

Т. В. Дудар, М. А. Бугера, Г. В. Лисиченко

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», м. Київ, Україна

## Уранові руди як джерело потенційної небезпеки в разі несанкціонованого обігу радіоактивних матеріалів

Проаналізовано наявну базу даних уранових родовищ Міжнародного агентства з атомної енергії. Уранові руди розглянуто як джерело потенційної небезпеки в разі несанкціонованого обігу радіоактивних матеріалів. Узагальнено останні дані щодо розповсюдження уранових руд у світі та, зокрема, в Україні. Проведено аналітичні дослідження й виділено ідентифікаційні ознаки уранових руд з діючих родовищ України.

**Ключові слова:** уранові родовища; ядерна криміналістика; запаси урану; база даних; ідентифікаційні ознаки.

Т. В. Дудар, М. А. Бугера, Г. В. Лисиченко

### Урановые руды как источник потенциальной опасности при несанкционированном обращении с радиоактивными материалами

Проанализирована существующая база данных урановых месторождений Международного агентства по атомной энергии. Урановые руды рассмотрены как источник потенциальной опасности при несанкционированном обращении радиоактивных материалов. Обобщены последние данные по распространению урановых руд в мире и, в частности, в Украине. Проведенные аналитические исследования и выделены идентификационные признаки урановых руд из действующих месторождений Украины.

**Ключевые слова:** урановые месторождения; ядерная криминалистика; запасы урана; база данных; идентификационные признаки.

© Т. В. Дудар, М. А. Бугера, Г. В. Лисиченко, 2014

У світовому рейтингу країн, які відповідально ставляться до діяльності, пов'язаної з поводженням із ядерними та радіоактивними матеріалами, Україна обіймає далеко не останню позицію. Проте географічне розташування нашої країни, її розвинутий ядерний комплекс, досвід участі в ядерних програмах колишнього СРСР тощо, потенційно визначають Україну як зону ризику для діяльності організованих злочинних груп, метою яких є заволодіння радіоактивними матеріалами або налагодження їх транзиту [1]. Тому на протидію цій загрозі почав розвиватися новий напрямок дослідження в науці — ядерна криміналістика, тобто аналіз ізотопних сигнатур, хімічних властивостей і фізичних характеристик ядерного або іншого радіоактивного матеріалу, який проводиться, щоб установити його походження та історію. Ядерна криміналістична експертиза використовується в процесі національних або міжнародних судових розглядів, наприклад у розслідуванні кримінальних справ, пов'язаних з контрабандою або тероризмом [2]. У лютому 2010 року за ініціативи Українського науково-технологічного центру було проведено засідання щодо перспектив розвитку ядерної криміналістики в Україні (Nuclear Forensics Coordination Meeting).

Можливість достовірно встановити, звідки надійшов ядерний або радіаційно небезпечний матеріал і де він встиг побувати, допомагає країнам визначити ймовірні прогалини в їх ядерній регулюючій інфраструктурі. Якщо система регулювання функціонує належним чином, то матеріали, що потребують особливої уваги і є потенційно небезпечними, завжди перебувають під контролем компетентних органів і не можуть опинитися в руках сторонніх осіб або злочинців.

Автори цієї статті поставили за мету розглянути уранові руди з точки зору їхньої потенційної небезпеки в разі несанкціонованого обігу радіоактивних матеріалів, провівши:

- аналіз статистичної бази даних Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) щодо інцидентів, пов'язаних з незаконним обігом ядерних та радіоактивних матеріалів, а також бази даних уранових руд як об'єкта ідентифікації ядерних та радіоактивних матеріалів;
- дослідження розповсюдження уранових руд у світі як потенційного джерела ядерної небезпеки;
- аналітичні дослідження та виділення ідентифікаційних ознак уранових руд з діючих родовищ України.

База даних МАГАТЕ щодо інцидентів, пов'язаних з незаконним обігом ядерних та інших радіоактивних матеріалів, — це інформаційна система, створена 1995 року для сприяння державам-членам МАГАТЕ та окремим міжнародним організаціям у підвищенні рівня фізичної ядерної безпеки. Інформація, яка збирається та аналізується, надсилається до держав-членів МАГАТЕ та відповідних міжнародних організацій. Участь у даній програмі є добровільною. Наразі до цієї інформаційної бази надають свої дані 125 держав, зокрема й Україна.

Аналізуючи підтверджені випадки несанкціонованого обігу ядерних і радіоактивних матеріалів, що містяться в базі станом на 31.12.2013 [3], їх можливо класифікувати так (рис. 1):

- незаконне зберігання та розповсюдження і пов'язані з цим дії — 424;
- крадіжки або втрати — 664;
- інші несанкціоновані події — 1337;
- недостатньо інформації для визначення категорії події — 69.

Для контролю уранової сировини (уранових руд) як джерела потенційної небезпеки в разі несанкціонованого обігу радіоактивних матеріалів також може бути

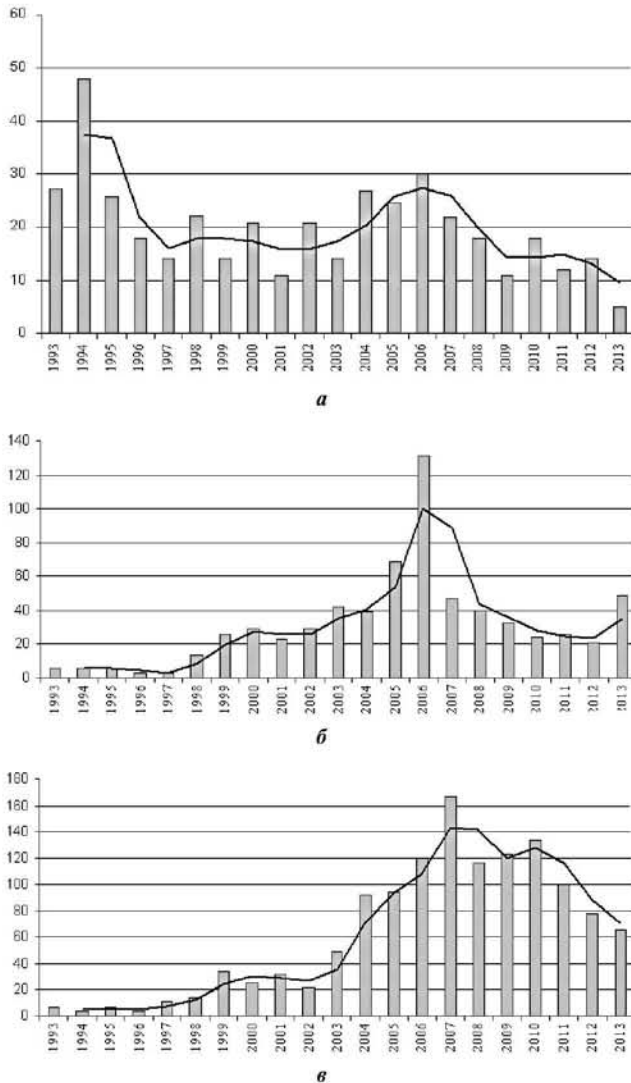


Рис. 1. Статистика інцидентів (1993—2013 роки) щодо: а — незаконного зберігання та розповсюдження ядерних і радіоактивних матеріалів; б — крадіжки та втрат ядерних матеріалів і джерел іонізуючого випромінювання; в — інших видів несанкціонованого обігу ядерних матеріалів та радіоактивних джерел



Рис. 2. Світові запаси урану

використана база даних МАГАТЕ щодо розповсюдження уранових родовищ у світі [4]. За допомогою загальної, геологічної та технологічної інформації про різні родовища світу, яка міститься в базі даних, можна ідентифікувати походження уранової руди. Проте в цій базі даних інформація про родовища урану в Україні майже відсутня.

Аналіз уранових родовищ світу підтверджує: незважаючи на те, що уран як природний елемент є широко розповсюдженим, його видобування має сенс лише в деяких країнах світу. Уранові родовища містяться в гірських породах віком від конгломератів середнього протерозою (Африка і Канада) до сучасних конгломератів на кальцитовому цементі (Західна Австралія). Світові запаси урану є в Австралії, Казахстані, Канаді, Південній Африці, Намібії, Бразилії, Росії, США і Узбекистані (рис. 2) [5].

У 2008 році найбільшими виробниками урану були Канада, Казахстан і Австралія, випереджаючи Росію, Намібію і Нігер. За шість років, станом на 2013-й, лідирує Казахстан, виробивши найбільшу частку урану шахтним способом (38 % світових поставок з шахт); за Казахстаном ідуть Канада (16 %) і Австралія (11 %) [5].

Як видно з рис. 3, в, виробництво урану є більш-менш стабільним з невеликою, проте постійно зростаючою тенденцією, хоча трагедія на АЕС «Фукусіма» негативно вплинула на цей процес [5] Поточний обсяг видобутку урану шахтним способом задовольняє 92 % попиту виробництва електроенергії (табл. 1).

Таблиця 1. Обсяг видобутку урану шахтним способом

Рік	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
U, т	41719	39444	41282	43764	50772	53671	53493	58394	59637
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , т	49199	46516	48683	51611	59875	63295	63084	68864	70330
Світовий попит, %	65	63	64	68	78	78	85	86	92

У цілому попит на уран у 2013 році суттєво зріс порівняно з 2005 роком — майже на 30 %.

В Україні щорічно видобувається близько 1000 т урану (960 т — в 2012 році, 922 т — в 2013 році). Наша країна обіймає перше місце в Європі за потенційними запасами сировини для функціонування об'єктів атомної енергетики. Державне підприємство «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (ДП «СхідГЗК»), єдине в Україні та найбільше в Європі підприємство, що забезпечує видобуток

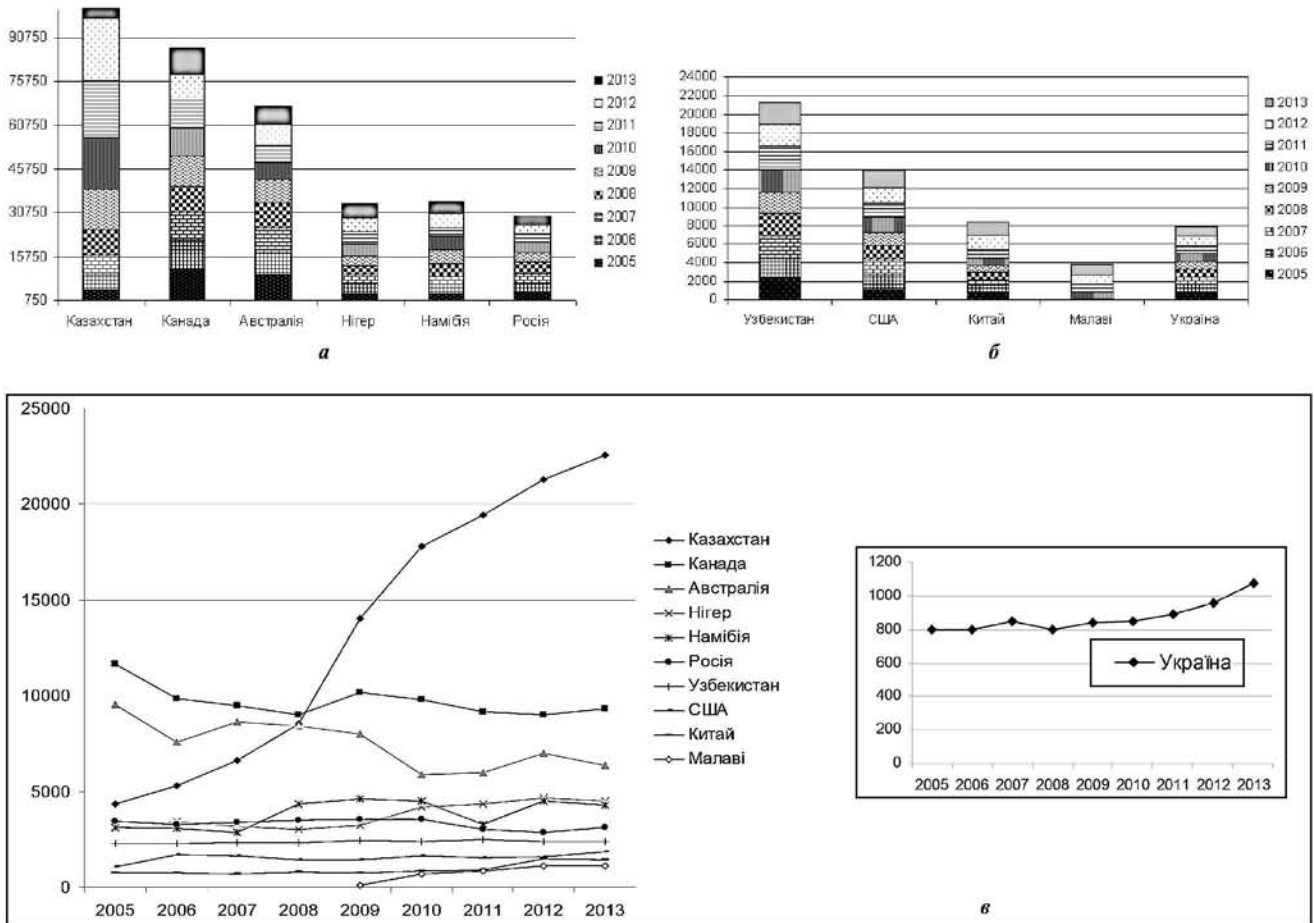


Рис. 3. Виробництво урану у світі (тонн)

природного урану і виробництво його оксидного концентрату в Україні, в 2014 році передбачає збільшення пропускної здатності [6]. Нині підприємство задовольняє лише 40 % потреб України, проте вже до 2020 року ДП «СхідГЗК» спроможний вийти на рівень 100 % забезпечення [7]. На даний час уран видобувається з трьох шахт: Смолінської, Інгульської та Новокосянтинівської. Смолінська шахта розробляє Ватутінське родовище, Інгульська — Мічурінське та Центральне, Новокосянтинівська — родовище з одноіменною назвою. На Новокосянтинівській шахті з липня 2011 року розпочато дослідно-промислове видобування урану. Запаси уранових руд на цій шахті можуть забезпечити проектний видобуток на період, більший за 40 років. Завершити будівництво шахтного комплексу та ввести його в промислову експлуатацію планується 2019 року [8].

Одним із завдань досліджень було визначення ідентифікаційних ознак уранових руд з діючих родовищ України. Зразки уранових руд тричі відбиралися безпосередньо з трьох родовищ: Центрального, Ватутінського та Мічурінського. Щоб установити характерні ознаки уранових руд цих родовищ для завдань ядерної криміналістики, виділено рудні монофракції, підготовлено шліфи, аншлифи, поліровані штуфи, крупні пластини, а для силікатного та спектрального аналізів — протоочки руд. Відібрані проби проаналізовано в центральній лабораторії ДП «СхідГЗК» (табл. 2 [9]).

Таблиця 2. Середній вміст деяких радіоактивних елементів  $\times 10^{-7}$ , Кі/кг, в уранових рудах родовищ, з яких були відібрані репрезентативні зразки (за даними лабораторії ДП «СхідГЗК»)

Родовище	$^{226}\text{Ra}$	$^{230}\text{Th}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$	U
Центральне	2,94	1,85	3,17	2,13	5,78
Мічурінське	3,88	3,04	4,37	3,62	81,56
Ватутінське	10,47	8,72	11,04	9,38	225,00

Серед трьох родовищ — Центрального, Мічурінського і Ватутінського — руди останнього вирізняються різко підвищеним вмістом Ra, Th, Pb, Po і U, а Центрального — найменшим. Такі суттєві відмінності хімічного складу руд цих родовищ є їх важливою ідентифікаційною (характеристичною) ознакою.

Середній вміст урану у Ватутінському родовищі — 0,13 %. Показником уранових руд Ватутінського родовища можна вважати наявність неодиму (Nd). Особливо неодим накопичується в ненадквеві (0,12—0,8 %) і бранериті (0,58 %).

Середній вміст урану в рудах Мічурінського родовища — 0,08 %. Вміст торію — 0,0056 %, тобто уранові руди є майже безторієвими. Цирконій можна вважати одним з головних

типоморфних елементів уранових руд. Найбільш високий вміст у рудах — церію ( $107,9 \cdot 10^{-4} \%$ ) і неодиму ( $59,1 \cdot 10^{-4} \%$ ). Однак завдяки більш високому вмісту цих елементів в уранових мінералах — бранериті (0,69 % церію, 0,47 % неодиму) і урановому феропсевдобрукіті (0,41 % і 0,21 % відповідно) — вони можуть бути ідентифікаційними ознаками в продуктах переробки уранових руд.

Середній вміст урану в *Центральному* родовищі — 0,1 %. Вміст торію незначний (0,002 %). В рудах цього родовища встановлено наявність титаносилікату урану, в якому міститься 8–15 %  $\text{SiO}_2$ . Для руд характерні оксид титану  $\text{TiO}_2$  (вміст удвічі більший, ніж на Мічуринському родовищі) і оксид циркону  $\text{ZrO}_2$  (теж майже удвічі). Вміст неодиму в руді перевищує його вміст у руді Мічуринського родовища [10, 11].

## Висновки

1. Проаналізовано статистику інцидентів, пов'язаних із незаконним обігом ядерних та інших радіоактивних матеріалів за період з 1993 по 2013 роки. Максимальна кількість інцидентів, пов'язаних із несанкціонованим зберіганням, розповсюдженням, а також крадіжкою або втратою ядерних матеріалів за останні роки, фіксувалась у 2006–2007 роках. Після того кількість таких випадків постійно зменшується.

2. База даних МАГАТЕ, в якій міститься загальна, геологічна та технологічна інформація щодо уранових родовищ світу, може бути також використана з метою ідентифікації уранової руди для завдань ядерної криміналістики. Розглянуто уранові руди діючих родовищ з точки зору їхнього потенційного включення до зазначеної бази даних. Сам по собі уран з українських родовищ слабо радіоактивний, проте видобута руда є потенційно небезпечною, особливо якщо це високоякісна руда.

3. Мінеральний склад, локалізація та розподіл рудної мінералізації, а також хімічний склад руд родовищ, що експлуатуються, можуть використовуватися як ідентифікаційні ознаки для завдань ядерної криміналістики. Розглянуті суттєві відмінності хімічного складу руд цих родовищ можуть слугувати однією з важливих ідентифікаційних (характеристичних) ознак.

## Список використаної літератури

1. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2012 році / Державна інспекція ядерного регулювання України. — 2013. — 128 с.
2. Mayer K. Nuclear forensics / Klaus Mayer and Maria Wallenius // Radiochemistry and nuclear chemistry. — 2011. — Vol. II. — P. 1–9.
3. IAEA Incident and Trafficking Database (ITDB) Incidents of nuclear and other radioactive material out of regulatory control 2014 Fact Sheet. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www-ns.iaea.org/downloads/security/itdb-fact-sheet.pdf>
4. World Distribution of Uranium Deposits (UDEPO) with Uranium Deposit Classification IAEA. 2009 edition. Vienna, Austria. — 117 p.
5. World Nuclear Association. World Uranium Mining Production. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production>
6. World Nuclear Association. Nuclear Power in Ukraine. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-T-Z/Ukraine/>

7. Крючков О. Уранова стабільність / О. Крючков // Урядовий кур'єр. — № 126 від 16.07.2014. — С. 19.

8. Уранодобувна галузь (офіційний сайт Департаменту інфраструктури та промисловості Кіровоградської обласної державної адміністрації). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://prom.kr-admin.gov.ua/prom\\_uran\\_gal.html](http://prom.kr-admin.gov.ua/prom_uran_gal.html)

9. Uranium ores of Ukraine for the purpose of nuclear forensics / Dudar T. V., Kramar O. O., Lysychno G. V., Knight K., Englebrecht A. // Collection of scientific articles VIII International scientific and practical conference «Ecological safety: problems and ways of solutions», city Alushta, Autonomous Republic of Crimea, Ukraine, 10–14 September 2012. — Kharkiv, 2012. — Vol. 1. — P. 129–131.

10. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. — К. : Наук. думка, 1995. — С. 157–186.

11. Минеральный состав, структурно-текстурные особенности и стадии минерализации уранового оруднения в натриевых метасоматитах / Гречишников Н. П., Ракович Ф. И., Зинченко В. А., Крамар О. А. // Геолог. журнал. — 1971. — Т. 31, № 1. — С. 121–131.

## References

1. State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine (2013), Report on Nuclear and Radiation Safety of Ukraine in 2012 [Dopovid pro stan yadernoi ta radiatsiinoi bezpeky v Ukraini u 2012 rotsi], Kyiv, 128 p. (Ukr).
2. Mayer Klaus and Wallenius Maria (2011), “Nuclear forensics”, Radiochemistry and Nuclear Chemistry, Vol. II, pp. 1–9.
3. IAEA, “Incident and Trafficking Database (ITDB). Incidents of Nuclear and Other Radioactive Material Out of Regulatory Control 2014 Fact Sheet”, available at: <http://www-ns.iaea.org/downloads/security/itdb-fact-sheet.pdf>.
4. World Distribution of Uranium Deposits (UDEPO) with Uranium Deposit Classification IAEA, 2009 edition. Vienna, Austria, 117 p.
5. World Nuclear Association, “World Uranium Mining Production”, available at: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production>.
6. World Nuclear Association, “Nuclear Power in Ukraine”, available at: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-T-Z/Ukraine/>
7. Kruchkov, O. (2014), “Uranium stability” [Uranova stabilnist], Uriadovyi kurier, No. 126 dated 16 July 2014, Kyiv, p. 19. (Ukr).
8. Uranium Mining Industry, the official website of the Department of Infrastructure and Industry of Kirovohrad Regional State Administration [Uranodobuvna haluz (ofitsiyniy sait Departamentu infrastruktury ta promyslovosti Kirovohradskoi oblasnoi derzhavnoi administratsii)], available at: [http://prom.kr-admin.gov.ua/prom\\_uran\\_gal.html](http://prom.kr-admin.gov.ua/prom_uran_gal.html) (Ukr).
9. Dudar T. V., Kramar O. O., Lysychno G. V., Knight K., Englebrecht A. (2012), “Uranium Ores of Ukraine for the Purpose of Nuclear Forensics”, Collection of Scientific Articles under VIII International Scientific and Practical Conference “Ecological Safety: Problems and Ways of Solutions”, Alushta, the Autonomous Republic of Crimea, Ukraine, 10–14 September 2012, Vol. 1, Kharkiv, pp. 129–131.
10. Genetic Types and Principles for Arrangement of Uranium Deposits in Ukraine (1995), [Geneticheskie typy i zakonornosti razmeshcheniia uranovykh mestorozhdenii Ukrainy], Kyiv, Naukova Dumka, pp. 157–186. (Rus).
11. Grechishnikov N. P., Rakovich F. I., Zinchenko V. A., Kramar O. A. (1971), “Mineral Composition, Structural and Textural Features and Stages of Uranium Mineralization in Sodium Metasomatites” [Mineralnyi sostav, strukturno-teksturnye osobennosti i stadii mineralizatsii uranovogo orudneniia v natrievykh metasomatitakh], Geological Journal, V. 31, No. 1, pp. 121–131. (Rus)

Отримано 19.08.2014.