

УДК 553/495: 553.061.6 (477)

## ПІДЗЕМНЕ ВИЛУГОВУВАННЯ УРАНУ: ПЕРЕВАГИ ТА РИЗИКИ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ

**Сущук К.Г., Верховцев В.Г.**

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

*Підземне свердловинне вилуговування застосовується для видобутку урану з осадових порід. Такий спосіб видобутку має вагомі переваги у порівнянні з іншими засобами як завдяки меншій вартості робіт, так і завдяки меншому забрудненню навколишнього середовища. Рекультивація землі при цьому засобі мінімальна, оскільки витягання обсадних труб і цементування стовбура свердловин проводиться до рівня глибини оранки, а також немає скидання твердих і рідких відходів, газів, аерозолів у повітря. Немає необхідності у будівництві та експлуатації хвостосховищ. Можливе збереження у не порушеному стані денної поверхні: після відпрацювання родовища або окремої його частини земельні угіддя можуть бути використані у сільському господарстві без будь-яких обмежень.*

*Але відбувається забруднення підземних вод, яке може супроводжуватись забрудненням річок внаслідок просування ореолів забруднення в області розвантаження підземних вод в річкових долинах. Видобуток урану відбувається шляхом закачування в свердловини технологічного розчину, який містить у собі сірчану та азотну кислоти, аміачну селітру, аміачну воду, інші реактиви. Після вилуговування урану у водоносних горизонтах відбуваються активні хімічні процеси як техногенного, так і геологічного характеру завдяки накопиченню в продуктивних горизонтах залишкових розчинів, які взаємодіють із підземними водами як тріщинними з кристалічного фундаменту, так і поровими з продуктивного піщаного водоносного горизонту міоцену через гідрогеологічні «вікна» в бортах палеодолин. Ці підземні води витискають залишкові розчини з порового простору порід, змушуючи просуватися їх в напрямку області розвантаження.*

*Першочерговим завданням забезпечення радіаційно-екологічної безпеки водних ресурсів районів видобутку урану методом підземного свердловинного вилуговування є розробка наукових основ вдосконалення існуючих методів безпеки.*

**Ключові слова:** уран, Український щит, підземне вилуговування, осадовий чохол, екзогенні родовища, охорона довкілля.

### Вступ

Підземне вилуговування корисних копалин – метод видобутку їх виборчим розчиненням корисного компонента хімічними реагентами в рудному тілі на місці залягання, з подальшим транспортуванням на поверхню робочими розчинами. В Україні методом підземного свердловинного вилуговування розробляються уранові гідрогенні епігенетичні ґрунтово-інфільтраційні родовища неоген-четвертинної епохи уранового рудоутворення в осадовому чохлі Українського щита. Ці родовища невеликі за запасами (1-3 тис. т) та вмістом урану, але вельми рентабельні для видобутку методом підземного свердловинного

вилуговування завдяки гірничо-технологічним особливостям, а також комплексності. Супутниками урану в рудах є стратегічно важливі рідкісні елементи (Sc, Re та інші), видобуток яких може здійснюватись одночасно з ураном тим же методом підземного свердловинного вилуговування. Грунтово-інфільтраційні родовища приурочені до вуглисто-піщаних відкладів палеогенового віку (бучацький ярус) й розміщуються в палеодолинах на поверхні кристалічного фундаменту – Троїцько-Сафонівській (Сафонівське родовище, Покровська, Троїцька перспективні ділянки), Ново-Володимирівській (Володимирівська перспективна ділянка), Терновсько-Девладівській (Девладівське родовище) та інших. Всього розвідано та попередньо оцінено більш 10 родовищ (крім названих – Садове, Братське, Ташлицьке, Новогуріївське, Христофорівське, Хуторське, Сурське, Червоноярське та ряд рудопроявів) (рисунок). Ресурси урану у вуглистій формації палеогену зосереджені в межах субширотної смуги північно-східного простягання у вододільній частині Українського щита шириною від 30 (південний захід) до 80 км (північний схід). Розвідані запаси та ресурси родовищ цього типу оцінюються на рівні 70 тис. т. В межах цієї металогенічної області можуть існувати ще не виявлені відгалуження відомих палеодолин й нові невеликі палеодепресії, що містять промислове уранове зруденіння.

Підземне свердловинне вилуговування як метод видобутку урану з осадових порід застосовується в Україні з 1957 року. Тоді (вперше в Радянському Союзі) було розпочато видобуток урану цим методом на Девладівському екзогенному інфільтраційному родовищі, що розміщувалось у вуглистих пісках бучацького ярусу еоцену в мезо-кайнозойському осадовому чохла Українського кристалічного щита. Основний видобуток урану на Девладово відбувався з 1962 по 1983 рік і продовжувався до 1990 року на площі 918 000 м<sup>2</sup>. Свердловини мали глибину від 35 до 100 м, були розташовані рядами на відстані 40-60 м (між свердловинами 15-25 м). Після закінчення видобувних робіт державним підприємством «СхідГЗК» була створена мережа водопунктів (свердловин, колодязів і гідрогеологічних створів) на чотири різні горизонти ґрунтових вод з метою спостережень за наслідками підземного вилуговування урану для навколишнього середовища. Це такі горизонти: перший від поверхні горизонт у четвертинних суглинках і супісках; горизонт у пісках неогену (надрудний); продуктивний горизонт; горизонт тріщинних вод докембрійських гранітоїдів і кори вивітрювання.

Крім Девладівського родовища методом підземного свердловинного вилуговування відпрацьовані Братське і один з чотирьох покладів Сафонівського родовища в тих же відкладах осадового чохла Українського щита в межах Придніпровської металогенічної урановорудної області. На основі проведених спостережень були зроблені висновки відносно

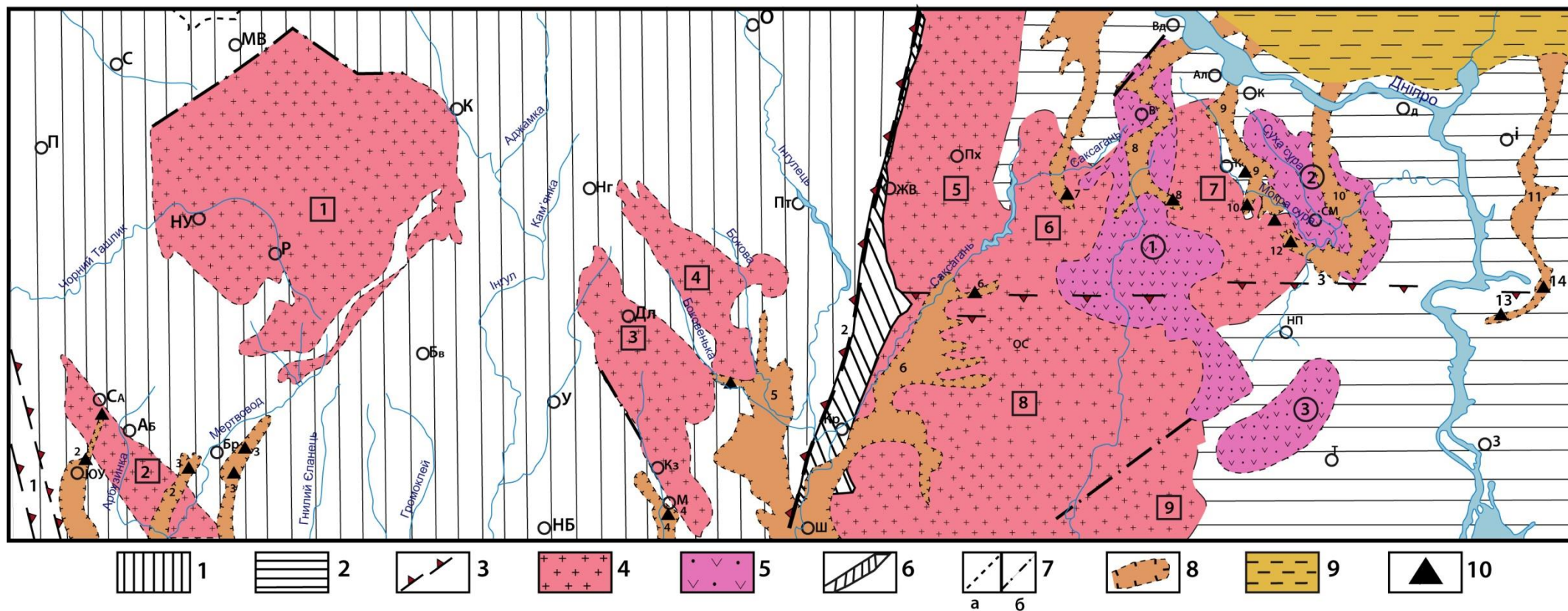
рентабельності методу підземного свердловинного вилуговування, а також відносно ризиків його застосування для довкілля.

**Рис. 1.** Розміщення родовищ урану в осадовому чохлі Українського щита. Складено М.П. Семенюком за матеріалами КП «Кіровгеологія».

Мегаблоки: 1 – Інгільський, 2 – Середньопридніпровський; 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 – Пятихатський вал; куполи: 6 – Демуринський, 7 – Криничківський, 8 – Саксаганський, 9 – Камишуватський; 5 – зеленокам'яні СФК: 1 – Верховцевський, 2 – Сурський, 3 – Чортомлинський; 6 – породи криворізької серії; 7 – контакти СФК: а – слабо контактні, б – тектонічні; 8 – палеодолини, виповнені 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-Саматканська, 9 – Криничківсько-Романківська, 10 – Сурська, 11 – Тернівсько-Дерезуватська; 9 – прибережно-морські відклади бучацької світи; 10 – екзогенні родовища урану: 1 – Садове, 2 – Ташлицьке, 3 – Братське (три поклади), 4 – Сафонівське, 5 – Христофорівське, 6 – Девладівське, 7 – Новогуріївське, 8 – Хутірське, 9 – Криничківське, 10 – Оленівське, 11 – Грушівське (Сурське), 12 – Червоноярське, 13 – Петромихайлівське, 14 – Первозванівське; населені 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 – Пятихатки, В – Верховцеве, ВД – Верхньодніпровськ, Ал – Аули, К – Кам'янське, СМ – Сурсько-Михайлівка, Д – Дніпро, НП – Новопокрівка, Сф – Софіївка, Т – Томаківка, І – Іларіонове, З – Запоріжжя.

**Fig. 1.** Location of exogenic uranium deposits of Ukrainian shield.

Composed by M.P. Semeniuk from org. «Kirovgeologia» data Megablocks: 1 – Inhulskyi, 2 – Serednioprydniprovskyi; 3 – abyssal fracture: 1 – Buz'ko-Myronivskyi, 2 – Kryvoriz'ko-Kremenchutskyi, 3 – Devladiivskyi; 4 – structural-formational complexes: predominantly of granitoid composition (figures in Arabic in the rectangle) – massifs: 1 – Novoukrainskyi, 2 – Voskresenskyi, 3 – Dolynskyi, 4 – Bokovianskyi; 5 – Piatykhatskyi swell; domes: 6 – Demuryivskyi, 7 – Krynychkivskyi, 8 – Saksahanskyi, 9 – Kamyshuvatskyi; 5 – greenstone structural-formational complexes: 1 – Verkhovtsevskyi, 2 – Surskyi, 3 – Chortomlyivskyi; 6 – Kryvorizka series rocks; 7 – contacts of structural-formational complexes: a – weak contacts, б – tectonic; 8 – paleo-valleys, composed of Buchatska suite deposits (figures in Arabic) 1 – Sadovo-Tashlytska, 2 – Novo-Olenivska, 3 – Kudriavsko-Veselo-Rozdolska, 4 – Mykolaiivsko-Safonivska, 5 – Zakhidno-Kryvoriz'ka, 6 – Skhidno-Kryvoriz'ka; 7 – Saksahansko-Domotkanska, 8 – Bazavlutsko-Samatkanska, 9 – Krynychkivsko-Romankivska, 10 – Surska, 11 – Ternivsko-Derezuvatska; 9 – Buchatska suite coastal sea deposits; 10 – exogenic uranium deposits: 1 – Sadove, 2 – Tashlytske, 3 – Bratske (three deposits), 4 – Safonivske, 5 – Khrystoforivske, 6 – Devladiivske, 7 – Novohuriivske, 8 – Khutirskе, 9 – Krynychkivske, 10 – Olenivske, 11 – Hrushivske (Surske), 12 – Chervonojarske, 13 – Petromykhailivske, 14 – Pervozvanivske; settlements: С – Smoline, Л – Lypniashka, НУ – Novoukrainka, Сд – Sadove, Аб – Arbuzynka, ЮУ – Yuzhno-Ukrainsk, Бр – Bratske, Бб – Bobrynets, К – Kropyvnytskyi, У – Ustynivka, НБ – Novyi Buh, Нг – Novohorodka, Дл – Dolynska, Кз – Kazanka, М – Mykolaivka, О – Oleksandria, Пт – Petrove, КР – Kryvyi Rih, Ш – Shyroke, ЖВ – Zhovti Vody, Пх – Piatykhatskyi, В – Verkhovtseve, ВД – Verkhniodniprovsk, Ал – Auly, К – Kamianske, СМ – Sursko-Mykhailivka, Д – Dnipro, НП – Novopokrivka, Сф – Sofiiivka, Т – Tomakivka, І – Ilarionove, З – Zaporizhzhia



### Результати спостережень за довкіллям з 1990 по 2006 рік.

Видобуток урану на Девладівському родовищі відбувався шляхом закачування в свердловини технологічного розчину, який містив у собі сірчану та азотну кислоти, аміачну селітру та аміачну воду. Для вилуговування урану за період з 1962 по 1983 рр. в продуктивний горизонт у складі технологічного розчину було закачано 207250 т сірчаної кислоти, 6300 т азотної кислоти, 23800 т аміачної селітри та 2000 т аміачної води. Після вилуговування урану ореол забруднення охопив всю площу уранових покладів і простягнувся вздовж палеодолини на відстань 4,5 км шириною 0,4-0,6 км. У продуктивному горизонті, тобто у водоносному горизонті бучацької світи середнього еоцену, залишкові розчини склали близько 6 млн. м<sup>3</sup>.

За період моніторингових спостережень підприємством «СхідГЗК» з 1983 по 2006 рік отримано важливу інформацію щодо коливань рівнів підземних вод та зміни їх хімічного складу і концентрації радіонуклідів. Аналіз набутих фактичних даних показав наступне.

У продуктивному горизонті Девладівського уранового родовища відбуваються сучасні процеси як техногенного, так і геологічного характеру. Сучасні геологічні процеси в межах горизонту відбуваються завдяки надходженню до нього тріщинних підземних вод з кристалічного фундаменту та порових підземних вод з піщаного водоносного горизонту міоцену [1, 2] через гідрогеологічні «вікна» в бортах палеодолин. Ці підземні води розбавляють залишкові розчини, взаємодіють з ними хімічно й витискають їх з порового простору порід, змушуючи просуватися в напрямку області розвантаження, тобто р. Саксагань. За період з 1997 по 2005 рік залишкові розчини, судячи з визначених ореолів забруднення, просунулись на 700-800 м.

Хімічна взаємодія залишкових розчинів з породами водоносного горизонту призводить до нейтралізації сірчаної кислоти, збагачення розчинів солями металів та осадження нерозчинних хімічних сполук (оксидів заліза і алюмінію, гіпсу, тощо) у порак пісків. Вміст у підземних водах горизонту більшості сполук, у тому числі радіоактивних елементів, перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК) компонентів, які нормуються, і являє загрозу забруднення як суміжних водоносних горизонтів, так і ближніх річок.

Особливістю Девладівського уранового родовища є низький вміст карбонатів в породах і рудах (менш, ніж 0,5 %). У зв'язку з цим нейтралізація надлишкової сірчаної кислоти залишкових розчинів на площі родовища відбувається за рахунок гідрокарбонатів, розчинених в природних інфільтраційних водах (середній вміст  $\text{HCO}_3^-$  у різних горизонтах від 108 до 179 мг/дм<sup>3</sup>) Таким чином, повна нейтралізація сірчаної кислоти у розчинах і

очищення їх від радіонуклідів може відбутися тільки під час просування залишкових розчинів (в подальшому – ЗР) разом з потоком природних вод на захід, в область їх розвантаження в долині р. Саксагань. Відсутність достатньої кількості карбонатів у породах бучацького горизонту пояснює також збереження середніх значень рН (–4) на протязі 1991-2005 рр. та тривалість процесу вилуговування. Природна демінералізація ЗР почалася лише між 1997 і 2005 роками, а до цього кількість сульфатів у розчинах і загальна мінералізація збільшувались. Згідно з картами розподілу компонентів ЗР, більшість ореолів просувалося на захід на 90-100 м на рік, у тому числі найбільш важливий показник забруднення – сульфат-іон утворив ореол з гранично допустимою концентрацією  $\geq 1$ , який за 19 років спостережень перемістився на 1,5 км.

Стан забруднення підземного середовища продуктивного горизонту після закінчення видобутку урану зазначеним методом підземного вилуговування на 2006 рік, за даними СхідГЗК [3, 4], був наступний:

- вміст сульфатів в центрі ореолу перевищує 30 гранично допустимих норм (ГДК);
- концентрація валового заліза – 10000, а алюмінію – 3000 ГДК (хоча ділянки їх проявлення обмежені);
- вміст урану в ореолах забруднення на більшій частині родовища перевищує 10 ГДК, місцями досягає 210-345 ГДК.

Ореол радію менше ореолу урану і співпадає з рудними покладами. Концентрація радію досягає 24,4 ГДК. Ореол  $^{232}\text{Th}$  з межею 1 ГДК майже співпадає з ореолом урану по межі 5 ГДК. Максимальні концентрації торію дещо перевищують 20 ГДК. Ореоли забруднення  $^{210}\text{Po}$  і  $^{210}\text{Pb}$  практично співпадають з концентраціями цих елементів у рудних покладах.

За період спостережень з 1983 року, коли існувала найбільша забрудненість підземних вод компонентами технологічного розчину, і до 2006 року відбувалися такі процеси, зафіксовані завдяки порівнянню карт вмісту основних компонентів залишкових розчинів з картами ореолів цих же компонентів для родовища в цілому:

1. Зменшився вміст сульфат-іону в залишкових розчинах на території забруднення, зник «язик» забруднення, який намічався в Південну депресію, але просунулися «язики» в західному напрямку на 700-800 м.
2. Зменшився загальний вміст солей в ЗР у цілому, але продовжує просуватись на захід.
3. Контури площі розчинів ыз водневим показником (рН) менше 7,0 практично збереглися. Розширилось поле з рН <3 на південному заході, але зникло поле з рН <2, що

указує на зменшення інтенсивності процесу кислотного вилуговування в центральній частині родовища.

4. Вміст урану в залишкових розчинах у 2005 році помітно менший, ніж раніше. Зникло поле з вмістом урану  $>20$  мг/дм<sup>3</sup> в центрі родовища, залишився ореол  $>10$  мг/дм<sup>3</sup>. Очистився район в Південній депресії, припинилось забруднення ураном в південно-західному напрямку, але триває подальше просування ЗР в західному напрямку, який поступово стає головним.

Таким чином, проведений моніторинг дозволив зробити такі висновки:

- в бучацькому горизонті тривали процеси вилуговування і перерозподілу залишкових розчинів;
- відбувалось слабе розрідження залишкових розчинів природними підземними водами по периметру контуру ореолу;
- відбувалась мікробіологічна денітрифікація ЗР, виведення з них радію та радіогенного свинцю, тоді як вміст торію підвищувався, а вміст полонію залишався незмінним; підвищення вмісту торію свідчить про зниження рН та підвищення Eh залишкових розчинів.

Причину того, що навіть через 6-7 років після 1983 р. процес вилуговування не тільки не припинився, а навпаки, підсилюється, ряд дослідників бачить в наступному [3-5]:

1) Залишкові розчини із низьким рН поширились на нові площі (північний схід ділянки), де почали вилуговуватись низькі (некондиційні) концентрації урану (менше 0,01%).

2) Відбувся перерозподіл ЗР на всій площі покладу, коли припинилось відкачування робочого розчину. Таким чином, почали вилуговуватись залишкові концентрації урану в межах Східного-1 покладу.

3) На Девладівському родовищі близько 89% запасів із вмістом урану  $>0,01\%$  локалізовано в пісках. Цей уран був об'єктом вилуговування до 1984 року. Але  $\sim 20\%$  запасів локалізовано у менш проникних породах – глинистих пісковиках, які в умовах майже статичного середовища (після припинення відкачування робочих розчинів) почали вилуговуватися дифузійним шляхом. У цьому випадку в розчин надходять більш концентровані розчини, динамічні запаси яких дуже малі, тобто вони не придатні для видобування, але забруднюють водоносний горизонт.

Проведені моніторингові дослідження на території Девладівського родовища показали необхідність розширення спостережень, особливо в західному напрямку – до басейну р. Саксагань, куди переміщуються ореоли забруднення. Також, на думку дослідників, необхідна певна оптимізація мережі моніторингових свердловин і режиму

опробування підземних вод для усіх чотирьох горизонтів ґрунтових вод [2, 3].

### **Висновки**

Девладівське родовище вперше в СРСР було повністю відпрацьоване способом підземного вилуговування. При цьому видобутий уран перевищив кількість підрахованих та затверджених ТКЗ запасів. Цей факт підтвердив рентабельність застосування методу підземного вилуговування урану.

Було доведено на практиці, що метод підземного свердловинного вилуговування характеризується меншим ступенем забруднення навколишнього середовища в порівнянні зі звичайними методами розробки. Рекультивація землі при цьому мінімальна, оскільки витягання обсадних труб і цементування стовбура свердловин проводиться до рівня глибини оранки, а також немає скидання твердих і рідких відходів, газів, аерозолів в повітря. Немає необхідності у будівництві та експлуатації хвостосховищ. Можливе збереження у непорушеному стані денної поверхні: після відпрацювання родовища або окремої його частини земельні угіддя можуть бути використані у сільському господарстві без будь-яких обмежень.

Але відбувається забруднення підземних вод, яке може супроводжуватись забрудненням річок внаслідок просування ореолів забруднення в області розвантаження підземних вод в річкових долинах. При цьому у водоносних горизонтах відбуваються активні хімічні процеси як техногенного, так і геологічного характеру. Тому першочерговим завданням забезпечення радіаційно-екологічної безпеки водних ресурсів районів видобутку урану методом підземного свердловинного вилуговування є розробка наукових основ вдосконалення існуючих методів безпеки, а саме:

1. використання менш шкідливих речовин для вилуговування урану;
2. застосування геохімічних бар'єрів для очищення залишкових розчинів;
3. постійний контроль за якістю підземних вод в районах видобутку урану.

На сьогодні найбільш підготовленим до експлуатації є Сафонівське родовище у Казанківському районі Миколаївської області, де проведено детальні розвідувальні роботи, натурні дослідження на полігонах і підготовлено проект проммайданчику. На базі Сафонівського родовища планується апробація методу киснево-содового збагачення уранової сировини, як менш шкідливого (за програмою розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року).



## ЛІТЕРАТУРА

1. Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України / за ред. Лисиченка Г.В., Верховцева В.Г. – Київ: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2014. – 355 с.
2. Суцук К.Г., Верховцев В.Г. Металогенія урановорудних районів в осадовому чохлаї Українського щита // Зб. наук. праць ІГНС НАН України. – К. – 2017. – Вип. 27. – С. 50-74.
3. Моніторинг природного середовища після добування урану способом підземного вилуговування / В. Шумлянський, М. Макаренко В. Синчук та ін. – Київ: ЛОГОС, 2007. – 212 с.
4. Макаренко М.М., Шумлянський В.О., Суботін А.Г. Геологічні умови видобування урану способом підземного вилуговування та природне очищення забруднених підземних вод після його закінчення на Девладівському родовищі // Наук. праці Інституту фундаментальних досліджень. – Вип. 9 – Київ: Логос, 2005. – С. 172-181.
5. Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов. Том 1. Уран. – Москва: Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 408 с.

## REFERENCES

1. Lysychenko G.V., Verkhovtsev V.G. (2014). *Prospects for development of uranium raw material base of nuclear energy of Ukraine*, Kyiv, UA, 355 p.
2. Sushchuk E., Verhovcev V. (2017), *Metaloheniia uranovorudnykh raioniv v osadovomu chokhli Ukrainskoho shchyta*, Zb. nauk. pr. IGNS, 27, pp. 50-74.
3. V. Shumlyans'kij, M. Makarenko V. Sinchuk (2007), *Monitoring prirodnoho seredovishcha pislya dobuvannya uranu sposobom pidzemnogo vilugovuvannya* Kyiv, UA, 212 p.
4. Makarenko, M., Shumlyans'kij, V., Subotin, A. (2005), *Heolohichni umovy vydobuvannya uranu sposobom pidzemnogo vyluhovuvannya ta pryrodne ochyshchennia zabrudnennykh pidzemnykh vod pislia yoho zakinchennia na Devladvivskomu rodovyshchi*, Naukovi prac'i Institutu fundamentalnyh doslidgen, 9, pp. 172-181.
5. *Podzemnoe i kuchnoe vyshchelachivanie urana, zolota i drugih metallov* (2005), Tom 1. Uran, Moscow, RU, 408 p.

## ПОДЗЕМНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ УРАНА – ПРЕИМУЩЕСТВА И РИСКИ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Суцук Е.Г., Верховцев В.Г.

Суцук Е.Г., канд. геол.-мин. н., вед. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», [mamas@i.ua](mailto:mamas@i.ua).  
Верховцев В.Г., докт. геол. н., зав. отдела ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», [Verkhovtsev@ukr.net](mailto:Verkhovtsev@ukr.net)

*Подземное скважинное выщелачивание применяется для добычи урана из осадочных пород. Такой способ добычи имеет весомые преимущества по сравнению со всеми другими, как благодаря меньшей стоимости работ, так и в связи с меньшим загрязнением окружающей среды. Рекультивация земель при этом способе минимальна, поскольку извлечение обсадных труб и цементация ствола скважин проводится до уровня глубины бурения, а также не происходит сброса твердых и жидких отходов, газов, аэрозолей в воздух. Нет необходимости в строительстве и эксплуатации хвостохранилищ. Возможно сохранение в ненарушенном состоянии дневной поверхности: после отработки месторождения или отдельной его части земельные угодья могут быть использованы в сельском хозяйстве без каких-либо ограничений. Однако происходит загрязнение подземных вод, которое может сопровождаться загрязнением рек как следствие продвижения ореолов загрязнения в области разгрузки подземных вод в речных долинах. В водоносных горизонтах происходят активные химические процессы как техногенного, так и геологического характера. Первоочередной задачей обеспечения радиационно-экологической безопасности водных ресурсов районов добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания является разработка научных основ усовершенствования существующих методов безопасности.*

**Ключевые слова:** уран, Украинский щит, подземное выщелачивание, осадочный чехол, экзогенные месторождения, охрана окружающей среды.

## UNDERGROUND LEACHING OF URANIUM – BENEFITS AND RISKS FOR THE ENVIRONMENT

**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.

*Underground borehole leaching is used for extraction of uranium from sedimentary rocks. This method of extraction has significant advantages over other means, both because of lower cost of work and due to less pollution of the environment. Land reclamation in this case is minimal, since extraction of casing pipes and cementation of the wellbore is carried out to the plowing depth level, and also there is no discharge of solid and liquid waste, gases, aerosols into the air. There is no need for the construction and operation of the tailing dumps. It is possible to preserve in an undamaged state the day surface: after development of a deposit or a part of it, land may be used in agriculture without any restrictions.*

*But groundwater pollution occurs, which may be accompanied by pollution of the rivers due to the migration of pollution halos to the groundwater discharge area in river valleys. Uranium is extracted by injection into a well of a technological solution which contains sulfuric and nitric acids, ammonium nitrate, ammonia water, and other reagents. After leaching of uranium, active chemical processes, both technogenic and geological, take place in aquifers due to accumulation of residual solutions in the productive horizons which interact with the underground waters, both interstitial from the crystalline basement and porous from the productive sandy Miocene aquifer, through the hydro-geological "windows" in the paleo-valley sides. This groundwater squeezes the residual solutions from the pore space of rocks, forcing them to move towards the area of unloading.*

*The primary task of ensuring radiation and ecological safety of the water resources of uranium mining areas by underground well mining is to develop scientific bases for improving the existing safety methods.*

**Keywords:** uranium, Ukrainian shield, underground leaching, sedimentary cover, exogenous deposits, environmental protection.