

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 504.05:622.349.5

**Н.С. Остапенко, канд. хім. наук,
О.К. Тяпкін, канд. геол.-мін. наук,
старший науковий співробітник,
Л.В. Бондаренко, В.А. Кириченко**

Інститут проблем природокористування та екології
НАН України, м. Дніпропетровск, Україна,
e-mail: ippe-main@svitonline.com

ДО ПИТАННЯ ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ЯДЕРНО-ПАЛИВНОГО ЦИКЛУ В ПРОМИСЛОВОМУ ПРИДНІПРОВ'І

**N.S. Ostapenko, Cand. Sci. (Chem.),
O.K. Tyapkin, Cand. Sci. (Geol.-Min.),
Senior Research Fellow,
L.V. Bondarenko, V.A. Kyrychenko**

Institute for Nature Management Problems & Ecology
of National Academy of Sciences of Ukraine,
Dnipropetrovsk, Ukraine,
e-mail: ippe-main@svitonline.com

ON THE ISSUE OF ECOLOGICALLY SAFE FUNCTIONING OF NUCLEAR FUEL CYCLE ENTERPRISES IN INDUSTRIAL PRIDNEPROVE

Для сучасної атомної енергетики України характерною є наявність ряду екологічних проблем, без подолання яких неможливе забезпечення сталого соціо-еколого-економічного розвитку регіонів. У першу чергу це стосується регіону видобування та первинної переробки уранової сировини в промисловому Придніпров'ї. Оцінено сучасний рівень радіологічного навантаження на територію цього регіону, та визначено можливі шляхи подальшого екологобезпечного розвитку тут видобутку уранових руд, у першу чергу із застосуванням слабкокислотного й водного вилуговування.

Ключові слова: видобуток уранових руд, вилуговування, екологічна безпека

Вступ. Можливість суспільства задовольняти свої потреби без нанесення збитків навколишньому середовищу і природним ресурсам багато в чому залежить від способу одержання енергії. У свою чергу, прийнятність того чи іншого способу одержання енергії залежить від відношення до нього суспільства, політичної кон'юнктури, рівня розвитку самого суспільства, ступеню впливу на навколишнє середовище. Починаючи з 70-років ХХ століття швидко виріс внесок атомної енергетики у виробництво електроенергії й зараз розвиток вітчизняних елементів ядерно-паливного циклу (ЯПЦ) відноситься до числа принципових напрямів стратегічного планування, що забезпечують національну безпеку країни за паливно-енергетичними показниками [1, 2]. Загалом це обумовлено сучасними світовими тенденціями. На початок 2008 року в 32 країнах світу експлуатувались 439 атомних реакторів із сумарною потужністю 372 ГВт. Частка атомних електростанцій у світовому виробництві електроенергії становить ~16%, а в деяких

країнах, наприклад у Бельгії та Франції, ця величина досягає більше половини від загальнодержавного виробництва електроенергії. Активний розвиток атомної енергетики (рис.1) обумовлений дорожчанням традиційних енергоносіїв та занепокоєністю громадськості екологічним станом планети.

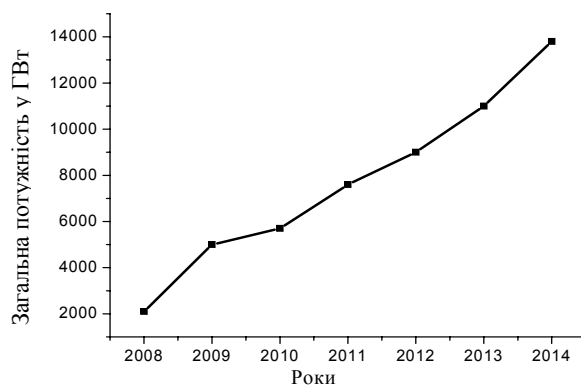


Рис. 1. Тенденція збільшення сумарної потужності атомної енергетики за роками

© Остапенко Н.С., Тяпкін О.К., Бондаренко Л.В., Кириченко В.А., 2011

Багаторічний досвід експлуатації об'єктів ядерної енергетики свідчить про те, що в штатному режимі їх радіаційний вплив не істотний у порівнянні з природним фоном і, практично, не впливає на дози опромінення людини, тоді як викиди теплоелектростанцій (ТЕС) викликають постійне та істотне забруднення довкілля. До того ж, понад 90% енергоблоків сучасних ТЕС уже відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тис. годин).

На них більш ніж 80% одиниць устаткування має термін експлуатації понад 30 років. Сучасні ТЕС спалюють декілька мільйонів тонн вугілля на 1 ГВт електричної потужності, викидаючи при цьому декілька тисяч тонн золи в атмосферу. Особливо небезпечні викиди сірчастих газів, які складають тисячі тонн на 1 ГВт електричної потужності. Збільшення їх кількості в атмосфері разом з вуглекислим газом, внаслідок викидів ТЕС, призводить до парникового ефекту і несприятливих великомасштабних змін клімату на Землі. Вихід же окису вуглецю від підприємств ядерно-паливного циклу (ЯПЦ) складає 0,5–4% викидів, які виникають у результаті роботи еквівалентних за потужністю вугільних ТЕС, а висока калорійність ядерного палива обумовлює значно менші витрати багатьох природних (у т.ч. невідновлюваних органічних) ресурсів.

Разом із цим, для ядерної енергетики в цілому, як і для будь-якої іншої високотехнологічної галузі, характерною є наявність ряду екологічних проблем не тільки локального, а й регіонального масштабу, без подолання яких неможливе забезпечення сталого соціо-еколого-економічного розвитку, у першу чергу регіону видобування та первинної переробки уранової сировини в промисловому Придніпров'ї [3]. Основною метою даної статті є оцінка сучасного рівня радіологічного навантаження на територію вказаного регіону та визначення можливих шляхів подальшого екологічнобезпечного розвитку тут елементів ЯПЦ і, у першу чергу, видобутку уранової сировини.

Регіональний та локальний радіологічний стан територій функціонування підприємств ЯПЦ у промисловому Придніпров'ї.

Загальна регіональна радіологічна характеристика. Значна частина території промислового Придніпров'я в геолого-тектонічному відношенні розташована на Українському щиті, де широко розповсюджені гранітні інтрузії з підвищеним вмістом радіонуклідів уран-радієвого і торієвого сімейств (протерозойський дніпровсько-токівський магматичний комплекс). Але в цілому для регіону властиві низькі значення радіаційного фону – 7–14 мкР/год, що визначається тим, що на більшій частині території четвертинний шар осадових порід (≥ 10 м) є надійним екраном від радіаційного впливу кристалічних порід. Однак, залягання останніх поблизу денної поверхні (у долинах річок, ярах і байраках) зумовлює локальне підвищення потужності експозиційної дози γ -випромінювання (ПЕД) – до 25–30 мкР/год. Таким чином, зняття чохла осадових порід і заглиблення в товщу кристалічних порід призводить до значного підвищення радіаційного фону. Прикладом цього може бути Токівський гранітний кар'єр (рис. 2), який

до 1985 р. був одним з основних джерел сировини для виробництва будматеріалів у регіоні. На його поверхні радіаційний фон не перевищує 15 мкР/год. При заглибленні до цього кар'єру (до 50–60 м) ПЕД зростає до 200 мкР/год і більше.

Найбільш значним проявом зони підвищеного фону (до 30 мкР/год) є велика за площею аномальна зона, що займає майже весь Західний Донбас. На цій території поверхневе забруднення місцевості техногенними радіонуклідами досягає за Cs^{137} – 3 Ki/km^2 і Si^{90} – 0,18 Ki/km^2 , а радіоактивне забруднення поверхневих водотоків – 5×10^{-13} Ki/m^3 і більше, при середньому вмісті радіонуклідів у р. Дніпро $(1 \div 2) \times 10^{-15}$ Ki/m^3 [4].

Особливо слід відзначити, що на території області існують локальні прояви зон радіаційного дискомфорту у вигляді окремих невеликих, але, подекуди, інтенсивних (до 3000 мкР/год) аномальних ділянок, пов'язаних виключно з підприємствами ЯПЦ: видобутком, переробкою радіоактивної сировини, утилізацією та складуванням радіоактивних відходів, що є потенційними джерелами забруднення підземних вод, атмосфери і ґрунтів [5].

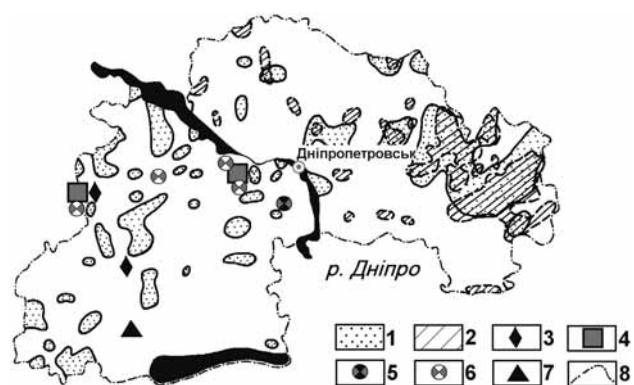


Рис. 2. Радіологічний стан території Дніпропетровської області. Ділянки, на яких: 1 – потужність експозиційної дози γ -випромінювання > 15 мкР/год; 2 – щільність поверхневого забруднення $Cs^{137} > 0,5$ Ki/km^2 ; 3 – видрацьовані ділянки видобутку радіоактивної сировини; 4 – підприємства, пов'язані з переробкою радіоактивної сировини; 5 – сховище високорадіоактивних відходів; 6 – хвостосховище відносно низькорадіоактивних відходів; 7 – Токівський гранітний кар'єр; 8 – межі Дніпропетровської області

Характеристика ділянок, пов'язаних із розвитком об'єктів ЯПЦ. На території Дніпропетровської області видобуток і переробка уранових руд із кінця сорокових років минулого сторіччя відбувалися на Першотравневому (м. Кривий Ріг), Жовторіченському (м. Жовті Води), Девладівському (ділянка підземного вилугування в Софіївському районі) родовищах. Переробка уранових руд здійснювалася на виробничому об'єднанні „Придніпровський хімічний завод“ (ВО „ПХЗ“) у м. Дніпродзержинськ та гідрометалургійному заводі (ГМЗ) у м. Жовті Води. Відпрацьовування Першотравневого родовища було закінчено в 1967 році,

Жовторіченського – у 1989 році, Девладівського – у 1983 році. Тепер на території області здійснюється тільки переробка завезеної уранової сировини (ГМЗ, м. Жовті Води). Придніпровський хімічний завод перепрофільований з 1991 року на інші види діяльності. Його уранові об'єкти підпорядковані ДП „Бар'єр“. Відповідно сформувались 4 спеціалізовані промислові майданчики: Жовтоводський майданчик (м. Жовті Води); Дніпродзержинський майданчик (м. Дніпродзержинськ); Першотравневий майданчик (Терновський район, м. Кривий Ріг); Девладівський майданчик (Софіївський район).

1. *Жовтоводський майданчик.* У місті Жовті Води з кінця 40-х років минулого сторіччя здійснювався видобуток уранової руди. З 1991 року видобуток уран-мінеральної сировини припинено і здійснюється лише переробка завезеної уранової руди на ГМЗ, у зоні спостереження якого розташована вся селітебна територія міста. У процесі переробки уранових руд діюче виробництво викидає в навколишнє середовище до $1,1 \cdot 10^{10}$ Бк/рік радіоактивного газу радону, природного урану – $2,15 \cdot 10^2$ т/рік сумарною активністю $\sim 6 \cdot 10^9$ Бк. У хвостосховище щорічно складається до 1000 тис т твердих дрібнодисперсних відходів („хвостів“). За роки експлуатації переробного виробництва на майданчику накопичено і заскладовано в хвостосховищах понад 43 млн т дрібнодисперсних хвостів загальною сумарною активністю $3,8 \cdot 10^{14}$ Бк. Вплив діючих радіаційно-небезпечних об'єктів майданчика на навколишнє природне середовище виявляється в отриманні населенням дозових навантажень, величина яких може досягати: 1) для немовлят ~ 38 мкЗв/рік; 2) для дітей віком до 7 років ~ 52 мкЗв/рік; 3) для дорослого населення ~ 120 мкЗв/рік, що не перевищує встановлену НРБУ-97 квоту межі дози (200 мкЗв/рік).

Фонова ПЕД на території міста – 10–20 мкР/год. Фоновий вміст по сумарній альфа-активності природних радіонуклідів (ПРН) у ґрунтах міста 105–121 Бк/кг. При цьому близько 10 % території незабудованої селітебної зони міста характеризуються ПЕД >30 мкР/год, у т.ч. 3 % – >120 мкР/год. Свого часу було виявлено більш ніж 5 тисяч аномальних ділянок (спричинених несанкціонованою діяльністю мешканців по застосуванню відходів урановидобувного виробництва як будівельних матеріалів) з ПЕД >120 мкР/год, у т.ч. понад 400 ділянок, де ПЕД перевищує 1000 мкР/год і понад 50 ділянок – 3000 мкР/год. У житлових приміщеннях міста концентрація радону перевищує в кілька разів встановлені НРБУ-97 нормативи.

2. *Дніпродзержинський майданчик.* ВО „ПХЗ“ з 1949 до 1991 року переробляло доменний шлак, уранвміщуючі концентрати й руду. На території заводу розміщені будинки та споруди, що брали участь у переробці уранових руд, у приміщеннях яких ПЕД складає до 520 мкР/год, об'ємна активність радону в повітрі більш 200 Бк/м³. Прилегла до будинків територія (~ 250 тис м²) забруднена радіонуклідами і характеризується потужністю дози гамма-випромінювання до 1 мкГр/год. По території заводу

проходять трубопроводи, забруднені технологічними розчинами. Питома активність ПРН на окремих ділянках перевищує 1 млн Бк/кг, потужність дози гамма-випромінювання більше 100 мкГр/год.

За період роботи на території підприємства та за його межами було утворено 7 хвостосховищ („Західне“, „Центральний Яр“, „Південно-східне“, „Дніпровське“, „Сухачівське-1“, „Сухачівське-2“ і „Лантанова фракція“) і 2 сховища виробничих відходів із підвищеним вмістом радіонуклідів („Доменна піч №6“ і „База „С“). У хвостосховищах накопичено до 42 млн т відходів загальною активністю $2,7 \cdot 10^{15}$ Бк (середня питома активність – 6,4 кБк/кг), а в сховищах накопичено до 0,2 млн т відходів загальною активністю $4,4 \cdot 10^{14}$ Бк (середня питома активність – 2,2 МБк/кг). Загальна площа хвостосховищ – 2,43 млн м², сховищ – 0,25 млн м². Із хвостосховищ в атмосферу надходить $\sim 2,1 \cdot 10^{13}$ Бк/рік радону і ~ 24 т радіоактивного пилу із середньою питомою активністю 3,7 кБк/кг, зі сховищ – $\sim 2,3 \cdot 10^{13}$ Бк/рік радону і ~ 9 т радіоактивного пилу із середньою питомою активністю 2,2 МБк/кг.

Уранові об'єкти колишнього ВО „ПХЗ“ формують стійке забруднення навколишнього середовища (рівні якого перевищують установлену НРБУ-97 квоту межі дози для референтного радіаційно-небезпечного об'єкта – 80 мкЗв) і є джерелами опромінення персоналу і населення, що проживає на прилеглих до них територіях.

3. *Першотравневий майданчик.* На території Першотравневого майданчика (Тернівський район м. Кривий Ріг) розташовані частково демонтовані будинки та споруди шахт, що брали участь у видобутку уранової сировини. Тут встановлена строката картина радіоактивного забруднення ґрунтів, поверхонь експлуатованих будинків та споруд. Джерелами радіометричних аномалій є рудний пил, залишки порід і сміття, перемішані з рудним пилом. Радіаційний вплив об'єктів реалізується у вигляді опромінення населення при несанкціонованому відвідуванні території проммайданчика.

4. *Девладівський майданчик.* Розробка запасів уранового родовища „Девладово“ проводилась способом підземного вилугування. Загальна площа ділянки 2350 тис м². Після завершення експлуатації родовища в земних надрах залишилося ~ 6 млн м³ залишкових технологічних розчинів. Площа техногенного радіоактивного забруднення підземних вод складає ~ 3 км². Середні значення концентрацій природних радіонуклідів у межах ореолу цього забруднення складають по U^{238} – 64,24 Бк/дм³, Ra^{226} – 0,50 Бк/дм³, Th^{230} – 0,395 Бк/дм³, Pb^{210} – 3,36 Бк/дм³, Ro^{210} – 0,31 Бк/дм³. Землі, відчужені на період його експлуатації, були рекультивовані та передані первинному землекористувачу і зараз радіаційний вплив на населення не фіксується.

Сучасний видобуток уранової сировини відбувається на території сусідньої Кіровоградської області: шахти Інгульська та Смолінська, руди з яких після збагачення завантажуються в залізничні вагони і транспортуються для подальшої переробки на ГМЗ у м. Жовті Води Дніпропетровської області.

1. Гірничодобувний комплекс *Інгульської шахти* засновано наприкінці 60-х років ХХ століття на базі розвіданих запасів Мичуринського і Центрального родовищ уранових руд у безпосередній близькості від м. Кіровоград. Рудні тіла відпрацьовуються камерними системами розробки з відбоєм руди підриванням зарядів вибухових речовин у глибоких свердловинах і закладкою виробленого простору тверднучою закладкою.

На більшій частині території проммайданчика значення ПЕД – 10–179 мкР/год. Ділянки зі значеннями ПЕД, що перевищують 30 мкР/год (12–15% від усієї досліджуваної території), приурочені до території майданчика ствола шахти, складу товарної руди, відвалів порожніх порід і забалансових руд.

Прилегла територія м. Кіровограда характеризується настуною радіаційною обстановкою:

- наявність підвищених показників величини ПЕД на окремих ділянках території міста до 1500 мкР/год;
- поверхнева активність природних радіонуклідів досягає значних величин, у т.ч.: K^{40} – до 5 Кі/км²; Ra^{226} – до 0,6 Кі/км²; Th^{232} – до 0,5 Кі/км²;
- величина прихованої енергії радону у воді окремих розвідувальних свердловин перевищує 0,02 Дж/м³;
- величина об'ємної активності радону в повітрі окремих підвальних приміщень перевищує значення 10 000 Бк/м³.

Основним джерелом радону є ґрунти з підвищеною концентрацією вмісту радіонуклідів. У будівництві часто використовувався було-щебеновий матеріал, безконтрольно вивезений з відвалів уранодобувного підприємства, що є суттєвим додатковим джерелом радону в будинках.

2. Промисловий майданчик гірничодобувного комплексу *Смолинської шахти*, утвореної на базі Ватутінського родовища урану в 1972 р., розташовано поблизу смт. Смолино Маловисківського району Кіровоградської області. Тут здійснюється підземний видобуток уранової руди шляхом вибухового відбою гірської маси в блоках з наступною закладкою тверднучою сумішшю виробленого простору, дроблення руди і транспортування на поверхневий комплекс, її збагачення на радіометричній збагачувальній фабриці та наступне транспортування для подальшої переробки до м. Жовті Води Дніпропетровської області.

На більшій частині площі проммайданчика значення ПЕД складають 10–35 мкР/год, що, у свою чергу, не перевищує умовно допустимого рівня – >20 мкР/год понад значення природного фону (для досліджуваної території ~15 мкР/год). У межах санітарно-захисної зони ПЕД становить 10–60 мкР/год. Забруднені площі складають 6–7% від усієї досліджуваної території. Ділянки зі значеннями ПЕД, що перевищують 35 мкР/год, приурочені до головного та вентиляційного стволів шахти, складу товарної руди, відвала порожніх порід та ділянки купного вилуговування.

Таким чином, на тлі загального досить безпечного радіологічного стану території регіону видобування та первинної переробки уранової сировини, на самих

об'єктах ЯПЦ мають місце небезпечні прояви наслідків їх тривалої експлуатації (без урахування вимог екологічної безпеки для прилеглих територій). Ці проблемні з радіоекологічної точки зору ситуації можуть стати суттєвими перешкодами на шляху переходу регіону до сталого розвитку. Це вимагає виваженого підходу до подальшої експлуатації об'єктів ЯПЦ у регіоні і, у першу чергу, видобутку уранової сировини.

Подальші перспективи розвитку видобування уранової сировини в промисловому Придніпров'ї.

Зараз Україна покриває свої потреби в урановій сировині лише на ~ 30%. Вимоги сировинного уранового ринку змушують прискорити розробку невеликих за запасами і капітальними вкладеннями родовищ способом підземного вилуговування (ПВ). Досвід 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 [6]. Собівартість урану, що видобувається на таких родовищах, істотно нижче, ніж на ендегенних родовищах в альбітитах. ПВ – практично безвідходне виробництво, що здійснюється на місці залягання руд без порушення існуючих природних умов. Вірогідність забруднення поверхні землі, водойм і повітря при підземному вилуговуванні значно менша, порівняно з традиційними (гірничими) способами розробки родовищ. На відміну від підземних і відкритих гірничих робіт, видобуток урану способом ПВ не супроводжується відвалами руд, гірських порід і хвостосховищами, не відбувається осушення водоносних горизонтів, немає шахтних і стічних вод, які забруднюють денну поверхню і джерела водопостачання. При свердловинному варіанті відпрацювання уранових родовищ способом ПВ практично не існує забруднення атмосфери токсичними речовинами. У той же час, джерелами забруднення ґрунтів на ділянках підземного вилуговування урану є втрати технологічних розчинів при порушенні цілісності 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 може перевищувати фоновий рівень у 4–15 разів [7]. У 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 із 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 в ґрунти вказаних вище токсичних речовин та елементів, як правило, не перевищує 0,6–1 м [8].

Найбільша екологічна проблема, яка може бути пов'язана із застосуванням способу ПВ, це забруд-

нення підземних вод через надходження до рудоносного горизонту в якості реагенту великої кількості кислот та/або лугів. Кількісні параметри технологічного впливу на продуктивний горизонт (на прикладі Девладівського родовища, за даними [9]) зведено до таблиці 1. Особливо слід зазначити, що в умовах цього родовища витрати сірчаної кислоти вдвічі перевищили розрахунковий рівень і склали 128 кг на 1 кг видобутого урану.

В умовах сірчано-кислотного 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/дм^3 , непридатним для господарських потреб.

Таблиця 1

Загальна характеристика технологічного впливу на продуктивний горизонт Девладівського родовища

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

На стадії завершення процесу видобування урану за сірчано-кислотною 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. В умовах Девладівського родовища максимальне забруднення продуктивного горизонту реагентами ПВ мало місце у 1982 році. За результатами комп'ютерного фізико-хімічного моделювання процесів самоочищення підземних вод (залишкових розчинів) продуктивного горизонту на 1991, 1997, 2005 і 2030 роки й прогнозом динаміки зміни залишкових розчинів і вміщуючих порід продуктивного горизонту, вміст урану в підземних водах досягне значення

1956 р. ($2,3 \text{ мг/дм}^3$) приблизно в 2100 р.; величини рН 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 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 [9].

Аналіз наведеного в [9] фактичного матеріалу показав, що необхідно розглядати окремо дані в середині контуру, поза контуром забруднення й у середньому по площі родовища. У таблиці 2 наведені середні показники забруднення: 1) по всій площі Девладівського родовища; 2) у середині контуру забруднення (рН 1,9–4,5); 3) поза контуром забруднення (рН>6,5).

Таблиця 2

Хімічний склад підземних вод продуктивного горизонту Девладівського родовища в різні роки (середні значення)

	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 ⁻			
По всьому регіону	1982	4,5	641	115	442	302	56	728	6760	217	10250	-	-
	1991	5,4	677	204	361	310	92	727	5877	113	13110	5,10	4,00
	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
По ореолу забруднення	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	13,70	0,43
	2005	3,93	646	194	472	451	61,2	438,5	7372	148	14328	4,91	5,70
За контуром забруднення	1962	7,9	408	-	280	194	384	388	1469	-	2837	0,023	8,00
	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

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

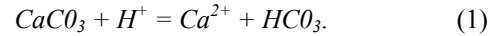
ні за показником рН, що варіюється в межах 1,9–4,5, в яких змін практично немає протягом понад 25 років, тому що, як уже згадувалося, вміст карбонатів у вміщуючих породах низький. Це призводить до того,

що рухомість катіонів у осередках падає незначним чином. На стадії міграції відбувається зміщення впроваджених об'ємів під впливом, головним чином, пластового градієнту напору в напрямку результуючого вектору швидкості пластового потоку. Відсутність достатньої кількості карбонатів у породах буцацького горизонту пояснює також незмінність середніх значень рН<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 ГДК>1, що просунувся за 19 років спостережень на 1,5 км, тобто передній край ореолу просувався із середньою швидкістю 79 м на рік.

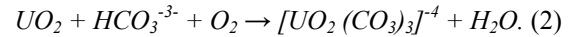
Таким чином, ПВ, хоча і є (у порівнянні із традиційним гірничим способом видобутку урану) більш економічним способом із меншою вірогідністю радіоактивного та хімічного забруднення поверхні землі, водою і повітря, не може бути широко застосований в умовах техногенно навантажених територій промислового Придніпров'я. Розвиток видобутку уранової сировини на цій старопромисловій території потребує застосування більш „дружніх“ до довкілля технологій.

Слабокислотне вилуговування уранових руд (досвід Узбекистану й Казахстану). У сучасних складних вітчизняних еколого-економічних умовах значний інтерес викликає досвід Узбекистану й Казахстану, які застосовують слабокислотне та водне вилуговування уранових руд. Саме з метою зниження негативного впливу на підземні води в Узбекистані була розроблена й впроваджена у виробництво нова геотехнологія слабокислотного вилуговування урану з гідрогенних родовищ [10, 11]. Частка видобутку урану в Узбекистані із застосуванням слабокислотної геотехнології на сьогодні становить 50% усього урану, що видобувається, а в найближчі роки складе 75–80%. Ця технологія заснована на переході карбонат-

ної речовини з породи в розчин у вигляді іона HCO_3^- при підкисленні пластових вод сірчаною кислотою до рН = 4–4,5 і насиченні робочих розчинів киснем повітря. Вилуговуючий розчин із водневим показником рН = 4 забезпечує практично виборче розчинення карбонатних мінералів і збагачення розчинника бікарбонат-іоном за реакцією



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 окислюється від безпосереднього контакту газоподібного кисню з рудою, ніж з розчиненим у воді киснем. Тому через свердловини в горизонт періодично потрібно подавати стиснене повітря, що витісняє пластові води й вступає в контакт із урановими мінералами. Мінімально необхідна кількість кисню, що подається в горизонт, становить 0,1 кг на 1 т руди. Без урахування екологічної складової, слабокислотна геотехнологія вилуговування урану за повнотою його вилучення з надр не поступається „твердій“ сірчаноокислотній технології, а за собівартістю продукції більш економічна (на 17–20%). Основні технічні й екологічні показники „твердої“ сірчаноокислотної і слабокислотної технологій, застосованих у різний час для відпрацювання покладів айтимського горизонту родовища „Учкудук“, наведені відповідно в таблицях 3 і 4.

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 3

Порівняльні технічні показники „твердого“ сірчаноокислотного й слабокислотного підземного вилуговування урану

Технічні показники ПВ	„Тверда“ сірчаноокислотна технологія	Слабокислотна технологія
Порівняльна частка собівартості 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

Іншою сучасною технологією видобутку урану є метод водного вилуговування, який зараз починають застосовувати в Казахстані на епігенетичних інфільтраційних родовищах [12]. Основою процесу є бактеріально-хімічне окислювання сульфідів. Окислювальні мікроорганізми (тіонові бактерії) повсюдно поширені в підземних водах сульфідних поліметалевих родо-

вищ, а також там, де водоносні породи містять сульфідні мінерали. Найпоширенішим з них є сімейство *Acidithiobacillus ferrooxidans*, що розвивається в кислому 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. Цілком ймовірно, 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. Про-

цес 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% CO₂ і, особливо, менше 0,5%) необхідно підкисляти воду до рН= 4–3.

Таблиця 4

Порівняльні екологічні показники компонентів підземних вод при „твердому“ сірчано-кислотному й слабокислотному підземному вилуговуванні урану

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” сірчано-кислотна технологія	Слабокислотна технологія	
рН залишкових розчинів після ПВ	7,6	1,1	7	6–9
Сухий залишок, мг/л	2750	19500	3300	1000
Na ⁺ +K ⁺	526	1030	620	200
Ca ²⁺	132	550	220	
Mg ²⁺	60	608	108	
Fe _{зар.}	0,5	1560	0,8	0,3
SO ₄ ²⁻	1400	14200	1630	400
HCO ₃ ⁻	190	880	350	
Cl ⁻	360	880	420	250

Досвід застосування слабокислотного й водного вилуговування уранових руд в Узбекистані 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 вдосконалення 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, необхідно зазначити наступне:

1. Можливість суспільства в Україні задовольняти свої потреби без збитку навколишньому середовищу і природним ресурсам зараз суттєво залежить від атомної енергетики, багаторічний досвід експлуатації об'єктів якої свідчить, що в штатному режимі їх радіаційний вплив не істотний у порівнянні з природним фоном і практично не впливає на дози опромінення людини, тоді як викиди теплоелектростанцій викликають постійне та істотне забруднення довкілля. У той же час для ядерної енергетики характерним є наявність ряду екологічних проблем як локального, так і регіонального масштабу, без подолання яких неможливе забезпечення сталого соціо-еколого-економічного розвитку. У першу чергу це стосується регіону видобування та первинної переробки уранової сировини в промисловому Придніпров'ї.

2. На території цього регіону на тлі низьких значень природного радіаційного фону (7–14 мкР/год) існують

аномальні ділянки (до 3000 мкР/год), пов'язані виключно із діяльністю з кінця сорокових років минулого сторіччя підприємств ядерно-паливного циклу: видобутком, переробкою радіоактивної сировини, утилізацією та складуванням радіоактивних відходів, що є потенційними джерелами забруднення підземних вод, атмосфери і ґрунтів. Ці проблемні радіоекологічні ситуації є суттєвими перешкодами на шляху переходу регіону до сталого розвитку, що потребує виваженого підходу до подальшої експлуатації об'єктів ядерно-паливного циклу в регіоні і, у першу чергу, видобутку уранової сировини із всебічним урахування вимог екологічної безпеки прилеглих територій.

3. Перспективи подальшого видобутку урану в промисловому Придніпров'ї пов'язані із застосуванням замість традиційних гірничих способів – підземного вилуговування, як більш економічного способу, із меншою вірогідністю радіоактивного та хімічного забруднення поверхні землі, водою і повітря. Це можливо із застосуванням досвіду слабокислотного й водного вилуговування уранових руд в Узбекистані й Казахстані. Але пряме перенесення отриманих у зазначених середньоазійських республіках результатів неможливе через суттєві відмінності ландшафтно-кліматичних умов та ступеню розвитку локальних і регіональних господарських інфраструктур. Вирішення питання вдосконалення застосування способу ПВ на території промислового Придніпров'я, за рахунок впровадження вказаних нових технологій вилуговування уранових руд, потребує додаткових досліджень місцевої еколого-економічної доцільності їх застосування.

Список літератури / References

1. *Бабак М.И.* Состояние и перспектива развития производства урана в Украине / Бабак М.И. / Атомна енергетика та промисловість України. – 1999. – №2. – С. 11–13.

Babak M.I. State and development prospects of uranium production in Ukraine / Babak M.I. // *Atomna enerhetyka ta promyslovist Ukrainy*. – 1999. – No.2. – P. 11–13.

2. *Плачков И.В.* Перспективы и основные направления развития электроэнергетики / Плачков И.В. // *Атомна енергетика та промисловість України*. – 1999. – №2. – С. 2–5.

Plachkov I.V. Prospects and main ways of development of power industry / Plachkov I.V. // *Atomna enerhetyka ta promyslovist Ukrainy*. – 1999. – No.2. – P. 2–5.

3. *Шapar A.Г.* Науково-практична підтримка реалізації стратегії сталого розвитку регіону видобування та первинної переробки уранової сировини / A.Г. Шапар, О.К. Тяпкін, М.А. Ємець // *Екологія і природокористування: Зб. наук. праць Інституту проблем природокористування та екології НАН України*. – Вип.7. – Дніпропетровськ, 2004. – С. 12–20.

Shapar A.H. Theoretical and practical support of implementation of sustainable development strategy of uranium ore production and processing region / A.H. Shapar, O.K. Tyapkin, M.A. Yemets // *Ekolohiia i pryrodokorystuvannia: Collected papers of Institute of nature management and ecology problems of NAS of Ukraine*. – No.7. – Dnipropetrovsk, 2004. – P. 12–20.

4. *Бойко В.М.* Радіоекологічний стан Промислового Придніпров'я / В.М. Бойко, О.К. Тяпкін // *Науковий вісник Національної гірничої академії України*. – 1999. – №3. – С. 42–45.

Boiko V.M. Radio-ecological state of Industrial Prydniprovia / V.M. Boiko, O.K. Tyapkin // *Naukovyi visnyk Natsionalnoi hirnychoi akademii Ukrainy*. – 1999. – No.3. – P. 42–45.

5. *Тяпкин О.К.* Прогнозирование развития радиологической обстановки в условиях юго-востока Украины / Тяпкин О.К. // *Доповіді Національної академії наук України*. – 2001. – №10. – С. 116–120.

Tyapkin O.K. Prognostication of radiological safety development in the environment of Southeast of Ukraine / Tyapkin O.K. // *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*. – 2001. – No.10. – P. 116–120.

6. *До питання зниження екологічного навантаження на територію при розробці уранових родовищ* / [Н.С. Остапенко, О.К. Тяпкін, В.А. Кириченко та ін.] // *Екологія і природокористування: Зб. наук. праць Інституту проблем природокористування та екології НАН України*. – Вип.13. – Дніпропетровськ, 2010. – С. 118–131.

On the issue of minimization of environmental load on the territory during development of uranium ore deposits / [N.S. Ostapenko, O.K. Tyapkin, V.A. Kyrychenko et al.] // *Ekolohiia i pryrodokorystuvannia: Collected papers of Institute of nature management and ecology problems of NAS of Ukraine*. – No.13. – Dnipropetrovsk, 2010. – P. 118–131.

7. *Добыча урана методом выщелачивания* / [В.А. Мамілов, Р.П. Петров, В.П. Новик-Качан и др.] – М.: Атомиздат, 1980. – 248 с.

Extraction of uranium by the leaching method / [V.A. Mamilov, R.P. Petrov, V.P. Novik-Kachan et al.] – M.: Atomizdat, 1980. – 248 p.

8. *Справочник по геотехнологии урана* / Под ред. Д.И. Скороварова. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 672 с.

Manual on uranium geotechnology / Edited by D.I. Skorovarova. – M.: Energoatomizdat, 1997. – 672 p.

9. *Моніторинг природного середовища після добування урану способом підземного вилуговування* / [В. Шумлянський, М. Макаренко, І. Колябіна та ін.] – К.: Логос, 2007. – 212 с.

Environment monitoring after extraction of uranium by underground leaching method / [V. Shumlianskyi, M. Makaranko, I. Koliabina et al.] – K.: Lohos, 2007. – 212 p.

10. *Мальгин О.Н.* Охрана окружающей среды при добыче урана способом подземного выщелачивания в Узбекистане / О.Н. Мальгин, В.А. Груцинов // *Освоение недр и экологические проблемы – взгляд в XXI век: труды междунар. конф.* – М.: Изд. Академии горных наук, 2001. – С. 218–223.

Malgin O.N. Environment protection during extraction of uranium by the underground leaching method in Uzbekistan / O.N. Malgin, V.A. Grutsinov // *Development of mineral wealth and ecological problems – a look ahead XXI century: Materials of the International conference*. – M.: Izd. Akademii gornykh nauk, 2001. – P. 218–223.

11. *Истомин В.П.* Определение режимов подземного выщелачивания при разработке уранового месторождения Тохумбет / В.П. Истомин, С.В. Скрипко // *Горный журнал*. – 2009. – № 4. – С. 62–64.

Istomin V.P. Determination of underground leaching modes during the development of the Tokhumbet uranium ore deposit / V.P. Istomin, S.V. Skripko // *Gornyy zhurnal*. – 2009. – No.4. – P. 62–64.

12. *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*. – 2007. – №74. – С. 25–32.

Unity of natural ore formation technologies and anthropogenic underground leaching of uranium ore deposit is a guarantee of successful development of deposits / [V.N. Yesaulov, E.V. Kolpakova, L.A. Lilbok et al.] // *Trudy TsNIL NGMK*. – 2007. – No.74. – P. 25–32.

Для современной атомной энергетики Украины характерным является наличие ряда экологических проблем, без преодоления которых невозможно обеспечение устойчивого социо-эколого-экономического развития регионов. В первую очередь это касается региона добычи и первичной переработки уранового сырья в промышленном Приднпровье. Оценен современный уровень радиологической нагрузки на территорию этого региона, и определены возможные пути дальнейшего экологически безопасного развития здесь добычи урановых руд, в первую очередь с применением слабобокислотного и водного выщелачивания.

Ключевые слова: добыча урановых руд, выщелачивание, экологическая безопасность

The presence of several ecological problems (without overcoming of which sustainable social-ecological-economic development of regions is impossible) is typical for modern nuclear-power engineering of Ukraine. First of all it concerns the region of production and primary processing of uranium raw material in industrial Pridne-

provye. The modern level of radiological loading on territory of this region has been estimated and the possible ways of the further ecological-safe development of uranium ore production in the region have been determined with poorly-acid and water lixiviation application in the first place.

УДК 662.418+413.4 (088.8)

В.И. Муравейник¹, канд. техн. наук, проф.,
И.А. Шайхлисламова², канд. техн. наук

Keywords: *production of uranium ores, lixiviation, ecological safety*

Рекомендовано до публікації докт. геол.-мін. наук К.Ф. Тяпкіним. Дата надходження рукопису 28.01.11

1 – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина,
2 – Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“ г. Днепропетровск, Украина, e-mail: shaix@ukr.net

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ РУДНИЧНОЙ АЭРОЛОГИИ

V.I. Muraveynik¹, Cand. Sci. (Tech.), Professor,
I.A. Shaykhlislamova², Cand. Sci. (Tech.)

1 – National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine,
2 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: shaix@ukr.net

GRAPH-ANALYTIC METHOD OF SOLUTION OF THERMODYNAMICS PROBLEMS OF MINE AEROLOGY

Предложен графо-аналитический метод определения термодинамических параметров и расчета процессов тепловлажностной обработки рудничного воздуха в шахтных кондиционерах при переменном барометрическом давлении. Метод основан на исключении тройных зависимостей отдельных переменных вводом дополнительных функций, имеющих функциональные связи только с двумя независимыми переменными, что дает возможность обеспечить наглядное графическое изображение всех основных термодинамических процессов влажного воздуха при переменном барометрическом давлении.

Ключевые слова: *термодинамические параметры, барометрическое давление, относительная влажность, температура, влагосодержание, энтальпия, термодинамические процессы рудничного воздуха*

Углубление шахт Донбасса до 1000 – 1700 м привело к необходимости искусственного охлаждения рудничного воздуха, поскольку температура горного массива достигла 50°C и более. В связи с этим возникла необходимость расчета тепло- и массообмена рудничного воздуха при движении его по горным выработкам, а также в воздухоохладителях и водоохладителях. Задача усложняется тем, что барометрическое давление воздуха изменяется по длине выработки, например в стволах перепад давления воздуха составляет 100 – 150 мм рт.ст. Применение для термодинамических расчетов известной *I-d* диаграммы в этом случае становится неприемлемым. Поэтому, в Национальном горном университете была поставлена и решена задача термодинамических расчетов рудничного воздуха и шахтных систем кондиционирования воздуха при переменном барометрическом давлении (рис. 1).

При разработке метода было использовано свойство влажного воздуха, заключающееся в том, что при сохранении постоянного значения отношения $\frac{\varphi}{B}$ (φ – относительная влажность, B – барометрическое давление) влагосодержание и энтальпия воздуха остаются постоянными для заданной температуры воздуха t , независимо от текущего значения переменных φ и B . Это позволило

заменить в известных выражениях две переменные φ и B одной переменной δ , равной отношению $\frac{\varphi}{B}$, а также, графически связать основную систему координат $t-d$ со вспомогательной системой $B-\varphi$. Влагосодержание в этом случае определяется выражением

$$d = 622 \frac{\delta P_H}{100 - \delta P_H}.$$

Таким образом, δ представляет собой характеристику влажного воздуха, однозначно определяющую его термодинамические параметры при заданной температуре.

Порядок построения номограммы следующий (рис. 2).

В произвольном масштабе строим прямоугольную систему линейных координат: парциальное давление водяных паров P (ось ординат) – влагосодержание d (ось абсцисс); числовой диапазон шкал определяем по значению P и d насыщенного воздуха в заданном интервале температур, для которого строится номограмма. Затем на оси ординат дополнительно строим шкалу температуры воздуха t' , для чего на шкале P откладываем от начала системы координат отрезки, соответствующие значению давления насыщения при конкретных температурах в заданном интервале. Линии постоянных температур t' (например линия $a-n'$) проходят параллельно оси абсцисс.