

# ТЕРАФОРМУВАННЯ

або як розширити нашу прописку в Сонячній системі?

## ЩО ТАКЕ ТЕРАФОРМУВАННЯ?

Нашою колискою і водночас космічним домом є планета Земля. Вона дає нам і всьому живому все необхідне для існування. Земля й досі залишається єдиним прикладом життя на неозорих просторах Всесвіту. Але ресурси нашого космічного дому не безкінечні. Не є абсолютно незмінними й космічні фактори, що впливають на біосферу Землі. Тому рано чи пізно нам доведеться зайнятися пошуками космічних тіл, придатних для життя, із ще незайманими природ-



Мал. 1. Штучне місто. Ілюстрація

ними ресурсами, що можуть прогодувати людей. Звісно, починати пошуки необхідно з найближчих околиць Землі, у Сонячній системі.

Але чи достатньо гостинні планети, їх супутники, астероїди та комети для того, щоб надати нам постійне проживання на своїх просторах? Навіть поверховий аналіз цього питання дає нам радше негативну відповідь. То що ж робити? Чекати виснаження природних та кліматичних ресурсів на нашій рідній планеті і припинити своє існування? Чи спробувати змінити умови в деяких перспективних регіонах Сонячної системи на придатні для виживання людської цивілізації? Звісно, останній варіант є більш оптимістичним. Саме він і називається тераформуванням.

**Тераформування** – зміна кліматичних умов планети, супутника чи іншого космічного тіла для приведення атмосфери, температури та екологічних умов до стану, придатного для проживання людини, земних рослин і тварин. Термін „тераформування” запропонував американський письменник-фантаст Джек Вільямсон у 1942 році. Він утворений з двох слів латинського походження: *terra* – земля + *forma* – вигляд. Дослівно: „земний вигляд”.



## ЧОМУ НЕМИНУЧЕ РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ПРОПИСКИ ЛЮДСТВА?

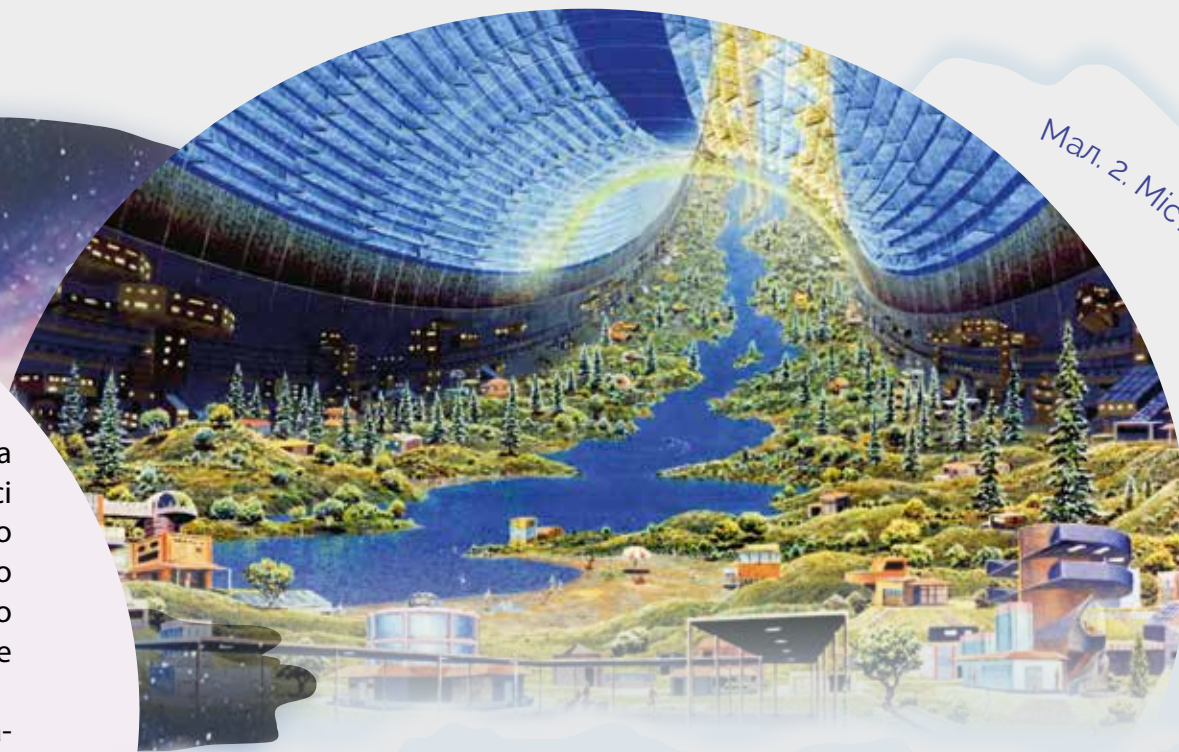
Космічним чинником погіршення умов проживання людей на Землі є неминуче збільшення розмірів і активності Сонця в процесі його еволюції (щоправда, через мільярди років). Це надзвичайно погіршить умови життя на Землі, аж до повної неможливості його існування. Тому людство в далекій перспективі буде прагнути до переміщення у більш комфортну зону Сонячної системи, поближче до планет-газових гігантів.

Питання про здійснення таких грандіозних проєктів як тераформування впирається в достатній розвиток технологій і виділення необхідних ресурсів. Такі проєкти занадто грандіозні для однієї навіть супердержави і є викликами для всього людства. Нема сумніву, що час, необхідний для реалізації проєктів з тераформування Сонячної системи, буде вимірюватись щонайменше тисячоліттями. Але перспективні технології, направлені на тераформування тіл Сонячної системи, принципи та методи реалізації проєктів по тераформуванню, обґрунтування критеріїв пошуку місць, придатних для експансії людства, необхідно розробляти вже зараз.

## ПАРАТЕРАФОРМУВАННЯ

Набагато доступнішими і менш затратними є проєкти по паратераформуванню. **Паратераформування** – проміжний крок між планетною станцією і глобальним тераформуванням планети, наприклад, побудова величезної штучної біосфери „штучне місто” (мал. 1), „місто-сад” (мал. 2).

Створення таких штучних біосфер (мал. 3) має сенс на поверхні небесних тіл, мала гравітація яких не утримує власну атмосферу. Проблема нічного переохолодження штучної атмосфери можна вирішити шляхом нанесення на внутрішню поверхню біосфери-теплиці мікроскопічно тонкого шару речовини, що пропускає видиме світло і відбиває інфрачервоне випромінювання, створюючи



Мал. 2. Місто-сад. Ілюстрація

парниковий ефект. Купол штучної біосфери може бути зроблений з м'якого матеріалу і підтримувати свою форму завдяки внутрішньому тиску.

Основною проблемою для створення біосфер-теплиць є питання цілісності таких споруд. Зіткнення куполів таких колоній навіть з мікрометеоритом може призвести до катастрофічних наслідків. Загроза терористичних актів, спрямованих на втрату цілісності каркасу штучних біосфер, теж смертельна небезпека для життєдіяльності мешканців біосфери.



Мал. 3. Штучна біосфера. Ілюстрація



Мал. 4. Паратераформування. Ілюстрація



Перевагою паратераформування є можливість отримувати комфортабельні умови для життя практично відразу після прибуття на планету. Адже технологічно не важко зробити захисний купол з легкого матеріалу так, щоб була можливість привезти його на одному або на декількох транспортних кораблях (мал. 4).

Однак за колонізації небесних тіл, атмосфера яких має більшу густину, ніж атмосфера Землі (Венера, Титан), цей варіант нездійсненний. У таких умовах можливо створити поселення-аеростат купольного типу (мал. 5). За висоти даху купола в кілька кілометрів всередині такої біосфери клімат буде подібний земному і може бути керованим (мал. 6).

Наразі вже існує декілька пілотних проєктів по паратероформуванню, реалізованих на практиці. Прикладом найбільш грандіозного на сьогодні є проєкт „Едем” (Велика Британія). Це найбільший у світі оранжерейний комплекс (мал. 7), площею 1559 га, заввишки 55 м, завширшки 100 м і завдовжки 240 м. Простору достатньо, щоби розмістити під його куполом Лондонський Тауер!

## КРИТЕРІЇ ПРИДАТНОСТІ НЕБЕСНИХ ТІЛ ДО ТЕРАФОРМУВАННЯ

Не кожен об’єкт Сонячної системи придатний до тераформування: все залежить від фізичних умов, в яких ці об’єкти перебувають. Розглянемо коротко деякі з них.



Мал. 5. Поселення-аеростат. Ілюстрація



Мал. 6. Повітряні бази на Титані. Ілюстрація

**1. Гравітація.** Гравітація має бути достатньою для утримання атмосфери земного типу. Небесні тіла, що мають занадто малі розміри і, отже, масу, абсолютно непридатні для тераформування, тому що штучно створена атмосфера буде швидко розсіюватись у космічний простір. Крім того, сила тяжіння повинна бути такою, до якої в процесі еволюції пристосувались земні організми. І навпаки, занадто велика гравітація також може зробити планету непридатною для тераформування, через неможливість комфортного існування на ній людей та інших живих організмів.

**2. Величина потоку сонячної енергії.** Для успішного здійснення проєкту з тераформування необхідний достатній для життєдіяльності людей, тварин та рослин потік сонячної енергії. Без цього неможливий фотосинтез, прогрів поверхні і атмосфери планети до температур, достатніх для перебування та кругообігу води в рідкому стані, а також для відтворення та використання енергії за допомогою фото- або термоперетворювачів.





**3. Наявність води.** У Сонячній системі не так багато небесних тіл, які мають достатні для нас об'єми води: Марс, супутники Юпітера (Європа, Ганімед, Каллісто) і Сатурна (Енцелад). Якщо на небесному тілі недостатньо води для підтримання життєдіяльності, необхідно вирішити проблему її транспортування або видобування на поверхні планети (супутнику) за допомогою хімічних технологій.

**4. Радіаційний фон.** Підвищений радіоактивний фон може спричинити розвиток променевої хвороби, появу злоякісних пухлин і поступове вимирання всіх компонентів штучної біосфери.

**5. Геоморфологія поверхні.** Очевидно, що на планетах типу „газовий гігант” створити тверду поверхню практично неможливо. Те ж саме стосується тіл Сонячної системи з аміачними та метановими льодовиками (Плутон, Титан) або тіл з високою вулканічною активністю (Венера, Іо). Тому тераформування таких небесних тіл або неможливе, або вимагає надвисоких технологічних рішень.

**6. Наявність магнітного поля.** Магнітне поле Землі досить ефективно захищає поверхню нашої планети від бомбардування зарядженими частками. Відсутність „магнітного щита” призведе до постійного бомбардування всього живого космічними променями і, врешті-решт, унеможливить колонізацію космічного тіла.

**7. Астероїдна небезпека.** Близьке розташування небесного тіла до поясів астероїдів (головний пояс, Пояс Койпера) спричинить небезпеку частих зіткнень з астероїдами, які можуть завдати істотної шкоди поверхні планети. У такому випадку необхідно подбати про створення системи захисту від астероїдів, що потребує дуже високого технологічного рівня цивілізації та величезних джерел енергії.



Мал. 7. Проєкт „Едем”

## ПЕРСПЕКТИВИ ТЕРАФОРМУВАННЯ ПЛАНЕТ І СУПУТНИКІВ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

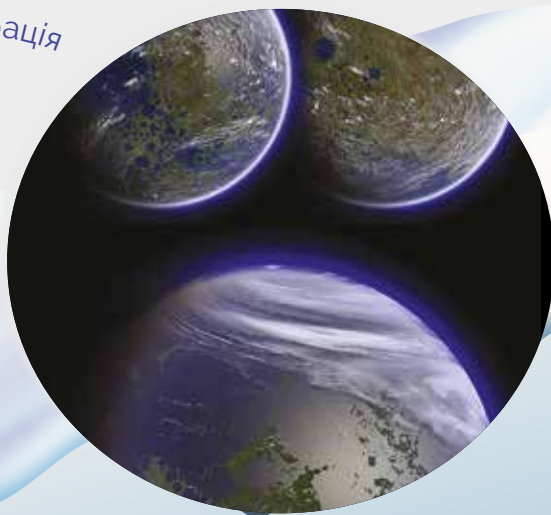
### МІСЯЦЬ

**Місяць** – наш природний супутник – є найближчим до нас космічним тілом. Тому й не дивно, що проєкти по тераформуванню Місяця є найбільш перспективними і найбільш розробленими.

13 листопада 2009 року повідомлено, що космічний апарат LCROSS виявив велику кількість водяного льоду на Місяці. У березні 2010 року радар Mini-SAR, розміщений на борту космічного апарату Чандраян-1, виявив запаси водяного льоду на північному полюсі Місяця в кратерах, дно яких ніколи не освітлюється Сонцем. За попередніми розрахунками, запаси водяного льоду оцінюють у 600 млн тонн лише в околицях Північного полюса. Аналогічні запаси водяного льоду містять і прилеглі до Південного полюса регіони Місяця. Як і кожен проєкт, проєкти по тераформуванню Місяця (мал. 8) мають свої переваги і недоліки.

**Переваги.** Розміщення колонії на Місяці могло б дати практично невичерпне джерело матеріалу для будівництва транзитних кос-

Мал. 8. Місяць. Тераформування. Ілюстрація





мічних станцій для колонізації Сонячної системи. Кількість енергії, що потрібна для запуску об'єктів з Місяця в космос, значно менша, ніж з поверхні Землі, адже земна гравітація приблизно у 6 разів переважає над гравітацією на поверхні Місяця.

**Недоліки.** Прописка людини на Місяці буде вимагати вирішення низки проблем, пов'язаних із створенням безпечної життєдіяльності. Магнітне поле Землі затримує практично всі космічні промені, які надзвичайно небезпечні для всього живого. В атмосфері Землі згорає величезна кількість мікрометеоритів, що постійно бомбардують околиці нашої планети на швидкостях від 15 до 75 км/с. На Місяці відсутні і атмосфера, і магнітосфера. Тому без розв'язання радіаційної і метеоритної проблем неможливе створення умов для нормальної колонізації Місяця.

Окрема проблема – місячний пил (реголіт). Він складається з гострих заряджених мікрочастинок. Внаслідок цього реголіт має помітний абразивний ефект і, потрапивши в легені, стає смертельною загрозою для здоров'я людини.

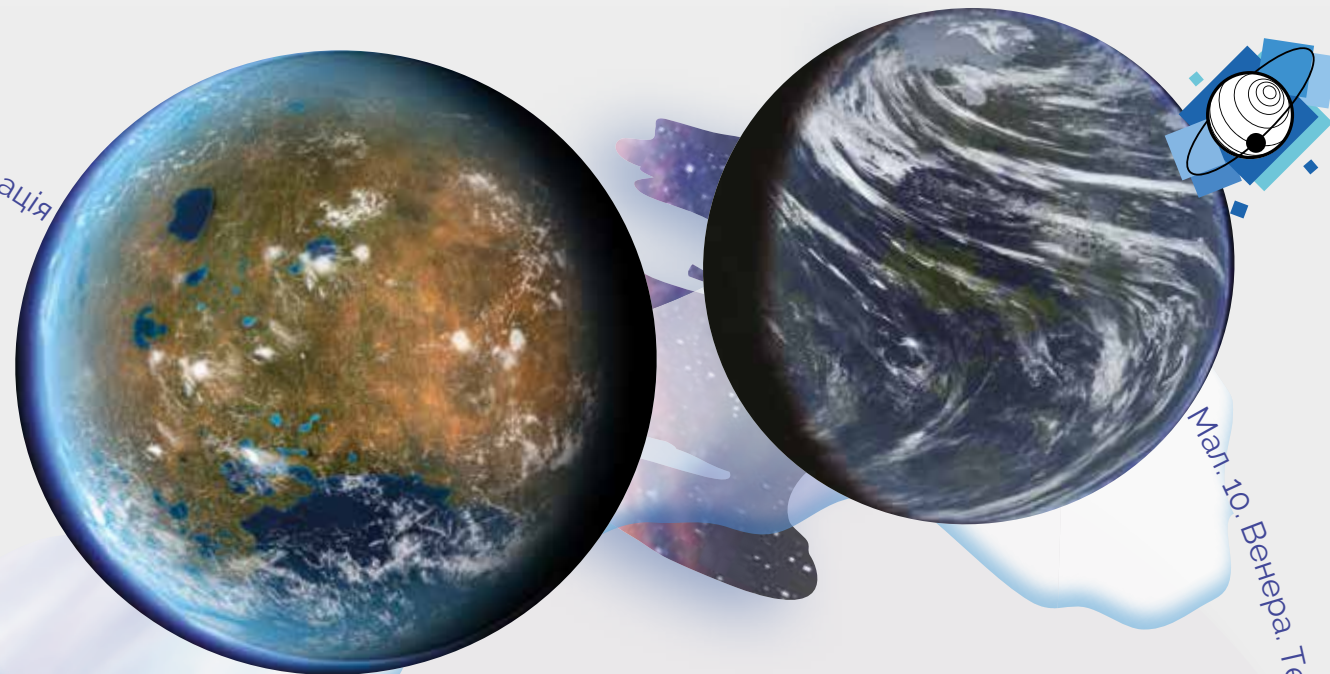
## МЕРКУРІЙ

**Меркурій** – один з кандидатів для колонізації в межах Сонячної системи. Не зважаючи на близькість планети до Сонця, науковці теоретично передбачили наявність крижаних шапок на полюсах Меркурія. Крім того, біля полюсів коливання температур під час зміни дня й ночі будуть не так відчутні, як у будь-якому іншому місці на поверхні Меркурія (внаслідок ковзного падіння променів Сонця на поверхню планети).

Меркурій – найменша за розмірами планета Сонячної системи. Але не за масою! У Меркурія велике залізо-нікелеве ядро, тому незважаючи на малі розміри, планета здатна утримати щільну атмосферу, необхідну для її тераформування (мал. 9).

Найбільш серйозні проблеми, пов'язані з тераформуванням Меркурія: надзвичайно великий потік сонячної радіації і незвично велика тривалість дня (176 земних діб!).

Крім того, Меркурій – одна з найбільш важкодоступних планет. На політ до Меркурія необхідно затратити майже таку ж енергію, як до Плутона. Тому тераформування Меркурія – значно важче завдання, ніж тераформування Місяця, Марса або Венери.



## ВЕНЕРА

**Венера** – найближча до нас планета Сонячної системи. За своїми фізичними характеристиками вона дуже схожа на Землю. Але тераформування Венери пов'язане з надзвичайно складними проблемами – на планеті практично немає води, дуже спекотно (467 °C), високий атмосферний тиск (приблизно у 90 разів більший за земний), атмосфера Венери складається на 97 % з CO<sub>2</sub>, у планети відсутнє магнітне поле. Крім того, Венера обертається у зворотний бік порівняно із Землею й іншими планетами Сонячної системи. Через таку незвичайну комбінацію напрямків і періодів обертання зміна дня й ночі на Венері відбувається за **117 земних діб!**

Проблему надлишкового потоку сонячної енергії на поверхні Венери можна розв'язати, застосувавши спеціальні екрани-парасольки, виготовлені з матеріалів з великим коефіцієнтом відбивання. Такі екрани зможуть різко зменшити потік сонячної енергії, що досягає Венери, і як наслідок – знизити температуру на планеті до прийняттого рівня. Екрани також можна використовувати як велетенські фотоелементи для геліостанцій.

Під час тераформування Венери доведеться розв'язати проблему питної води, якої взагалі нема на поверхні планети.

В ідеалі, на тераформованій Венері (мал. 10) середня температура буде приблизно +26 °C.



## МАРС

**М**арс – найбільш перспективне для тераформування тіло Сонячної системи. Умови на ньому багато в чому схожі на земні. На Марсі є вода. Теоретично, на марсіанському ґрунті можливо вирощувати рослини. Але на поверхні планети дуже значні добові та річні коливання температури, надзвичайно слабе магнітне поле та низький тиск. Ці чинники стають суттєвими перешкодами на шляху до успішної колонізації планети.

Зараз проводять дослідження, щоб визначити потенційну можливість тераформування Марса в недалекому майбутньому. Якщо вдасться підвищити середню температуру на поверхні Марса хоча б на 30 °C та ущільнити його атмосферу, життя на цій планеті стане можливим. Для досягнення цієї мети, за підрахунками вчених, знадобиться приблизно сто років. За цей час на Марсі має з'явитися атмосфера, близька до земної за своїми фізико-хімічними параметрами, та достатні запаси води у рідкому стані.

На мал. 11 показано основні етапи тераформування Марсу.

## СУПУТНИКИ ЮПІТЕРА

**Н**а сьогодні загальноприйнята думка, що колонізація Юпітера і Сатурна, на відміну від колонізації їх супутників, неможлива. Хоча є науковці, які вважають колонізацію газових гігантів в принципі можливою, але відносять терміни її реалізації у далеке майбутнє.

Газові гіганти мають шар атмосфери, в якому є водяні хмари, температура близько –20 °C, а тиск 1–5 атмосфер. Саме в цьому шарі, на думку деяких вчених, імовірно створення поселень-аеростатів, міст-дирижаблів або повітряних баз.

Якими ж є перспективи тераформувань супутників Юпітера?

Основна складність у колонізації **Європи** полягає в наявності сильного радіаційного поля. Людина без скафандра на поверхні Європи отримала би смертельну дозу радіації менш ніж за 10 хвилин.

Як припускають, перспективним фактором для колонізації Європи є наявність під багатокілометровою льодовою поверхнею океану прісної води. Життя в ньому може бути більш захищене від згубної дії радіації Юпітера.

**Ганімед** – найбільший супутник у Сонячній системі та єдиний супутник Юпітера, що має магнітосферу. Крім того, Ганімед багатий на

Мал. 11. Марс. Тераформування. Ілюстрація

корисні копалини і має значну гравітацію на поверхні. Усе це робить його перспективним космічним об'єктом для тераформування (мал. 12).

За оцінками NASA, **Каллісто** може стати першим колонізованим супутником Юпітера. Каллісто геологічно дуже стабільний і розташований поза зоною дії радіаційного поясу Юпітера. Поверхня супутника багата на корисні копалини. Тому він може стати центром колонізації околиць Юпітера, а також Європи і Ганімеда.

Рано чи пізно, людина обов'язково покине свій рідний дім, Землю, і почне освоювати неосяжні простори Сонячної системи, а потім і найближчих зір. Яким буде цей шлях? Сьогодні ми не знаємо відповіді на це питання. Але віримо: цей шлях буде феєричним!

Мал. 12. Ганімед. Тераформування. Ілюстрація