

УДК 504.058

## ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЗЗ В ЕКОЛОГІЧНОМУ МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ УРАНУ

**В. І. Зацерковний**, д-р. техн. наук, завідувач кафедри геоінформатики  
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка  
vitallii.zatsekovnyi@gmail.com

**І. В. Тішаєв**, канд. фіз.-мат. наук, доц. кафедри геоінформатики  
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка  
ivantishaev@gmail.com

**У. Ю. Комарова**  
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

**О. І. Шищенко**  
Національний авіаційний університет

*У статті розглянуто підхід щодо використання матеріалів ДЗЗ для моніторингу та прогнозування розробки родовищ урану. Енергетична криза в Україні породила дефіцит органічного палива, використаного для виробництва електричної енергії. Одним з напрямків виходу з кризи є використання ядерної енергетики і безпосередньо урану. Родовища урану України мають низку особливостей, які забезпечують конкурентну здатність виробленого уранового концентрату: великі розміри уранових покладів, що дозволяє застосовувати високопродуктивні системи видобутку; високу міцність вміщуючих порід, що дозволяє проходити гірничі виробки без кріплення та проходити очисні блоки великих обсягів; невеликі водні притоки до гірничих виробок; досить прості заходи радіаційного захисту завдяки невеликому вмісту урану у рудах. Однак, серйозним гальмом для подальшого розвитку атомної енергетики є проблеми забруднення навколишнього середовища. Розглянуто методичні засади застосування ДЗЗ та сучасних засобів їхнього аналізу для виявлення, оцінки і моніторингу процесів, які відбуваються в ландшафтах внаслідок експлуатації урановидобувних шахт. Для оцінювання стану земель у районі видобутку урану було проведено обробку фрагментів багатоспектральних космічних знімків: усунення атмосферного впливу, приведення до єдиного масштабу та подальша трансформація. Запропоновано алгоритм щодо моніторингу родовищ урану із застосуванням ДЗЗ та ГІС, який базується на методах геоінформаційного картографування, спрямованих на створення моніторингових карт екологічного стану ландшафтів. Розраховано багаторічні зміни проективного покриття рослинного покриву та рівень еродованості земель, які є основними дистанційними індикаторами стану земель.*

**Ключові слова:** енергетичні ресурси, родовища урану, моніторинг, технології ДЗЗ, багатоспектральні знімки, деградація земель.

*In the article the approach to use Earth Remote Sensing materials for monitoring and forecasting of uranium development is examined. Energy crisis in Ukraine is aroused by deficit of organic fuel which is used to produce energy. One of the way to overcome energy crisis is to use nuclear power engineering and particularly uranium. Uranium fields in Ukraine have a number of peculiarities which provide competitiveness of manufactured uranium concentrate: huge stocks of uranium fields allow to use highly-productive production systems; big hardness of carrying rocks allow to make production without anchors and to make huge volumes of stopes; small water flowing to excavations; relatively simple tools of protection against radiation through small content of uranium in minerals. However serious obstacle for further development of atomic energy industry are problems of environmental pollution. The Methodological approaches to use Earth Remote Sensing technologies are examined, as well as modern ways of their analysis to detect, evaluate and monitor the processes which take place in landscapes as a result of exploitation of uranium mining mines. For evaluation of conditions of surrounding territories the processing of multispectral satellite data was done: elimination of atmospheric effect, putting images to unified scale and further transformation. The algorithm for introduction of monitoring of uranium fields was offered, it was offered with usage of technologies of ERS and GIS based on methods of geo-information mapping and intended for creation of maps of ecological condition of landscapes. Multi-year changes of project coverage of plant formation were calculated, as well as level of lands erosion which are remote indicators of lands condition.*

**Keywords:** energy reserves, uranium fields, monitoring, ERS technologies, multispectral photographs, lands degradation.

### Актуальність теми дослідження

Перед людством сьогодні особливо гостро стоять три важливі взаємозалежні проблеми — забезпечення харчуванням, енергією та екологічною безпекою.

У розв'язанні цих проблем особливе місце належить енергетиці, від розвитку якої залежить економічний стан (занепад або процвітання суспільства), а також стан навколишнього середовища.

Будь-які види діяльності людини (промислове виробництво, сільське господарство, транспорт і зв'язок, сфера комунальних і побутових послуг), усі здобутки сучасної цивілізації — величезна розмаїтість товарів, різний за швидкістю і комфортом транспорт, космічні польоти тощо — все це стало можливим завдяки використанню різних джерел енергії. Саме тому створення і розробка енергетичних ресурсів, вироблення, перетворення, передача та використання різноманітних видів енергії — найважливіша галузь і основа економіки будь-якої країни і підвищення якості життя людей.

Розвиток сучасного енергоспоживання визначається двома тенденціями: зростанням споживання енергоресурсів на душу населення і зростанням самого населення. Проблема забезпечення електричною енергією багатьох галузей господарства, постійно зростаючих потреб більш ніж 6 мільярдного населення Землі стає зараз усе більше насущною. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства споживання енергії у світі впродовж останніх 30 років зросло зі швидкістю понад 3 % на рік. Приріст народонаселення (до 2 % на рік) і темпи економічного розвитку у XXI ст. зумовлять збільшення обсягів світового виробництва продукції у 3–5 разів до 2050 р. і в 10–15 — до 2100 р. А це потребуватиме нарощення енергозабезпечення у 3–5 разів [1].

Основу сучасної світової енергетики становлять тепло-, гідро- та атомні електростанції (ТЕС, ГЕС і АЕС). Однак їх розвиток стримується багатьма факторами. Вартість вугілля, нафти й газу, на яких працюють теплові станції, зростає, а природні ресурси цих видів палива зменшуються. До того ж багато країн не мають у своєму розпорядженні власних паливних ресурсів. Гідроенергетичні ресурси в розвинених країнах здебільшого використані повністю: більшість річкових ділянок, придатних для гідротехнічного будівництва, вже освоєні і вести мову про збільшення видобутку електроенергії немає сенсу. Тому вихід з положення, що створилося, бачить-

ся в розвитку атомної енергетики. Паливом для АЕС слугує уранова руда [2].

Серйозним гальмом для подальшого розвитку атомної енергетики є проблеми забруднення навколишнього середовища. Все частіше звучать заклики, що вимагають відмовитися від використання ядерного палива взагалі, закрити всі атомні електростанції й повернутися до виробництва електроенергії на ТЕС і ГЕС а також збільшити використання альтернативних видів одержання енергії, серед яких виділяють енергію Сонця (геліоколектори, фотоелектричні перетворювачі, сонячні вітрила тощо), енергію вітру, енергію Землі (геотермальна енергетика, теплові насоси) та енергію води (гідроелектростанції, приливно-відливні електростанції). Проте їх частка в загальному забезпечення енергією світової спільноти взагалі, а України зокрема не є відчутною.

Зростання кількості населення Землі, виснаження запасів органічного палива, вплив парникового ефекту, відсутність альтернативних джерел необхідної потужності підвищують роль ядерної енергетики у світовій економіці [1].

На даний час Україна володіє достатніми енергетичними потужностями, але велику їх частку складає застаріле, технічно зношене обладнання та устаткування. Тому проблема енергозабезпечення країни вже переросла в проблему національної безпеки, від вирішення якої залежить можливість подолання багатьох внутрішніх і зовнішніх кризових процесів. Тому важливим чинником є всебічне осмислення загальних питань енергозабезпечення, технологічного та економічного обґрунтування заходів подальшого розвитку енергетики, в цілому, та її складових.

Енергетична криза в Україні породила дефіцит органічного палива, використовуваного для виробництва електричної енергії. Одним з напрямлень виходу з кризи є використання ядерної енергетики і безпосередньо урану.

Розподіл джерел енергії в загальному постачанні первинної енергії в Україні представлений на рис. 1 [3].

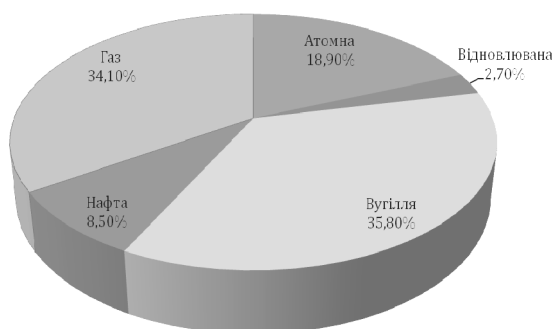


Рис. 1. Розподіл джерел енергії в загальному постачанні первинної енергії в Україні [3]

Сьогодні атомна енергетика України є базовою складовою в її енергозабезпеченні, виробляючи понад 50 % електроенергії. Частка ядерної енергії в енергобалансі країни у відносно короткі терміни почала істотно збільшуватись. Це стало важливим чинником надійного енергозабезпечення споживачів України в умовах дефіциту вугілля через фактичну окупацію РФ частини Донбасу [4]. Запаси урану, як основного палива для АЕС у світі доволі значні. Середня концентрація урану в земній корі більша, ніж, наприклад, срібла (майже в 30 разів) або золота (приблизно в 1000 разів). Його завжди багато, наприклад, у гранітах — близько 25 г/т. Однак уран належить до числа розсіяних елементів — лише невелика його частина сконцентрована в родовищах з багатими рудами (до цієї категорії відносяться руди з вмістом урану понад 0,3 %). А сучасною межею економічно рентабельного цільового видобутку урану вважається величина від 0,001 до 0,5 %. Запаси урану в земній корі становлять близько  $10^{14}$  т, але основна маса цього багатства знаходиться в розсіяному стані — в гранітах і базальтах. У водах світового океану кількість урану досягає  $4 \cdot 10^9$  т. Але багатих родовищ урану, де добуток був би недорогим, відомо порівняно небагато. Тому масу ресурсів урану, котру можна здобути при сучасній технології та при помірних цінах, оцінюють у  $10^8$  т [5; 6].

Крім традиційних застосовуються методи підземного вилуговування (ПВ), розробляються методи вилучення урану з морської води.

До 2050 р. фахівці прогнозують збільшення потужностей світової атомної енергетики щонайменше удвічі (існують пропозиції збільшення потужностей навіть учетверо).

Це означає будівництво кількох сотень ядерних реакторів і відповідне нарощування виробництва ядерного палива.

### Аналіз проблем видобування урану в Україні

Уран є основною компонентою ядерної енергетики сьогодення і на найближчу перспективу, як сировина для виготовлення ядерного палива та виробництва електричної і теплової енергії. Україна за підтвердженими запасами та обсягами видобування урану за обсягами запасів урану посідає десяте місце у світі, перше в Європі [6].

За даними Міжнародної агенції з атомної енергії (МАГАТЕ) станом на 01.01.2010 р. у надрах України зосереджено понад 300 тис. тонн урану, з яких 52 тис. за категорією вартості належать до вище середніх, а інші — до високих [7].

Проте українські уранові родовища придатні тільки для шахтного способу видобутку. Також на території України є декілька дуже маленьких за масштабами та бідних родовищ, придатних для розробки методом підземного вилуговування (10 тис. т). Більша їх частина за собівартістю належить до середньої категорії. Українські поклади урану сконцентровані відносно компактно у Дніпропетровській і Кіровоградській областях (рис. 2) [8].

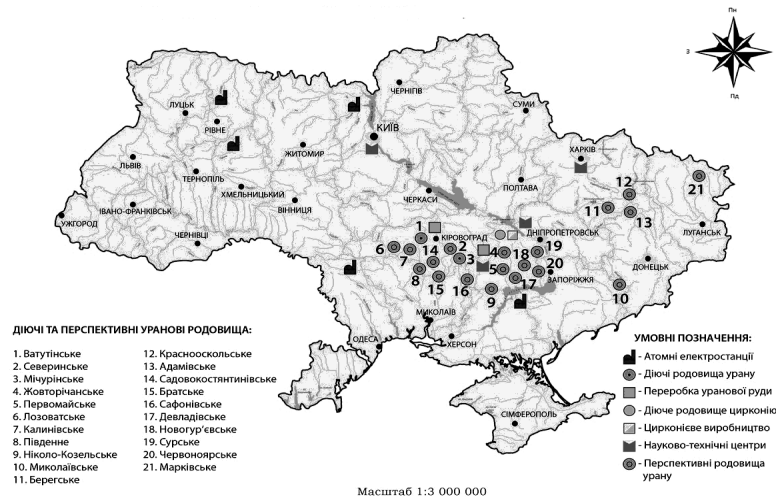


Рис. 2. Схема розміщення уранових родовищ України [7]

За досить низького вмісту урану в рудах, родовища України мають низку особливостей, які забезпечують конкурентну здатність виробленого уранового концентрату: великі розміри уранових покладів, що дозволяє застосовувати високоефективні системи видобутку; висока міцність вмшуючих порід, що дозволяє проходити

гірничі виробки без кріплення та проходити очисні блоки великих обсягів; невеликі водні притоки до гірничих виробок; досить прості заходи радіаційного захисту завдяки невеликому вмісту урану у рудах [9].

Щорічний видобуток урану в Україні та країнах світу подано в таблиці [4].

Таблиця

## Видобуток урану у світі [4]

Країна	Рік							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Казахстан	6 637	8 521	14 020	17 803	19 451	21 317	22 451	23 127
Канада	9 476	9 000	10 173	9 783	9 145	8 999	9 331	9 134
Австралія	8 611	8 430	7 982	5 900	5 983	6 991	6 350	5 001
Нігер	3 153	3 032	3 243	4 198	4 351	4 667	4 518	4 057
Намібія	2 879	4 366	4 626	4 496	3 258	4 495	4 323	3 255
Росія	3 413	3 413	3 521	3 562	2 993	2 872	3 135	2 990
Узбекистан	2 320	2 338	2 429	2 400	2 500	2 400	2 400	2 400
США	1 654	1 430	1 453	1 660	1 537	1 596	1 792	1 919
Китай	712	769	750	827	885	1 500	1 500	1 500
<b>Україна</b>	<b>846</b>	<b>800</b>	<b>840</b>	<b>850</b>	<b>890</b>	<b>960</b>	<b>922</b>	<b>926</b>
Інші країни	1 581	1 646	1 693	2 192	2 501	2 598	2 648	1 909
<b>Світ</b>	<b>41 282</b>	<b>43 764</b>	<b>50 772</b>	<b>53 671</b>	<b>53 493</b>	<b>58 394</b>	<b>59 370</b>	<b>56 217</b>
Задоволення світового попиту, %	64	68	78	78	85	86	92	85

Уран за своєю природою не радіоактивний. Небезпеку становлять продукти розпаду урану — радій і радон. Радон створюється природним шляхом розпаду урану-238 і має період напіврозпаду 3,823 дня. При видобутку та переробці уранової руди, він потрапляє в навколишнє середовище і завдає серйозної шкоди організму людини, коли вдихається в легені. У процесі видобутку і переробки урану утворюється значна кількість відходів, що містять у собі природні радіонукліди  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  та інші продукти розпаду уранового та торієвого рядів являють собою джерела радіоактивного забруднення навколишнього середовища [12].

Українські промислові уранові родовища представлені ендегенними родовищами в альбітатах та екзогенними родовищами в осадових відкладах Українського щита. Нині в Україні детально розвідано 12 уранових ендегенних родовищ із сумарними запасами, здатними забезпечити потреби діючих АЕС держави майже на 100 років. Найбільші з них знаходяться в межах Кропивницького (Кіровоградського) рудного району [6].

На сьогодні законсервовано Северинське родовище як резервне, вже відпрацьоване Первомайське родовище та припинено експлуатацію Жовторіченського, що пов'язано з нерентабельністю видобутку урану на великих глибинах навіть за супутнього видобутку залізних руд.

На даний час уран видобувається з трьох шахт: Смолінської, Інгульської та Новокосянтинівської. Смолінська шахта розробляє Ватутинське родовище, Інгульська-Мічуринське та Центральне, Новокосянтинівська — родовище з однойменною назвою. На Новокосянтинівській

шахті з липня 2011 р. 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 [5,6].

В останні десятиріччя на уранових копальнях України склалася катастрофічна екологічна ситуація (рис. 3) [10].

Недосконала технологія розробки родовищ з використанням традиційних методів без особливих урахувань екологічних вимог зумовила прискорення процесів забруднення ґрунтів, повітря, підземних та поверхневих вод, призвела до активізації просідання земної поверхні, провалоутворення, ерозії тощо. Масштаби проявів просідання і супутніх процесів величезні. У зонах провальної небезпеки опинилися не лише території шахт і кар'єрів, а й численні ділянки за їх межами.

Придніпровський регіон за рівнем забруднення навколишнього природного середовища займає одне з головних місць в країні. Понад 80 % населення проживає в містах з вираженим техногенним навантаженням. Питома вага екологічного навантаження Середнього Придніпров'я для країни становить близько 40 %. Як наслідок, спостерігаються високі рівні забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів, ґрунту у великих промислових центрах: Дніпропетровськ, Кривий Ріг, Жовті Води, Дніпродзержинськ, Павлоград.

Радіоекологічна обстановка в м. Жовті Води визначається наявністю поблизу міста Жовторіченського родовища урану, переробкою на гідрометалургійному заводі уранових руд, накопиченням радіоактивних відходів у хвостосховищах [11].



Рис. 3. Екологічна карта України

На території Кропівницької (Кіровоградської) області є високі концентрації радону, особливо в центральній частині, яка розташована на масиві гірських порід гранітоїдного складу з підвищеним вмістом радіоактивних елементів. Цю проблему ускладнює використання в будівельних цілях місцевої мінеральної сировини та промислових відходів з великим вмістом природних радіонуклідів. На багатьох дільницях міста, включаючи житлові масиви, відзначається підвищений гамма-фон і високі концентрації радону в будинках (20 000–50 000 Бк/м<sup>3</sup>).

Об'ємна активність радону в ґрунті міста сягає 100 000 Бк/м<sup>3</sup>. На території Петрівського району в балці «Щербаківська» розташоване хвостосховище гідрометалургійного заводу [11].

#### Об'єкт дослідження та методика

В основу вивчення зміни ландшафтів досліджуваного району було обрано два дистанційні індикатори стану земель: зміна рослинного покриву і динаміка ерозії ґрунтів.

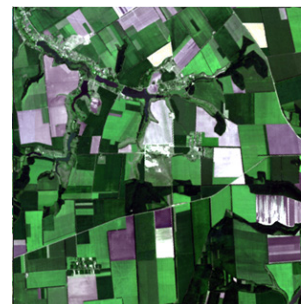
Для картографування зазначених індикаторів у локальному масштабі було використано багатоспектральні зображення супутників Landsat-5/TM та Landsat-8/OLI (<http://landsatlook.usgs.gov/>) за період з 1986 по 2015 рр. Як допоміжні, також залучалися такі геопросторові дані: цифровий рельєф місцевості SRTM (<http://srtm.csi.cgiar.org/>) 1991 р. та ASTER GDEM (<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>) 2011 р., карта ґрунтів та усереднені кліматичні характеристики досліджуваної території.

Для оцінювання стану земель у районі Новокосянтинівської шахти Кропівницької (Кіровоградської) області було проведено обробку фрагментів багатоспектральних космічних знімків: усунення атмосферного впливу, приведення до єдиного масштабу та подальша трансформація.

Вхідні калібровані багатоспектральні зображення Landsat перераховувалися на коефіцієнти відбиття земної поверхні (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Фрагменти багатоспектральних зображень району дослідження:

а — Landsat-5/TM (5 серпня 1986);  
б — Landsat-8/OLI (5 серпня 2015)

Наступним кроком було картування вищезазначених індикаторів стану земель — дослідження багаторічних змін проективного покриття рослинного покриву (за допомогою нормалізованого вегетаційного індексу NDVI) та ґрунтової ерозії (за допомогою модифікованого ґрунтового вегетаційного індексу та такі характеристики ґрунтового покриву території, як щільність, структура, ерозійність, гідрологічні показники). Також були враховані рельєф та кліматичні дані (рис. 5).

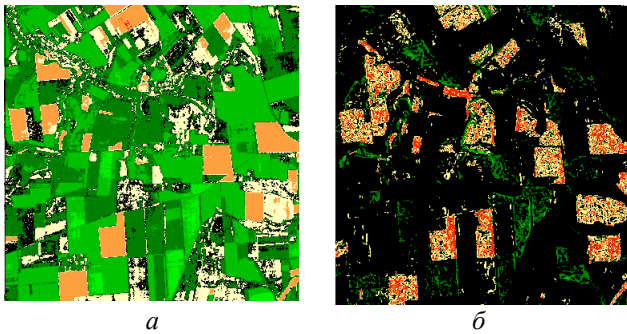


Рис. 5. Просторові розподіли індикаторів стану земель району дослідження:

*a* — зміни рослинного покриву 1996–2015;

*б* — ґрунтова ерозія 1996–2016;



Далі, використовуючи байєсівський підход проведено статистичне злиття даних індикаторів, одержаних на попередньому кроці, в інтегральну результуючу карту стану земель (рис. 6, 7).

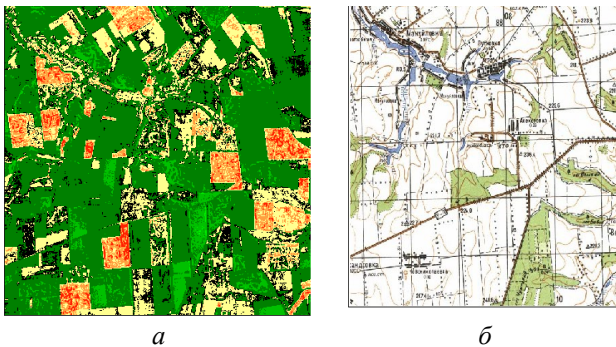


Рис. 6. Інтегральна карта змін стану земель території Новоколястинівського родовища Маловисківського району Кропивницької області за 1986–2015 рр.:

*a* — карта деградації земель; *б* — топографічна основа;



Рис. 7. Інтегральна карта змін стану земель території Новоколястинівського родовища Маловисківського району Кропивницької області за 1986–2015 рр.

## Висновки

У зв'язку з відсутністю достатньої кількості джерел органічного палива в Україні, реальною основою прогресу і економічного і соціального розвитку може бути тільки ядерна енергетика, яка потребує збільшення видобутку урану.

Видобуток і переробка урану є стадією виробництва ядерних матеріалів, яка призводить до впливу на навколишнє середовище різних вражаючих чинників.

Ефективна програма моніторингу не повинна обмежуватись лише вимірами радіологічних параметрів, токсичних речовин у навколишньому середовищі, пилу, шуму, вібрацій тощо. Для оцінки впливу видобутку уранових руд також доцільно залучати технології ДЗЗ.

Застосування технологій ДЗЗ засвідчило, що на досліджуваній території відбулися як позитивні, так і негативні зміни.

Значна частина території (приблизно 35 %) району зазнала незначного покращення.

Відносне зменшення вегетаційного індексу для великих площ (жовті-червоні кольори) можна пояснити процесами сівозмін на орних територіях сільськогосподарського призначення.

Для даних територій, як і для території вздовж річок та зрошувальних каналів, спостерігається середній рівень деградації, що можна пояснити процесами водної ерозії.

На території ж власне Новоколястинівської урановидобувної шахти рівень деградації є середнім, зважаючи на те, що вона є досить молодою і на сьогоднішній день ще немає повної стадії експлуатації.

Відвали, які знаходяться поруч з шахтою, мають середній та високий ступінь деградації земель, що свідчить про необхідність утилізації відходів, а не їх скупчення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Неклюдов І. М. Сьогодення і перспективи ядерної енергетики в Україні / І. М. Неклюдов // Вісн. НАН України, 2006. — № 2. — С. 11–17.
2. Шевцов А. І. Перспективи енергозабезпечення України в контексті світових тенденцій: монографія / за заг. науковою ред. А. Шевцова. — Д. : РФНІСД, 2008. — 208 с.
3. Енергетичний баланс України за 2014 рік. Експрес-випуск державної служби статистики 21.12.2015 № 562/0/08.4.2вн-15. Веб-сайт Держстату: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua) © Державна служба статистики України, 2015.
4. Маркевич К. Ядерна енергетика у світі та Україні: поточний стан та перспективи розвитку / К. Маркевич, В. Омельченко. — К. : Центр Разумкова, 2015. — 26 с.

5. *Уранові руди України: Геологія, використання, поводження з відходами виробництва* / Г. В. Лисиченко, Ю. П. Мельник, О. Ю. Лисенко, Т. В. Дудар, Н. В. Нікітіна. — К. : Наук. думка НАН України, 2010. — 221 с.

6. *Металічні корисні копалини України: підручник / під загальною редакцією В. А. Михайлова* — К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. — 219 с.

7. *Аналіз розвитку урановидобувної галузі та пов'язаних з нею проблем екологічної безпеки* / Т. В. Дудар, Ю. В. Маслова, М. А. Савицька, С. П. Бугера // Наукоємні технології, 2011, № 3–4. — С. 87–92.

8. *Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження КМ від 15.03.2006 № 145-р.*

9. *Письменна О. Б.* Циклічні явища в уранодобувній галузі України та їх аналіз / О. Б. Письменна // Економічний нобелівський вісник, 2014. — № 1 (7). — С. 367–374.

10. <http://www.imbf.org/tools/karta-ukrainy/karta-radiacionnogo-zagrjaznenija-ukrainy.html>.

11. *Диденко П. И.* Влияние родона на население Украины. — Електронний ресурс: <http://tes.igns.gov.ua/materials/4n/Didenko.pdf>

12. *Коваленко С. А.* Проблеми екологічної безпеки при видобутку урану в Україні. — Електронний ресурс:

<http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/457/83.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Стаття надійшла до редакції 30.08.2016