

УДК 504.05:622.349.5

*Н.С. Остапенко, О.К. Тяпкін,
В.А. Кириченко, Л.В. Бондаренко,
С.О. Кравець*

**ДО ПИТАННЯ ЗНИЖЕННЯ
ЕКОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ
НА ТЕРИТОРІЮ ПРИ РОЗРОБЦІ
УРАНОВИХ РОДОВИЩ**

*Інститут проблем природокористування та екології НАН України,
Дніпропетровськ*

Показано, что подземное выщелачивание позволяет расширить добычу урановых руд в Украине за счет разработки небольших месторождений. Указано, что самой серьезной экологической проблемой, характерной для подземного выщелачивания, является загрязнение подземных вод агрессивными веществами вследствие использования соответствующих реагентов. Выявлено, что при разработке урана могут быть перспективными слабокислотные методы выщелачивания, которые позволяют уменьшить степень загрязнения подземной гидросферы без снижения экономических показателей.

Показано, що підземне вилуговування дозволяє розширити видобуток уранових руд в Україні за рахунок розробки невеликих родовищ. Зазначено, що самою серйозною екологічною проблемою, характерною для підземного вилуговування, є забруднення підземних вод агресивними речовинами внаслідок використання відповідних реагентів. Виявлено, що при розробці урану можуть бути перспективними слабокислотні методи вилуговування, які дозволяють зменшити ступінь забруднення підземної гідросфери без зниження економічних показників.

Вступ

Україна планує наростити виробництво концентрату урану (U^{238}) в 2,3 рази з 822 тонн в 2008 році до 1,88 тис. тонн в 2013 році. У наш час потреба українських АЕС у концентраті урану становить 2480 тонн і задовольняється на 32% власними ресурсами. Відповідно до концепції Державної цільової програми «Ядерне паливо України», збільшення виробництва уранового концентрату планується досягти не тільки підтримуючи видобуток уранової руди на діючих шахтах, а й шляхом введення до експлуатації нових родовищ. Але як відомо видобуток уранової сировини потенційно є одним з найбільш

екологічно небезпечних видів гірничодобувної діяльності в зв'язку з високою вірогідністю потрапляння радіонуклідів в навколишнє середовище і утворенням радіоактивних аномалій, які можуть зробити неможливою будь-яку господарчу діяльність на цих територіях. Тому актуальною задачею, визначенню шляхів вирішення якої присвячена ця стаття, є удосконалення існуючих способів розробки уранових родовищ в частині зниження екологічного навантаження для умов техногенно навантажених територій центра та південного заходу України.

Загальна характеристика сучасного стану мінерально-сировинної бази розвитку ядерно-паливного циклу України

В Україні відомо кілька генетичних типів уранових родовищ [1,2,3]. Близько 76% всіх покладів являють собою родовища альбітового типу, 11% – відноситься до пегмати-

тових родовищ, 7% – до пісковиків та інші 6% - родовища конгломератного, бітумінозного й інших типів. Промислове значення в теперішній час мають тільки родовища альбітового типу – натрій-уранові й родовища пісковикового типу – гідрогенні.

Уранове зруденіння в межах України має сировинну базу у вигляді детально розвіда-

© Остапенко Н.С., Тяпкін О.К.,
Кириченко В.А., Бондаренко Л.В.,
Кравець С.О., 2010

них 12 уранових ендегенних родовищ. Найбільші з них, які можуть бути відпрацьовані тільки підземним способом, розташовані в межах Кіровоградської металогенічної області, яка в структурному плані приурочена до однойменного геоблоку, західною межею якого є Південно-Бугський розлом, а східною – Криворізько-Кременчуцький розлом. Особливості будови області визначає великий Корсунь-Новомиргородський антиклінорій. У цілому положення Мічуринського, Сиверинського й інших уранових родовищ східної частини зазначеної області контролюється Кіровоградським розломом, а Ватутинського родовища – Звенигородсько-Ганнівським розломом. Уранові мінерали в рудах представлені уранітом, настураном, бранеритом, кофінитом, гідроксилами й силікатами урану й урановими чернями. Розвідані й попередньо оцінені ресурси урану цієї території перевищують 100 тисяч тонн, з яких біля половини оцінюються як високо рентабельні (до \$80 за кг урану), а прогнозні ресурси перевищують 200 тис. тонн.

Додатковою сировинною базою урану можуть бути ресурси екзогенно-епігенетичних родовищ урану в осадовому чохлаї Українського щита, розташовані в межах Дніпровського буровугільного басейну. Ці родовища придатні для видобутку урану способом підземного вилугування (ПВ). Із часу виявлення першого родовища цього типу (Девладівське в Софіївському районі Дніпропетровської області) у центральній і східній частинах Дніпровського басейну виявлено, розвідано й попередньо оцінено понад 10 родовищ і окремих покладів урану, подібних Девладівському. Два з них – Девладівське й Братне вже повністю відпрацьовані. У цей час найбільш підготовлені до відпрацьовування Садове, Сафонівське, Новогур'ївське, Сурське, Чорноярське родовища. Всі гідрогенні родовища України розташовані в правобережній її частині й локалізовані у водопроникних пухких осадових утвореннях палеогену, що виконують еро-

зійно-тектонічні депресії в докембрійському кристалічному фундаменті.

Найбільше в Європі Новокостянтинівське родовище, розташоване в Малих Вісках Кіровоградської області може бути виведене на проектну потужність не раніше 2015 року при наявності понад 7,4 млрд. грн. інвестицій, необхідних для цього проекту. Вимоги сировинного уранового ринку змушують прискорити розробку невеликих за запасами і капітальними вкладеннями родовищ способом ПВ. Довід застосування й оптимізація цього способу на Девладівському (1964-1980 рр.), а пізніше на Братському (Миколаївська область) родовищах показав економічність способу в порівнянні із традиційним гірничим способом видобутку урану. Собівартість урану, що добувається на таких родовищах, істотно нижче, ніж на ендегенних родовищах в альбітитах. Розвідані запаси й ресурси цього типу оцінюються на рівні 70 тисяч тонн. Розвідницькі роботи різної детальності проведені на 4 родовищах (Сафонівському, Новогур'ївському, Сурському і Садовому). Розвідані запаси урану на цих родовищах становлять близько 8 тисяч тонн. Родовища пісковикового типу за своїми розмірами відносяться до дрібних і середніх із запасами 1-3 тисячі тонн. Прогнозними роботами в центрі й на сході Дніпровського буровугільного басейну визначено 12 ділянок, перспективних на виявлення родовищ і окремих покладів урану цього типу. На кожній із цих ділянок може бути відкрито 1-3 родовища урану. Першим планується введення до експлуатації протягом 2010-11 років Сафонівського родовища урану в Миколаївській області із щорічним видобутком – 100-150 т уранового концентрату. Попередня вартість будівництва комплексу на родовищі оцінюється в 200 млн. грн. Але не треба забувати, що після вилугування у надрах залишаються великі обсяги агресивних речовин, що можуть впливати на водоносні горизонти. Тому при проектуванні подібних комплексів слід обов'язково враховувати екологічні збитки, заподіяні основним компонентам навколишнього середовища.

Основні технологічні особливості розробки уранових родовищ способом підземного вилугування

Підземне вилугування – найбільш освоєний у наш час геотехнологічний метод

видобутку різних корисних копалин. Він дозволяє залучити у виробництво складні

морфологічно й бідні рудні родовища при одночасному підвищенні продуктивності праці гірників по кінцевій продукції в 5-6 разів, зниженні капіталоемності виробництва в 1,5-2 рази, матеріалоемності – в 10-100 разів, енергоемності – в 5-10 разів, скоротити вихід відходів у десятки й сотні разів. Зокрема, при залученні в розробку бідних руд і середньорічних темпах росту споживання урану 3-5%, обсяги гірничої маси, що видобувається, повинні були подвоюватися кожні 10-12 років. Впровадження підземного вилуговування бідних руд дозволяє такі обсяги не нарощувати. Збільшення глибини родовищ, що відпрацьовуються, веде як до росту собівартості видобутку, так і до зміни її структури. Середнє збільшення собівартості при підземному вилуговуванні становить 4-6% на кожні 100 м, при підземному способі видобутку – 8-9% на кожні 100 м.

Найважливішою умовою застосування методів підземного й купчастого вилуговування корисних копалин є можливість поліпшення соціально-економічних умов праці гірників з виводом людей з важких підземних умов. У цьому випадку відбувається істотна зміна структури собівартості видобутку корисних копалин, що стосується співвідношення витрат живої й упредметненої праці. На підземних гірничих роботах питома вага витрат живої праці становить 42-58% у собівартості видобутку, на відкритих гірничих роботах – 25-38%, при підземному вилуговуванні руд на частку живої праці приходить в середньому 22%, тоді як частка упредметненої праці при цьому досягає 76%.

Суть підземного вилуговування полягає в якнайповнішому переведенні твердих уранових мінералів у розчин з тим, щоб уже з уранвмісного робочого розчину, який відкачується на поверхню, вилучати уран.

Головні умови, необхідні для ефективного здійснення процесу ПВ, такі:

- процес переведення урану у розчин повинен відбуватися з достатньою швидкістю;
- в середині рудного масиву (покладу) існують умови для циркуляції розчинів, тобто рудоносні породи повинні бути проникними для розчинів;

- розчин вибірково вилучає корисний компонент;

- технологічні розчини не колюматують пори в рудоносному горизонті.

Хімічними розчинами, за допомогою яких відбувається процес вилуговування, можуть бути водні розчини мінеральних кислот чи солей карбонатів лужних металів. Це визначає два різні способи ПВ, тобто – кислотний і карбонатний, і застосування того чи іншого обумовлюється мінеральною формою урану та речовинним складом рудних покладів і вміщуючих порід. Обидва способи мають свої переваги і недоліки.

Головною перевагою кислотного способу (КСВ) є те, що вилуговування, яке відбувається, надає можливість більшого вилучення урану з руд [5].

Негативним для КСВ є: 1) порівняно висока агресивність розчинів, через яку вилуговуються деякі інші компоненти руд і вміщуючих порід; 2) неможливість застосування методу для руд з вмістом карбонатів, що перевищує 2 % (по CO_2); 3) за великої глибини рудного горизонту – обов'язкове використання обсадних труб з дорогого антикорозійного матеріалу.

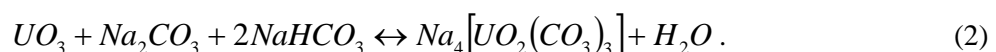
При кислотному вилуговуванні можуть бути задіяними кислоти – сірчана, азотна, соляна. Головним чином використовують сірчану кислоту, як найбільш дешевий реагент, а азотну додають як окислювач.

Загальна хімічна реакція переведення окислених мінералів урану у розчин свідчить про існування в ньому урану у вигляді ураніл-іону



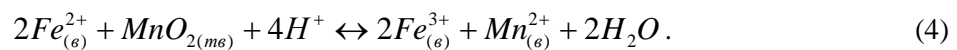
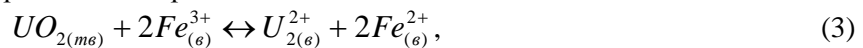
Після вилучення урану, розчини знову подаються до свердловин, де їх закачують у продуктивний горизонт, але, якщо це потрібно, попередньо знижують їх рН до 2,5-2,8.

У випадку карбонатного вилуговування утворюється розчинний іон трикарбонатуранілу: $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$, який потім може бути осаджений лугами як натровий чи магнезійний діуранат. Хімічна реакція у цьому випадку буде виглядати так:



Збагачені ураном розчини відкачуються через продуктивні свердловини і подаються на системи колон з іонообмінними смолами чи з іонообмінною рідиною. Вибір у даному випадку залежить від солоності підземних вод – система з рідиною ліпше підходить до вод з солоністю, що досягає 17000-20000 ррт, тоді як система із смолами краща тоді, коли насиченість хлоридами менша ніж 3000 ррт. Уран вилучається з іонообмінних смол та хімічно осаджується.

Карбонатний спосіб вилуговування (КасВ) забезпечує високу селективність процесу, у зв'язку з чим – порівняно малі витрати реагенту, відсутність необхідності застосування апаратури з дорогих антикоро-



Ефективність карбонатного способу вилуговування залежить від мінеральної форми, в якій уран знаходиться в руді. Вважається, що легко розчиняються в карбонатних розчинах складні арсенати, карбонати, молібдати, фосфати, сульфати і ванадати шестивалентного урану. Розчинення силікатів не відбувається без підвищення температури, що неможливо за умови ПВ. Кофініт може бути "розкритий" тільки за допомогою окислювача. Це саме стосується оксидів чотиривалентного урану. Підсумовуючи викладене стосовно карбонатного способу вилуговування, можна навести такі умови, за яких вилуговування урану буде найбільш ефективним:

Екологічна складова застосування способу підземного вилуговування при розробці уранових родовищ

Підземне вилуговування - практично безвідходне виробництво, що здійснюється на місці залягання руд без суттєвого порушення існуючих природних умов на земній поверхні. Вірогідність забруднення денної поверхні, поверхневих водотоків і повітря при підземному вилуговуванні менша порівняно з традиційними (гірничими) способами розробки родовищ. На відмінність від підземних і відкритих гірничих робіт добування урану способом ПВ не супроводжується відвалами руд, гірських порід і хвостосховищами, не відбувається осушення водоносних горизонтів, нема шахтних і стічних вод, які

зійних матеріалів і відсутність обмежень з вмісту карбонатів в рудах і рудовміщуючих породах.

Для КасВ недоліком є поступове погіршення проникності рудоносного горизонту (руди і вміщуючі породи) порівняно з первинною фільтрацією пластових і підземних вод і обов'язкове застосування окислювачів. У цьому випадку використовуються кисень (O₂ - доступний, порівняно дешевий, сильний окислювач) і піролюзит (MnO₂), який звичайно вживається за присутності іонів заліза – Fe³⁺. Останній безпосередньо є окислювачем U(IV), а піролюзит виступає регенератором іонів тривалентного заліза

- мінерали урану повинні розчинятися у карбонатному технологічному розчині, якщо потрібно – з додаванням окислювача у розчин;
- складові руди чи компоненти технологічного розчину не повинні містити відновних речовин;
- необхідно унеможливити утворення осаду діуранату за рахунок підтримування достатньої концентрації бікарбонат-іону у розчині;
- надати технологічному розчину оптимальну концентрацію, яка б утримувала фільтраційні властивості покладу на певному (необхідному) рівні.

традиційно є суттєвими забруднювачами денної поверхні і джерел водопостачання.

При свердловинному варіанті відпрацювання уранових родовищ способом ПВ практично не існує забруднення атмосфери токсичними речовинами. Незначним джерелом виділення радіоактивного газу – радону є відкачні свердловини. При ерліфтному способі підйому продуктивних розчинів біля свердловини створюється невеличка аерозольна хмара, що вміщує розпилені частинки технологічного розчину та газів, в т.ч. радону. Переважна частина радону і продуктів його розпаду відразу після викиду в атмос-

феру розпорошується, втрачаючи свою небезпечність.

Основними джерелами забруднення ґрунтів на ділянках підземного вилуговування урану є втрати технологічних розчинів при порушенні цілності трубопроводів та скиди розчинів і мулу при очищенні технологічних свердловин від колючих речовин. Забруднення окремими радіонуклідами ґрунтів у місцях втрати технологічних розчинів з місць порушень технологічного трубопроводу блоку ПВ перевищує фоновий рівень у 4-15 разів [4]. В місцях виливів технологічних розчинів земна поверхня може забруднюватися сульфатами, нітратами і природними радіонуклідами уран-радієвого ряду, а рН ґрунтової вологи досягати значень 2-3. Найбільш небезпечні при радіоактивному забрудненні – Th^{232} і Po^{210} . Природні радіонукліди, що потрапляють з технологічними розчинами в родючий шар ґрунтів, поглинаються рослинами, які ростуть на таких ділянках. Найбільша питома радіоактивність ґрунтів фіксується на глибинах 5-10 см від денної поверхні, а максимальна глибина проникнення у ґрунти вказаних вище токсичних речовин та елементів, як правило, не перевищує 0,6-1 м [5]. Самоочищення ґрунтів і міграція забруднюючих компонентів крізь і під родючий шар здійснюється вкрай повільно, складаючи щонайменше декілька десятків років. З метою запобігання забруднень родючого шару ґрунтів (чорноземів) після відпрацювання покладу або блоку ПВ чорноземні ґрунти, які зберігаються у спеціально облаштованих відвалах, повертають на своє місце. Таким чином при відносно невеликих витратах праці і коштів за 5-10 років від початку експлуатації родовища земля може повертатись у сільськогосподарське користування з припустимим погіршенням її родючості.

Вважається [2], що на родовищах відпрацьованих способом ПВ за сірчаноокислотною технологією, суттєвої міграції радіоактивних елементів з підземними водами за межі відпрацьованих покладів урану не спостерігається. Але тут слід зазначити наступне. При відпрацюванні уранових родовищ способом ПВ протягом 10-15 і більше років у підземні води продуктивних горизонтів для створення необхідних умов ефективного розчинення і вилучення з рудних покладів урану закачуються десятки і сотні тисяч тон хімічних

речовин, в т.ч. сірчаної кислоти. В результаті фізико-хімічних процесів підземного вилуговування у технологічних розчинах (продуктивному і робочому) деякі компоненти накопичуються у кількостях, що значно перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК) для вод.

В умовах сірчаноокислого вилуговування забруднюючими компонентами є:

1. Складові розчинника SO_4^{2-} і кислотність середовища;
2. Продукти вилуговування – природні радіоактивні елементи (U, Ra, Po, RaD) і Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} та інші катіони;
3. Технологічні продукти переробки розчинів – NO_3^- , Cl^- та інші компоненти.

Залишкові розчини після ПВ відповідають підземним водам III категорії з мінералізацією понад 3 г/дм³, непридатним для господарських потреб.

На стадії завершення процесу видобування урану за сірчаноокислотною технологією рН продуктивних розчинів знижується до 1-2, загальна мінералізація досягає 20-30 г/л, а вміст урану відповідає мінімальній промисловій його концентрації, коли видобування урану припиняється тому, що процес стає нерентабельним.

Забруднення підземних вод технологічними розчинами за межами ділянок, що відпрацьовуються, може бути викликане розтіканням технологічних розчинів як по продуктивному, так і по суміжних водоносних горизонтах. Але відомо, що навколо відкачних свердловин формуються депресійні воронки, це не дозволяє закачним (робочим) і продуктивним розчинам суттєво розповсюджуватися за межі цих воронок. Ця закономірність доповнюється важливим і обов'язковим принципом способу ПВ – дотриманням гідродинамічної рівноваги (балансу) закачки робочих і відкачки продуктивних розчинів. Як правило, на гідрогенних родовищах урану продуктивний горизонт відокремлюється від суміжних водоносних горизонтів водотривкими товщами гірських порід суттєво глинистого складу, що перешкоджає перетіканню технологічних розчинів у суміжні водоносні горизонти. Важливим засобом, що запобігає такому перетіканню є якісна ізоляція останніх від продуктивного горизонту при спорудженні технологічних свердловин. Не зважаючи на виконання комплексу захо-

дів, що запобігають розповсюдженню технологічних розчинів за межі покладів, блоків, які відпрацьовуються способом ПВ, часто має місце забруднення продуктивного горизонту, а у окремих випадках – і суміжних з продуктивним водоносних горизонтів.

Численними дослідженнями і практичною роботою підприємств ПВ встановлено, що забруднення законтурних вод переважно є локальним і внаслідок природних процесів (нейтралізації, сорбції, розбавлення) розповсюджується від покладів (блоків) ПВ на досить обмежені відстані (до 50-100 м). Процес нейтралізації полягає в тому, що на шляху міграції природного потоку технологічні розчини вступають у хімічну взаємодію з гірськими водоносними породами, нейтралізуються, внаслідок чого Al^{3+} , Fe^{3+} та інші катіони випадають в осад у вигляді гідроксидів. На межі розчинів ПВ і природних вод формується, таким чином, гідрохімічний бар'єр. Проникність порід в області його розвитку значно знижується.

Виникнення на зовнішніх контурах ділянок (блоків) ПВ гідрохімічних бар'єрів знижує можливість розповсюдження технологічних розчинів, в тому числі вільних іонів SO_4^{2-} , нітрат-іонів, міграційна здатність яких у природних умовах значна. Це сприяє начебто довготривалому "захороненню" сольових розчинів ПВ в обмежених контурах – відпрацьованих способом ПВ блоках (покладах) родовища.

На шляху пересування природного потоку підземних вод, які вміщують технологічні розчини, кислотність вод знижується. Це супроводжується сорбцією радіоізотопів вміщуючими товщами гірських порід. За умов зниження кислотності вод до $pH = 5-6$ радіоактивні елементи (ізотопи урану, радію, полонію) на 90 % і більше сорбуються вміщуючими породами [4].

У процесі підземного вилуговування природні радіонукліди переходять у розчин до певного рівня концентрації. Уран поглинається аніонітними смолами у сорбційній колоні, а інші радіоізотопи (радій, полоній, іоній) залишаються у рівноважному стані у технологічних розчинах протягом періоду експлуатації родовища (по-

кладу, блоку ПВ). Вміст урану в залишкових розчинах на більшій частині родовища перевищує 10 ГДК, місцями досягаючи 210-345 ГДК. Вміст урану, заліза і алюмінію у законтурних розчинах визначається головним чином величиною pH . Значення, за яких відбувається різке зниження концентрацій цих компонентів, такі: для сполук урану – близько 2-2,5; заліза (III) – 3; алюмінію – 4-4,5; заліза (II) – 6 [4]. При наявності природного руху підземних вод ореол дещо зміщується у напрямку потоку, загальна площа ореолу залишкових розчинів ПВ при цьому практично залишається приблизно такою, як на момент завершення процесу видобування урану.

Межі ореолу розчинів можуть бути зменшені за рахунок збільшення об'єму розчинів, що видобуваються з надр, відносно об'єму розчинів, що закачуються у продуктивний горизонт. В цьому випадку навколо покладу (блоку ПВ) формується депресійна воронка підземних вод, що перешкоджає розтіканню залишкових розчинів ПВ, але при цьому зменшується концентрація урану в продуктивному розчині.

Міграція розчинів ПВ у вертикальному напрямку обмежується, головним чином, водотривкими породами і наявністю гравітаційної диференціації рідини. У продуктивному водоносному горизонті, який має потужність, що співпадає з потужністю рудного покладу, відбувається практично повне заміщення підземних вод технологічними розчинами.

Несприятливі умови для обмеження потоку технологічних розчинів за межі продуктивного горизонту існують на ділянках "фільтраційних вікон", як у верхньому, так і, особливо, в нижньому водоупорах, що обмежують продуктивний горизонт.

Виходячи із вищенаведеного, для визначення впливу процесу видобування уранових руд способом ПВ на стан довкілля необхідно проводити систематизований контроль за положенням і просуванням технологічних розчинів у продуктивному горизонті, а також можливим забрудненням суміжних горизонтів, поверхневих водотоків та ґрунтового покриву, як в процесі експлуатації родовищ, так і у подальші періоди.

**Вплив на довкілля розробки уранового родовища способом ПВ
(на прикладі Девладівського родовища на заході Дніпропетровської області)**

В Україні промислове вилучення урану стало можливим вже з 1964 року, першим досвідом розвитку ПВ стало Девладівське уранове родовище "пісковикового" типу. Це родовище відноситься до ґрунтово-інфільтраційних, уранові рудні поклади локалізовані в середньоєоценових вугленосних відкладах бучацької світи (або серії), які заповнюють річкові палеодолини, врізані в кристалічні породи щита та їхню кору вивітрювання на 70-90 м. Рудоносні відклади перекриваються еоцен-олігоценовими морськими глинистими або міоценовими прибережними піщаними відкладами потужністю 30-60 м.

На родовищі виділяють два гідрогеологічні поверхи – верхній являє собою водоносний комплекс кайнозою, кори вивітрювання й верхньої тріщинуватої частини порід кристалічного фундаменту, що вміщає ґрунтові води, і нижній – кристалічний фундамент із напірними розломно-тріщинними водами. У межах верхнього водоносного комплексу

виділяється бучацький водоносний горизонт (середній еоцен) алювіальних пісків, що містить хлоридно-сульфатні натрієві води з мінералізацією 2,4 г/дм³ і середнім вмістом урану 0,023 мг/дм³. Він залягає на глибині 55-75 м від денної поверхні та характеризується локальним напором 30-55 м, статичний рівень вод горизонту змінюється від +97,5 м абс. на сході родовища до +94 м абс. на його західному фланзі.

Верхній водоносний комплекс має віддалені до північного сходу від родовища області живлення, однак бучацький водоносний горизонт живиться також через фільтраційні "вікна" у покрівлі горизонту (у крайових частинах палеоруслу та його приток) і в підшві (уздовж палеоруслу), де місцями відсутня каолінова кора вивітрювання й алювіальні піски залягають на зоні дезінтеграції й тріщинуватості кристалічних порід фундаменту. Кількісні параметри технологічного впливу на продуктивний горизонт цього родовища зведено до таблиці 1.

Таблиця 1 - Загальна характеристика технологічного впливу на продуктивний горизонт Девладівського родовища

Роки відпрацювання	Середня потужність горизонту, м	Площа ореолу з прикордонною зоною, тис. м ²	Загальний об'єм залишкових розчинів в контурі, млн. м ³	Закачано, т			
				сірчаної кислоти	азотної кислоти	аміачної селітри	аміачної води
1962-1982	15	1185	6,035	207250	6300	23800	2000

Сучасні геологічні процеси в межах горизонту характеризуються надходженням у нього тріщинних підземних вод із кристалічного фундаменту й порових підземних вод з піщаного водоносного горизонту міоцену (через гідрогеологічні "вікна" у бортах палеодолини). Ці підземні води розбавляють залишкові розчини, взаємодіють із ними хімічно й видавлюють їх з порового простору порід, змушуючи просуватися в напрямку області розвантаження, тобто - р. Саксагань. Крім того, залишкові розчини взаємодіють із породами водоносного горизонту, що приводить до нейтралізації вільної сірчаної кис-

лоти, збагачення розчину солями металів і осадження нерозчинних хімічних сполук (оксидів Fe й Al, гіпсу та ін.) у порах пісків. Вміст у підземних водах горизонту багатьох сполук, у т.ч. радіоактивних елементів, перевищує ГДК компонентів, що нормуються. Ці ореоли залишкових розчинів, приурочені до рудних покладів, поступово об'єдналися в один загальний ореол, у межах якого міститься близько 3 млн. м³ рухомих розчинів. Окрім того, у продуктивний горизонт під час добування урану із центрального покладу, через свердловини закачали забруднену технологічними розчинами воду ставків, за-

гальний об'єм якої склав 1 млн. м³. Вміст урану в підземних водах продуктивного горизонту до кінця ПВ у середньому зріс у 6,3 рази, радію – в 1,8 рази. У залишкових розчинах з'явилися також торій, радіогенний свинець і полоній.

Небезпека забруднення залишковими розчинами як суміжних водоносних горизонтів із тріщинними й поровими підземними водами, так і поверхневих водотоків, наприклад, річок Саксагань і Кам'янка, обумовила необхідність створення системи постійного моніторингу стану продуктивного водоносного горизонту на Девладівському родовищі, що виконується Східним ГЗКом (м. Жовті Води Дніпропетровської обл.) [6]. За результатами цих та інших досліджень встановлено, що особливістю Девладівського уранового родовища є низький вміст карбонатів у породах і рудах (менше 0,5%), у зв'язку із цим нейтралізація надлишкової сірчаної кислоти залишкових розчинів відбувається на площі родовища переважно за рахунок гідрокарбонатів, розчинених у природних інфільтраційних водах, у яких середній вміст HCO_3^- коливається в межах від 108 до 179 мг/дм³. Таким чином, повна нейтралізація сірчаної кислоти розчинів і очищення їх від радіонуклідів може відбутися тільки під час просування оборотного розчину (ОР) разом з потоком природних вод на захід, в область розвантаження підземних вод у долині р. Саксагань. Відсутність достатньої кількості карбонатів у породах бучацького горизонту пояснює також незмінність середніх значень $\text{pH} < 4$ протягом 1991-2005 рр. і тривалість процесу вилуговування. Природна демінералізація залишкових розчинів почалася тільки між 1997 і 2005 рр., а до цього кількість сульфатів у розчинах і загальна мінералізація зростали. Більшість ореолів компонентів залишкових розчинів у період 1997-2005 рр. просунулося на захід на 700-800 м, тобто приблизно на 90-100 м за рік. Найбільш важливий показник забруднення підземних вод – сульфат-іон – утворює ореол із $\text{ГДК} > 1$, що просунувся за 19 років спостережень на 1,5 км, тобто передній край ореола просувався із середньою швидкістю 79 м у рік.

В [6] проведено комп'ютерне фізико-хімічне моделювання процесів самоочищення підземних вод (залишкових розчинів) продуктивного горизонту на 1991, 1997,

2005 і 2030 роки й прогнозу динаміки зміни залишкових розчинів і вміщуючих порід продуктивного горизонту. Моделювання показало, що вміст урану в підземних водах горизонту досягне значення на 1956 р. (2,3 мг/дм³) приблизно в 2100 р.; величини pH і концентрації SO_4^{2-} досягнуть рівня величин природних вод бучацького горизонту приблизно в 2130 р.; величина загальної мінералізації в підземних водах горизонту зрівняється з мінералізацією вод на 1956 р. приблизно в 2300 році; приблизно до 2130 р. вміст Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO і Na_2O у породах горизонту стабілізується й досягне мінімального значення. Математичні моделі самоочищення підземних вод мало достовірні, у зв'язку з невеликою кількістю свердловин.

Викликають сумніви в правомірності подібного прогнозу наступні міркування. В [6] наведені дані по різних свердловинах в різні роки. Наприклад, моніторинг підземних вод у 1982 році проводили переважно в ореолах забруднення, а у 2005 році з 29 свердловин тільки 9 свердловин знаходились в контурі забруднення. Цілком вірогідно, що це обумовлено технічними, економічними або іншими причинами. Деякі значення отримані в точках, що не відображають значимі зміни вод продуктивного горизонту, а тренди значень концентрацій забруднюючих речовин отримані усередненням по всім свердловинам. Є вірогідність, що дані наведені не в повному обсязі. В роботі наводиться динаміка хімічного забруднення підземних вод з 1982 по 1984 рр. (таблиця 2).

Показники співставлені за середніми рівнями з опробування одних і тих самих 19 режимних свердловин. Максимальне забруднення продуктивного горизонту реагентами ПВ мало місце у 1982 році.

Аналіз наведеного фактичного матеріалу показав, що необхідно розглядати окремо дані усередині контуру, поза контуром забруднення й у середньому по площі родовища. У таблицях 3-5 наведені середні показники забруднення: 1) по всій площі Девладівського родовища; 2) усередині контуру забруднення (pH 1,9-4,5); 3) поза контуром забруднення ($\text{pH} > 6,5$).

Для наочності можна привести графіки (рисунок) динаміки деяких хімічних компонентів підземних вод бучацького водоносного горизонту Девладівського родовища.

Таблиця 2 - Рівні забруднення хімічними речовинами підземних вод продуктивного горизонту Девладівського родовища за 1982, 1983, 1984 роки [6]

Показник хімічного забруднення вод	Середні рівні по роках, мг/дм ³		
	1982	1983	1984
pH	4,5	5,08	5,54
SO ₄ ²⁻	6760	3800	2960
Мінералізація	10250	6500	5700
NH ₄ ⁻	115	111	68
Ca ²⁺	442	370	316
Mg ²⁺	302	244	230
Na ⁺	641	537	476
NO ₃ ⁻	217	57	32
HCO ₃ ⁻	56	68	153
CL ⁻	728	654	665

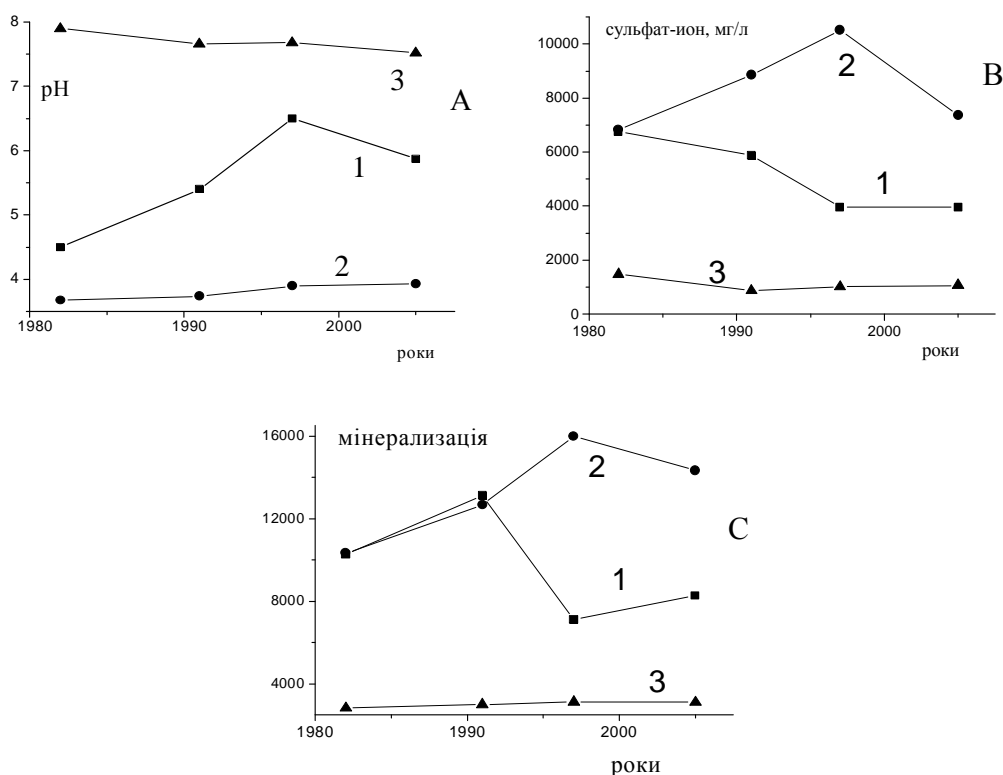


Рисунок - Динаміка рН (А), концентрації сульфат-іонів (В) і мінералізації (С) підземних вод продуктивного горизонту Девладівського родовища в середньому: 1- по всьому регіону; 2 – усередині контуру забруднення; 3 – за контуром забруднення.

Таким чином, якщо розглядати середні показники по всій площі родовища, то, напевно, можна говорити про тенденцію до самоочищення. Але варто мати на увазі, що існують осередки забруднення, визначені по показнику рН, що варіюється в межах 1,9-4,5, у яких змін практично немає протягом понад 25 років, тому що, як уже згадувалося, вміст карбонатів у вміщаючих породах, ни-

зький. Це приводить до того, що рухливість катіонів у осередках падає незначно. На стадії міграції відбувається зміщення впроваджених об'ємів під впливом, головним чином, пластового градієнту напору в напрямку результуючого вектору швидкості пластового потоку.

Основними факторами міграції і супутніх їй процесів стають конвекція, гравітаційна

сегрегація, фізико-хімічна взаємодія розчинів з водовміщуючими породами, фільтраційна дисперсія. При цьому визначаючим фактором складу залишкових розчинів є ве-

личина рН (в межах об'єму ЗР концентрація H₂SO₄ складає 16-20 г/л, рН 1,5-2, що визначає стійкість в розчині компонентів мобілізації).

Таблиця 3 - Хімічний склад підземних вод продуктивного горизонту Девладівського родовища в різні роки в середньому по всьому регіону [6]

Рік	рН	Показники хімічного складу води, мг/дм ³									Вміст радіонуклідів	
		Катіони				Аніони				Мінералізація	U, мг/дм ³	Радій, 10 ⁻¹¹ Кі/дм ³
		Na ⁺	NH ₄	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ³⁻	CL ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻			
1982	4,5	641	115	442	302	56	728	6760	217	10250	-	-
1983	5,08	537	111	370	244	68	654	3800	57	6500	-	-
1984	5,54	476	68	316	230	153	665	2960	32	5700	-	-
1991	5,4	677	204	361	310	92	727	5877	113	13110	5,1	4,0
1997	6,5	517	12	329	281	157	785,6	3960	77,7	7113	4,72	0,31
2005	5,87	566	89,7	328	282	314	-	3961	184	8266	2,29	2,78

Таблиця 4 - Забруднення хімічними речовинами підземних вод продуктивного горизонту Девладівського родовища в різні роки (середні рівні) по ореолу забруднення [6]

Рік	рН	Показники хімічного складу води, мг/дм ³									Вміст радіонуклідів	
		Катіони				Аніони				Мінералізація	U, мг/дм ³	Радій, 10 ⁻¹¹ Кі/дм ³
		Na ⁺	NH ₄	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ³⁻	CL ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻			
1982	3,68	694	60	491	290	117	702	6835	268	10333	-	-
1991	3,74	439	349	478,4	407	12	747,9	8856	149	-	8,19	-
1997	3,9	644	37	617	542	6	947	10514	208	15981	13,7	0,43
2005	3,93	646	194	472	451	61,2	438,5	7372	148	14328	4,91	5,7

Таблиця 5 - Динаміка хімічного складу підземних вод продуктивного горизонту Девладівського родовища в різні роки за контуром забруднення [6]

Рік	рН	Показники хімічного складу води, мг/дм ³									Вміст радіонуклідів	
		Катіони				Аніони				Мінералізація	U, мг/дм ³	Радій, 10 ⁻¹¹ Кі/дм ³
		Na ⁺	NH ₄	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ³⁻	CL ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻			
1962	7,9	408	-	280	194	384	388	1469	-	2837	0,02	8
1991	7,66	434	7,74	178	127	168	619	871	9,94	-	0,11	-
1997	7,68	450	0,5	199	164	226	713	1011	19	3123	0,69	0,25
2005	7,52	498	1,11	205	139	529	-	1062	214	3114	0,07	0,29

За умов зміщення кислих розчинів за межі експлуатаційних полігонів (блоків) починається взаємодія ЗР з породами, які не зачеплені ПВ. Довжина шляху нейтралізації ЗР завжди менше вихідної протяжності площі горизонту, зайнятої залишковими розчинами. Здатними до подальшої міграції залишаються сульфат- і нітрат-іони. В [11] відмічають, що об'єм ЗР Девладівського уранового родовища, приурочений до пісків бучацького водоносного горизонту, підстеляючих їх тріщинуватих порід і кори вивіт-

рювання, який сформувався за 20 років експлуатації, має протяжність 4,2 км за ширини 300 м. Предметом прогнозу в цих умовах мають бути максимальні розміри і форма об'єму розтікання в заданий період часу за відомої концентрації індикатору (компоненту) в джерелі.

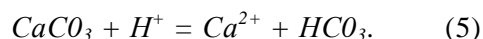
Традиційно вибір способу розробки методом підземного вилуговування припускає, що фізико-геологічні умови для даного способу розробки будуть дотримані й перекриваючі горизонти будуть перешкоджати по-

ширенню робочих розчинів. Як правило, на гідрогенних родовищах продуктивний горизонт відокремлюється від суміжних водоносних горизонтів водотривкими товщами гірських порід суттєво глинистого складу, що виключає перетікання технологічних розчинів у суміжні водоносні горизонти. Та моніторинг продуктивного горизонту (на прикладі Девладівського родовища) показав пересування ореолу забруднення зі швидкістю 70-80 м/рік і практично незмінною концентрацією забруднюючих речовин у ньому. У

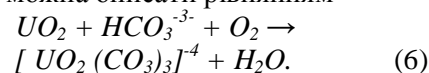
будь-який момент часу існує висока ймовірність переміщення ореолу через гідравлічне вікно у вищележачий водоносний горизонт або в зону, що не має екрануючого покриття. У цих випадках виникає нове завдання – висхідна міграція токсикантів. У науковій літературі вона практично не відбита. Очевидно в цьому випадку необхідно звернутися до світової практики поховання й нейтралізації рідких радіоактивних розчинів.

Пропозиції щодо удосконалення застосування способу ПВ в умовах Промислового Придніпров'я

В сучасних складних еколого-економічних умовах значний інтерес викликає досвід Узбекистану й Казахстану, які застосовують слабокислотне й водне вилуговування уранових руд. Так, з метою вдосконалювання способу підземного вилуговування й зниження його впливу на підземні води в Узбекистані була розроблена й впроваджена у виробництво нова геотехнологія слабокислотного вилуговування урану з гідрогенних родовищ [7,8]. Частка видобутку урану в Узбекистані із застосуванням слабокислотної геотехнології в цей час становить 50% усього урану, що добувається, а в найближчі роки складе 75-80%. Ця технологія заснована на переході карбонатної речовини з породи в розчин у вигляді іона HCO_3^- при підкисленні пластових вод сірчаною кислотою до $\text{pH} = 4-4,5$ і насиченні робочих розчинів киснем повітря. Вилуговуючий розчин з водневим показником $\text{pH} = 4$ забезпечує практично виборче розчинення карбонатних мінералів і збагачення розчинника бікарбонат-іоном по реакції



Реакцію розчинення урану, що протікає при цьому, можна описати рівнянням



Інтенсивність процесу вилуговування і його ефективність обумовлюються в основному кількістю кисню, що подається в горизонт. Уран значно інтенсивніше окисляється від безпосереднього контакту газоподібного кисню з рудою, ніж з розчиненим у воді киснем. Тому через свердловини в горизонт періодично подається стиснене повітря, що витісняє пластові води й вступає в контакт із урановими мінералами. Мінімально необхідна кількість кисню, що надходить у горизонт, становить 0,1 кг на 1 т руди.

Без врахування екологічної складової слабокислотна геотехнологія вилуговування урану за повнотою його вилучення з надр не поступається "твердій" сірчаноокислотній технології, а за собівартістю продукції економічніша її на 17-20%. Основні технічні й екологічні показники «твердої» сірчаноокислотної і слабокислотної технологій, застосовуваних на комбінаті в різний час для відпрацьовування покладів айтимського горизонту, наведені в таблицях 6,7.

Таблиця 6 - Порівняльні технічні показники "твердого" сірчаноокислотного та слабокислотного підземного вилуговування урану

Технічні показники ПВ	«Тверда» сірчаноокислотна технологія	Слабокислотна технологія
Собівартість одиниці продукції, %	100	80
Витрата сірчаної кислоти на 1 кг урану, кг/кг	156	6
Концентрація сірчаної кислоти в 1 л розчинів, г/л	10	0,1 - 0,2

Головна перевага слабокислотної технології ПВ полягає в тому, що у випадку її застосування величина водневого показника пластових вод, загальна мінералізація, склад і вміст основних мікрокомпонентів у процесі

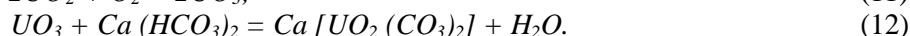
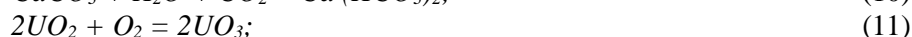
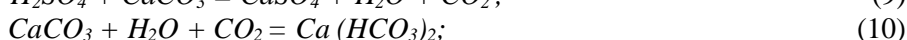
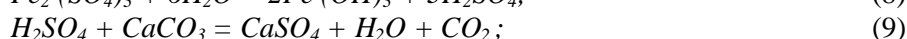
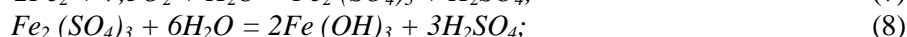
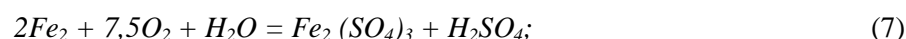
вилуговування й після його завершення в межах контуру рудного тіла мало відрізняються від фонових значень. У цьому випадку відновлення експлуатованих вод після закінчення робіт практично не потрібне.

Таблиця 7 - Порівняльні екологічні показники компонентів підземних вод при «твердому» сірчанокиислому й слабокислотному підземному вилуговуванні урану (на прикладі родовища "Учкудук")

Екологічні показники компонентів підземних вод	Первісна концентрація компонентів підземних вод (до початку робіт)	Кінцева концентрація компонентів у залишкових розчинах у горизонті після закінчення робіт		ГДК для питної води в Узбекистані
		«Тверда» сірчанокислотна технологія	Слабокислотна технологія	
рН залишкових розчинів після ПВ	7,6	1,1	7	6-9
Сухий залишок, мг/л:	2 750	19 500	3 300	1000
Na ⁺ +K ⁺	526	1030	620	200
Ca ²⁺	132	550	220	
Mg ²⁺	60	608	108	
Fe _{зар.}	0,5	1 560	0,8	0,3
SO ₄ ²⁻	1 400	14 200	1 630	400
HCO ₃ ⁻	190	880	350	
Cl ⁻	360	880	420	250

Іншою сучасною технологією видобутку урану є метод водного вилуговування, який у наш час починають застосовувати в Казахстані на епігенетичних інфільтраційних ро-

довищах [9,10]. Хімізм техногенного підземного вилуговування інфільтраційних родовищ урану описується наступними реакціями



Із сульфідів генерується сірчана кислота (реакції 7 і 8), що розкладає нерозчинні карбонати з утворенням вуглекислоти (9), потім бікарбонатів (10), бікарбонати розчиняють окислений (по реакції 11) уран, що у вигляді уранілкарбонатних комплексів (12) доставляється у водоносні горизонти артезіанського басейну.

Основою процесу є бактеріально-хімічне окислювання сульфідів. Окислювальні мікроорганізми (тіонові бактерії) повсюдно поширені в підземних водах сульфідних полі-

металевих родовищ, а також там, де водоносні породи містять сульфідні мінерали. Найпоширенішими з них є сімейство Acidithiobacillus ferrooxidans, що розвивається в слабокислотному середовищі (рН=1,5-2,5). Такі середовища можливі тільки на сульфідних родовищах. На уранових родовищах, де сульфідність руд незначна (до 1,0, рідше до 2,0-3,0%), кислоти в підземних водах немає. У цих випадках діють інші бактерії, вірніше їх ценоз, у т.ч. Acidithiobacillus ferrooxidans, безпосередньо на контактах із

сульфідними мінералами. Але, цілком імовірно, це звичайне кислотно-бікарбонатне або мінікислотне вилуговування, але на мікрорівні. Джерелом невеликої кількості кислоти є не закачні свердловини, а всі сульфідні частки (великі й малі) у всій масі руд і вміщуючих порід, що постійно контактують із киснем. Процес вилуговування буде постійним, поки не скінчиться будь-який із п'яти компонентів - сульфід, кисень, бактерії, карбонати, уран. Водне вилуговування засноване на наведених вище реакціях, але замість атмосферних опадів використовується пластова вода, що насичується киснем. Для низькокарбонатних руд (менше 1-2% CO_2 і особливо менше 0,5%) необхідно підкисляти воду до $\text{pH} = 4-3$.

Досвід застосування слабокислотного й водного вилуговування уранових руд в Уз-

бекистані й Казахстані безумовно має значний інтерес для розвитку вітчизняного ядерно-паливного циклу в частині зниження екологічного навантаження для умов техногенно навантажених територій центра та південного заходу України. Але пряме перенесення отриманих результатів неможливе через суттєві відмінності ландшафтно-кліматичних умов та ступеню розвитку локальних та регіональних господарських інфраструктур. Тобто питання удосконалення застосування способу ПВ на території Промислового Придніпров'я за рахунок впровадження слабокислотного й водного вилуговування уранових руд потребує додаткових досліджень еколого-економічної доцільності застосування цих технологій для умов техногенно навантажених регіонів України.

Висновки

Підводячи підсумки, слід зазначити наступне.

1. На теперішній час підземне вилуговування дозволяє значно розширити ресурси корисних копалин за рахунок залучення у виробництво найскладніших за гірничогеологічними умовами та бідних за вмістом родовищ при одночасному підвищенні продуктивності праці гірників по кінцевій продукції, зниженні капіталоємності, матеріалоємності, енергоємності виробництва, значно скоротити вихід відходів.

2. Для підземного вилуговування найбільш характерними екологічними змінами в зоні розробки є наявність забруднень, що являють собою надзвичайно агресивну субстанцію внаслідок використання відповідних реагентів (кислот, лугів та ін.). Забруднення денної поверхні й технічного устаткування виникають через технологічні недоробки й аварійні протоки або при скиданні розчинів і мулу при очищенні технологічних свердловин від кольматуючих речовин. Вони можуть бути зменшені або зовсім припинені при поліпшенні технічної бази. Забруднення продуктивного горизонту являє значно більшу проблему.

3. Моніторинг продуктивного горизонту (на прикладі Девладівського родовища) показав пересування ореола забруднення зі швидкістю приблизно 90-100 м/рік і практично незмінною концентрацією забруднюючих

речовин у ньому. У будь-який момент часу існує висока ймовірність переміщення ореола через гідрогеологічні "вікна" у вищележачий водоносний горизонт або в зону, що не має екрануючого покриття. У цих випадках виникає нове завдання – висхідна міграція штучних токсикантів, яка поки що в науковій літературі практично не знайшла відображення.

4. В сучасних складних еколого-економічних умовах перспективним є використання при розробці родовищ урану в умовах техногенно навантажених територій центра та південного заходу України досвіду Узбекистану й Казахстану, які застосовують слабокислотне й водне вилуговування уранових руд. Ці способи вилуговування урану за повнотою його вилучення з надр не поступаються "твердій" сірчано-кислотній технології, а за собівартістю продукції економічніші на 17-20%. Головна перевага полягає в тому, що величина водневого показника пластових вод, загальна мінералізація, склад і вміст основних мікрокомпонентів у процесі вилуговування й після його завершення в межах контуру рудного тіла мало відрізняються від фонових значень і відновлення експлуатованих вод після закінчення робіт практично не потрібне. Але питання впровадження слабокислотного й водного вилуговування уранових руд на території Промислового Придніпров'я потребує додаткових досліджень еколого-економічної доцільності застосування цих

способів для умов техногенно навантажених регіонів України.

Перелік посилань

1. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Том 1. Металлические полезные ископаемые / Под ред. Н.П. Щербака, А.Б. Боброва. – Киев-Львов: Изд-во «Центр Европы», 2005. – 785 с.
2. Добыча и переработка урановых руд в Украине / Под ред. А.П.Чернова. – К.: АДЕФ-Украина, 2001. – 238 с.
3. Экзогенные эпигенетические месторождения урана. Условия образования / Под ред. А.И. Перельмана. – М.: Атомиздат, 1965.
4. Добыча урана методом выщелачивания / В.А. Мамилов, Р.П. Петров, В.П. Новик-Качан и др. – М.: Атомиздат, 1980. – 248 с.
5. Справочник по геотехнологии урана / Под ред. Д.И. Скороварова. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 672 с.
6. Моніторинг природного середовища після добування урану способом підземного вилугування / В.Шумлянський, М. Макаренко, І. Колябіна та ін. – К.: Логос, 2007. – 212 с.
7. Мальгин О.Н., Груцинов В.А. Охрана окружающей среды при добыче урана способом подземного выщелачивания в Узбекистане // Докл. Межд. Конф. «Освоение недр и экологические проблемы – взгляд в XXI век. М.: изд. Акад. Горных наук. – С.218-223.
8. Истомин В.П., Скрипко С.В. Определение режимов подземного выщелачивания при разработке уранового месторождения Тохумбет // Горный журнал. – 2009, № 4. – С.62-64.
9. Единство технологий естественного рудообразования и техногенного подземного выщелачивания инфильтрационных месторождений урана – залог их успешного освоения / В.Н. Есаулов, Е.В. Колпакова, Л.А. Лильбок и др. // Труды ЦНИЛ НГМК, № 74, 2007.
10. Толстов Е.А Физико-химические геотехнологии освоения месторождений урана и золота в Кызылкумском регионе. М.: МГРИ, 1999. – 314 с.
11. Россман Г.И., Петрова Н.В., Самсонов Б.Г. Экологическая оценка рудных месторождений // Минеральное сырье, № 9. – М.: ВИМС, 2000. –150 с.

N.S. Ostapenko, O.K. Tyapkin, V.A. Kirichenko, L.V. Bondarenko, S.A. Kravets **TO THE QUESTION OF DECREASE OF ECOLOGICAL LOADING ON THE TERRITORY AT WORK URANIUM DEPOSITS**

*Institute for Nature Management Problems & Ecology,
National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovs'k*

The underground lixiviation allows to expand of uranium ores production in Ukraine by work small deposits is shown. The most serious ecological problem of underground lixiviation is the pollution of underground waters by aggressive substances owing to use appropriate reagents is specified. It's revealed, that by development of uranium deposits poorly-acid methods of lixiviation, which allow to reduce of the level of underground hydrosphere pollution without decrease of economic parameters, can be perspective ones.

*Надійшла до редколегії 05 травня 2010 р.
Рекомендовано членом редколегії канд. техн. наук М.А. Ємцем*