

О. О. Орлов., М. І. Євдошук

**ЕНЕРГОНОСІЇ МАЙБУТНЬОГО***(Рекомендовано чл.-кор. НАН України О. Ю. Лукіним)*

Запасов углеводородных энергоносителей человечеству хватит практически на несколько десятков лет. Нетрадиционные источники энергии и даже угли в современном энергобалансе занимают всего 20%. Современные виды энергии, которые базируются на делении ядер радиоактивных элементов, крайне опасны и могут привести к возникновению глобальных катастроф. Энергия сланцевого газа (СГ) менее опасна, но требует больших затрат. Тем не менее человечество будет вынуждено добывать СГ, чтобы постепенно закрывать атомные электростанции и на протяжении определенного времени начать добычу  $^3\text{He}$  из реголита Луны, а также закончить разработку технологии для получения в реакторах синтеза из  $^3\text{He}$  не радиоактивную ядерную энергию.

The hydrocarbon energy source reserves will be enough for mankind almost for a few tens of years. Unconventional energy sources and even coal sources in modern power balance occupy only 20%. Modern types of energy, which are based on the dividing of radio-active elements atomic nucleus – extraordinarily dangerous and can result the global catastrophes. Energy of shale gas (SG) is less dangerous, but needs greater expenses. Nevertheless, mankind will be forced to product SG, to close gradually the nuclear power stations and during some period of time begin the production of  $^3\text{He}$  from Moon's regolith, and also to finish the development of technology, for the reception of synthesis from  $^3\text{He}$  not radio-active nuclear energy in the reactors.

На даному етапі розвитку промисловості в світі, особливо за останніх 20 років, стало зрозуміло, що людство рухається до глобальної енергетичної кризи. Відкриті видобувні запаси та навіть ресурси традиційних вуглеводневих енергоносіїв, які головним чином забезпечують промисловість, в земній корі зменшуються і, ймовірно, при сучасному розвитку промисловості в світі вичерпаються протягом декількох десятиків років. Такі види енергії, як гідротермальна і петротермальна енергія Землі, сонячна енергія, вітряна і навіть енергія, що одержується при спалюванні вугілля, в сучасному енергетичному балансі промислово розвинутих країн становлять 20%, тобто не зможуть замінити вуглеводневі енергоносії. До того ж, спалювання вугілля призводить до забруднення атмосфери і порушення екологічних умов життєдіяльності на Землі. Крім того, запаси вугілля в осадовій оболонці Землі не безмежні. Згідно з розрахунками, їх вистачить на близько 200 років. Сучасні види атомної енергії, що базуються на діленні ядер урану або плутонію, що на даному етапі застосовуються в різних промислово розвинутих країнах, становлять 7% в енергетичному балансі світу. Крім того, отримання цього виду енергії – дуже небез-

печний процес через радіоактивність, яка призведе з часом до глобального забруднення навколишнього середовища. Слід також акцентувати увагу на те, що у випадку аварійних ситуацій існує загроза раптового радіоактивного забруднення достатньо великих територій. Саме таке відбулось вже при аваріях атомних електростанцій в Чорнобилі та Японії. У результаті проявів сильних землетрусів (магнітудою до 8 і 9 балів за шкалою Ріхтера, як це сталося в Японії, на узбережжі Індії, Тайланду, Шрі-Ланки, на о-ві Суматра) земна вісь, навколо якої Земля збалансована по масі, за даними Американського Національного Агентства з Космонавтики і Аеронавтики США (NASA), змістилась на 15 см у бік 139° сх.д. (в проєкції на поверхню), земна доба скоротилась на 1,6 мікросекунди. Зміщення земної осі, у свою чергу, впливає, ймовірно, на інтенсифікацію інших проявів катаклізмів у земній корі, наприклад на поновлення дії вулканів (Ісландія, Чилі). Порушення стабільності у поступовому розвитку земної кулі значно збільшує небезпеку на атомних електростанціях у процесі виробництва електроенергії з наступним одержанням інших видів енергії – механічної, теплової тощо [19].

Астрофізики вважають, що більшість фізико-геологічних процесів на Землі, що призводять до катаклізмів, пов'язана із

змінами сонячної активності, яка проявляється циклічно. Максимум активності Сонця, у відповідності до 11-річного циклу, було зареєстровано у 2000 і 2002 рр. [1, 17, 20]. За даними астрофізиків, наприкінці 2012 – початку 2013 р. очікується сильна активізація сонячної активності, що призведе до так званого "сонячного шторму", який обумовить на Землі посилення магнітних бурь.

Враховуючи крайню небезпеку розвитку виробництва енергії на атомних електростанціях, у Німеччині вже прийнято закон, згідно з яким атомні електростанції повинні бути ліквідовані до 2022 р.

У проведеному плебісциті в Італії абсолютна більшість громадян висловились аналогічно. В інших країнах світу також спостерігається неспокій щодо проблеми подальшого використання атомних електростанцій.

В 2000 р. фірма Devon Energy в США розпочала масштабне, але високозатратне видобування СГ на площі Барнетт Шейл із горизонтальних свердловин, пробурених в товщі бітумінозних сланців шляхом спрямування вертикальних свердловин на певних глибинах до горизонтального положення. Пізніше, в результаті поступового удосконалення технології видобування СГ з горизонтальних свердловин і поширення її на інших площах (Вудфорд, Марцеллус, Монтней та ін.), його видобування в США сягнуло в 2010 р. до 51 млрд м<sup>3</sup>. Але одразу міністерство інформатики США визнало, що цифри про видобуток СГ в країні практично завищувались, в зв'язку з чим ці дані будуть корегуватись в бік зменшення [6, 9, 14, 15]. Видобувні запаси СГ в США оцінюються в 24 трлн м<sup>3</sup>. Головні аспекти американської технології видобування СГ описані нами в роботі [11].

СГ зацікавили майже всі енергозалежні країни світу. Визначену можливість видобування газу зі сланців назвали газовою революцією. За підрахунками експертів собівартість СГ досягає 283 дол. США, а при його продажі купівля буде ще дорожче. Для порівняння: видобування 1000 м<sup>3</sup> газу ВАТ "Газпром" коштує 19 дол. США [14].

Крім вказаного, видобування СГ пов'язане з дуже сильним забрудненням надр і навколишнього середовища, так як здійснення гідророзривів із застосуванням хімічно об-

роблених рідин у горизонтальних свердловинах призводить до значної токсифікації пластових ґрунтових і артезіанських питних вод. Тому в США вже в 2005 р. використання дизельного палива та інших продуктів, особливо відходів при крекінгу нафти для виготовлення рідин, які застосовуються при гідророзривах, було заборонено [6]. При цьому утворені штучні резервуари (зони дроблення) вздовж горизонтальних свердловин не довготривалі. Якщо вони на не великих глибинах, то їх завалювання негативно відображається на поверхні, що також є одним із суттєвих негативних показників щодо охорони навколишнього середовища.

Але, незважаючи на високу ціну і негативні екологічні наслідки видобування СГ, який на сьогодні практично виробляється тільки в США, людство вимушене буде виявляти нові запаси СГ на всіх континентах і видобувати вуглеводневі енергоносії, так як виробництво енергії на атомних електростанціях більш небезпечне. Тому розвиток видобування СГ у промислових масштабах є актуальним. Це вплине на обмеження виробництва електроенергії на атомних електростанціях та поступове їх закриття, а головне, це дасть можливість виграти час для відкриття можливості одержання нових технологій для виробництва енергії з хімічних елементів, ядерна енергія яких є безпечна.

На даному етапі розвитку науки в галузі одержання термоядерної енергії встановлено, що в природі існують хімічні елементи, з яких можна отримувати безпечну щодо радіоактивного забруднення навколишнього середовища термоядерну енергію.

На сьогоднішній день таким елементом є один з ізотопів гелію (He), а саме He-3 (<sup>3</sup>He). Гелій (переклад з грецької Helios – Сонце) – цей елемент один з найпоширеніших у Всесвіті. За розповсюдженням і легкістю він посідає друге місце після водню в періодичній системі хімічних елементів Д.І. Менделєєва. Природний He складається з двох стабільних ізотопів – <sup>3</sup>He і <sup>4</sup>He. Крім стабільних ізотопів, до складу гелію входять ще шість нестабільних ізотопів, які отримують в лабораторіях штучно [4, 18]. Ядро <sup>3</sup>He складається з двох протонів і одного нейтрона, а <sup>4</sup>He – з двох протонів і двох нейтронів. Загальна кількість <sup>3</sup>He в атмосфері становить 0,000137%, що дорівнює приб-

лизно 35 тис. т, але він є ще також у мантії Землі в кількості на 2 порядки більше, ніж в атмосфері. Виділення  $^3\text{He}$  в атмосферу з надр Землі при проявах вулканізму і через розломи в земній корі дуже мале і оцінюється не більше як декілька кілограмів на рік.  $^4\text{He}$  розповсюджений в гелії набагато більше, ніж  $^3\text{He}$ . Його в гелії і на Землі приблизно 99,99986%, в той час як  $^3\text{He}$  всього 0,00014% [11]. Гелій-3 є продуктом реакцій, що відбуваються на Сонці. Вважається, що  $^3\text{He}$  викидається Сонцем у Всесвіт в дуже великій кількості. Астрофізики називають це явище "сонячним вітром". Частинки  $^3\text{He}$  у космічному просторі вриваються в об'єкти, що трапляються на їх шляху, але на Землю вони майже не потрапляють, оскільки магнітне поле Землі не підпускає  $^3\text{He}$  [2]. Встановлено, що  $^3\text{He}$  у достатньо великій кількості є на Місяці. Цьому сприяє, як вважають астрофізики, відсутність на Місяці атмосфери і дипольного магнітного поля [2, 18].

На даний час встановлено, що в реакторах синтезу, на відміну від реакторів ділення, Гелій-3 може слугувати елементом для одержання ядерної енергії з практично нульовою радіоактивністю.

Як свідчать результати досліджень пилу і зразків порід з Місяця,  $^3\text{He}$  достатньо багато на місячній поверхні. Пил Місяця складається з гострих частинок, так як на Місяці практично немає процесів ерозії і пил володіє електростатичним зарядом. В результаті місячний пил легко проникає в інші матеріальні субстанції.

За даними NASA, американці планують політ на Місяць за програмою "Constellation" ("Сузір'я") для ретельного вивчення проблеми використання поверхні Місяця для утворення баз з проживанням людей на 2040–2060 рр. [2, 3, 5, 7, 13]. За виступом в січні 2006 р. Н. Н. Севастьянова, який на той час був президентом Ракетно-космічної корпорації "Енергія", Росія, можливо, розпочне видобування  $^3\text{He}$  на Місяці вже в 2020 р. з метою використання його на Землі для виробництва безпечної ядерної енергії. Щодо вказаної можливості, це було різко розкритиковано в інтерв'ю газеті "Труд" 31.01.2006 р. академіком Р. З. Сагдеевим, який сьогодні мешкає в США. В основному Р. З. Сагдеев приділив увагу Місяцю як проміжній базі для польотів на інші планети

[5]. Варто зазначити, що В. В. Путін під час візиту до Смоленської області 07.04.2011 р. вказав, що Росія через 20 років планує побудувати космічну базу на Місяці, а саме в приполюсних її частинах, де, ймовірно, присутня вода поряд з іншими дуже цінними корисними копалинами, дефіцит яких відчувається на Землі [12].

Сьогодні проблемою освоєння місячної поверхні і побудовою там баз зацікавились Китай, Індія, Японія. Ці країни розпочали дослідження місячної поверхні за своїми власними програмами. Вже успішно запущено китайський супутник на Місяць – "Чаньз-1" (2007 р.), індійський супутник "Андріяне-1" (2008 р.) з приладами, робота яких полягає у пошуку  $^3\text{He}$ , води та металів [18].

Одержувати  $^3\text{He}$  передбачається з поверхневого шару порід Місяця, який отримав назву реголіт. У місячному реголіті вміст  $^3\text{He}$  може бути до 10 млн т [2, 3]. В програмі NASA передбачається видобувати  $^3\text{He}$  на поверхні Місяця шляхом концентрації його частинок з подальшим транспортуванням їх на Землю [13]. На Землі  $^3\text{He}$  видобувається в дуже малих кількостях (до кількох грамів на рік). В реголіті встановлені також інші цінні для промисловості елементи, такі як титан, алюміній, залізо. А індійським супутником в районі місячних полюсів виявлена вода у вигляді льоду, що дуже важливо для утворення на Місяці баз проживання [5]. Вихідний матеріал для синтезу –  $^3\text{He}$ , який не потребує особливих умов для його зберігання, оскільки він не є радіоактивним. Згідно з даними академіка РАН, члена бюро по Космосу РАН Е. М. Галімова [16], місячний  $^3\text{He}$  – це подарунок природи, який забезпечить людство енергією на тисячі років. Щоб забезпечити енергією гелієм-3 людство на рік, за підрахунками Е. М. Галімова [16], необхідно до трьох польотів космічних кораблів на Місяць з вантажопідйомністю 10 т. Витрати на це будуть меншими у десятки разів, ніж кошти, що вкладаються зараз на виробництво енергії на електростанціях. За Е. М. Галімовим, 1 т  $^3\text{He}$  забезпечує енерговиділення, еквівалентне 20 млн т нафти [7, 8, 16].

Підраховано, що ККД гелієвих реакторів дуже високий. Але проекти інфраструктури термоядерної енергетики із застосуванням гелію-3 сьогодні тільки розробляються. Ро-

боти в цьому напрямі інтенсивно ведуться; наприклад, у Франції вже розробили проект Міжнародного експериментального реактора термоядерного синтезу і розпочали його будівництво [16]. Складність полягає в тому, що для проведення синтезу дейтерію з гелієм-3 необхідно утворити надвисоку температуру для запалювання плазми, що в 3 рази більша, ніж така дія синтезу дейтерію з тритієм. Розробка технологій утворення високих температур для ядерного синтезу дейтерію з тритієм тривала понад 50 років. Але протягом цих 50 років людство спромоглося створити температури від декількох тисяч до кількох мільйонів градусів за Цельсієм. Процес розвитку сучасної науки та інженерних технологій більш інтенсивний порівняно з технологіями та науковими досягненнями в галузі ядерної фізики, які були в минулому столітті.

Питання пошуків нових видів екологічно безпечних джерел енергії і розробки технологій їх використання на сьогодні є надзвичайно важливим. Проекти використання гелію-3 із реоліту Місяця, який є унікальною сировиною для одержання безпечної термоядерної енергії, інтенсивно розробляються в різних промислово розвинених країнах. На жаль, Україна не задіяна в цих проектах. Вартість цієї участі у майбутньому, слід думати, буде виправданою, особливо враховуючи попередній негативний 20-річний досвід пошуку джерел енергозабезпечення держави.

1. Великие моменты в истории Солнечной физики: [http://www.astro.umontreal.ca/~paulahar/sp/great\\_moments.html](http://www.astro.umontreal.ca/~paulahar/sp/great_moments.html).
2. Гелий-3 – Вікиновости: <http://ru.wikinews.org/wiki/%D0%>.
3. Гелий-3 – Википедия: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%D0%>.
4. Гелий-4: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%>.
5. Колонизация Луны – Википедия: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A>.
6. Лукин А. Е. Сланцевый газ и перспективы его добычи в Украине // Геол. журн. – 2010. – № 3. – С. 17–33.

7. Лунный гелий-3, или Все пути ведут на Луну – Новости космонавтики: <http://www.novosti-cosmonavtiki.ru/phpBB2>.
8. Лунный гелий-3 – эффективное термоядерное горючее будущего – Знание – сила: [http://znaniya-sila.narod.ru/live/unknown\\_14\\_1.html](http://znaniya-sila.narod.ru/live/unknown_14_1.html).
9. Маленькая ложь о сланцевом газе – Война и мир: <http://www.warandpeace.ru/ru>.
10. Матеріал наукової конференції 14–15 квітня 2011 року – газета "Казахстан сьогодні": <http://commentaries/view/52668/>; <http://adamant-iv@yandex.ru>.
11. Орлов О. О., Евдошук М. І., Галко Т. М. Проблема видобування вуглеводневих енергоносіїв із бітумних сланців і вугілля в Україні // Геол. журн. – 2011. – № 2. – С. 48–55.
12. Российская база на Луне (11 квітня 2011 р.) – Наша планета: [http://planeta:moy.su/blog/rossijskaja\\_baza\\_na\\_lune/2011-04-11-1653](http://planeta:moy.su/blog/rossijskaja_baza_na_lune/2011-04-11-1653).
13. Сколько стоит Луна: Гелий-3 и перспектива его добычи: <http://www.starmission.ru/blog/moon/146/hitl>.
14. Сланцевый газ: <http://ru.wikipedia.org/%D0%>.
15. Сланцевый газ – Википедия: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сланцевый\\_газ](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сланцевый_газ).
16. Ученые России разрабатывают на Луне фабрики энергии: <http://www.news.ru.com/russia/23jan.2004/dream.html>.
17. Солнечная активность: <http://ru.wikipedia.org>.
18. Хоменко Н. Г. Общая химия. – М.: Химия, 1987. – 464 с.
19. Японское землетрясение сместило земную ось: <http://www.utro.ru/articles/2011/03/11/961595.shtml>.
20. SIDC-Solur influences Data Analysis Center: <http://sidc.oma.be/sunspot-data/>.

ІФНТУНГ,  
Івано-Франківськ  
E-mail: san\_sanuch\_2010@mail.ru

Стаття надійшла  
21.09.11

Від-ня мор. геології та осадов.  
рудоутворення НАН України,  
Київ  
E-mail: myevdoshchuk@rambler.ru