у складі якої виділяються флювіальні (руслові, заплавні) та озерно-болотяні генетичні типи відкладів. Континентальна формація перекривається морською піщаною, яка складає полтавську світу міоцену, досить витриману за складом. Вона покриває північно-східний схил щита й значні площі Уманського, Інгульського та Середньо-Придніпровського блоків. Далі на території щита почалася регресія, і у другій половині понту відбулося повне осушення регіону.

Початок *пліоцен-четвертинного циклу* внаслідок осушення території щита та встановлення сухого континентального клімату ознаменувався формуванням залізистої кори вивітрювання з утворенням червоно-бурих і строкато-кольорових глин. Наприкінці пліоцену формується нова річкова мережа. Річні долини налічують різну кількість терас, переважно четвертинного віку. Більшість долин являються активно акумулюючими, внаслідок чого флювіальні відклади (руслові і заплавні) містять концентрації рудних мінералів. Окремі райони на півночі щита, на західному, північному та північно-східному схилах виділяються як області інтенсивної седиментації озерно-болотяних відкладів, у тому числі області формування значних торфовищ. Тобто, в наш час відбувається накопичення вугленосно-теригенної формації.

Мезо-кайнозойський осадовий чохол УЩ містить різновікове зруденіння, яке має різне промислове значення. Це різноманітні розсіпні концентрації мінералів титану, торію, олова, рідкісних земель, родовища бокситів і високоглиноземистих каолінів, марганцевих і залізних руд, урану та супутніх елементів (скандію, ренію та ін.), свинцево-цинкове зруденіння. Можливість реалізації екзогенного рудоутворюючого процесу, характер

зруденіння та його локалізації визначалися всією історією геологічного розвитку регіону. Особлива роль в пліоцен-четвертинний час належала екзогенним, потенційно рудоутворюючим процесам, пов'язаним з діяльністю підземних вод.

Структурно-тектонічні умови формування гідрогенних уранових родовищ в осадовому чохла УЩ.

Вся складність і багатоплановість розвитку УЩ в цілому та в тому числі його осадового чохла обумовлювалась тектонічним режимом, який визначав еволюцію трансгресивно-регресивних подій і характерні їх просторово-часові особливості.

Так, аналіз геолого-структурних особливостей інфільтраційних родовищ Інгуло-Інгулецького рудного району вказує на тісний зв'язок їх формування з неотектонічними посуваннями довгоживучих розломів у кристалічному фундаменті, переважно широтного простягання. На території цих родовищ відомі численні прояви неотектонічних рухів як в породах фундаменту, так і осадового чохла. Тут широко розповсюджені тектонічні шви із дзеркалами ковзання та борознами тертя в третинних відкладах по всьому розрізу від кори вивітрювання до пізньокрейдових, найбільш виражені в глинистих породах. Зустрічаються інтервали перемитих порід потужністю до 10 м.

Неоднорідний склад порід фундаменту обумовив їх неоднорідний розмив з утворенням палеодепресивних піднять і занурень в осьовій частині, до яких приурочений ряд родовищ бурого вугілля та вуглепроявів.

Ряд дослідників [4] вважає, що у інфільтраційних родовищ урану Інгуло-Інгулецького рудного району спостерігається чітка геотектонічна вибірковість, яка забезпечує прояв енергійної гідродинаміки у сфері водообміну та інтенсивність ерозійних процесів. У вузлах перетину розломів відбувалося змішування тріщинних розчинів і екзогенних пластових вод. Ще один фактор уранонакопичення в осадовому чохла УЩ – оживлення гідродинамічного режиму підземних вод при відкритті водоносного горизонту річковою мережею внаслідок неотектонічної активізації щита, оскільки концентрації урану залежать від формування зон ґрунтового і пластового окислення. Саме така неотектонічна активізація УЩ відбувалася на межі раннього і пізнього пліоцену, що сприяло формуванню зон окислення.

Гідрогеологічні умови гідрогенного інфільтраційного рудоутворення в осадовому чохла УЩ

У формуванні гідрогенних родовищ вирішальна роль належить підземним водам різного походження. Гідрогеологічні умови рудоутворення визначаються такими основними факторами: 1) характером області живлення водоносних горизонтів осадового чохла; 2)

наявністю сучасної гідрогеохімічної зональності в підземних водах; 3) закономірностями переміщення потоків ґрунтових і пластових підземних вод.

1) Область живлення водоносних горизонтів осадового чохла. Встановлено, що ґрунтові води осадового чохла формуються в межах головного вододілу, який проходить у субширотному напрямку вздовж УЩ, а також на вододілах другого порядку між притоками річок Дніпро, Південний Буг, Молочна. Основними дренами є русла цих річок, додатковими – русла їх приток. Усі гідрогенні уранові родовища в осадовому чохлі розміщуються на шляху прямування підземних вод від вододілів другого порядку до областей розвантаження.

Живлення водоносних горизонтів палеогену здійснюється водами четвертинних піщано-глинистих відкладів пліоцену. За радіогеохімічними даними води четвертинних відкладів у степовій фізико-географічній зоні УЩ містять уран у дещо підвищеній кількості (в середньому $1,2 \cdot 10^{-5}$ г/л), що можна пояснити його випарною здатністю аналогічно накопиченню урану в інших областях з аридним кліматом.

Певна роль у формуванні уранових рудних покладів належить також підземним водам фундаменту, оскільки породи фундаменту та кора їх вивітрювання є важливим джерелом урану для формування рудних покладів. Абсолютні позначки рівнів підземних вод у породах фундаменту змінюються від +50 до +140 м, води напірні. У південній частині щита, в Інгуло-Інгулецькому рудному районі рівні підземних вод опускаються до +20 м, що вказує на область розвантаження в басейні р. Інгул. Подекуди п'езометричні рівні тріщинуватих вод вищі від вод бучацького водоносного горизонту. Це вказує на можливість збагачення бучацького водоносного горизонту ураном на цих ділянках за рахунок вод зони тріщинуватості. На вододільних ділянках вміст урану в водах зон тріщинуватості складає $1 \cdot 10^{-5}$ г/л, а в області транзиту від вододілу до дрону вміст урану у воді збільшується до $3 \cdot 10^{-5}$ г/л за рахунок вилуговування урану з порід.

У тих частинах території, де води протікають по корі вивітрювання порід фундаменту, особливо у місцях розповсюдження порід з підвищеним вмістом урану, концентрація його у водах ґрунтового окислення підвищується в середньому до $7 \cdot 10^{-5}$, а подекуди до $(1,5-3) \cdot 10^{-4}$ г/л. Вміст урану в ґрунтових водах в результаті його вилуговування з кори вивітрювання і кристалічних порід збільшується у 6-25 разів у порівнянні із вмістом у водах четвертинних відкладів. За цих умов велике значення має фоновий вміст урану у кристалічних породах областей живлення, які зазвичай виражені неотектонічними склепінними підняттями («куполами»), навкруги яких сформувалися всі відомі родовища і рудовиявлення.

2) Другий важливий фактор умов гідрогенного рудоутворення – існування сучасної

гідрогеохімічної зональності, в якій підземні води, що містять уран і кисень, вниз за потоком змінюються на сірководневі, в яких вміст урану зменшується у 10 разів. Тобто відбувається висаджування урану на геохімічному бар'єрі.

Взагалі інфільтраційному рудоутворенню в бучацьких відкладах середнього еоцену сприяли такі гідрогеологічні фактори, як наявність в них напірного водоносного горизонту, у ряді випадків пов'язаного із тріщинними водами кристалічних порід фундаменту, а також гідрогеологічно закритий характер бучацьких структур. У цих відкладах на протязі тривалого часу існували сприятливі умови для висаджування урану із підземних вод внаслідок відновлювальної або близької до неї природної гідрохімічної обстановки. Гідрохімічна обстановка, яка збереглася у запечатаних київськими глинами бучацьких відкладах, сприяла також збереженню уранових покладів, у зв'язку з чим винос урану і радію відбувався тут повільно, а рознос урану вниз за потоком із уранового покладу складає всього десятки метрів.

Так, дослідження Девладівського родовища на час його розвідки показали різку диференціацію вод за концентрацією водневого іону, що свідчить про існування тут і раніше відновлювальних геохімічних умов [6]. Встановлено, що в межах уранових покладів $pH = 7,1-8,0$, обстановка близька до відновлюваної, вміст урану у воді складає до $9,75 \cdot 10^{-5}$ г/л, вміст радію від $1,8 \cdot 10^{-11}$ до $3,9 \cdot 10^{-10}$ г/л. У безрудних пісках бучацького горизонту та на ділянках навкруги покладів, тобто у зонах більш активної циркуляції підземних вод, pH знижується до 6-7, а концентрація урану і радію різко падає.

При цьому особливо цікавим є вплив гідрохімічної обстановки на розподіл урану і радію в породах. Детальними геофізичними роботами встановлено різку зміну радіоактивної рівноваги в урановому пласті: в середній частині рудного пласта вона зміщена в бік урану і складає 50-70 %, а в крайових частинах, верхній і нижній різко зростає у бік радію і складає в середньому 120-150 %, в окремих випадках до 200-600 %. Про перерозподіл радію у рудних пластах Девладівського родовища підземними водами також свідчить висаджування в крайових частинах рудних пластів мінералів, які містять радій – радіобариту, радіопіриту.

Для осадового чохла УЩ характерна наявність багатоконпонентних радіогідроаномалій, які тяжіють до тектонічних зон на ділянках, де встановлена уранова мінералізація як в кристалічних породах, так і в бучацьких відкладах.

3) Третій фактор рудоутворення полягає в закономірностях переміщення потоків ґрунтових і пластових підземних вод. Так, все уранове зруденіння Саксагансько-Сурського району як ґрунтової, так і ґрунтово-пластової окислювальної зональності розповсюджено до абсолютної позначки +50 м, тобто до урізу води у р. Дніпро. Це свідчить про формування

уранових рудних покладів потоком ґрунтових вод, в якому формуються місцеві напори, що створюють умови для формування відносно коротких смуг пластово окислених порід. Оскільки ці смуги формуються напірними водами, розвиненими під локальними водоупорами в зоні активного водообігу, окислені породи відносяться до зони ґрунтово-пластового окислення.

У ряді випадків бучацький водоносний горизонт перекритий глинами київської світи (регіональним водоупором), протяжність зони транзиту досягає десятків кілометрів, розвантаження підземних вод відбувається по розривним порушенням в середній течії р. Інгул (уріз води +20 м). Тобто гідрогеологічні умови формування епігенетичної окислювальної зональності наближаються до умов артезіанського схилу, а окислені породи водоносного горизонту можуть бути віднесені до зони пластового окислення. Такий тип зональності контролює уранове зруденіння Братського і Сафонівського родовищ.

Як вже зазначено вище, широкий розвиток процесів формування зон окислення і пов'язаного з ними уранового зруденіння в осадовому чохлі УЩ і його схилів почалося на межі раннього і пізнього пліоцену та продовжується в даний час.

Характеристика рудних районів та родовищ, металоґенічної урановорудної області в осадовому чохлі УЩ

Промислові ресурси урану в піщано-вуглистій формації палеогену осадового чохла УЩ зосереджені в межах субширотної металоґенічної області північно-східного простягання на вододільній частині щита шириною від 30 км на південному заході до 80 км на північному сході. Ця металоґенічна область об'єднує верхів'я, відгалуження, іноді середні частини палеодепресій обох схилів УЩ: від Бандурської на південному заході до Синельниківської на північному сході. Виділяються крупні палеодолини першого порядку протяжністю до 100 км (Західно- і Східно-Криворізька, Нікопольська та ін.), другого порядку протяжністю до 50 км, що впадають в долини першого порядку (наприклад, Девладівська) або самостійні (Братська, Костянтинівська, Єланець-Михайлівська та ін.), третього порядку протяжністю до 30 км (Мошоринська та ін.), а також відгалуження палеодолин довжиною декілька кілометрів. За межами цієї області в напрямках до північного заходу та південного сходу в палеодепресіях розвинені утворення озерно-болотного та лиманно-лагунного фаціальних комплексів палеогену, менш сприятливі для розвитку гідрогенного уранового рудоутворення, пов'язаного з процесами ґрунтового, ґрунтово-пластового і пластового окислення.

Основні промислові уранові родовища приурочені переважно до комплексу річкових відкладів вугленосного бучацького ярусу середнього еоцену, які або повністю заповнюють

ерозійно-тектонічні палеодолини на поверхні щита, або залягають в основі осадового чохла під лагунно-лиманними або озерно-болотними відкладами. До комплексу річкових відкладів у центральній частині Дніпровського басейну приурочені Братське, Садове, Девладівське, Сафонівське, Хутірське родовища, Відрадний, Зарічний, Камишуватський та інші рудопрояви.

Відклади озерно-болотного комплексу найменш ураноносні. В них виявлені Шполянський, Гаївський та інші невеликі рудопрояви і мінералізація. У відкладах лагунно-лиманного фаціального комплексу знаходяться численні рудопрояви і два промислових родовища урану – Сурське і Червоноярське. Для цих відкладів характерні інтенсивна вугленасиченість та розповсюдженість витриманих вугільних покладів.

Глибина урізу палеодолин, що містять уранове зруденіння, у фундамент і кору вивітрювання до 70-90 м, протяжність – 30-100 км. Потужність перекриваючих відкладів (морських – еоцену і олігоцену або прибережно-морських – міоцену) – 30-60, максимум – 100 м.

Уранові поклади контролюються ґрунтовою та ґрунтово-пластовою, іноді пластовою епігенетичною окислювальною зональністю. Епігенетична зональність – це зональність мінеральних парагенезисів, накладена і не співпадаюча в просторі з фаціальними змінами. Вона служить основою для встановлення умов утворення мінеральних асоціацій та рудних концентрацій, що входять до неї. Уранове зруденіння завжди приурочене до конкретної зони і взагалі є частиною цієї зональності.

Залежно від умов розвитку окислювальної зональності від верхів'їв або бортів палеодолини уранові рудні поклади розміщуються або уздовж стрижня по всій ширині палеоруслу, або уздовж бортів у вигляді нешироких звивистих смуг, рідше (в разі пластового типу зональності) у вигляді ролів на виклинюванні зон пластового окислення [2, 5]. Глибина розповсюдження зон окислення і пов'язаного з ними зруденіння обмежена положенням місцевого або регіонального базису ерозії.

Повна мінералого-геохімічна зональність представлена такими зонами: 1) поверхневого окислення (просочування метеорних вод); 2) ґрунтового окислення (стікання кисневмісних ґрунтових вод); 3) ґрунтово-пластового окислення (під локальними водопорами з місцевими напорами ґрунтових вод); 4) уранового зруденіння, розташованого під нижньою поверхнею зони ґрунтового окислення або на фронтальному виклинюванні зони ґрунтово-пластового окислення; 5) не окислених порід.

Зона уранового зруденіння співпадає із зоною епігенетичного відновлення, сірководневого та сорбційного осадження ряду металів – селену, молібдену, ренію, талію,

ванадію, свинцю, міді, цинку, кобальту, нікелю, деяких рідкоземельних елементів і супроводжується інтенсивною сульфідизацією різних літолого-фаціальних типів вугленосних відкладів. Тобто, на шляху руху підземних вод, що містять кисень і уран, в породах, що містять відновники, формується відновлювальний бар'єр, на якому відбувається уранонакопичення. Оскільки ця зона є частиною загальної схеми мінералого-геохімічної зональності, наявність такої зональності в породах є характерною пошуковою ознакою інфільтраційних родовищ урану.

Загальна генетична схема гідрогенних інфільтраційних родовищ неоген-четвертинної епохи уранового рудоутворення в палеоруслас буровугільного Дніпровського басейну на території Дніпровської металогенічної області полягає в наступному. В результаті переміщення ґрунтових вод сарматського горизонту та напірних вод кристалічного фундаменту, які містять розчинений кисень і уран, в продуктивному горизонті формуються зони окислення. Внаслідок окислення піриту, інших мінералів Fe^{2+} , вуглистої речовини (вуглистої рослинного детриту) відбуваються витрати розчиненого у воді кисню і розвиваються анаеробні сульфат-відновлюючі бактерії, які вживають вуглецеву речовину, відновлюють сульфати підземних вод і продукують H_2S . Це призводить до зміни Eh з позитивного (приблизно +200 mV) на негативний (близько -250 mV) і відкладення сполук U^{4+} (оксидів або силікатів) за рахунок відновлення сполук U^{6+} (переважно гідрокарбонатних комплексів, розчинених у підземних кисеньвмісних водах). Тобто, на шляху руху підземних вод, що містять кисень і уран, в породах, що містять відновники, формується відновлювальний бар'єр, на якому відбувається уранонакопичення.

Ця загальна схема на кожному гідрогенному родовищі урану має свої відмінності, які пояснюються різним складом порід водоносного горизонту, кількістю відновних речовин та їх типом (пірит, інші сульфідні, вуглиста речовина, бітуми тощо), вмістом кисню, урану і сульфатів у воді горизонту, коефіцієнтом фільтрації, тощо. Слід зазначити, що ревізія геологічних матеріалів Девладівського уранового родовища дозволила виявити недостатнє урахування цих чинників під час розвідки та експлуатації [7].

Уранові поклади переважно пластової або лінзовидної форми локалізовані у вуглистих пісках, бурому вугіллі, рідше – у вуглистих глинах або корі вивітрювання. Вони утворюють декілька ярусів по всьому розрізу водоносного горизонту. Протяжність рудних тіл під нижньою межею зони ґрунтового окислення – до декількох кілометрів, ширина – сотні метрів, потужність – зазвичай десятки сантиметрів, зрідка до двох метрів, вміст урану – соті долі відсотка. На виклинюванні зон окислення утворюються багатші рудні тіла

потужністю до 4-5 м, які іноді мають форму ролів.

Для родовищ цього класу переважно характерні три основних літологічних типи руд: у вуглистих пісках з вуглистим рослинним детритом, вуглистих глинах і бурому вугіллі. Уранове зруденіння супроводжується інтенсивною сульфідизацією різних літолого-фаціальних типів вугленосних відкладів. Зони сульфідизації і уранового зруденіння характеризуються аномальним вмістом цілого ряду металів – селену, молібдену, ренію, талію, ванадію, свинцю, міді, цинку, кобальту, нікелю, деяких рідкоземельних елементів.

В даний час на території Дніпровської металогенічної області відомо 13 відносно невеликих (із запасами 1-3 тис. т) родовищ, 33 рудовиявлення і значна кількість проявів уранової мінералізації і радіоактивних аномалій [2]. Вони об'єднані в три рудних райони: Південно-Бузький (Братське, Садове, Ташлицьке родовища), Інгуло-Інгулецький (Сафонівське, Христофорівське, Девладівське родовища, Чабанківське, Нововолодимирське, Троїцьке та інші рудовиявлення) та Саксагансько-Сурський (Новогур'ївське, Хутірське, Криничанське, Оленівське, Сурське, Червоноярське, Петромихайлівське і Первозванівське родовища).

Південно-Бузький рудний виділений на заході південного схилу УЩ і охоплює Братське, Садове і Ташлицьке родовища. Для них характерний річковий фаціальний тип вмісних порід, наявні всі типи окислювальної зональності (переважає ґрунтово-пластова), прибортовий або долинний тип рудних покладів.

Садове родовище відкрите у 1962 році. Рудовмісні відклади заповнюють палеодепресію на поверхні щита південно-західного спрямування, представлені пачкою гирлових утворень складного літологічного складу з переважанням грубозернистих пісків, збагачених органікою, залягають горизонтально, підстеляються первинними каолінами кори вивітрювання фундаменту, покривля глинисто-вуглиста. Уранове зруденіння приурочене до піщано-вуглисто-глинистих відкладень, що заповнюють верхів'я депресії, але зустрічається також у вугіллі і глинах.

Садове родовище складається з двох рудних покладів – Північного і Південного, із запасами 70,5 % і 29,5 %, відповідно. Переважна більшість урану в рудах знаходиться у вигляді сорбції, частина – черні, рідше зустрічаються настуран і кофінит. Середній вміст урану в балансових запасах $A+B+C_1$ – 0,034 %; C_2 – 0,049 %, забалансових – 0,020 %. Коефіцієнт радіоактивної рівноваги в середньому для родовища – 97 %. Родовище передане для освоєння.

Слід зазначити, що, незважаючи на скромні запаси, Садове родовище являє інтерес для видобутку урану методом підземного свердловинного вилуговування (ПВ) завдяки невеликій ціні робіт та можливості нарощування запасів за рахунок наявності ще не

визначеного уранового зруденіння в сусідніх палеодолинах та їх відгалуженнях.

Братське родовище відкрите у 1962 році у верхів'ях Братської депресії, яка в цілому має близширотне направлення. Відклади, що містять уранову руду, розподіляються на три ритмоподібні пачки – нижню піщанисту, середню каолінисту і верхню вуглисто-глинисту. Зруденіння розвинуте у всіх пачках та в усіх літологічних різновидах порід, але в основному зосереджене в піщанистих відкладах нижньої та середньої пачок. Родовище представляє собою єдину ділянку, в якій виділяються чотири рудні поклади та ряд дрібних лінз. Рудоносна смуга піщано-вуглисто-глинистих відкладів витягується вздовж депресії на 2400 м. Форма рудних тіл – зближені пластові та лінзовидні тіла і роли, які у розрізі мають складну форму. Протяжність рудних покладів варіює від сотень метрів до перших кілометрів, потужність мінлива і коливається від 0,2 до 6,0 м. Рудні поклади сформовані завдяки як ґрунтовому, так і пластовому окисленню. Зона ґрунтового окислення розвинена по морських пісках та пісковиках сармату, нижче якого залягає потужний водоупор – київські глини – 15-26 м. Під глинами в бучаку розвивається зона пластового окислення від зон розривних порушень в бортах палеодолини та від зони ґрунтового окислення в верхів'ях палеодолини поблизу вододілу, де бучак залягає під сарматом.

За даними [5] в пластових водах Братського родовища уран знаходиться у вигляді уранілдіакарбонату $[UO_2(CO_3)_2(H_2O)_2]^{2-}$ – 82 %, уранілтрикарбонату $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$ – 10 % та лише 8 % у вигляді катіону UO_2OH^+ .

На Братському родовищі, при всьому різноманітті уранового зруденіння, виділяються три основні літологічні типи руд: у вуглистих пісках, вуглистих глинах і бурому вугіллі, які складають, відповідно, 63, 13 і 16 % в загальному балансі руд. 8 % в балансі запасів – це уранове зруденіння у верхній частині кори вивітрювання [5, 6]. Уран в рудах міститься здебільшого у вуглистій речовині (в середньому 35 %), в меншій мірі – в глинистій (в середньому 25 %) і у вигляді уранової черні (17 %). Близько 5 % урану міститься в лейкоксені і близько 3 % – в гідроксидах заліза. Вміст урану у вуглистій речовині досягає 1,7 %, в глинистій – 0,378 %. Уранова чернь встановлена тільки в багатих рудах. Вона утворює дрібні виділення, зрощення або тонкі плівки навколо зерен піриту, марказиту, ільменіту. Руди Братського родовища нерівноважні, з варіацією коефіцієнту рівноваги від 20 до 448 %, в середньому 80 %.

Уранове зруденіння супроводжується інтенсивною сульфідизацією різних літолого-фаціальних типів вугленосних відкладів. Потужність прошарків сульфідизованих порід в межах Братського рудного поля змінюється від 0,1 до 3-5 м, вміст сульфідів в них варіює від 3-5 до 30-

70 %. Сульфіди утворюють укралення, порошковаті нальоти, тонкі прожилки, стягнення і жовна в глинисто-вуглистих різновидах порід, іноді служать цементом у пісковиках. Таким чином, зона уранового зруденіння співпадає із зоною епігенетичного відновлення, сірководневого та сорбційного осадження ряду елементів і характеризується аномальним вмістом цілого ряду металів – селену, молібдену (0,05 %), ренію, талію (до 0,035), ванадію (0,01-0,02 %), свинцю (до 0,03 %), міді (0,03-0,1 %), цинку (до 0,3 %), кобальту (до 0,03 %), нікелю (0,03-0,10 %), титану (до 1 %), деяких рідкісноземельних елементів (Y, Yb, Ce, La). Коефіцієнт підновленості пісків становить 4,1 [5]. Зазвичай зони аномальних концентрацій цих металів розміщені у вуглистих породах біля області вклинювання зони пластового окислення. Переважна частина рудних елементів не утворює своїх мінералів, а входить в сульфіди заліза або сорбована глинистою речовиною.

Розвідувальними роботами встановлено, що умови обводнення, фільтраційні властивості руд і рудовміщуючої товщі придатні для відробки родовища способом ПВ. У 1968 р. його було передано відповідному підприємству для розробки. На даний час родовище відпрацьоване, але існують перспективи приросту запасів руд, придатних для ПВ, це пов'язано з продовженням пошуку в Братській і інших (Костянтинівській, Єланець-Михайлівській) депресіях, заповнених відкладами бучацького ярусу.

Ташлицьке родовище розміщується південніше Садового, подібне до нього і Братського родовищ. Приурочене до річкових вуглисто-піщаних утворень бучацького ярусу еоцену. Характерний прибортовий тип формування рудних покладів. Родовище досліджене недостатньо, потребує сучасної оцінки.

Інгуло-Інгулецький рудний район. Виділений в центральній частині Дніпровського буровугільного басейну на півдні УЩ. Охоплює верхів'я Новобузької та Сафонівської палеодепресій, а також верхів'я і прибортові частини Західно-Криворізької та Східно-Криворізької палеодепресій. За даними [4] Західно-Криворізька палеодепресія приурочена до контакту гнейсової товщі з гранітоїдами інгулецького комплексу на півдні та з гранітоїдами, що складають Боковеньківський масив, на півночі. Східно-Криворізька палеодепресія наслідує контакти порід криворізької серії з гранітами саксаганського комплексу і останніх – з гранітами дніпровського комплексу. Неоднорідний склад порід фундаменту обумовив їх неоднорідний розмив з утворенням палеодепресивних піднятих і занурень в осьовій частині, до яких приурочений ряд родовищ бурого вугілля та вуглепроявів.

В межах району відкриті Сафонівське, Христофорівське і Девладівське інфільтраційні родовища урану, Чабанківське, Нововолодимирське, Троїцьке, Відрадне, Зарічне,

Камишуватське рудовиявлення та ряд аномалій в бучацьких відкладах середнього еоцену. Всі вони пов'язані з річними фаціальними комплексами, рудні поклади долинного типу розміщені вздовж стрижнів долин по всій ширині палеорусел, тип окислювальної зональності, що формує рудні поклади, ґрунтово-пластовий. Тобто, у водоносних пластах між водоупорами, крім видовженої форми рудних тіл, наявні поклади ролоподібної форми, що містять більшу кількість рудних компонентів, ніж пластові.

Аналіз геолого-структурних особливостей інфільтраційних родовищ району вказує на тісний зв'язок їх формування з неотектонічними посуваннями довгоживучих розломів у кристалічному фундаменті, переважно широтного простягання. На території цих родовищ відомі численні прояви неотектонічних рухів як в породах фундаменту, так і осадового чохла. Тут широко розповсюджені тектонічні шви із дзеркалами ковзання та борознами тертя в третинних відкладах по всьому розрізу від кори вивітрювання до пізньокрейдових, найбільш виражені в глинистих породах. Зустрічаються інтервали перемитих порід потужністю до 10 м.

Ряд дослідників [4] вважає, що у інфільтраційних родовищ урану цього району спостерігається чітка геотектонічна вибірковість, яка забезпечує прояв енергійної гідродинаміки у сфері водообміну та інтенсивність ерозійних процесів. У вузлах перетину розломів відбувалося змішування тріщинних розчинів і екзогенних пластових вод, що давало можливість збагачення бучацького водоносного горизонту ураном на цих ділянках за рахунок вод зони тріщинуватості. Як уже було зазначено вище, на вододільних ділянках вміст урану в водах зон тріщинуватості складає $1 \cdot 10^{-5}$ г/л, а в області транзиту від вододілу до дрени вміст урану у воді збільшується до $3 \cdot 10^{-5}$ г/л за рахунок вилуговування урану з порід.

В районі також виявлені групові і поодинокі радіогідроаномалії окремих елементів та комплексні різної контрастності, що містять уран, радон, радій, гелій. Вони, як правило, супроводжуються аномальними концентраціями інших мікроелементів і групуються в декілька крупних областей розповсюдження радіоактивних вод, одна з яких виділена біля Боковеньківського масиву і має характерну чітку приналежність комплексних ореолів до крупних тектоно-метасоматичних зон. Радіогідроаномалії високо контрастні, інтенсивні, характеризуються великими площинними масштабами і посиленням ореолів з глибиною. У більшості аномалій ореоли урану, радону, радію та гелію сполучені і супроводжуються аномальними концентраціями цинку, титану, хрому, міді, стронцію, молібдену. До ореолів Боковеньківської області радіогідроаномалій приурочені Христофорівське та Сафонівське інфільтраційні родовища урану. Особливістю Христофорівської радіогідроаномалії є

встановлений за результатами спектрального аналізу сухих залишків змішаних вод кристалічних порід і бучацьких відкладів високий вміст елементів-супутників урану: цинку – 0,085, титану – 4,0, хрому – 0,2, міді – 0,115, стронцію – 2,0, молібдену – 0,003 мг/л.

Девладівське родовище тяжіє до групи радіогідроаномалій поблизу флангу Демуринаського гранітного масиву вздовж Девладівського широтного розлому. Тут переважають комплексні контрастні радіогідроаномалії. У сухих залишках підземних вод Девладівської урано-радієво-радонової радіогідроаномалії також виявлений високий вміст мікроелементів: стронцію – 3,2, титану – 1,2, нікелю – 0,06 мг/л.

Багатокомпонентні радіогідроаномалії тяжіють до тектонічних зон на ділянках, де встановлена уранова мінералізація як в кристалічних породах, так і в бучацьких відкладах.

На родовищах району разом з ураном простежується накопичення і інших елементів – селену, ренію, ітрію, стронцію, молібдену, нікелю, цинку, титану – в межах контурів уранових покладів. Приуроченість до якого-небудь літолого-фаціального комплексу бучацьких відкладів або кристалічного фундаменту відсутня, що підтверджує інфільтраційне походження аномалій.

Сафонівське родовище відкрите у 1976 році у вугленосних відкладах Сафонівського відгалуження Новобузької депресії, розташованої у сфері впливу Братського глибинного широтного розлому й частково зони Західно-Інгулецького глибинного розлому. В областях розміщення верхів'їв Новобузької і Сафонівської палеодепресій встановлені численні рудовиявлення урану в породах фундаменту на фоні площинних радіогеохімічних аномалій і обширних ореолів аномальних концентрацій урану в тріщинних водах. В районі Сафонівського родовища відмічені новітні тектонічні рухи із зміщенням верхнього водопору в окремих мікроблоках. Зона застійного режиму у водоносному бучацькому ярусі контролюється широтним розломом, на півдні від якого вугленосна товща внаслідок новітніх рухів знаходиться нижче регіонального базису ерозії.

В Сафонівській палеодепресії розташовані також Чабанківський, Нововолодимирський і Троїцький уранові рудопрояви. Всі вони пов'язані з річними фаціальними комплексами, рудні поклади долинного типу розміщені вздовж стрижнів долин по всій ширині палеорусел, тип окислювальної зональності, що формує рудні поклади, ґрунтово-пластовий.

Початок епігенетичних змін в породах вугленосної формації, пов'язаних із інфільтраційними процесами, що супроводжувалися приносом і перерозподілом урану в проникних осадах, відноситься до періодів її значного розмиву в передківський і в

передсарматський час. Про це свідчать дані ізотопного віку родовища (25 млн. років).

Родовище складається з трьох рудних покладів, найбільший з яких (Центральний) налічує ряд ізольованих рудних тіл, одне з яких витягнуте в меридіональному напрямку на 2,6 км при ширині від 100 до 900 м. Морфологія рудних покладів переважно стрічкоподібна, місцями ізометрична. В північній частині Центральний поклад в розрізі має ролоподібну форму та збагачений ураном. Інтервал глибини залягання руд становить 50-70 м. Вміст урану в рудах – 0,18 %. Непромислові рудні тіла залягають в каоліновій корі вивітрювання.

Склад руди багатоконпонентний. Разом з ураном, що міститься як в сорбованій формі, так і у формі гідроксидів (переважно черні), виявлено прояви молібдену, ренію і селену, пов'язані із сульфідами. Високий вміст селену корелюється із високим вмістом урану. Відомо [5], що реній, селен і молібден майже постійно супроводжують уран у рудних покладах, які контролюються окислювальною зональністю. Характерні також високі кларки концентрації для талія та деяких рідкісноземельних елементів. Особливістю Сафонівського родовища є телескопічний характер розвитку аномальних концентрацій елементів-супутників урану над сильно обводненими зонами розломів у фундаменті родовища. Це може свідчити про значний їх принос напірними тріщинними водами.

Сафонівське родовище є найбільш підготовленим до експлуатації: проведені детальні розвідувальні роботи, натурні дослідження на полігонах і підготовлений проммайданчик. На базі Сафонівського родовища планується апробація методу киснево-содового збагачення уранової сировини (за програмою розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року).

Результати пошукових робіт на флангах Сафонівського родовища дозволяють розраховувати на збільшення його ресурсного потенціалу на 40 %. Поблизу розвіданого Сафонівського родовища виявлено Покровську і Троїцьку перспективні ділянки, також придатні до видобутку урану методом ПВ.

Христофорівське родовище розташоване у однойменному широтному відгалуженні Західно-Криворізької депресії і контролюється зоною широтного Софіївсько-Криничуватського розлому. Відноситься до родовищ річного комплексу порівняно крупних палеодолин із слабким розвитком руслових піщаних фацій. Христофорівське відгалуження простежується в широтному напрямку на відстань приблизно 10 км.

В структурному відношенні родовище розташоване в південній частині Боковеньського масиву гранітів. Осадочний комплекс порід залягає на породах кристалічного фундаменту, представлених чергуванням гнейсів і гранітів. На породах фундаменту повсюдно розвинена кора вивітрювання, представлена первинними каолінами потужністю

від 2 до 20 м. Безпосередньо на корі залягають відклади бучацької світи, представлені вуглистими і слабо вуглистими глинами й пісками, бурим вугіллям, вторинними каолінами.

Христофорівське родовище долинного типу, в плані виглядає як одне рудне тіло, яке простежується від верхів'їв депресії на схід на відстань до 4000 м. У безпосередній близькості до родовища в північному борту депресії встановлені ореоли розсіяння урану в корах вивітрювання і кристалічних породах докембрію (Іванівське рудовиявлення).

Девладівське родовище відкрите у 1955 році, з 1962 по 1990 р. вперше в СРСР відпрацьоване методом ПВ, причому видобутий уран перевищив кількість підрахованих та затверджених ТКЗ запасів і склав 1660 т. Родовище приурочене до однойменного широтного відгалуження Західно-Криворізької депресії й контролюється зоною Девладівського глибинного розлому. Воно розміщується у верхів'ї Тернівсько-Девладівської палеодолини широтного простягання довжиною 30 км і шириною 0,4-1,5 км. Глибина врізання долини у породи кристалічного фундаменту до 20 м, потужність продуктивного водоносного горизонту (древнього алювію) – в середньому 15 м. До основного русла палеодолини з півночі та півдня примикають менш потужні відгалуження (притоки), деякі з яких теж вміщують рудні поклади. Загалом відомо 5 покладів, три з яких розроблялися методом ПВ.

Девладівське родовище за характером геологічного розрізу відноситься до річкового комплексу палеорічок з переважним розвитком руслових піщаних фацій. Рудовмісні алювіальні породи – піски різнозернисті, серед яких переважають крупнозернисті, кварцові, вуглисті, слабо глинисті, темно-сірі до чорних, з прошарками глинистих пісковиків та піщаних глин світло- та темносірих, а також з тонкими прошарками бурого вугілля (лігнітів). Нижня частина розрізу вугленосної товщі складена безвугільними різнозернистими пісками і вторинними каолінами, а верхня частина, з якою пов'язане зруденіння, – вуглистими глинами з невеличким лінзами бурого вугілля.

В районі родовища виділяють два гідрогеологічні поверхи. Верхній являє собою водоносний комплекс кайнозою, кори вивітрювання і верхньої тріщинуватої частини порід кристалічного фундаменту, який вміщує ґрунтові води. Нижній гідрогеологічний поверх представлений напірними розломно-тріщинними водами кристалічного фундаменту.

За хімічним складом ґрунтові води сульфатні зі змішаним катіонним складом. Їх якість оцінюється як дуже погана; за більшістю показників сольового складу ці води не придатні для питних цілей. Підземні води продуктивного на уран горизонту також природно збагачені хімічними речовинами вище рівнів, що нормуються Держстандартом України «Води питні». Вміст в них природних радіонуклідів такий: уран – від $2 \cdot 10^{-5}$ до $2,7 \cdot 10^{-5}$; радій – від $3,2 \cdot 10^{-12}$ до

$1,6 \cdot 10^{-10}$ г/дм³.

Гідродинамічні умови родовища формуються живленням ґрунтових вод на вододільних ділянках і стоком ґрунтових вод від вододільного плато, на якому знаходиться Девладівське родовище (між річками Саксагань і Кам'янка), з гідравлічним ухилом 0,008 і 0,02 відповідно у напрямку річок Саксагань та Кам'янка.

Уранова руда – це переважно вуглисто-глинисті піски, аналогічні за складом вмісним породам. Рідше зруденіння зустрічається у вуглистих глинах і бурому вугіллі, інколи у каолінах та безвугільних пісках і глинах. Основна маса урану знаходиться у сорбованій формі. Радіоактивні мінерали в руді представлені оксидами й титанатами урану (черні й кофініт), а також радієвими мінералами (уран-радієвий лейкоксен – псевдоморфози по ільменіту, радіобарит, радіоактивний пірит, що містить радій і радіоактивним озокеритом). Кількість цих мінералів є незначною, максимум – 0,2-0,4 % важкої фракції. Вміст урану в лейкоксені від 0,37 до 0,6 %, вміст радію – в середньому $3,8 \cdot 10^{-8}$ г/т породи. Уран-радієвий лейкоксен цих родовищ відрізняється від уран-титанових мінералів ендегенних родовищ відсутністю рідкісних земель, танталу і ніобію. У радіобариті (високорадіоактивному) уран і торій відсутні.

Тонкі аналітичні дослідження [5] показали, що оксиди урану та кофініт утворюють скупчення розміром у соті долі мм у цементі пісковиків (раніше відносились до сорбції), на поверхні кварцу, на поверхні і всередині вуглистих решток рослин, навкруги уламкових зерен та виділень дисульфідів заліза, на зернах ільменіту. Спектральний аналіз фракції з ураном більше 1 % показав наявність цинку і кадмію у кількості $\sim 0,01$ %, а також золота 10 г/т. Треба зазначити, що лишилися недостатньо вивченими південне відгалуження Терновсько-Девладівської палеодолини та західна її притока, де дві свердловини розкрили зруденіння із вмістом урану $\sim 0,01$ %.

Саксагансько-Сурський рудний район об'єднує палеодепресії північного схилу УЩ, але лише їх верхів'я, що виповнені вугленосними відкладами річкового фаціального комплексу. Основна частина депресій виповнена несприятливими для рудоутворення відкладами лагунно-лиманних фацій.

На території району відкриті Новогур'ївське, Хутірське, Криничанське, Оленівське (останні два в одній депресії), Сурське, Червоноярське, Петромихайлівське й Первозванівське родовища. Останні два також поруч одне з одним у верхів'ях Синельниківської депресії в межах Девладівського розлому.

Всі ці родовища і рудовиявлення розташовані навкруги неотектонічних склепіневих підняття у фундаменті УЩ. Це Криничанський, Кудашівський і Демурінський т. зв. «купола»,

кислі породи яких містять в середньому $4,5 \cdot 10^{-4}$, $3,5 \cdot 10^{-4}$ і $2,5 \cdot 10^{-4}$ % урану, відповідно.

Уранове зруденіння у більшості випадків контролюється ґрунтовою окислювальною зональністю, внаслідок чого концентрації урану розміщуються на всій площі крупних палеодолин. Але наявна також ґрунтово-пластова окислювальна зональність завдяки тому, що все уранове зруденіння району розповсюджено до абсолютної позначки +50 м, тобто до урізу води у р. Дніпро. Це свідчить про формування уранових рудних покладів потоком ґрунтових вод, в якому формуються місцеві напори, що створюють умови для формування відносно коротких смуг пластово окислених порід. В результаті формуються рудні поклади у формі ролів з більш високою концентрацією урану.

В цілому для родовищ цього рудного району характерні рудні поклади, які складаються із двох-чотирьох паралельних рудних тіл малої потужності, рідше – невеликі рудні роли. В плані поклади мають форму стрічок із звивистими контурами. Зруденіння тяжіє до піщаних горизонтів, насичених вуглистою органікою.

Новогур'ївське родовище відкрите у 1965 році в 30 км на південний схід від м. Жовті Води. Приурочене до піщано-вуглисто-глинистих відкладів бучацького ярусу середнього еоцену, що заповнюють два відрогі верхів'я Новогур'ївської депресії, в цілому близької до меридіонального простягання. Зруденіння знаходиться як у річковому морфологічному типі відкладів, так і в корі вивітрювання.

Родовище складається з двох рудних покладів – Основного і Широколанівського, відстань між ними 5 км. Окрім цих покладів є 8 дрібних лінз. Основний поклад вміщує 64,5 % запасів, Широколанівський – 26,5 %. Безпосереднім продовженням Основного покладу на південь є Кудашівське рудовиявлення, приурочене до контакту окисленої лімонітзованої каолінітової зони кори вивітрювання з породами монтморилоніт-гідрослюдиистої зони, збагаченої сульфідами заліза.

Уранове зруденіння відоме в усіх літологічних типах порід – глинах, пісковиках, бурому вугіллі. Основна кількість урану в рудах знаходиться у вигляді сорбції на глинистих мінералах і вуглистій речовині, а також – черні. Встановлені (як акцесорії) уранініт, кофініт, студтит.

Для родовища характерний переважно ґрунтово-пластовий тип окислювальної зональності за наявності неповного окислення пісків на виклинюванні зони ґрунтово-пластового окислення. Завдяки цьому у пісках зони окислення зберігається невелика кількість сульфідного заліза (7-13% від загальної кількості заліза) і вміст урану збільшується до $7,5 \cdot 10^{-4}$ %.

Вміст урану у зоні зруденіння під зоною ґрунтово-пластового окислення в рудних

чорних пісковиках – $73,0 \cdot 10^{-4} \%$, в чорних вуглистих глинах – $206,0 \cdot 10^{-4} \%$. У зоні зруденіння на виклинюванні зони ґрунтового-пластового окислення вміст урану в темно-сірих та чорних пісках і пісковиках – $355,5 \cdot 10^{-4} \%$, в глинах каолінових темно-сірих – $74,0 \cdot 10^{-4} \%$. На виклинюванні пластової зони окислення у внутрішній частині зони встановлені високі концентрації ренію, мінеральною формою якого є ізоморфна домішка в піритах, тонкодисперсні дісульфіди.

Лабораторними і натурними дослідями, проведеними КП «Кіровгеологія», доведена принципова можливість ПВ урану з руд Новогур'ївського родовища.

Хутірське родовище розташоване на схід від Новогур'ївського. Рудні тіла контролюються епігенетично окисленими породами. Досліджені два морфологічних типи рудних тіл. Перший з них – це плащеподібний рудний поклад, розміщений безпосередньо під зоною ґрунтового окислення по всьому верхів'ю палеодолини. Протяжність рудного покладу складає декілька кілометрів. Другий морфологічний тип зруденіння представлений ролами, що розміщуються на вклинюванні коротких смуг окислених лімонітизованих порід. Ці смуги відокремлюються від зони ґрунтового окислення, тому Хутірське родовище відноситься до прибортового морфологічного типу зруденіння. Протяжність смуг окислених порід складає 100-500 м. Ширина рудних тіл, які в цілому утворюють протяжний стрічкоподібний поклад, співставна з цими розмірами. Потужність рудних тіл в крилах ролів досягає 2,5 м, в головних частинах – 6 м. Вміст урану в рудних тілах, що контролюються короткими смугами ґрунтового-пластового окислення, майже не відрізняється від вмісту у покладах під зоною ґрунтового окислення і складає $(151,0-176,8) \cdot 10^{-4} \%$ у рудних чорних пісках і пісковиках та $(108,0-133,0) \cdot 10^{-4} \%$ у рудних чорних глинах.

Супутники уранового зруденіння

Уранове зруденіння супроводжується інтенсивною сульфідизацією різних літолого-фаціальних типів вугленосних відкладів. Так, потужність прошарків сульфідизованих порід в межах Братського рудного поля змінюється від 0,1 до 3-5 м, вміст сульфідів в них варіює від 3-5 до 30-70%. Сульфідизація утворює укрощення, порошковаті нальоти, тонкі прожилки, стягнення і жовна в глинисто-вуглистих різновидах порід. Іноді вони служать цементом в пісковиках. Приблизна послідовність виділення: марказит – бравоїт, іордизит, сфалерит – пірит – мельниковіт.

Зони сульфідизації та уранового зруденіння характеризуються аномальним вмістом ряду металів – селену, молібдену (0,05 %), ренію, талію (до 0,035), ванадію (0,01-0,02 %), свинцю (до 0,03 %), міді (0,03-0,1 %), цинку (до 0,3 %), кобальту (до 0,03 %), нікелю (0,03-

0,10 %), титану (до 1 %), деяких рідкісноземельних елементів (Y, Yb, Ce, La). Зазвичай зони аномальних концентрацій цих металів розміщені у вуглистих породах біля області вклинювання зони пластового окислення. Переважна частина рудних елементів не утворює своїх мінералів, а входить в сульфід заліза або сорбована глинистою речовиною.

На Володимирському родовищі встановлено вміст ренію від 0,11 до 4,29 г/т на межі епігенетично окислених і сіро-кольорових вугленосних порід еоцену. Тут же спостерігається підвищений вміст молібдену (20-30 г/т), лантану і ітрію (10-15 г/т), германію (4-8 г/т). На Новогур'ївському родовищі також встановлені високі концентрації ренію на виклинюванні пластової зони окислення; при цьому реній локалізується у внутрішній частині зони, а молібден – в зовнішній, тобто відбувається їх розділення. На Сафонівському родовищі високий вміст селену корелюється із вмістом урану.

Реній взагалі є характерним супутником урану в тих родовищах, де концентрація урану відбувалася при безпосередній участі або непрямому впливі органічних речовин рослинного походження. Це пояснюється як здатністю рослин накопичувати реній за життя, так і відновленням і накопиченням його викопними рослинними залишками з підземних вод. Мінеральна форма ренію – ізоморфна домішка в піритах, тонкодисперсні дісульфіди.

Цінні метали-супутники уранового зруденіння можуть попутно видобуватися при здобичі урану методом ПВ. Фахівцями ВНДІ хімічної технології [8] розроблена методика видобутку скандію і рідкоземельних елементів з продуктивних розчинів ПВ. Ними встановлено, що динаміка вилучення урану, скандію і рідкісних земель ідентична і що при вилученні урану з руд в кількості 72-74% вилучення Sc і TR складає 12-14%. При цьому в процесі сірчаноокислотного вилуговування відбувається зміна відносного вмісту індивідуальних рідкоземельних елементів по відношенню до вихідних у руді.

Висновки

Дослідження закономірностей розміщення та формування уранових родовищ в осадовому чохлі УЩ дозволили встановити пошукові критерії та надати прогноз пошуків нових гідрогенних родовищ урану інфільтраційного класу.

Пошукові критерії полягають в наступному:

- наявність палеодепресій у фундаменті, заповнених породами вугленосної формації палеогену певного літолого-фаціального комплексу;
- наявність водотривких відкладень, перекриваючих вугленосну формацію;
- розміщення вугленосних відкладів вище рівня регіональних дрен;
- наявність ознак розвитку зон ґрунтового та пластового окислення в породах

вугленосної формації;

- підвищена ураноносність порід вугленосної формації та порід фундаменту в області живлення пластових вод;

- аномальні концентрації урану в ґрунтових і пластових водах осадового чохла, а також у тріщинних водах фундаменту;

- наявність радіогідроаномалій окремих елементів та комплексних різної контрастності, що містять уран, радон, радій, гелій;

- прояви неотектонічних рухів як у породах фундаменту, так і осадового чохла, що забезпечує енергійну гідродинаміку у сфері водообміну та інтенсивність ерозійних процесів.

Перспективи України відносно гідрогенного інфільтраційного уранового зруденіння окислювальної зональності в цілому визначилися. Родовища, розміщені на вододільній частині УЩ у вуглистій формації бучацької світи палеогену, складають основні ресурси урану в осадовому чохлі, видобуток якого можливий методом ПВ. Розвідувальні роботи різної детальності проведені на чотирьох родовищах: Сафонівському, Новогур'ївському, Сурському та Садовому. На них затверджені запаси коло 8 тис. т урану.

В межах визначеної перспективної території дрібномасштабними роботами КП «Кіровгеологія» в центрі та на сході Дніпровського буровугільного басейну визначено 12 ділянок, перспективних на виявлення родовищ і окремих покладів урану. На кожній з цих ділянок може бути відкрито 1-3 родовища урану. Крім того, у північній і західній частинах басейну також можливе виявлення 6-7 нових родовищ гідрогенного інфільтраційного типу.

Це, перш за все, Терновсько-Девладівська, Троїцько-Сафонівська, Ново-Володимирівська, Знаменська і Ново-Пражська палеодолини, верхів'я Олександрійської палеодолини, не дорозвідані відгалуження палеодолин, що містять відомі родовища.

Залишається також ще декілька відносно мало вивчених територій, де можливе виявлення ураноносних зон пластового окислення. Один з таких районів розташований на південному схилі УЩ (Вісунський горст) у вугленосних відкладах ранньої крейди, де гідрогеологічні умови формування епігенетичної зональності наближаються до умов артезіанського схилу. Крім того, для палеодолин, відкритих на південь, певну роль грало переміщення вододілу (області живлення) в пліоцені-четвертинному періоді з півдня на північ на 30-40 км. При цьому до області водозбору залучалися все нові ділянки кори вивітрювання з розсіяною урановою мінералізацією, збільшувався напірний градієнт водоносного горизонту, що могло сприяти формуванню пластової окислювальної зональності і пов'язаного з нею уранового зруденіння.

У східній частині Дніпровського басейну, де основною дренаю ґрунтових вод служить р. Дніпро, родовища формувалися відступаючи від долини у міру її поглиблення у зв'язку з неотектонічною активізацією УЩ. Тому поблизу долини можуть розташовуватися більш давні (кюяльницького віку) уранові родовища пластово-інфільтраційного типу [2].

До недостатньо вивчених перспективних територій може бути віднесена також Конксько-Ялинська западина, де буровими роботами встановлені ознаки зон пластового окислення у відкладах крейди і палеогену. Тут можливе виявлення рудоконтролюючої пластової окислювальної зональності поблизу відносно високо піднятих областей гідрогеологічного живлення (Донецького кряжу і Приазовського масиву) та могли зберегтися рудні поклади на глибині 100-120 м.

Таким чином, з метою збільшення запасів екзогенних епігенетичних родовищ урану, придатних для ПВ, необхідні прогнозно-металогенічні дослідження і пошуки бурінням в межах перерахованих вище територій.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Шевченко О.Е.* Рудообразование ранних стадий литогенеза. – К.: Наук. думка, 1987. – 144 с.
2. Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України / Відп. ред. Г.В. Лисиченко, В.Г. Верховцев. – К.: НВП «Вид-во «Наукова думка» НАН України», 2014. – 355 с.
3. Металлогения фанерозоя платформенной части Украины / [Гойжевский А.А., Скаржинский В.И., Шумлянський В.А., Суцук Е.Г. и др.] – К.: Наук. думка, 1984. – 202 с.
4. *Калашиник Г.А.* Геолого-структурные особенности экзогенно-инфильтрационных месторождений урана в Ингуло-Ингулецком рудном районе Украинского щита // Наук. вісник НТУ. – 2013. – № 3. – С. 11-18.
5. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. – К.: Наук. думка, 1995. – 396 с.
6. Закономерности образования и размещения урановых месторождений Украины / Отв. ред. Я.Н. Белевцев. – К.: Изд-во АН УССР, 1968. – 763 с.
7. Моніторинг природного середовища після добування урану способом підземного вилуговування / В. Шумлянський, М. Макаренко В. Синчук та ін. – Київ: ЛОГОС, 2007.– 212 с.
8. Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов. Том 1. Уран. – Москва: Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 408 с.

REFERENCES

1. *O. Shevchenko.* Rudoobrazovanie rannih stadij litogeneza [Ore formation of the early stages of

- lithogenesis]. – К.: Nauk. dumka, 1987. – 144 s [in Russian].
2. Perspektivi rozvitku uranovoї sirovinnoї bazi yadernoi energetiki Ukraїni [Prospects for development of uranium raw material base of nuclear energy of Ukraine] / Vidp. red. G. Lisichenko, V. Verhovcev. – К.: NVP «Vid-vo «Naukova dumka» NAN Ukraїni», 2014. – 355 s [in Ukrainian].
3. A. Goyzhevsky, V. Skarzhinskiy, V. Shumlyansky, E. Sushchuk i dr. Metallogeniya fanerozoya platformennoj chasti Ukrainy [Metallogeny of the Phanerozoic of the platform part of Ukraine] / – К.: Nauk. dumka, 1984. – 202 s [in Russian].
4. G. Kalashnik. Geologo-strukturnye osobennosti ehkzogenno-infil'tracionnyh mestorozhdenij urana v Ingulo-Inguleckom rudnom rajone Ukrainського shchita [Geological and structural features of exogenous-infiltration uranium deposits in Ingulo-Ingulets ore region of the Ukrainian shield] // Nauk. visnik NTU. – 2013. – № 3. – S. 11-18 [in Russian].
5. Geneticheskie tipy i zakonomernosti razmeshcheniya uranovyh mestorozhdenij Ukrainy [Genetic types and regularities in the location of uranium deposits in Ukraine]. – К.: Nauk. dumka, 1995. – 396 s [in Russian].
6. Zakonomernosti obrazovaniya i razmeshcheniya uranovyh mestorozhdenij Ukrainy [Regularities in the formation and location of uranium deposits in Ukraine] / Otv. red. Ya. Belevcev. – К.: Izd-vo AN USSR, 1968. – 763 s [in Russian].
7. Monitoring prirodnoho seredovishcha pislya dobuyannya uranu sposobom pidzemnogo vilugovuvannya [Monitoring of the natural environment after extraction of uranium by the method of underground leaching] / V. Shumlyans'kij, M. Makarenko V. Sinchuk ta in. – Kiїv: LOGOS, 2007. – 212 s. [in Ukrainian].
8. Podzemnoe i kuchnoe vyshchelachivanie urana, zolota i drugih metallov [Underground and heap leaching of uranium, gold and other metals]. Tom 1. Uran. – Moskva: Izdatel'skij dom «Ruda i metally», 2005. – 408 s [in Russian].

МЕТАЛЛОГЕНИЯ УРАНОВОРУДНЫХ РАЙОНОВ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ УКРАИНСКОГО ЩИТА

Суцук Е.Г., Верховцев В.Г.

Суцук Е.Г., канд. геол.-мин. н., вед. н. с. ДУ ГУ «Інститут геохімії оточуючої середви НАН України», Mamas @ i. ua
Верховцев В.Г. докт. геол. н., зав. отделом ГУ «Інститут геохімії оточуючої середви НАН України», Verkhovtsev@ukr.net.

Металлогения урановорудных районов в осадочном чехле Украинского щита (УЩ) определяется такими факторами как история формирования и строение осадочного чехла, структурно-тектонические и гидрогеологические условия образования гидрогенных урановых месторождений, литологические и минералогические особенности отдельных месторождений, возможности добычи,

© Суцук Е.Г., Верховцев В.Г. МЕТАЛЛОГЕНИЯ УРАНОВИХ РУДНИХ РАЙОНІВ В ОСАДОВОМУ ЧОХЛІ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

прогноз нарацивания запасов. Мезо-кайнозойский осадочный чехол УЩ сформирован в течение юрского, мелового, палеогенового, неогенового и плиоцен-четвертичного тектоно-седиментационных циклов. Континентальная углисто-терригенная формация бучакского возраста среднего эоцена, сформировавшаяся на протяжении палеогенового тектоно-седиментационного цикла, содержит гидрогенные инфильтрационные промышленные месторождения урана, образование которых связано с окислительно-восстановительными процессами в подземных водах. Геолого-структурные условия формирования урановых месторождений определялись тектоническим режимом УЩ, в том числе многочисленными неотектоническими движениями как в породах фундамента, так и в породах осадочного чехла. Гидрогеологические условия рудообразования определялись характером области питания водоносных горизонтов осадочного чехла, их связью с трецинными водами фундамента, наличием современной гидрогеохимической зональности в подземных водах и закономерностями перемещения потоков грунтовых и пластовых вод. Процессы формирования урановых концентраций продолжаются и в настоящее время. Металлогеническая урановорудная область в Днепровском бурогольном бассейне центральной части УЩ состоит из трёх рудных районов – Южно-Бугского, Ингуло-Ингулецкого и Саксаганско-Сурского. Отдельные урановые месторождения отличаются характерными особенностями. Урановое оруденение сопровождается повышенными концентрациями Re, Se, Sc, TR, пригодными для попутного извлечения. Изложена общая генетическая схема гидрогенного рудообразования. Сформулированы поисковые критерии, дан прогноз поисков и нарацивания урановорудного потенциала.

Ключевые слова: уран, Украинский щит, металлогенические эпохи, осадочный чехол, гидрогенные месторождения, факторы рудонакопления.

METALLOGENY OF URANIUM-ORE REGIONS IN SEDIMENTARY COVER OF UKRAINIAN SHIELD

K. Suschuk, V. Verkhovsev

K. Suschuk Candidate of geological-mineralogical sciences, Senior Research Fellow, Leading Researcher State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine», Mamas @ i. ua.

V. Verkhovsev Doctor of Geology, Senior Research Fellow, Head of department State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine», Verkhovtsev@ukr.net.

The metallogeny of uranium ore regions in the sedimentary cover of the Ukrainian Shield (USh) is determined by factors such as the history of the formation and structure of the sedimentary cover, structural and tectonic and hydrogeological conditions for the formation of hydrogenated uranium deposits, lithological and mineralogical peculiarities of individual deposits, extraction capabilities, and growth forecast of reserves. Meso-Cenozoic sedimentary cover of the USH is formed during the Jurassic, Cretaceous, Paleogene, Neogene and Pliocene-Quaternary tectonic sedimentation cycles. Continental coal-terriгенous formation of the Buchach age of the middle Eocene, formed during the Paleogene tectonic sedimentation cycle, contains hydrogenated infiltration industrial deposits of uranium. The geological and structural features of the formation of uranium deposits were determined by the tectonic regime of the USH. The hydrogeological conditions of ore formation are determined by the nature of the supply area of the aquifers of the sedimentary cover, the presence of modern hydrogeochemical zoning in the underground waters and the laws of the movement of the flows of soil and reservoir groundwater. The metallogenic uranium field in the sedimentary cover of the USH consists of three ore districts - South-Bug, Ingulo-Inguletsky, Saksahansko-Sursky. Separate uranium deposits are characterized by specific features. The uranium mineralization is accompanied by concentrations of Re, Se, Sc, TR, suitable for concomitant extraction. The general genetic scheme of hydrogenogenic ore formation is described. The search criteria and the forecast of uranium mining potential search and development are formulated.

Keywords: uranium, Ukrainian shield, metallogenic erosion, sedimentary cover, hydrogene deposits, mineral accumulation factors.