

В. СЕМЕНЕНКО, Е. СОБОТОВИЧ

## **КОСМОЕКОЛОГІЯ — НАУКА ПРО РОЛЬ ПОЗАЗЕМНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ЗЕМНОГО ЖИТТЯ**

*Екологічні проблеми виникли на певному етапі розвитку людства, коли зростання народонаселення і забруднення навколишнього середовища, що його супроводжувало, зумовили необхідність захистити людину від результатів її ж діяльності, тобто від самої себе. Нині екологічні програми набули екстремального характеру і спрямовані на розв'язання конкретних проблем, спровокованих технологічними або природними катастрофами. Тому формуються нові наукові напрями, в рамках яких з'являються принципово нові методи розв'язання цих проблем. Одним з таких напрямів є космоекологія.*

**У** традиційному розумінні екологія є прикладною наукою, що активно застосовується у багатьох галузях знань. Досить перелічити такі напрями досліджень, як геоекологія, палеоекологія, екологія промислових систем, медична екологія і т.д. Водночас сучасний рівень знань дає змогу говорити про екологію як фундамент усіх наук, як про світогляд, що допомагає глибше зрозуміти світ у єдності постійної взаємодії різноманітних систем. Підхід до екології як до фундаментальної науки потребує вивчення загальних закономірностей зародження, еволюції і взаємозв'язку неорганічної, органічної і біологічної речовини за різноманітних фізико-хімічних умов. Саме перетворення екології з прикладної науки на фундаментальну дасть їй можливість передбачати, що станеться з людством у майбутньому у процесі зростання його кількості та активної взаємодії з навколишнім середовищем, і допомогти йому уникнути при цьому небажаних наслідків цієї взаємодії.

Тлумачення суті терміна «навколишнє середовище» є ключовим в екологічному світогляді. Ним не можна позначати лише земну оселю людини, оскільки це різко звужує галузь екологічних досліджень і їхню результативність. У сучасному екологічному розумінні навколишнє середовище — це та сфера, яка справляє речовинний або енергетичний вплив на людину і доступна для дослідження. Якщо не враховувати дані про знахідки міжзоряних зерен мінералів у метеоритах, то до навколишнього середовища необхідно віднести як ближній космос, тобто простір у межах Сонячної системи, так і земні надра. Такий підхід й зумовлює формування нової галузі знань — космоекології, тобто науки про позаземне середовище, яке впливає на екологічну ситуацію на нашій планеті і допомагає задовольнити матеріальні, енергетичні та інтелектуальні потреби людства. Поява цієї науки пов'язана з необхідністю цілеспрямовано формувати середовище проживання людини в умовах, що швидко змінюються.

Дослідження в галузі космоекології тривають уже кілька десятиліть і зумовлені практичними потребами землян. Досить сказати, що космічні апарати використовуються у картографуванні, теле- і радіокомунікаціях, для прогнозування погоди, а також для оцінки екологічного стану Землі.

У книзі «Хімічна будова біосфери Землі та її оточення» В. І. Вернадський обґрунтував необхідність вивчення двох проблем: по-перше, походження космічної речовини і зв'язків

Землі з космосом; по-друге, впливу людського розуму на розвиток нашої планети і виникнення ноосфери. Ми вважаємо, що ці проблеми безпосередньо пов'язані між собою, а точкою їхнього перетину є космоекологія.

Тісний зв'язок Землі з космосом, починаючи від формування планети і донині, підтверджується низкою фактичних даних. Наша планета постійно перебуває під впливом космічних факторів. Йдеться про падіння метеоритів вагою понад десятки тонн, які можуть стимулювати магматичну діяльність, викликати утворення корисних копалин, у тому числі і алмазів, змінювати морфологічні особливості, а також геохімічний, біологічний і кліматичний фон планети. Постійне осідання космічного пилу і спорадичне падіння метеоритів спричинюють зростання маси земної кори, стимулюють атмосферні опади, а також впливають на екологічну обстановку, беручи участь у фізико-хімічних процесах, що визначають життєдіяльність біоти. Планета постійно зазнає космічного опромінення, що зумовлює радіаційний фон на її поверхні і синтез радіонуклідів — тритію, радіовуглецю тощо. Гравітаційний вплив Місяця, Сонця та інших космічних тіл спричинює припливи і відпливи у водяному середовищі і літосфері, а також циклічність процесів у біосфері. Періодична сонячна активність — причина магнітних бур на Землі.

Наявність усіх цих факторів дає підстави констатувати, що космоекологічні проблеми мають розглядатися у трьох аспектах: речовинному, енергетичному та ідеологічному. З ідеологічних позицій освоєння близького космосу необхідне для зняття біосферних обмежень зростання народонаселення.

**Теоретичний фундамент космоекології** — пізнання планетних закономірностей формування Землі, змін її космохімічного фону у геологічний період і в результаті людської діяльності. Останнім часом дедалі очевиднішими стають як обмеженість ресурсів нашої планети, так і згубність впливу діяльності людини на екологічну ситуацію на Землі. Щодо цього найперспективнішою є переорієнтація інтересів на вивчення близького космосу як носія мінеральних та енергетичних ресурсів, здатного задовольнити потреби людства без безпосереднього руйнування навколишнього середовища. Досить нагадати, що у тонні залізного метеорита міститься від 50 до 250 кг нікелю, запаси якого у земній корі дуже обмежені, до 30 кг кобальту і близько 50 г платиноїдів.

Космічні програми, розраховані на найближчі десятиліття, охоплюють широке коло наукових, технічних, економічних, політичних і юридичних проблем. Їхній аналіз свідчить, що освоєння космічного простору стимулювало створення мікроінструментів, які дають змогу працювати з мінімальною кількістю речовини, а також розвиток нових технологій у будівництві космічних баз, пошуку, видобутку, переробці корисних копалин і одержанні нових матеріалів із заданими властивостями. У галузі космічних досліджень настав новий етап — тут почали застосовуватися невеличкі і відносно дешеві космічні кораблі та прилади. Так, передбачається, що мікросупутники, які будуть відправлені на Марс, важитимуть до 200 кг, а марсіанські прилади — до 5 кг.

Існують проекти, реалізація яких дасть можливість одержувати фундаментальні знання і використовувати матеріальні та енергетичні запаси космосу в майбутньому. Ось деякі з них.

**Астрономічні.** Для освоєння Марса передбачається використати Місяць, поверхня якого найперспективніша для розміщення на ній астрономічних обсерваторій, обладнаних ультрафіолетовими, оптичними та інфрачервоними телескопами. Місячні обсерваторії дадуть змогу одержувати високоякісні астрономічні дані у широкому діапазоні електромагнітного спектра.

**Геофізичні і метеорологічні.** На геонаукових станціях, які передбачається встановити на Марсі у 2005 р., реалізовуватимуться геофізичні, геодезичні, метеорологічні і картографічні програми. Планується провести іоносферні вимірювання, геологічні дослідження, здійснити пошук приповерхневої ґрунтової води, а також вивчити пограничний шар атмосфери та її глобальну циркуляцію. Програма «CLIMARS» передбачає повне моделювання атмосферної хімії, метеорології і клімату Марса.

**Геологічні.** Основні геологічні проекти пов'язані з пошуком і розвідкою корисних копалин на космічних тілах. У місячній корі виявлені породи, характерні для земних розшарованих комплексів, що містять поклади хроміту. Одне із завдань — пошук і розвідка таких хромітових родовищ. Вони могли утворитися внаслідок магматизму, спричиненого падінням метеорита (типу Седбері).

Місячна поверхня вкрита реголітом. Передбачається, що ільменіт і шпінель, які містяться у реголіті, є джерелом кисню, а разом із захопленим із сонячного вітру воднем вони можуть забезпечити одержання води. Інший компонент сонячного вітру — гелій ( $^3\text{He}$ ) розглядається як потенційне ядерне паливо. В аглютинатах є самородне залізо, у троїліті — сірка, а на часточках ґрунту накопичуються леткі хлор, натрій, цинк і сірка. Встановлено, що верхній шар реголіту потужністю 2 м містить близько  $8 \cdot 10^9$  т водню,  $1,5 \cdot 10^{10}$  т вуглецю і  $8 \cdot 10^9$  т азоту. Перетворення такої кількості водню на воду може утворити озеро завдовжки 70 км, завширшки 10 км і завглибшки 100 м. Найважливіші складові реголіту — ільменіт, аглютинати, вулканічне скло і деякі мінерали.

З реголіту і гірських порід Місяця можна одержати такі будівельні матеріали, як цемент, бетон, кераміка і конструкції із скла. Ці матеріали спроможні забезпечити тепловий і радіаційний захист, міцність конструкцій та їхню інертність.

У дослідженні Марса пріоритетними є пошуки глинистих сланців, кременистих, залізистих кварцитів, кварцових пісків, андезитів, а також органічних речовин або порід з органічними рештками.

В результаті недавнього польоту на Марс космічного апарата «Pathfinder» одержано нову інформацію про склад марсіанських порід. Передбачається, що високофракціонована речовина, багата на K і  $\text{SiO}_2$ , утворилася в південному високогір'ї, а мафічна, багата на Mg, — у північній півкулі, вкритій вулканами. Встановлено такі характеристики марсіанського ґрунту: повна відсутність органічної речовини, карбонатів, глин і окислів заліза у вивітрених ґрунтах і пилові; поширеність нанофаз силікатних і залізооксидних мінералів; високі концентрації евапоритів (C- і S-вмісних солей); наявність магнітних мінералів. У результаті досліджень Марса передбачається одержати карти поширеності елементів, що дасть змогу досліджувати склад кори і мантії, процеси вивітрювання та вулканізм, і визначати джерела легких компонентів.

Розроблено метод видобутку чорних і коштовних металів із залізних астероїдів, який економічно окупує себе. Витративши 23—57 млрд. дол. на розробку астероїда масою  $5 \cdot 10^9$  т, можна одержати прибуток 100—200 млрд. дол. Передбачається, що деякі астероїди — це фактично золота руда. Найперспективніші для одержання коштовних металів (Au, Pt, Ir, Os, Pd, Rh, Ru) два типи метеоритів: LL-хондрити з 1,2—5,3 % Fe-Ni, в якому міститься  $(50—220) \cdot 10^{-6}$  г/г коштовних металів; залізні метеорити, що містять  $p \cdot 100 \cdot 10^{-6}$  г/г коштовних металів. Видобуток 400 000 т коштовних металів може забезпечити одержання продукції вартістю 5,1 трил. дол.

**Біологічні.** Пошук слідів примітивного життя на космічних тілах — найважливіше завдання у справі освоєння космосу. Найперспективніша планета щодо цього — Марс. У сучасній літературі широко обговорюються повідомлення про виявлення у метеориті ALH-84001 і деяких вуглистих хондритах мінералогічних і геохімічних ознак, які свідчать про можливість існування на Марсі на якомусь етапі його розвитку елементарних форм життя.

Для добіотної стадії еволюції планет необхідні хімічна база й умови, що сприяють синтезу складних макромолекул з простих мономерів. Деякі вчені наводять хімічне обґрунтування ймовірності існування в минулому на Марсі біосфери, аналогічної земній. Принаймні тут є найважливіші біогенні елементи. Їхній набір і кількість відповідають вимогам, що забезпечують життєдіяльність мікроорганізмів на планеті. Встановлено, що умови на ранній стадії розвитку Марса були сприятливими для існування мікроорганізмів, тривалість життя яких залежала від періоду існування тут води. Згідно з деякими гіпотезами, вода могла вкривати планету шаром завтовшки до 1 км. У несприятливій для виникнення життя радіаційній обстановці та за відсутності атмосфери воно могло зародитися під поверхнею планети. При цьому деякі вчені вважають, що карбонати, лід і евапорити можуть утримувати біологічні клітини, що утворюються за швидкого поховання організмів у водонепроникній мінералогічній фазі (мікробіологічна фосилізація). Експериментальні дані та аналіз спостережень дали підстави запропонувати такі стадії зародження життя на Марсі: синтез органічних молекул у протопланетній туманності; синтез моно- і полімерів у марсіанській атмосфері та розчинення їх у воді; доставка органічної речовини метеоритами і кометами; утворення окремих фаз полімолекулярних систем, спроможних взаємодіяти з навколишнім середовищем, рости і розмножуватися; формування первинних клітинних структур<sup>1</sup>.

Важливою є проблема **енергозабезпечення космічних баз**. Відомо, що у XXI столітті глобальні паливні ресурси Землі не зможуть забезпечити навіть половину необхідної людству енергії. Найбезпечнішим і екологічно чистим джерелом її одержання є <sup>3</sup>He. На жаль, його дуже мало на Землі, проте багато у місячному реголіті, де він утворюється під впливом сонячного вітру. За деякими оцінками, за температури 700°C з реголіту виділяються H, He і 20—30 % N і C. Отже, одержавши тунну <sup>3</sup>He внаслідок нагрівання реголіту до 700°C додатково матимемо 6300 т H, 700 т N, 1600 т C. Існують дані, що в районі місячних морів вміст <sup>3</sup>He у верхньому шарі реголіту завтовшки три метри достатній для енергозабезпечення Землі протягом тисячі років<sup>2</sup>. А для забезпечення 10<sup>4</sup> польотів космічних кораблів «Шаттл» необхідно розробити усього 0,002 % запасів реголіту<sup>3</sup>.

Сьогодні вже створюються **конкретні космічні технології**. У зв'язку з передбачуваним розвитком гірничодобувної промисловості на Місяці ставиться завдання створити технологію екстракції мінералів і ряду необхідних елементів. Наприклад, вивчається можливість використання місячного ільменіту для одержання рідкого кисню на природному супутнику нашої планети. У зв'язку з цим необхідно розробити технологію концентрації ільменіту з високотитаністих базальтів і морських ґрунтів. Можливе вакуумне електростатичне концентрування ільменіту з місячного ґрунту для одержання O<sub>2</sub> і Fe. Пропонується нестандартний спосіб збагачення руд через карбоніл нікелю, при цьому паралельно буде отримано до 50 г/т платиноїдів<sup>4</sup>.

Існує ряд проектів видобутку кисню з місцевих матеріалів. Одна з розробок — сонячна піч для одержання кисню, металів і кераміки із заданими властивостями з місячного реголіту. Температура розігріву в такій печі сягатиме 3000°C. Кисень можна вилучати з ільменіту і силікатів. Проте завдяки магнітним властивостям ільменіту, які забезпечують його

сепарацію, технологія одержання  $O_2$  саме з нього є перспективнішою. Зроблено висновок про пряму залежність виходу кисню від вмісту окису заліза у мінералах. Показано, що ефективність вилучення  $O_2$  знижується у такій послідовності: ільменіт, аглютинатове і пірокластичне скло, олівін, піроксен<sup>5</sup>. В одному з проєктів піролітичний метод одержання кисню на Місяці включає такі стадії, як випаровування, конденсацію і вилучення  $O_2$ . Сонячні або електричні установки використовуватимуться як нагрівачі. Передбачається вихід 0,02—0,2 г  $O_2$  на 1 г реголіту<sup>6</sup>.

Не виключено виробництво місячного кремнію, придатного для електроніки шляхом диспропорціювання біфториду кремнію<sup>7</sup>. Девід Крісвелл з Х'юстона пропонує організувати технічний центр, який має забезпечувати весь світ енергією. На Місяці будуть встановлені панелі з фотоелектричних елементів, здатні вловлювати сонячні промені, перетворювати їх на електричну енергію і за допомогою мікрохвильових передавачів передавати її на Землю.

Розв'язується також **проблема космічного життєзабезпечення**. Місячні бази потребуватимуть чимало енергії потужністю від сотень кіловатів до сотень мегаватів. Аналізуються різноманітні системи ядерних реакторів для використання на Місяці<sup>8</sup>. Для тривалого перебування на базі необхідно налагодити вирощування сільськогосподарської продукції на реголіті. Ця технологія потребує введення С, N, K і P у ґрунт. Планується штучне освітлення, застосування високоврожайних сортів та інтенсивних технологій.

Одне з найважливіших завдань у вивченні космосу — захист космічних зразків від земних забруднень, а нашої планети — від потрапляння позаземних органічних молекул і космічного сміття. Герметизація марсіанських зразків має розпочатися на поверхні Марса і тривати під час транзиту, а також протягом гарантійного періоду на Землі. У 1984 р. розроблена таблиця шести категорій захисту. Наприклад, четверта категорія включає біозахист, стерилізацію і моніторинг біопроб. Міжнародний комітет з космічних досліджень (COSPAR) розробив рекомендації щодо планетного захисту для всіх космічних програм. Особлива увага приділяється проблемам стерилізації дослідницьких інструментів і пробовідбірників. Необхідно звести до мінімуму можливість технічних катастроф на планетах. У програму включені різноманітні рівні очищення і методи стерилізації залежно від наукових цілей і застосовуваних інструментів<sup>9</sup>.

Цей короткий перелік перспективних космічних програм, розроблених у провідних лабораторіях світу, свідчить про те, що сфера інтересів людини у ближньому космосі весь час розширюється.

Мета цих програм — продовження існування людства і збереження середовища його проживання на Землі. Вони — складова частина космоекології, яка розвивається відповідно до прагматичних та інтелектуальних запитів людства.

*Автори щиро вдячні А. Л. Гірич, Ю. В. Бондар, Т. Н. Горovenko, О. І. Алексєєвій і В. Л. Гірич за допомогу у збиранні матеріалу й підготовці рукопису до публікації.*

---

© СЕМЕНЕНКО Віра Пантелеївна. Доктор геолого-мінералогічних наук. Завідувач відділу космоекології та космічної мінералогії Інституту геохімії навколишнього середовища (ІГНС) НАН України (Київ).

СОБОТОВИЧ Емлен Володимирович. Академік НАН України. Директор ІГНС НАН України. 2001.

- 
- <sup>1</sup> [\[до текста\]](#) Top.Meet. COSPAR Interdisc. Sci. Commiss. F (Meet. F3) COSPAR 29<sup>th</sup> Plen. Meet. «Life Sci. and Spase Res. XXV. Pt. 4. Planet. Biol. and Orig. Life»: Washington, 28.08 — 5.09. 92 // Adv. Space Res.— 1995. — 15, № 3. — P. 163—170, 171—176, 172—184.
- <sup>2</sup> [\[до текста\]](#) Taylor L. A. Helium-3 on the Moon for energy generation: abundances and recovery // 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Explor. and Util. Moon and 28<sup>th</sup> Vernadsky — Brown Microsymp. Comp. Planetol., Moscow, Oct. 11—14, 1998: Abstr. Pap. — Moscow, 1998. — P. 43.
- <sup>3</sup> [\[до текста\]](#) Haskin L. A. The Moon as practical source of hidrogen and other volatile elements // Lunar and Planet. Sci. 20, Abstr. Pap. 20<sup>th</sup> Lunar and Planet. Sci. Conf., March 17—21, 1989. — Houston Tex., — 1989. — P. 387—388.
- <sup>4</sup> [\[до текста\]](#) Lunar Bases and Space Active. 21<sup>st</sup> Century. Symp., Washington D.C., Oct. 29—31, 1984. — Houston Tex., — 1984. — P. 62, 24, 126, 26
- <sup>5</sup> [\[до текста\]](#) Allen C. C., Morris R. V., McCay D. S. // J. Geophys. Res. E. — 1996. — **101**, N11. — P.26085—26095.
- <sup>6</sup> [\[до текста\]](#) Senior C. Lunar oxygen production by pyrolysis// AIAA Pap. — 1992. — N1663.— P.1—11.
- <sup>7</sup> [\[до текста\]](#) Agosto V. N. Lunar sourced inorganic composites for space construction // Lunar and Planet. Sci. 17, Abstr. Pap. 17<sup>th</sup> Lunar and Planet. Sci. Conf., 1986. — Houston Tex. — 1986. — P.1—2.
- <sup>8</sup> [\[до текста\]](#) Lunar and Planet. Sci. Conf. 14. Spec. Sess. Abstr. Return Moon, March 16—20, 1983. — Houston Tex., 1983. — P. 1—3.
- <sup>9</sup> [\[до текста\]](#) International Symposium «Mars exploration program & sample return missions». — Paris, 2—5 February, 1999.