

ВІД МЕТАНУ — ДО ГЕЛІЮ

Невпинне зростання енергоспоживання у масштабах планети, з одного боку, і вичерпаність покладів традиційних вуглеводнів, з другого, спонукають учених і державних діячів до пошуків альтернативних джерел енергозабезпечення.

Ця проблема набула особливої гостроти для України з її залежністю від експорту енергоносіїв з однієї країни і диктатом постійно зростаючих цін на нафту і газ. Тому освоєння альтернативних джерел енергії, а серед них — метану і рослинної біомаси, на які багата Україна, надзвичайно важливе не лише як складова вітчизняної економіки, а й як фактор національної безпеки нашої держави. Ця стаття є продовженням публікації автора (див.: Вісник НАН України. — 2005. — № 12. — С. 51–60).

АЛЬТЕРНАТИВА ГАЗУ? ГАЗ!

В Україні природного газу багато! Таке твердження звучить парадоксально, викликає подив, але це справді так. Блакитне паливо є не тільки у складі нафтових та вугільних родовищ, а й в альтернативному джерелі — у метаногідратних покладах шельфу Чорного та Азовського морів. Тож щорічну потребу країни в газі — 70–75 млрд м³ — є можливість забезпечити на кілька десятиліть.

Метаногідрати зосереджені на глибинах від 300 до 2000 м поблизу берегів більшості континентів, як правило, на крутих підводних схилах. Це доводять сейсмічні виміри та результати буріння. Метаногідрати, що складаються з води та метану, мають вигляд звичайного сірого крихкого льоду. Цей «метановий лід» належить до так званих клатратних сполук (від лат. *clathratus* — замкнутий, оточений зусібч) — перспективний напрям досліджень супрамолекулярної хімії. До речі, її засновником є нобелівський лауреат Жан-Марі Лен — французький хімік, іноземний член НАН України.

У незвичних сполуках такого типу не виникає хімічних зв'язків (у даному разі — між молекулами метану та води). Метан вигідно розміщується у порожнинах кристалічної ґратки льоду. В одиничному конгломераті води та метану міститься 32 молекули води і близько 6–8 молекул метану. А в одному кубічному метрі цієї речовини втримується значно більше енергії, ніж у кубометрі природного газу (за однакового тиску). Отже, у льодових порожнинах одного кубометра метаногідратів «замкнуто» 164 м³ газу!

Метаногідрати утворюються під тиском у порах донних осадових порід, куди згори постійно надходить органічний матеріал і де панують низькі температури та досить високий тиск. Сировиною для них слугують рештки відмерлих рослин, тварин й інших живих істот, що їх постачають ріки, вода морів та океанів. Мул, який містить вуглець, швидко вкривається іншими нашаруваннями. Доступ до нього аеробних бактерій, які могли б перетворити біологічний осад на вуглекислий газ, припиняється. Однак, захищений від цих

мікроорганізмів, мул стає поживою для інших видів бактерій. У результаті їхньої діяльності й утворюється метан.

Скупчення метаногідратів виникає і там, де океанічна кора межує з континентальною та йде вглиб, у магму. Така обставина спонукала до інших поглядів на генезис метаногідратів. Ця, найбільш відома гіпотеза, розглядає космічне походження метану. Родовища метаногідратів трапляються й у тих місцях океану, де його дно занурюється під континент. Там між двома гігантськими плитами є щілини. Через них метан може вивільнятися з магми до глибин океану.

Цей газ був ще у протопланетній хмарі. З неї народилося сімейство планет, які обертаються нині навколо Сонця. У протопланетній хмарі, коли формувалося центральне світило, відбулася диференціація речовини: легкі молекули газів під тиском сонячного світла відходили на периферію (не випадково далекі планети-гіганти — Юпітер і Сатурн — містять у своїх атмосферах величезні маси метану). Земля, як близька до Сонця планета, утворилася з важчих елементів, але неабияка кількість метану їй теж перепала. Тепер він виділяється з магми, коли тиск у щілині між материковими та океанічними плитами падає. Ці дві гіпотези походження метану — органічна, тобто вторинна, та космічна — мирно співіснують.

За найбільш оптимістичними оцінками, світові запаси метану в складі гідратів становлять від 2 832 до 7 645 563 трлн м³. Донині у світі виявлено понад 220 метаногідратних покладів на шельфі океанів і морів. Щоправда, в Росії, у вічній мерзлоті Сибіру, є Мессояхське родовище — єдине місце у світі, де звичайний природний газ одержують з метаногідратів. Від нього прокладено газопровід до Норильська.

Проблема виявлення та використання метаногідратних покладів сьогодні досить актуальна. Деякі країни (США, Японія, Індія, Канада) мають національні програми вивчен-

ня та промислового освоєння природних метаногідратів. Розробка цих ресурсів сприятиме не тільки економічному розвитку окремих країн, а й політичній стабільності у світі: зникне боротьба за джерела енергії, непотрібними стануть величезні витрати на транспортування імпортованої енергії. Відкриття природних метаногідратів й освоєння енергії, акумульованої у них, працюватиме на розвиток цивілізації.

У Чорному морі також є багаті поклади метану. У деяких його районах пошуково-розвідувальними організаціями впродовж 1988–1989 років виявлено на глибинах 300–1000 м під дном метаногідратні родовища. У центральній глибоководній частині моря запаси метану в гідратах оцінюють у 20–30 трлн м³, а загалом у Чорному морі, за прогнозами геологів України та Росії, міститься 60–80 трлн м³ цього газу. Ще в 1968 р. ці потенційно газонасні райони, за пропозицією України, уряд колишнього СРСР розглядав як перспективні для розробки та газовидобутку. Однак тоді пріоритет віддали Західному Сибіру. Нині ж Україна змушена купувати в Росії і Туркменістані газ, сплачуючи величезні кошти. Такий стан справ з ускладненими умовами постачання газу ставить перед фахівцями першочергове завдання: добути метан і забезпечити Україну хоча б на кілька десятиліть паливом і сировиною.

Які кроки робляться у цьому напрямі? Поки що, власне, створюються лише попередні заділи. Вже у незалежній державі 1993 року уряд затвердив постанову про виконання програми радянських часів «Газогідрати Чорного моря», якою передбачено великий обсяг геологорозвідувальних робіт і створення технологій та конструкцій газодобувного комплексу. Однак бюджетних коштів для освоєння метаногідратів Чорного моря і досі не знайшлося. До цієї проблеми вчених залучали фактично на добровільних засадах. Так, фахівці Відділення наук про Землю НАН України у 2002 р. розробили «Загальнодер-

жавну програму розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2010 року», в якій важливе місце відвели вивченню запасів природного газу на шельфі Чорного моря. Поточного року цю програму Верховна Рада нарешті затвердила як закон України (набирає чинності з 1 січня 2007 р.).

В Одеській академії холоду та науково-дослідній фірмі «Лід-Газогідрат» опрацьовано оригінальний бізнес-план прибуткового інноваційного проекту «Метан — з газогідратів Чорного моря». Його реалізація лише в одному невеликому газодобувному комплексі за рік може дати 0,97 млрд м³ метану. Вартість проекту — 150 млн доларів. Пуск першого газодобувного комплексу — через 4 роки від початку фінансування. Розробляються й інші, не менш привабливі, проекти за участю закордонних та вітчизняних інвесторів. Не припиняються наукові дослідження у різних наукових установах різних форм власності, зокрема у Міжнародному науково-технічному університеті (м. Київ). Але, як і раніше, залишаються нерозв'язаними першочергові завдання для освоєння метаногідратних покладів у басейні Чорного моря. Наприклад, важливо уточнити в реальних цифрах запаси метану, створити спеціалізовану державну структуру для його пошуку та видобутку, залучити до вивчення цієї проблеми інститути НАН України, галузеві, наукові установи та вищі навчальні заклади. Для цього потрібні ґрунтовні дослідження природи утворення метаногідратів і можливості видобутку їх із застосуванням екологічно чистих технологій, без порушення біосфери моря. Рано чи пізно Україна змушена буде повернутися до цієї злободенної проблеми. Однак на той час має бути створений надійний фундамент, закладати який слід уже сьогодні.

НАФТОХІМІЯ... З ПОЛЯ

Багато хто в Україні вважає, що єдиною серйозною альтернативою нафти і газу є вугілля, адже його запасів вистачить на сотні ро-

ків. Тут хіміки намагаються реалізувати два напрями. Перший — перетворювати вугілля до штучної нафти шляхом гідрування, іншими словами, насичення молекул вугілля воднем за допомогою каталізаторів. А далі — за звичайною схемою. Другий шлях — газифікувати вугілля, знову ж таки використовуючи каталізатори. При цьому утвориться той самий синтез-газ (СО та Н₂), з якого можна зробити метанол (метиловий спирт). А з нього — безліч продуктів великої хімії. Метанол — справді чудова хімічна сировина. В 70-х роках минулого століття навіть вибухнув бум метанолів. Тоді гадали, що його виробництво зросте до кінця ХХ ст. у десятки разів. Саме так промислово розвинені країни намагалися за допомогою найпростішого зі спиртів послабити свою залежність від країн, які постачають нафту. Однак до початку ХХІ ст. метанол так і не став для хіміків панацеєю. Головною перепоною тут є економічна недоцільність. До того ж, інтенсивне використання вугілля не розв'язує глобальної екологічної проблеми.

Але вихід усе-таки знайшовся. І досить несподіваний. Хімічна індустрія звернула свій погляд на рослинну сировину. Ідея залучити поновлювані ресурси, а саме — біомасу, не нова, адже щороку рослини на Землі за допомогою фотосинтезу фіксують близько 30 млрд т вуглецю. З нафти і газу ми знищуємо вуглецю в десять разів менше. Так чому б не запозичити органічні сполуки в рослин? Взагалі людство використовує рослини як паливо з прадавніх часів. Наприклад, наші предки обігрівали помешкання дровами, поки не знищили більшу частину лісів. А в 30-ті роки ХХ ст. деяким фермерам у США доводилося навіть опалювати свої будинки зерном. Тепер рослини полів, схоже, зможуть прислужитися і великій хімії.

Перший поштовх цій ідеї дала нафтова криза 70-х років ХХ ст. Саме тоді американці розробили біотехнологію одержання так званого паливного спирту з кукурудзяного крох-

малю за допомогою мікробів за схемою «крохмаль → глюкоза → спирт». І не тільки розробили, а й у 80-х роках побудували кілька заводів. Такий спирт додають до бензину (від 10 до 85%, в Україні — до 6%) й отримують сумішевий бензин. Це збільшує октанове число бензину і позбавляє необхідності додавати небезпечний антидетонатор — тетраетилсвинець, унаслідок чого у вихлопах автотранспорту помітно зменшується вміст токсичних газів. Ну і, звичайно, бензину витрачається на 6–85% менше. А це вже щось.

Біотехнологія виявилася настільки раціональною, що сьогодні ціна паливного спирту вдвічі нижча від спирту, одержаного за класичною схемою з нафтохімічного етилену. Тому в 90-х роках усі виробництва з гідратації етилену у США закрили як нерентабельні. Справді, навіщо використовувати дорогу нафту і витрачати недешеву енергію на хімічних заводах, якщо можна одержувати спирт з рослинної сировини. Але це був лише перший крок, тобто проба ідеї. Далі технологи запропонували використовувати дешевшу рослинну сировину, щоб добути той самий етилен. А якщо ціна за тону етилового спирту знизиться до 200 доларів і менше, тоді можна буде одержувати з рослинного етанолу й етилен — першу цеглину величної нафтохімічної будівлі. А відтак спрямувати етилен на потреби хімічної та нафтохімічної промисловості. Тоді чому б і не відмовитися від нафти? Та й взагалі, чому тільки етанол? Може, рослинна сировина згодиться для одержання й інших найважливіших продуктів великої хімії?

У 2000 р. президент США Білл Клінтон виступив із пропозицією спрямувати зусилля учених, промисловців та економістів на підготовку державної програми щодо переведення хімічної промисловості США на рослинну сировину і звернувся з нею до конгресу. У травні того року, уже за президентства Джорджа Буша-молодшого, конгрес прийняв акт «Про використання біомаси». Таким чи-

ном була розроблена державна програма та виділено фінансування на перший рік — 500 млн доларів. Мета була поставлена конкретно: через 5–7 років створити дешеву технологію, а через 25 — перевести чверть хімічної промисловості США на рослинну сировину, приміром, на ту саму кукурудзу. В такому разі на переробку вже піде не зерно, а стебла кукурудзи, тобто відходи, які фермери колись спалювали.

Деревина, стебла, листя, солома — все це складається з лігніну, целюлози та целобіози. Лігнін — продукт полімеризації ароматичних спиртів, який відкладається у клітинних оболонках рослин і робить їх міцними, здерев'янілими. Хоч як намагайся, лігнін на глюкозу не перетвориш. Тому вчені повинні придумати таку рентабельну технологію, за допомогою якої можна було б виділяти з рослинної маси марний лігнін, близько 30%. А целюлозу, що залишилася, і целобіозу за допомогою ферментів перетворювати до глюкозо-фруктозного сиропу — це вже вміють робити. Головне, що такий сироп може стати універсальною сировиною для ферментаційної, а згодом — і хімічної промисловості. Вже сьогодні 60% американських солодоців виготовляють на основі глюкозо-фруктозного сиропу, одержаного під час переробки кукурудзяного крохмалю. До речі, сировиною для приготування такого сиропу можуть бути і побутові відходи! На кожного американця на рік припадає 2,5 т побутових відходів, з яких майже 70% — це папір, картон, целюлоза.

Яким же чином солодкий сироп може допомогти великій хімії? Із цукрів за допомогою біологічних каталізаторів — ферментів — можна одержувати до 20 різних кислот: молочну, щавлеву, лимонну та ін. А з цих кислот — величезну кількість напівпродуктів для хімічної індустрії. Скажімо, якщо від молочної кислоти відщепити воду, одержимо знайому кожному хімікові акрилову кислоту. А з неї вже можна виробити цілу низку практично-корисних хімічних продуктів: тет-

рагідрофуран, ацетальдегід, етиленгліколь... Кількість публікацій у зарубіжній науковій літературі на цю тему зростає з кожним днем. «Складається враження, що з органічних кислот можна одержати ледь чи не всі продукти великої хімії», — часто переконає академік НАН України В.П. Кухар. «Звичайно, від лабораторної схеми до рентабельної промислової технології шлях неблизький та ще й складний. Але мету поставлено, зусилля сконцентровано, і можна не сумніватися, що результати не забаряться», — коментує Валерій Павлович. І вони вже є.

Так, у США запущено у виробництво біотехнологію одержання молочної кислоти з конверсією, близькою до теоретичної: з кілограма глюкози виходить кілограм молочної кислоти. Така кислота дешевша традиційної. Тому з неї почали отримувати полімер, полілактат. Він привабливий тим, що розкладається у природних умовах, причому досить швидко, десь тижнів за три. Раніше нікому навіть на думку не спадало виробляти з молочної кислоти полімер, оскільки технологічний процес був занадто дорогим. Нині ж біологічно деградує полілактат поступово замінює поліетилен і поліпропілен у виробництві пакувального матеріалу. Уявіть собі, упаковка з-під смачного йогурту, недбало кинута на газон чи узбіччя дороги, за лічені дні зникне, розклавшись до вуглекислого газу та води.

Важливо й те, що ця програма екологічно вигідна: промисловість використовуватиме поновлювану сировину. Та й викиди CO_2 до атмосфери не збільшаться: скільки рослини забрали вуглекислого газу з повітря, стільки туди і повернулося. І не тільки це. Скажімо, американські фермери зможуть одержати потужну підтримку, оскільки продаватимуть соломку чи бадилля кукурудзи, які колись спалювали, на суму близько 25 млрд доларів на рік.

Звичайно, це велика комплексна програма. У ній треба скоординувати зусилля біо-

логів, хіміків, біохіміків, промисловців, працівників сільського господарства, створювати структури для збирання та переробки рослинної сировини.

Чому Америка зробила ставку на цю галузь хімії (її ми ще називаємо білою хімією — за кольором цукру)? Напевно, тому, що США споживають третину світових ресурсів нафти, газу та пластмас. І ці ресурси можуть вичерпатися. За такого потужного споживання залежність економіки країни від ситуації з нафтою та газом надзвичайно небезпечна. Позбутися її допоможе біла хімія, орієнтована на поновлювану рослинну сировину з полів. Звернімо увагу на те, що є також зелена хімія. Але тут фахівці спрямовують свою увагу на вдосконалення технологій хімічних процесів з метою захисту навколишнього середовища: землі, повітря, води тощо.

А найважливіше те, що на державному рівні зрозуміли: економічний успіх та добробут суспільства зможуть забезпечити дешеві, ресурсозберігальні технології, не завдаючи при цьому шкоди навколишньому середовищу. І тут білій хімії, вочевидь, немає рівних!

З метою подальшого розвитку таких робіт в Україні, а також для координації досліджень, які здійснюють фахівці різних наукових напрямів (хіміки, мікробіологи, біохіміки, фізіологи, генетики, ботаніки тощо), доцільно створити міждисциплінарну загальноакадемічну програму щодо фундаментальних проблем біомаси — потенціалу для хімічної, нафтохімічної та біотехнологічної індустрій. Її виконання дасть змогу нашим науковцям зробити свій внесок у розв'язання цієї глобальної проблеми.

СТАВКА НА ГЕЛІЙ?

А чим же замінити у разі вичерпання нафту, газ та вугілля у глобальній перспективі? Фахівці називають атомну та термоядерну енергетику. Серед нових завдань — колонізація Місяця заради привабливої ідеї використання унікальних запасів ізотопу гелію-3 для одержання термоядерної енергії на Землі.

Останнім часом ця ідея дедалі частіше стає предметом наукових дискусій та сенсаційних повідомлень.

Чорнобильська аварія загальмувала розвиток атомної енергетики в нашій країні. Але світовий досвід перекоонує: проблеми безпечності АЕС можуть бути подолані. Будівництво таких станцій триває. Їхній внесок у загальне виробництво електроенергії у світі повільно, але невпинно зростає.

Однак і атомна енергетика не може цілком розв'язати енергетичної проблеми — запаси ізопоів, того ж таки урану чи торію, також обмежені. Та й забруднювати природу радіоактивними відходами небезпечно. За прогнозами фахівців, на зміну атомній енергетиці має прийти термоядерна, що ґрунтується на реакціях керованого термоядерного синтезу. Такі реакції відбуваються у глибинних надрах Сонця внаслідок злиття ядер водню і гелію. Виділяється величезна кількість енергії, яку ми одержуємо у вигляді світла й тепла. Нагадаємо, термоядерних реакцій нині відкрито безліч, але спільним для них є те, що кілька легких ядер (скажімо, водню і гелію) зливаються в одне — важке. Під час такого синтезу на одиницю маси виділяється значно більше енергії, ніж за ядерного розпаду, наприклад, того самого урану. Та помітної швидкості ці реакції досягають тільки за температури в десятки і сотні мільйонів градусів за Цельсієм. У цьому — одна з головних перешкод практичного застосування термоядерних реакцій в енергетиці. Найскромніші вимоги до температури висуває реакція поєднання ізопоів дейтерію з тритієм. Щоб активізувати цю реакцію, потрібно «всього» 100 млн градусів. Для інших реакцій температура ще вища. Тому всі сучасні проекти керованих термоядерних реакторів орієнтовані на синтез дейтерію з тритієм. Розрахунки свідчать: запасів дейтерію у складі важкої води рік, морів і океанів вистачить на мільйони років за найбільш бурхливого розвитку термоядерної енергетики на

Землі. Принагідно нагадаємо, що вперше в СРСР 1934 року український учений, фізик-хімік академік Олександр Ілліч Бродський (1895–1969) створив установку для одержання чистої важкої води, використовуючи звичайну водопровідну воду Дніпра та електроенергію Дніпрогесу.

Складніше з іншим компонентом палива — ізопоом водню тритієм. Це радіоактивний ізопо, який розпадається на електрон, гелій-3 і нейтрино з періодом напіврозпаду близько 12 років. Через таку коротку тривалість існування природна концентрація цього ізопоу на Землі незначна. Тож доведеться необхідний для роботи термоядерних реакторів тритій одержувати штучно, опромінюючи нейтронами ядра літію. Тому перспективи термоядерної енергетики, що базується на реакції дейтерію з тритієм, визначатимуться запасами літію. За оцінками, його легкодоступних ресурсів вистачить приблизно на 100 років. Однак, враховуючи те, що літію необхідний і для інших потреб (металургії, акумуляторних батарей, термостійкої кераміки тощо), то цей термін скорочується приблизно до 50–70 років.

Отже, розвиток термоядерної енергетики на основі реакції дейтерію з тритієм не розв'язує проблему обмеженості енергетичних ресурсів Землі, а лише знімає її гостроту на певний час.

Нині температуру, близьку до необхідних 100 млн градусів, одержують на установках типу ТОКАМАК («тороїдна камера з магнітними котушками»), винайдених ще за радянських часів для утримування високотемпературної плазми магнітними полями з метою генерування реакції керованого термоядерного синтезу. Поки що в цих дослідах замість суміші дейтерію з тритієм учені використовують лише дейтерій. Адже за нагрівання до десятків мільйонів градусів у чистому дейтерії також відбуваються термоядерні реакції. Щоправда, з набагато меншою інтенсивністю, ніж це було б у суміші з три-

тієм. То чому ж не беруть суміш? А тому, що технологія утворення нейтронів під час злиття ядер дейтерію і тритію потребує спеціального захисту приладів і персоналу від опромінення. Це надто ускладнює дослідження.

Більшість розглянутих проблем відпаде, якщо використовувати замість реакції дейтерію з тритієм термоядерну реакцію дейтерію з гелієм-3. Характерно, що в такому разі радіоактивні ізотопи не утворюються. Їх немає ні у вихідних компонентах, ні серед продуктів реакції. Вивільнювана енергія ділиться тільки серед утворених заряджених частинок: 3,6 Мев дістаються ядру гелію-4 і 14,7 Мев — протону. До того ж, зауважимо, що поведінкою заряджених частинок легко керувати за допомогою електричних і магнітних полів. Зокрема, можна прямо перетворити їхню енергію на електричну з високим коефіцієнтом корисної дії. То чому ж цю реакцію дотепер не розглядали? Існують дві причини. По-перше, взаємодія дейтерію з гелієм-3 відбувається значно складніше, ніж дейтерію з тритієм. Швидкість сполучення дейтерію з гелієм-3 досягає максимуму за температури 800 млн градусів, а для реакції дейтерію з тритієм потрібно «лише» 100 млн. По-друге, навіть за оптимальної температури дейтерій сполучається з гелієм-3 у 50 разів повільніше, ніж із тритієм. Відповідно, потрібно довше втримувати у керованому реакторі нагріту плазму.

Пригадаймо, що на початку термоядерних досліджень рубіж 100 млн градусів справедливо вважали основною перепоною на шляху до керованого термоядерного синтезу. Кожен новий мільйон загрожував зробити цей рубіж недосяжним. Інша річ — тепер. Зусиллями вчених різних країн створено фізику плазми, знайдено способи термоізоляції та утримання її у магнітному полі, опрацьовано методи нагрівання, які роблять 100 і навіть 800 млн градусів не такими вже недосяжними. Отже, перша причина, через яку в початкових проектах було відкинуто реакцію дей-

терію з гелієм-3, втратила принципову гостроту. Набагато серйознішою є інша проблема: звідки взяти гелій-3?

Хімічний елемент гелій — один із найпоширеніших у природі. Відповідно до загальноприйнятої нині моделі утворення Всесвіту — внаслідок Великого вибуху — первісний склад речовини містив 93,5% атомів водню і 6% атомів гелію. Космічні спостереження доводять: приблизно таке саме співвідношення збереглося дотепер у зірках і на більших газових планетах — Юпітері й Сатурні. Але на планетах на зразок нашої Землі це співвідношення істотно відрізняється від первісного. Адже маса Землі недостатньо велика, щоб утримувати легкі атоми водню і гелію. Водень зберігається на планеті в хімічних сполуках із важкими елементами. Гелій практично не вступає в хімічні реакції з іншими речовинами, тому швидко зникає у космічному просторі. У глибинах Землі гелій утворюється під час розпаду радіоактивних елементів. Тому він є у вулканічних газах і газових родовищах. Його добувають здебільшого для потреб криогенної техніки. Але дістається нам переважно ізотоп гелію-4. Відносний вміст ізотопу гелію-3 у газових родовищах значно нижчий, ніж у космічному просторі. В усьому світі його вдалося нагромадити лишень кілька десятків кілограмів. У розвіданих надрах міститься не більше 200–400 кг цього ізотопу. Для безпервної роботи протягом року термоядерного реактора потужністю мільйон кіловат потрібно мати близько 50 кг гелію-3. Отже, його земних запасів вистачить лише на дослідження й налагодження кількох перших керованих термоядерних реакторів. Для забезпечення роботи промислових електростанцій гелій-3 потрібно шукати поза нашою планетою.

Учені, аналізуючи місячний ґрунт (реголіт), доставлений на Землю радянськими автоматичними станціями та американськими експедиціями за програмою «Аполлон», виявили, що в зразках, узятих з місячних гір, міститься 7 г гелію-3 на тонну ґрунту, а з місячних

«морів» — до 36 г на тонну. Відносний вміст ізотопу гелію-3 майже такий, як у сонячному вітрі. Вдалося оцінити й загальні його запаси на Місяці — вийшло приблизно мільйон тонн. Порівняно зі скромними земними ресурсами цифра ця вражає. Якщо енергетику Землі побудувати на основі термоядерної реакції дейтерію з гелієм-3, то вона споживатиме близько 500 т гелію-3 за рік. Отож запасів місячного гелію вистачить більш як на тисячу років.

Попри цей оптимістичний висновок, спорудження заводу із видобутку гелію-3 на Місяці поки не планується. Адже спочатку потрібно, принаймні, продемонструвати успішну роботу першого термоядерного реактора хоча б на реакції дейтерію з тритієм. І все-таки не випадково майже в кожній доповіді, в якій обговорюється проект майбутнього термоядерного реактора, йдеться про можливість переходу на реакцію дейтерію з гелієм-3.

За словами президента США Дж. Буша, до 2020 року на Місяці буде збудовано базу, яка забезпечить «постійну людську присут-

ність». «Завдяки досвіду та знанням, отриманим на Місяці, ми будемо готові зробити наступні кроки у підкоренні Космосу: польоти людей на Марс і до інших світів», — стверджує Буш.

Промислове освоєння Місяця потрібне для виходу людства до запасів унікального енергоносія гелію-3, якого немає на Землі, вважає голова Російської ракетно-космічної корпорації «Енергія» М. Севастьянов. Видобуток гелію-3 на Місяці та вивезення його космічними кораблями, на думку академіка РАН Е. Галімова, можна буде розпочати за років 30–40. Зрозуміло, що ці повідомлення на іноземних сайтах розраховані на сенсацію. Та все-таки можливість створити колись, нехай навіть через кілька десятиліть, екологічно чисте і практично вічне джерело енергії — надто приваблива!

**Григорій КОВТУН,
член-кореспондент НАН України,
заступник директора Інституту
біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України
(Київ).**