



О.А. Піоваров

КОСМІЧНА ЕКОЛОГІЯ

Дніпро
2021

Міністерство освіти і науки України
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

О.А. Півоваров

КОСМІЧНА ЕКОЛОГІЯ

Навчальний посібник

Дніпро 2021

Рекомендовано Вченою радою Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Протокол № 8 від 29.04.2021 р.

УДК 504.75

ББК 20.1

Рецензенти

Технічний директор, перший замісник головного конструктора ракетних двигунів на твердому палеві, доктор технічних наук, лауреат державної премії України в галузі науки і техніки, Науково-виробничого об'єднання «Павлоградський хімічний завод» Устименко Є. Б.

Завідувач кафедри екології та навколишнього середовища Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, доктор біологічних наук, лауреат державної премії України в галузі науки і техніки, професор Шматков Г.Г.

Професор кафедри технології палива, полімерних та поліграфічних матеріалів, завідувач науково-дослідної лабораторії "Лакофарбових та поліграфічних матеріалів" ДВНЗ Український державний хіміко-технологічний університет, доктор хімічних наук Свердліковська О.С.

Півоваров О.А.

ПЗ2 Космічна екологія –2021. – 410 с.

ISBN 978-966-97887-8-8

Навчальний посібник є спробою стисло донести в одному виданні до студентів та фахівців інформацію з чим стикається сучасна космонавтика в екологічному сенсі, про забезпечення умов життєдіяльності живих істот і рослинності в космічному просторі, виникнення екологічних загроз, з якими потрібно боротися і перемагати зусиллями дружної сім'ї космонавтів, науковців та інженерів, які мріють про мирне підкорення космосу та перехід від фантазій до реального втілення космічних подорожей людей на інші планети Всесвіту. Для студентів і викладачів вищих і середніх навчальних закладів, наукових працівників, аспірантів і фахівців, що цікавляться проблемами космічної екології.

УДК 504.75

ISBN 978-966-97887-8-8

ББК 20.1

©Півоваров О.А.



12 квітня 1961 р. о 9.07 за московським часом почався перший в історії людства космічний політ людини. Через 108 хвилин перший в світі космонавт Юрій Олексійович Гагарін приземлився поблизу м. Саратова. Дорогу у космос людству було відкрито.

Космічні ракети розширили межі пізнання людиною Сонячної системи. Наука вже не обмежується вивченням лише навколоземного простору, міжпланетні кораблі вирвалися за межі земного тяжіння і розпочали дослідження космосу в районах Місяця, Марса, Венери. Все це стало можливим завдяки розвитку найважливіших областей сучасної науки та техніки, в першу чергу ракетної техніки, радіоелектроніки, ядерної фізики.

Використання космічної техніки в інтересах охорони навколишнього середовища може дати і вже дає безпрецедентну за цільністю картину існуючого положення та динаміки природних процесів, які відбуваються. А чим ширшу картину ми бачимо перед очима тим більше зростає можливість свідомого впливу на життєво важливі процеси на Землі та космічному просторі. Особливо, коли мова йде про існування і життєздатності людини, живих істот та рослинного різномайття в умовах довгострокових пілотованих польотів у ближньому та дальньому космосі.

ВСТУП

Космос завжди приваблював людство своєю неосяжністю, загадковістю та дивовижністю, але його німота, пустота та непомірний холод є стримуючим фактором в процесі освоєння. Багато таємного, невідомого і незрозумілого він несе людству. Перший політ людини на навколоземну орбіту, вихід у відкритий космос, перші кроки людини на Місяці спонукають вчених і спеціалістів з космічної техніки продовжувати пошуки новітніх рішень у пізнанні як ближнього, так дальнього космічного простору, вихід у Сонячну систему та за її межі, пошук шляхів до інших галактик де можливе життя, схоже з земним. Але кожного разу на тлі фантастичних ідей приходить реальність, яка пов'язана з діяльністю людини, як суб'єкта, що призводить до зовсім інших явищ, що підпадають під загальний термін – екологія космосу. І починається вона саме тут, на Землі, у вигляді колосальних забруднень літосфери, гідросфери, атмосфери, навколоземного простору і, навіть дальнього космічного середовища. Ракетні палива – рідке та тверде, уламки космічної техніки як на землі, так і на орбітах у вигляді шаленої кількості сміття, відпрацьованих ракетних блоків, заповнених паливом, спричиняють ускладнення космічних польотів великої кількості супутників відомих і невідомих, космічних станцій та лабораторій. Людство вважало, що космічний простір безмежний і ньому можна смітити без будь-яких наслідків, але цей міф вже зараз спростовано реальними фактами, бо над нашою головою сьогодні

літають тисячі супутників, без яких важко уявити сучасний світ телекомунікацій, телебачення, навігації і, як свідчить практика, безмежна кількість сміття. Людина у космосі не може знаходитись тривалий час без відповідної фізичної та психологічної підготовки. Фактори космічного польоту яскраво свідчать про те, що працювати на орбіті в замкнутому просторі, у невагомості та в умовах, далеких від земних дуже складно. Не кажучи вже про подорожі на Місяць, Марс або інші планети. Космос не пристосований до такого життя, але люди – космонавти йдуть на такий крок заради науки і досягнення відповідного досвіду, який би міг забезпечити дальні мандри в неосяжні простору космосу.

Навчальний посібник охоплює широке коло питань від утворення Всесвіту до майбутніх поселень на Місяці, Марсі та інших планетах, мілітаризації космосу, правові питання щодо використання космічного простору.

Бажано, щоб цей навчальний посібник став корисною настільною книгою для тих, хто цікавиться збереженням земної цивілізації, космосом, майбутніми космічними поселеннями, вирішенням екологічних проблем та ідей в наслідок діяльності вчених та фахівців, причетних до вивчення і освоєння космосу, навколоземного простору та Сонячної системи та галактик.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Розділ 1. КОСМІЧНИЙ ПРОСТІР	9
1.1. Космологічна еволюція матерії.....	9
1.2. Ієрархічна епоха	16
1.3. «Теплова смерть» Всесвіту. Чорні діри.....	18
1.4. Космічні «цунамі»	21
 Розділ 2. АТМОСФЕРА, ЇЇ СКЛАД І СТРУКТУРА.....	28
2.1. Поняття атмосфери.....	28
2.2. Висота, межі і будова атмосфери.....	31
2.3. Загальна циркуляція атмосфери, тиск, вітри, водяна пара та інші показники.....	36
2.4. Джерела забруднення атмосфери.....	43
2.5. Парниковий ефект.....	54
2.6. Вплив техногенних навантажень на озоновий шар.....	63
 Розділ 3. ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТОРУ....	75
3.1. Космічний пил.....	75
3.2. Зоряний пил	84
3.3. Вплив ракетного палива на екологію земної поверхні, навколоземного і космічного простору.....	94
3.4. Близький космос і екологія.....	114
 Розділ 4. КОСМІЧНА РАДІАЦІЯ	122
4.1. Види космічного випромінювання.....	122
4.2. Радіаційна безпека у космосі.....	129

4.3. Фактор галактичних і сонячних космічних променів.....	142
Розділ 5. ВОДА І КОСМОС.....	148
5.1. Вода в Сонячній системі.....	148
5.2. Вода за межами Сонячної системи.....	163
5.3. Вода і людина в космосі.....	167
5.4. Харчування для космічних польотів.....	175
Розділ 6. ФАКТОРИ КОСМІЧНОГО ПОЛЬОТУ.....	183
6.1. Основні космічні фактори біологічної дії.....	183
6.1.1. Перша група факторів.....	184
6.1.2. Друга група факторів.....	197
6.1.3. Третя група факторів.....	214
Розділ 7. КОСМІЧНЕ СМІТТЯ.....	229
7.1. Відомості про космічне сміття.....	229
7.2. Як можна очистити космос від сміття?	236
Розділ 8. МІЛІТАРИЗАЦІЯ КОСМОСУ. КОСМІЧНА УТИЛІЗАЦІЯ ЯДЕРНИХ ВІДХОДІВ. КОСМІЧНИЙ ЛІФТ.....	249
8.1. Суперництво наддержав. Космічне озброєння.....	249
8.2. Транспортування ядерних відходів у космос.....	263
8.3. Ліфт на орбіту Землі з'явиться до 2050 року.....	273
Розділ 9. РОСЛИНИ У КОСМІЧНОМУ ПРОСТОРІ.....	279
9.1. Роль рослин для людини у космічній подорожі.....	279

9.2. Вирощування сільськогосподарських культур для виробництва продуктів харчування та інших матеріалів за межами Землі.....	287
--	-----

Розділ 10. СПОРЯДЖЕННЯ, ПРИЗНАЧЕНЕ ДЛЯ ІЗОЛЯЦІЇ ЛЮДИНИ ВІД ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (КОСМІЧНИЙ СКАФАНДР).....	311
10.1. Призначення скафандру.....	311
10.2. Сучасний скафандр це щось середнє між костюмом і будинком.....	319
10.3. Типи космічних скафандрів і їх функціональні властивості.	324
10.4. Скафандри недалекого майбутнього	331

Розділ 11. НАВІЩО ЛЮДСТВУ ПОСЕЛЕННЯ НА МІСЯЦІ ТА МАРСІ?	342
11.1. Теорії походження Місяця.....	342
11.2. Марс.....	355
11.3. Перспективні космічні колонії.....	374

Розділ 12. ПРАВОВИЙ РЕЖИМ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	388
12.1. Фактори ризику для цивілізації, людей і планети Земля.....	388
12.2. Правова складова щодо врегулювання відносин стосовно космічних об'єктів.....	392

ВИСНОВОК	404
Література.....	408

Розділ 1. КОСМІЧНИЙ ПРОСТІР

1.1. Космологічна еволюція матерії.

Як з'явився наш Всесвіт? Як він перетворився в удаваний на перший погляд нескінченний простір? І чим він стане через багато мільйонів і мільярдів років? Ці питання хвилювали (і продовжують хвилювати) уми філософів і вчених здається ще з далеких часів, породивши при цьому безліч цікавих і навіть часом божевільних теорій. Сьогодні більшість астрономів і космологів дійшли спільної згоди щодо того, що Всесвіт, який ми знаємо, з'явився в результаті гігантського вибуху, який породив не тільки основну частину матерії, але з'явився джерелом основних фізичних законів, згідно з якими існує той космос, який нас оточує. Все це називається теорією Великого вибуху.

Основи теорії Великого вибуху відносно прості. Якщо коротко, згідно з нею вся матерія, що існувала і існує зараз у Всесвіті з'явилася в один і той же час – близько 13,8 мільярда років тому. В той далекий момент часу вся матерія існувала у вигляді дуже компактної абстрактної кулі (або точки) з нескінченною щільністю і температурою. Цей стан носить назву сингулярності.

Космологічна сингулярність від лат. *singularis* – єдиний, особливий – стан Всесвіту у початковий момент Великого вибуху, що характеризується нескінченною густиною і температурою речовини.

Несподівано сингулярність почала розширюватися і породила той Всесвіт, який ми знаємо.

Варто відзначити, що теорія Великого Вибуху є лише однією з багатьох запропонованих гіпотез виникнення Всесвіту (наприклад, є

ще теорія стаціонарного Всесвіту), проте вона отримала саме широке визнання і популярність. Саме ця теорія не тільки пояснює джерело всієї відомої матерії, законів фізики і велику структуру Всесвіту, вона також описує причини розширення Всесвіту і багато інших аспектів і феномени.

Грунтуючись на знаннях про нинішній стан Всесвіту, вчені припускають, що все повинно було початися з єдиної точки з нескінченною щільністю і кінцевим часом, які почали розширюватися. Після початкового розширення, як свідчить теорія, Всесвіт пройшов фазу охолодження, яка дозволила з'явитися субатомним частинкам і пізніше простим атомам. Гігантські хмари цих давніх елементів пізніше, завдяки гравітації, почали утворювати зірки і галактики.

Все це, згідно з припущеннями вчених, почалося близько 13,8 мільярда років тому, саме ця відправна точка вважається віком Всесвіту. Шляхом дослідження різних теоретичних принципів, проведення експериментів із залученням прискорювачів частинок і високоенергетичних станів, а також шляхом проведення астрономічних досліджень далеких куточків Всесвіту вчені вивели і запропонували хронологію подій, які почалися з Великого вибуху і формування Всесвіту, що призвели в кінцевому підсумку до того стану космічної еволюції, який має місце зараз (Рис 1).

Вчені вважають, що самі ранні періоди зародження Всесвіту – тривалістю від 10^{-43} до 10^{-11} с після Великого вибуху, як і раніше, є предметом суперечок і обговорень. Якщо врахувати, що закони фізики, що нам зараз відомі, не могли існувати в той час, то дуже складно зрозуміти, яким же чином регулювалися процеси в тім раннім Всесвіті. Крім того, експериментів з використанням тих можливих видів енергій,

які могли бути присутніми в той час, досі не проводилося. Як би там не було, багато теорій про виникнення Всесвіту в кінцевому підсумку згодні з тим, що в якийсь період часу була відправна точка, з якої все почалося.

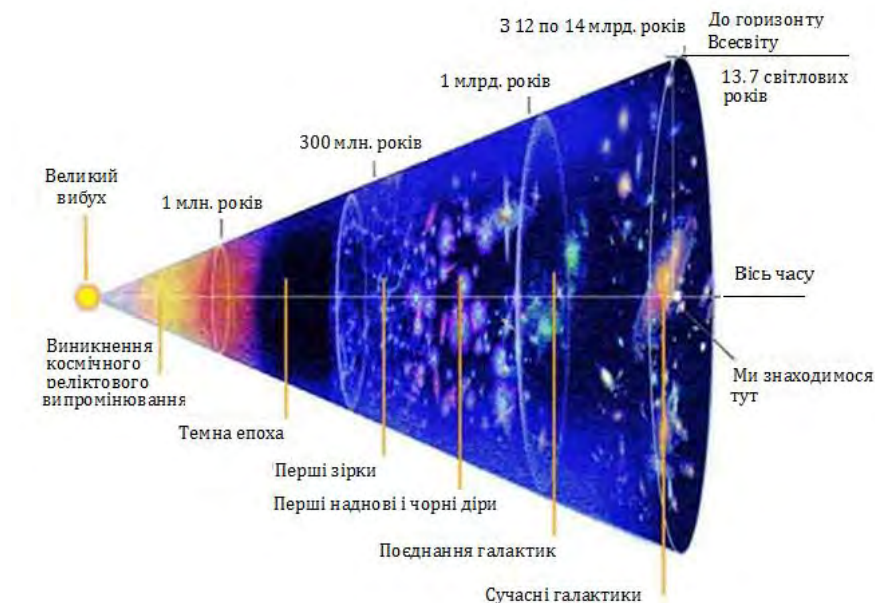


Рис. 1.1 – Хронологія подій в теорії Великого вибуху.

Також відома так звана епоха Планка (або ера Планка), яка приймається за найбільш ранній з відомих періодів еволюції Всесвіту. Саме в той час вся матерія містилася в єдиній точці нескінченної щільності і температури. Під час вказаного періоду, як вважають вчені, квантові ефекти гравітаційної взаємодії домінували над фізичними, і жодна з фізичних сил не дорівнювала по силі гравітації.

Ера Планка – одиниця часу в планківській системі одиниць, величина, що має розмірність часу та, як і інші планківські одиниці, складена з добутку фундаментальних констант у

відповідних степенях. Фізичний зміст цієї величини – час, за який частинка, рухаючись із швидкістю світла, подолає планківську довжину. Планківська система одиниць названа на честь німецького фізика Макса Планка.

Ера Планка імовірно тривала від 0 до 10^{-43} с і названа вона так тому, що виміряти її тривалість можна тільки часом Планка. З огляду на екстремальні температури і нескінченну щільність матерії стан Всесвіту в цей період часу був вкрай нестабільним. Після цього відбулися періоди розширення і охолодження, які привели до виникнення фундаментальних сил фізики. Приблизно в період з 10^{-43} до 10^{-36} с у Всесвіті відбувався процес зіткнення станів перехідних температур. Вважається, що саме в цей момент фундаментальні сили, які керують нинішнім Всесвітом, почали відділятися одна від одної. Першим кроком цього відділення стала поява гравітаційних сил, сильних і слабких ядерних взаємодій і електромагнетизму.

У період приблизно з 10^{-36} до 10^{-32} с після Великого вибуху температура Всесвіту стала досить низькою (1028 K), що призвело до поділу електромагнітних сил (сильна взаємодія) і слабкої ядерної взаємодії (слабкої взаємодії).

З появою перших фундаментальних сил у Всесвіті почалася епоха інфляції, яка тривала з 10^{-32} с згідно з часом Планка до невідомої точки в часі (Рис. 2).

Згідно теорії космічної інфляції, на ранніх стадіях свого існування Всесвіт розширювався експоненційно, збільшуючись вдвічі за час Планка. Завдяки цьому, Всесвіт за долі секунди досяг астрономічних розмірів. Теорія космічної інфляції дозволяє пояснити кілька властивостей всесвіту, наприклад його плоскість і ізотропність. Незважаючи на те, що теорія інфляційного роздування багатьма вченими вважається

найбільш перспективною, прямих її підтверджень ще не знайдено.

Більшість космологічних моделей припускають, що Всесвіт в цей період був рівномірно заповнений енергією високої щільності, а неймовірно високі температура і тиск призвели до його швидкого розширення і охолодження.

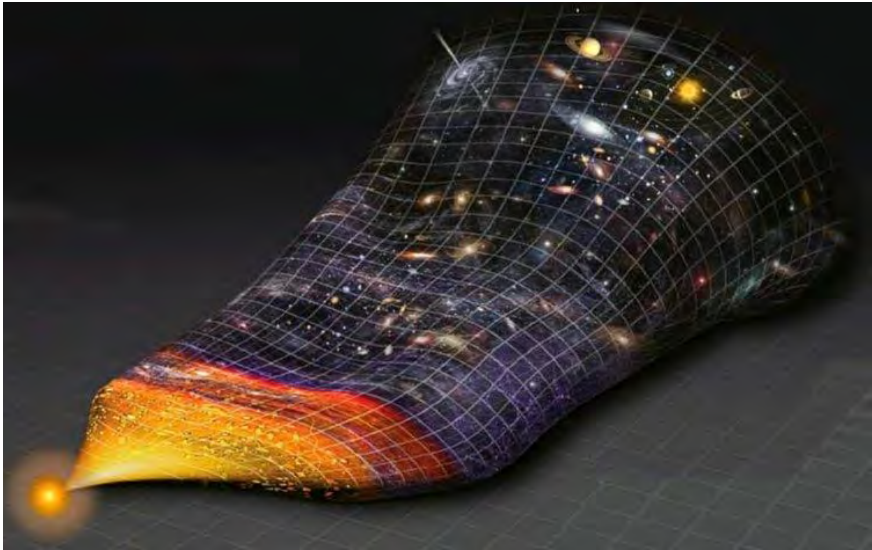


Рис. 1.2 – Епоха інфляції.

Це почалося на 10^{-37} с, коли за фазою переходу, що викликала відділення сил, відбувалось розширення Всесвіту в геометричній прогресії. В цей же період часу Всесвіт перебував в стані баріогенезису, коли температура була настільки високою, що безладний рух частинок в просторі відбувався з близько світловою швидкістю.

Баріогенезис – гіпотетичний процес, внаслідок якого у Всесвіті виникла перевага частинок над

античастинками. Згідно з теорією Великого вибуху цей процес відбувся до часу 10^{-31} с від виникнення світу.

В цей час утворюються і відразу ж, стикаючись, руйнуються пари з частинок – античастинок, що, як вважається, призвело до домінування матерії над антиматерією в сучасному Всесвіті. Після припинення інфляції Всесвіт складався з кварк-глюонної плазми та інших елементарних частинок. З цього моменту Всесвіт став остигати, почала утворюватися і об'єднуватися матерія.

Кварк-глюонна плазма – стан матерії, у якому кварки та глюони знаходяться у вільному, не зв'язаному у нуклонах, стані. На сьогодні відомо 4 стани речовини: газ, рідина, тверде тіло, плазма. Новий стан речовини можна отримати при великих баріонних густинах та енергіях.

Зі зниженням густини і температури всередині Всесвіту почало відбуватися і зниження енергії в кожній частинці. Це перехідний стан тривав до тих пір, поки фундаментальні сили і елементарні частинки не дійшли своєї нинішньої форми. Так як енергія частинок опустилася до значень, які сьогодні можна досягти в рамках експериментів, дійсна можлива наявність цього тимчасового періоду викликає у вчених куди менше суперечок.

Наприклад, вчені вважають, що на 10^{-11} с після Великого вибуху енергія частинок значно зменшилася. Приблизно 10^{-6} с кварки і глюони почали утворювати баріони – протони й нейтрони. Кварки стали переважати над антикварками, що в свою чергу призвело до переважання баріонів над антибаріонами.

Кварки – елементарні частинки і фундаментальні складові матерії. Кварки об'єднуються, створюючи композитні частинки,

адрони, в тому числі й найбільш стабільні серед них протони і нейтрони, складові атомних ядер. Глюон (від англ. glue – клей) – електрично нейтральна елементарна частинка, яка відіграє таку ж роль у сильній ядерній взаємодії, як фотон в електромагнітній.

Так як температура була вже недостатньо високою для створення нових протонно-антипротонних пар (або нейтронно-антинейтронних пар), сталося масове руйнування цих частинок, що призвело до залишку тільки $1/10^{10}$ кількості початкових протонів і нейтронів та повного зникнення їх античастинок. Аналогічний процес відбувся через близько 1 с після Великого вибуху. Тільки «жертвами» на цей раз стали електрони і позитрони. Після масового їх знищення залишилися протони; нейтрони і електрони припинили свій безладний рух, а енергетична щільність Всесвіту була заповнена фотонами і в меншій мірі нейтрино.

Протягом перших хвилин розширення Всесвіту почався період нуклеосинтезу (синтез хімічних елементів). Завдяки падінню температури до 1 мільярда Кельвіна і зниження щільності енергії приблизно до значень, еквівалентних густині повітря, нейтрони і протони почали змішуватися і утворювати перший стабільний ізотоп водню (дейтерію), а також атоми гелію. Тим не менш більшість протонів у Всесвіті залишилися в якості незв'язних ядер атомів водню.

Через близько 379000 років електрони об'єдналися з цими ядрами водню і утворили атоми (знову ж здебільшого водню), у той час як радіація відокремилася від матерії і продовжила практично безперешкодно розширюватися через простір. Цю радіацію прийнято називати реліктовим випромінюванням, і вона є найдавнішим джерелом світла у Всесвіті.

З розширенням реліктове випромінювання поступово втрачало свою щільність і енергію і зараз його температура становить $2,7260 \pm 0,0013$ °C ($-270,424$ K), а енергетична щільність $0,25$ eV (або $4,005 \cdot 10^{-14}$ Дж/м³; 400–500 фотонів/см³). Реліктове випромінювання тягнеться у всіх напрямках і на відстань близько 13,8 мільярда світлових років, однак оцінка його фактичного поширення складає приблизно 46 мільярдів світлових років від центру Всесвіту.

1.2. Ієрархічна епоха.

У наступні кілька мільярдів років більш щільні регіони майже рівномірно розподіленої у Всесвіті матерії почали притягуватися один до одного. В результаті цього вони стали ще щільніші, почали утворювати хмари газу, зірки, галактики і інші астрономічні структури, за якими ми можемо спостерігати в даний час. Цей період носить назву ієрархічної епохи. В цей час той Всесвіт, який ми бачимо зараз, почав набувати свою форму. Матерія почала об'єднуватися в структури різних розмірів – зірки, планети, галактики, галактичні скупчення, а також галактичні надскупчення, розділені міжгалактичними перемичками, що містять лише кілька галактик.

Деталі цього процесу можуть бути описані згідно з поданням про кількість і тип матерії, розподіленої у Всесвіті, яка представлена у вигляді холодної, теплої, гарячої темної матерії і баріонної речовини. Проте сучасною стандартною космологічною моделлю Великого вибуху є модель Лямбда-CDM, згідно з якою частинки темної матерії рухаються повільніше швидкості світла.

Λ CDM (скорочення від англ. *Lambda - Cold Dark Matter* «модель лямбда-холодної темної матерії») – сучасна космологічна модель, в якій просторово-плоский Всесвіт заповнений, окрім звичайної баріонної матерії, темною енергією (що описується космологічною сталою Λ в рівняннях Ейнштейна) і холодною темною матерією (англ. *Cold Dark Matter*). Її часто називають стандартною моделлю космології великого вибуху, тому що вона пояснює: наявність і структуру космічного мікрохвильового фону; великомасштабну структуру скупчень галактик; розподіл водню, гелію, літію, кисню в нашому Всесвіті; прискорення розширення Всесвіту, що спостерігається за електромагнітним випромінюванням від далеких галактик і наднових.

Баріони — субатомні частинки, що складаються з трьох кварків, і мають напівціле значення спіну. Разом з мезонами, складають клас адронів — частинок, що беруть участь у сильній взаємодії. Назва баріонів походить від грецького βαρύς, *важкий*, тому що на момент відкриття всі інші частинки були легшими за них.

Обрана вона була тому, що вирішує всі суперечності, які з'являлися в інших космологічних моделях. Згідно цієї моделі на холодну темну матерію припадає близько 23 відсотків всієї матерії/енергії у Всесвіті. Частка баріонної речовини становить близько 4,6 %. Лямбда-CDM посилається на так звану космологічну постійну: теорію, запропоновану А. Ейнштейном, яка характеризує властивості вакууму і показує співвідношення балансу між масою і енергією як постійну статичну величину. У цьому випадку вона пов'язана з темною енергією, яка служить в якості акселератора розширення Всесвіту і підтримує гігантські космологічні структури значною мірою однорідними.

Гіпотези щодо того, що еволюція Всесвіту має відправною точкою, природним способом підводять вчених до питань про можливу кінцеву точку цього процесу. Якщо Всесвіт почав свою історію з маленької точки з нескінченною щільністю, яка раптом почала розширюватися, чи не означає це, що розширюватися вона теж буде нескінченно? Або ж одного разу у неї закінчиться експансивна сила і почнеться зворотний процес стиснення, кінцевим підсумком якого стане все та ж нескінченно щільна точка?

Відповіді на ці питання були основною метою космологів з самого початку суперечок про те, яка ж космологічна модель Всесвіту є вірною. З прийняттям теорії Великого вибуху, але здебільшого завдяки спостереженню за темною енергією в 1990-х роках, вчені прийшли до згоди щодо двох найбільш ймовірних сценаріїв еволюції Всесвіту.

Відповідно до першого, який отримав назву «велике стиснення», Всесвіт досягне свого максимального розміру і почне руйнуватися. Такий варіант розвитку подій буде можливий, якщо тільки щільність маси Всесвіту стане більше, ніж сама критична щільність. Іншими словами, якщо щільність матерії досягне певного значення або стане вище цього значення $(1-3) \cdot 10^{-26}$ кг матерії на м^3 , Всесвіт почне стискатися.

1.3. «Теплова смерть» Всесвіту. Чорні діри.

Альтернативою служить інший сценарій, який свідчить, що якщо щільність у Всесвіті дорівнює або нижче значення критичної щільності, то її розширення сповільниться, проте ніколи не зупиниться повністю. Згідно цій гіпотезі, що отримала назву «теплова смерть Всесвіту»,

розширення продовжитися до тих пір, поки утворення зірок не перестане споживати міжзоряний газ всередині кожної з навколишніх галактик. Тобто повністю припиниться передача енергії і матерії від одного об'єкта до іншого. Всі існуючі зірки в цьому випадку вигорять і перетворяться в білі карлики, нейтронні зірки і чорні діри (Рис. 3).

Білі карлики — зорі низької світності з масами, порівняними із масою Сонця, та високими ефективними температурами. Назва білі карлики пов'язана з кольором перших відкритих представників цього класу — Сіріуса В та 40 Ерідана В.

Нейтронна зоря — зоря на завершальному етапі своєї еволюції, що не має внутрішніх джерел енергії та складається переважно з нейтронів, які перебувають у стані виродженого фермі-газу, із невеликою домішкою інших частинок. Густина такого об'єкта, згідно з сучасними астрофізичними теоріями, сумірна з густиною атомного ядра

Чорна діра — астрофізичний об'єкт, який створює настільки потужну силу тяжіння, що жодні, навіть найшвидші часточки, не можуть покинути його поверхню, навіть світло.

Поступово чорні діри будуть стикатися з іншими чорними дірами, що призведе до утворення все більш і більш великих. Середня температура Всесвіту наблизиться до абсолютного нуля. Чорні діри в підсумку «випаруються», випустивши своє останнє випромінювання Гокінга.

Випромінювання Гокінга — гіпотетичне випромінювання чорних дір, яке виявляється як потік елементарних частинок (в основному фотонів і нейтрино) і є наслідком квантових флуктуацій у вакуумі поблизу горизонту подій.

Зрештою термодинамічна ентропія Всесвіту стане максимальною. Настане тепла смерть.

Сучасні спостереження, які враховують наявність темної енергії і її вплив на розширення космосу, наштотували на висновок, згідно з яким з часом все більше і більше простору Всесвіту буде проходити за межами нашого горизонту подій і стане невидимим для нас. Кінцевий і логічний результат такого висновку вченим поки не відомий, проте «теплова смерть» цілком може виявитися кінцевою точкою подібних подій.

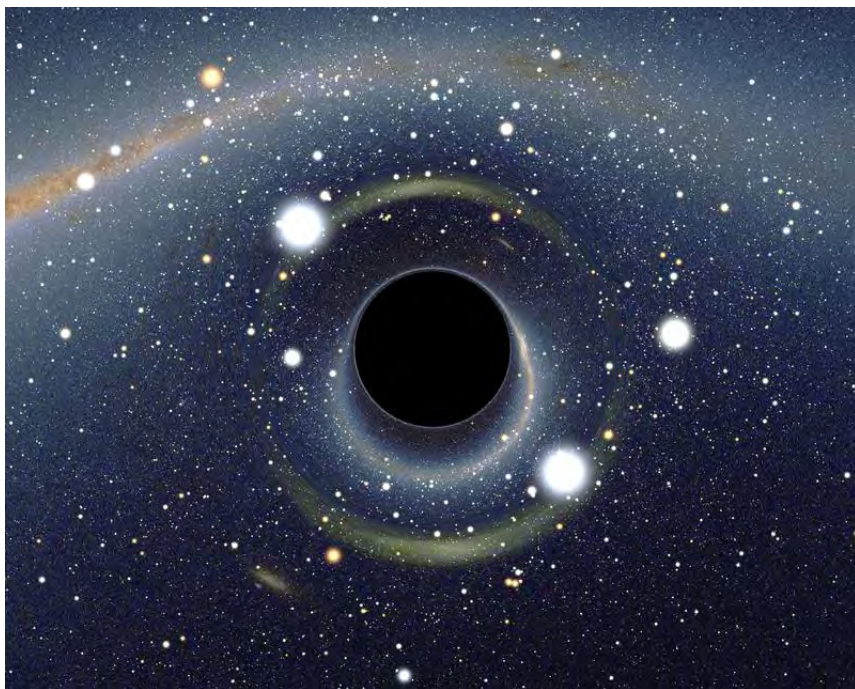


Рис. 1.3 – Симуляція вигляду чорної діри (в центрі) на тлі Великої Магелланової Хмари.

1.4. Космічні «цунамі».

Є і інші гіпотези щодо розподілу темної енергії, а точніше, її можливих видів (наприклад фантомної енергії). Згідно з ним галактичні скупчення, зірки, планети, атоми, ядра атомів і матерія сама по собі будуть розірвані на частини в результаті її нескінченного розширення. Такий сценарій еволюції носить назву «великого розриву». Причиною загибелі Всесвіту згідно з цим сценарієм є саме розширення.

Астрономи вперше точно виміряли силу викидів надмасивних чорних дір, які викликають своєрідні космічні "цунамі". Також вони визначили кількість енергії, яка потрібна для їх появи. Результати дослідження підтвердили, що подібні потоки газу – один з головних механізмів того, чому в галактиках припиняється утворення зірок. Космічні "цунамі", які виникають в наслідок цих викидів, переносять матерію, маса якої в сотні разів перевищує сонячну. Жоден інший феномен у Всесвіті не виробляє таку кількість механічної енергії. Їх річний енергетичний "бюджет" в сотні тисяч разів більше, ніж яскравість всього Чумацького Шляху. Зараз практично всі астрономи впевнені, що в ядрах кожної великої галактики розташовується як мінімум одна надмасивна чорна діра. Чорні діри постійно захоплюють і руйнують їх навколишню речовину. Крім того, вони викидають частину цієї речовини в міжгалактичний простір у вигляді так званих джетів – вузьких пучків плазми, яка розігріта до надвисоких температур і розігнана до близькосвітлових швидкостей. Завдяки цьому подібні об'єкти – астрономи називають їх квазарами – є найяскравішими у Всесвіті.

Квазари (англ. quasars) – позагалактичні об'єкти, які мають зореподобні зображення й потужні

емісійні лінії з великим червоним зміщенням у спектрі.

Космологи припускають, що саме через такі викиди плазми нові зірки у межах таких галактик практично не формуються. Справа в тому, що хмари гарячого газу, які викидають квазари, не дають холодним хмарам водню з міжзоряного середовища проникнути всередину цих галактик. Вчені отримали перші практичні підтвердження цієї гіпотези. В ході своєї роботи вони вивчили викиди 13 особливо яскравих квазарів за допомогою орбітальної обсерваторії "Хаббл". Вчені вперше точно виміряли довжину цих викидів, а також швидкість, з якою вони рухаються через міжгалактичний простір. Ця інформація була критично важлива для того, щоб оцінити, як багато матерії і енергії переносять подібні викиди надмасивних чорних дір. У минулому було досить складно зробити це в наслідок того, що у вчених не було надійних методик спостереження за найгарячішою і іонізованою частиною джетів квазарів (Рис. 4).



Рис. 1.4 – Викиди особливо яскравих квазарів

Отримані дані показують, що джети квазарів виявилися значно потужнішими і швидшими, ніж припускали теоретики. Це було пов'язано з тим, що вчені раніше просто не бачили більшу частину матерії, яку переносять найгарячіші їх частини. Деякі з них рухаються зі швидкістю в 70 млн. км/год. Як показують розрахунки загальної кількості енергії, яка складає приблизно половину цих викидів, цілком вистачає для того, щоб повністю припинити приплив нових порцій холодного газу в ті галактики, де знаходяться ці квазари. Це, ймовірно, посилює позиції теорій, які пов'язують "смерть" багатьох довколишніх галактик з надмірно високою активністю їх центральних чорних дір. Подальше вивчення цих "космічних цунамі", як сподіваються астрофізики, допоможе космологам сформулювати нові теорії, які описували б процес еволюції галактик і всього Всесвіту в цілому.

Ідея про те, що чорні діри є «колискою» нових всесвітів має давню історію. Це спроба відповіді на питання про те, що було до Великого вибуху. Гіпотеза космогенезиса (народження всесвітів) заснована на певній схожості в структурі рішень, що описують чорну діру і Всесвіт: і те, і інше рішення містять сингулярність, причому в чорній дірі це кінцева «точка» еволюції, а у Всесвіті – початкова. Якщо б можна було поєднати ці дві сингулярності, то вийшов б єдиний простір – час, що складається з чорної діри і Всесвіту, як з двох половинок. Проблема в тому, що не вдається по'єднати два простору – часу через сингулярність однозначно і тому знову виникає неоднозначність.

Вченими було побудовано ряд моделей, в яких обґрунтована можливість зв'язати чорну діру з новим Всесвітом через сингулярність, проте остання повинна бути такою, що інтегрується. Це означає, що

існують такі геодезичні траєкторії, вздовж яких приливні сили залишаються кінцевими. Рухаючись вздовж цих «дозволених» траєкторій, матерія, яка колапсує безперешкодно, доходить до сингулярності, створюючи інтенсивне гравітаційне поле, яке, в свою чергу, приводить до народження нової речовини. Остання проходить сингулярність, яка інтегрується, і утворює за нею білу діру, що володіє властивостями космологічного рішення, тобто є, по суті, новим Всесвітом. Описаний об'єкт, в якому чорна діра з'єднується з білою через інтегровану сингулярність, було названо чорно-білою дірою.

Біла діра — це гіпотетичний космічний об'єкт, еволюція якого являє собою обернений в часі гравітаційний колапс небесного тіла з утворенням чорної діри, іншими словами, область сингулярності у просторо-часі, куди ніщо не може проникнути іззовні. Натомість матеро-енергія, що перебуває у середині білої діри, може вільно її покидати. Подібні гіпотетичні об'єкти були передбачені Загальною теорією відносності, проте донині їх існування не доведене. Деякі вчені припускають, що момент виникнення нашого Всесвіту якраз і є білою дірою, що породила Великий вибух. Білі діри можуть бути "виходом" із чорних дір.

Чорна діра це область в просторі – часу, гравітаційне тяжіння якої настільки велике, що залишити її не можуть навіть об'єкти, які рухаються зі швидкістю світла, в тому числі кванти самого світла. Межа цієї області називається горизонтом подій, а її характерний розмір – гравітаційним радіусом. Біла діра – гіпотетичний фізичний об'єкт у Всесвіті, в область якого ніщо не може увійти. Біла діра є тимчасовою протилежністю чорної діри. Теоретично передбачається, що білі діри можуть утворюватися при виході з-за горизонту подій речовини чорної діри, яка знаходиться в іншому часі.

Як відомо, у рамках загальної теорії відносності колапс пилової хмари зі сферично симетричним розподілом початкових положень і швидкостей частинок веде до утворення сингулярної гіперповерхні. За аналогії з таким же колапсом ньютонівської механіки можна було б передбачити, що причиною утворення сингулярності є висока симетрія початкових умов. Однак, як впливає з теореми про сингулярності, в загальній теорії відносності невелике відхилення від початкової симетрії не впливає на факт утворення сингулярності. Таким чином, сингулярність стає неминучим результатом колапсу.

Гравітаційно-приливні моделі чорно-білих дір дозволяють вгадати можливі відповіді на фундаментальні питання сучасної фізики. Один з них – походження принципу причинності, ставить причинно-наслідковий ланцюжок подій у відповідність зі стрілою часу. Космологічна стріла (часу) – напрям часу, в якому Всесвіт розширюється. Мова йде і про походження космологічної стріли часу, під якою розуміється орієнтація світлового конуса майбутнього в напрямку об'ємного розширення великомасштабного потоку матерії.

Відповідно до теорії Всесвіту існує так званий простір Мінковського – це чотирирівимірний простір, який об'єднує фізичний тривимірний простір і час. Становище події в цьому просторі – часі задається чотирма координатами – трьома просторовими та однієї часовою. (Введено німецьким вченим Г. Мінковським (H. Minkowski) у 1907–1908 роках).

Неінваріантність щодо направлення часу притаманна глобальній геометрії, але вона втрачається у граничному переході до локальної фізики.

Геодезично повні геометрії з інтегрованими особливостями сингулярності дають підказку про походження стріли часу. Вони містять різні просторово – часові домени, які розділені горизонтами подій: нестационарні області чорних і білих дір і статичні зони, в яких сигнатура змінює свій знак і парність. Тут реалізуються всі можливості. Є свої часи як у області, яка колапсує, так і у антиколапсууючій (космологічній). Статичні області не залежать від часу, але вони просторово неоднорідні. При перетині будь-якого з горизонтів змінюється сенс координати, від якої залежить метрика. В одних доменах це тимчасова координата (і тоді виходять чорні діри та/або космологічні моделі), а в інших – просторові (статичні зони).

Таким чином, відповідь на питання про походження космологічної стріли часу криється у початкових умовах і граничних умовах і в тому або іншому секторі повної геометрії.

Вісь часу – часова вісь (що іменується також у контексті термодинаміки **стрілою часу**) – концепція, що описує час як пряму (тобто математично одновимірний об'єкт), простягнуту з минулого в майбутнє. З будь-яких двох незбіжних точок осі часу одна завжди є майбутнім щодо іншої.

Процес еволюції простору – часу нагадує зростання дерева (генеалогічного древа, якщо завгодно). Таке дерево може процвітати, а може і зачахнути, якщо в дочірніх всесвітах не виявилося нових чорних дірок. Критична ситуація виникає, коли умови розвитку не забезпечують виробництво затравочних збурень густини для формування гравітаційно-пов'язаних згустків матерії і їх колапсу в чорні діри. Але може розвинутиися і інша історія: одна подія колапсу при сприятливих обставинах, що реалізують параметри космологічної

інфляції і фазових переходів в білій дірці, може привести до розквіту цілого дерева з незатухаючими ланцюжками нових всесвітів. Завдяки цим процесам, працює космологічний природний відбір: виживають і розвиваються ті всесвіти, в яких утворюються чорні діри, а для цього кращий певний набір параметрів, світових констант і т.д.

Базисом цієї концепції багатолістого всесвіту є процеси гравітаційної нестійкості, що нагадують осцилюючі припливи. Антиколапсуючі просторово – часові області (білі діри) розвиваються з колапсуючою системою чорних дір, і навпаки, розширюється квазіоднорідний потік матерії білої діри, який розпадається на згустки, що колапсують в чорні діри. На обох горизонтах гравітаційний потенціал є релятивістським і необхідно враховувати квантово-гравітаційні процеси поляризації вакууму і народження частинок.

Наведені вище теоретичні викладки щодо утворення Всесвіту тісним чином пов'язані з космічною екологією, завдяки яким складаються певні уявлення про виникнення космічного простору та його складових. Земля як планета Сонячної системи невід'ємно стає свідком подальших еволюційних процесів розвитку Всесвіту, а те що людство поступово вивчає і освоює ближній і дальній Космос створює забезпечення екологічних та безпечних умов пересування у космічному просторі пілотованих апаратів штучного походження з астронавтами і без них з метою вивчення галактичного простору та ближніх і дальніх планет у пошуках життя, подібного до земного, на них.

Розділ 2. АТМОСФЕРА, ЇЇ СКЛАД І СТРУКТУРА.

2.1. Поняття атмосфери.

Атмосфера (від грецької мови *atmos* – повітря і *sfera* – куля) – повітряна оболонка, що оточує Землю і обертається разом з нею під дією сили тяжіння. Маса атмосфери становить $5,15 \cdot 10^{15}$ т (майже 1/1000 000 частка маси Землі). Основними складовими частинами повітря (за об'ємом) є азот (78,10 %), кисень (20,93 %), аргон (0,93 %). Крім цих основних газів, у повітрі в мізерній кількості містяться водень, гелій, неон, криптон, ксенон. До складу повітря входять також вуглекислий газ, озон, метан, водяна пара. У зваженому стані в повітрі утримуються водяні краплі, частинки льоду і дрібні частинки пилу різного походження. Азот, кисень, аргон, водень, гелій, неон, криптон, ксенон за вмістом у повітрі сталі, а решта – несталі. Через те, що в природі відбувається кругообіг речовин і повітря безперервно переміщується у вертикальному і горизонтальному напрямках, ці складові частини скрізь на Землі лишаються незмінними. Це стосується і відносно високих шарів повітря. З висотою склад повітря мало змінюється. За даними штучних супутників, на висоті понад 250 км повітря складається з атомарних іонів кисню й азоту. Серед них більше іонів атомарного кисню. Найвища атмосфера складається в основному з гелію і водню. Несталі складові повітря, властиві головним чином тропосфері, – це вуглекислий газ, озон, метан, водяна пара і різні частинки у зваженому стані, їхня кількість невелика і змінюється в часі і просторі. Проте і вони відіграють важливу роль у процесах, що відбуваються в географічній оболонці. Із сталих складових атмосфери

найважливішу роль у життєвих процесах, що відбуваються в географічній оболонці, відіграє кисень. Він прямо впливає на життя людини. Збільшення або зменшення кисню в природі призвело б до згубних для організмів наслідків. Кисень витрачається на окислення багатьох елементів земної кори тощо. Проте кількість його лишається незмінною. Кисень у повітря безперервно постачають рослини. Майже весь вільний кисень атмосфери – продукт життєдіяльності зелених рослин. У процесі життєдіяльності вони розкладають вуглекислий газ на вуглець і кисень. Вуглець іде на побудову їхнього тіла, а кисень виділяється в атмосферу. Азот засвоюють рослини, його вдихають тварини і люди.

З групи несталих складових атмосфери на особливу увагу заслуговують *вуглекислий газ* і *водяна пара*. Вуглекислого газу в повітрі небагато – 0,03 %, але він відіграє важливу роль у географічній оболонці. В атмосферу він надходить з вулканів, мінеральних джерел, ґрунтів, організмів, промислових підприємств.

Нерівномірно розподіляється вуглекислий газ і по земній поверхні. Над океаном, у полярних країнах, сільській місцевості його менше, ніж у містах (особливо у промислових), у вулканічних областях.

Роль вуглекислого газу не вичерпується тим, що він основний матеріал для побудови органічної речовини рослин. Він має велике значення як отоплювач Землі. Вуглекислий газ легко пропускає до Землі короткохвильове проміння Сонця, але затримує довгохвильове.

Водяна пара – найбільш нестала із складових атмосфери. Вона надходить у повітря в результаті випаровування води з морів та океанів, з поверхні суші та внаслідок транспірації рослинами. Вона відіграє важливу роль у географічній оболонці: поглинає і затримує тепло, яке

випромінює Земля, з неї утворюються хмари й опади, під час конденсації водяної пари виділяється тепло, яке нагріває повітря.

Атмосфера відіграє важливу роль у перетворенні сонячної енергії – поглинанні, розсіюванні, відбиванні. Вона одержує тепло від суші й моря і охолоджується зверху, випромінюючи тепло в міжпланетний простір, і, отже, проводить тепло від Землі (Рис. 2.1). Проте більше вона затримує тепла і таким чином відіграє роль отоплювача Землі. Атмосфера пропускає 3/4 сонячного випромінювання до Землі і затримує довгохвильове випромінювання земної поверхні. Цим атмосфера збільшує кількість тепла на Землі, яке впливає на розвиток різних фізико-географічних процесів.

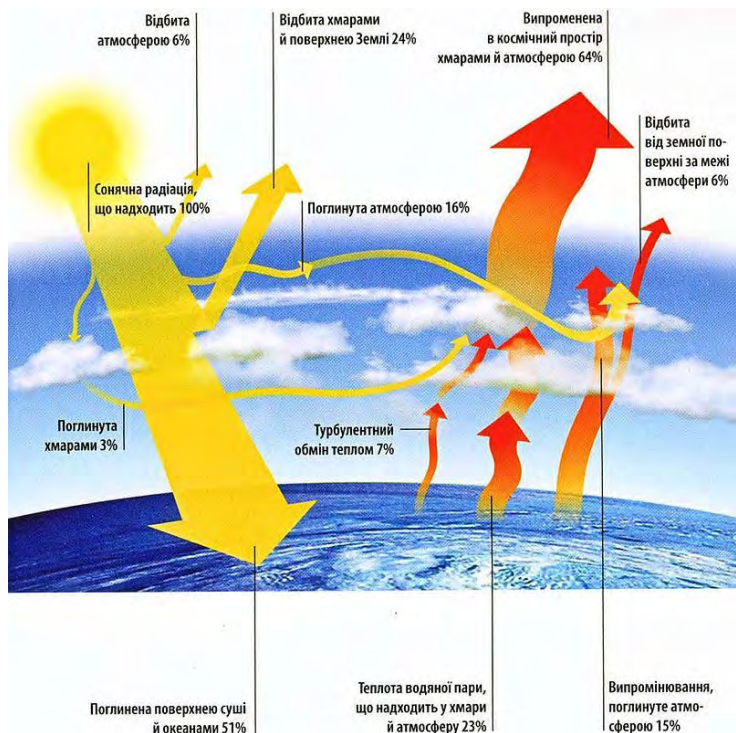


Рис. 2.1 – Явища теплоперенесення в земній атмосфері

Між атмосферою і поверхнею Землі відбувається безперервна взаємодія. Атмосфера зумовлює безпосередньо ряд процесів на Землі й впливає на їхній хід. Повітря разом з водою фізично і хімічно впливає на земну кору, спричиняє її вивітрювання, яке відіграє одну з першорядних ролей в утворенні рельєфу. Атмосферні опади дають початок текучим водам, а вони, в свою чергу, впливають на рельєф поверхні Землі.

Атмосфера перебуває в безперервному русі. Внаслідок цього здійснюється обмін теплом і холодом між різними зонами й ділянками, які по-різному нагріваються. Атмосфера переносить вологу в стані пари і в краплиннорідкому з одних ділянок в інші і так розподіляє її на Землі. Атмосфера є також величезним, практично невичерпним джерелом мінеральної сировини. З повітря добувають азот, кисень, аргон та інші гази для потреб народного господарства.

Кожний з газів забезпечує дихання і горіння. Азот входить до складу білків – речовин, з яких складається все живе.

Атмосфера підтримує різні форми життя на Землі, регулює теплообмін планети з космічним простором, впливає на її радіаційний і водний баланси, захищає Землю від метеоритів.

2.2. Висота, межі і будова атмосфери.

Межі атмосфери умовні. Верхню межу достеменно не визначено. Густина повітря з висотою зменшується, атмосфера поступово, без чіткої межі переходить у міжпланетний простір. За верхню межу іноді беруть таку висоту, на якій окремі розрізнені частини повітря ще обертаються разом із Землею, де сила притягання ще більша за

відцентрову силу. За даними сучасних досліджень, верхня межа атмосфери простежується до 3 000 км. Там її густина наближається до густини міжпланетного простору. За нижню межу атмосфери практично беруть поверхню Землі. Але й поверхня Землі – межа умовна, бо повітря проникає і в земну кору, і у воду.

Атмосфера неоднорідна. Вона має добре виражену шарувату будову. Її шари, або концентричні оболонки, за фізичними особливостями відрізняються між собою. Атмосферу ділять на п'ять основних шарів (сфер): тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу (іоносферу) і екзосферу. Сфери не мають чітких меж вони поступово переходять одна в одну, утворюючи перехідні межі.

Тропосфера – нижній шар атмосфери, що безпосередньо прилягає до Землі. Висота її над різними широтами різна: над полюсами близько 8 км, над помірними широтами 11–12 км, над екватором до 17–18 км. Такий розподіл висот зумовлений різним температурним станом полюсів і екватора та обертанням Землі навколо осі.

Тропосфера – найдіяльніший шар атмосфери. Велика активність тропосфери пояснюється тим, що вона безпосередньо прилягає до земної поверхні. Поверхня Землі є основним джерелом нагрівання повітря. Отже, можна стверджувати, що фізичні властивості тропосфери повністю визначаються впливом Землі.

Для тропосфери характерні інтенсивне переміщення повітря по вертикалі та його горизонтальні рухи. Серед горизонтальних рухів переважають західні вітри. У верхній частині тропосфери спостерігаються струминні течії. Найбільш сталі з них спрямовані вздовж 30–40-х паралелей.

Тропосфера – шар найактивнішого тепло- і вологообміну з поверхнею Землі. Для неї характерне зниження температури відповідно до висоти – в середньому на $6,5^{\circ}\text{C}$ на кожний кілометр. Це пояснюється тим, що тепло передається від Землі в основному через переміщення повітря. Через те що над екватором потужність тропосфери найбільша, там на межі тропосфери температури повітря найнижчі: -80°C , тоді як над помірними широтами -55°C , а над полярними -50°C . У тропосфері зосереджена майже вся водяна пара. В ній розвиваються всі явища погоди – утворюються хмари, випадають опади і таке інше. В цьому полягає одне з найважливіших значень тропосфери для процесів, що відбуваються в ландшафтній оболонці Землі.

Стратосфера – шар повітря, який лежить над тропосферою. Від тропосфери стратосфера відокремлюється перехідним шаром – тропопаузою, або субстратосферою, завтовшки близько 1–2 км. Стратосфера – безхмарний або малохмарний шар повітря, що простягається в середньому від 11–12 км до 25 км. Для стратосфери характерна в цілому однакова температура (ізотермія). В ній температура в середньому близька до тієї, яка властива верхній межі тропосфери, -55°C . Стратосфера охоплена потужними горизонтальними рухами повітря типу струминних течій, але є і вертикальні рухи, які сприяють перемішуванню повітря.

Мезосфера – шар повітря від 25 до 85 км. Він відділяється від стратосфери стратопаузою. Для мезосфери в інтервалі 25–52 км характерне підвищення температури від -55 до $+10^{\circ}\text{C}$ (явище інверсії), а далі до верхньої межі – зниження до -107°C . Інверсія температури в мезосфері пояснюється наявністю шару озону. Шар озону в мезосфері – важливе явище. Найбільша концентрація цього газу на висоті 27–

28 км. Озон поглинає коротке ультрафіолетове проміння і цим захищає від його згубної дії світ мікробів. Якби не було озону, зникли б мікроорганізми, а з ними й численні процеси (грунтоутворення та інше) в географічній оболонці. У мезосфері теж більше горизонтальних рухів повітря зі швидкістю 40–100 м/с.

Термосфера (коли йдеться про її електричні властивості, її називають *іоносферою*) простягається від 80 до 800–1000 км. Там гази дуже розріджені, тиск дуже низький. З цих причин молекули там рухаються з такою швидкістю, як у газі, нагрітому до кількох сотень градусів. Термосфера – інверсійний іонізований шар повітря, розташований вище від низьких температур. Цей шар атмосфери Землі є досить гарячим. Адже його температура швидко збільшується від -90 °С до 1200 °С, і відбувається це вже на висоті близько 200 км. Після цього температура повітря практично не змінюється, але все ж трохи коливається, то підвищуючись, то знижуючись. Обумовлено це інтенсивністю сонячної активності, адже ультрафіолетове випромінювання поглинається термосферою на висотах 150–300 км. Це, до речі, є причиною виникнення полярного саява (Рис. 2.2) атмосфери.

Полярне саяво (лат. Aurora borealis) — оптичне явище світіння окремих ділянок нічного неба в полярних районах, яке швидко змінюється. Виникає у верхніх шарах атмосфери планети під впливом потоків заряджених частинок, які магнітне поле планети спрямовує до полюсів.

Через поглинання випромінювання Сонця, температура в атмосферному шарі може різко зростати під час магнітних бур, але відбувається це вкрай нерівномірно.

Повітря атмосферного шару вкрай розріджене, тобто, має дуже малу щільність. Саме тому літальні апарати, які опинилися в термосфері, практично не піддаються нагріванню, незважаючи на високу температуру шару.



Рис. 2.2 – Полярне сяйво.

Молекул повітря просто не вистачає, щоб розігріти фізичне тіло. Цим-то і користуються люди, запускаючи безпілотні супутники в термосферу. Також проходять пілотовані орбітальні польоти, але можливо це лише за балістичних траєкторіях, і лише до висоти 500 км. Адже вище розташовуються радіаційні пояси, що мають шкідливий вплив на людей. За вимірами штучних супутників і геофізичних ракет, температура на висоті 150 км становить 600°C , на висоті 200 км – 1000°C , на висоті 500 км – до $2200\text{--}2750^{\circ}\text{C}$.

Під впливом космічної радіації молекули газів іонізуються – утворюють позитивні й негативні іони і вільні електрони. В іоносфері спостерігаються різні коливання магнітного поля.

Екзосфера, або сфера розсіювання, розташована на висоті понад 800–1000 км. Вона характеризується найбільшою розрідженістю газів: окремі їхні частинки, рухаючись з великими швидкостями, майже не стикаються одна з одною. Це – верхній шар атмосфери, який межує з міжпланетними просторами. Він простягається до висоти, що вимірюється кількома десятками тисяч кілометрів, де густина повітря близька до густини міжпланетного простору (одна молекула, атом або іон на 1 см^3). Це зона відтікання легких газів атмосфери в Космос, тому екзосферу називають ще сферою розсіювання.

Густина повітря з висотою зменшується, тому маса атмосфери навколо Землі розподіляється так: у шарі повітря до 5 км зосереджено близько 50% усієї маси атмосфери, в товщі тропосфери – близько 79% її маси, в стратосфері й мезосфері разом – близько 20%, у термосфері – менш як 0,5%.

2.3. Загальна циркуляція атмосфери, тиск, вітри, водяна пара та інші показники

Загальна циркуляція атмосфери – складне і важливе явище природи, яке зумовлює щоденні зміни погоди й формування клімату земної кулі. Під загальною циркуляцією атмосфери розуміють рух повітряних течій, який охоплює всю атмосферу і здійснює обмін

теплом, вологою та зваженими в повітрі домішками між окремими поясами земної кулі.

Важливою рисою цього руху є безперервна мінливість, що створює враження хаотичності. Проте повітряні течії мають постійні напрями, які підпорядковуються певним закономірностям і складаються в систему повітряних течій. Причиною повітряних течій є різниця атмосферного тиску в сусідніх ділянках. Повітря, як правило, переміщується з ділянок високого тиску в ділянки низького тиску. Сила і швидкість вітру залежать від баричного градієнта. За нормальний тиск взято тиск на рівні моря, який дорівнює 760 мм ртутного стовпа, або $1,013 \cdot 10^6$ Па. Атмосферний тиск біля Землі змінюється від $0,887 \cdot 10^6$ до $1,080 \cdot 10^6$ Па.

Першопричиною розподілу атмосферного тиску на Землі є різне нагрівання її у високих і низьких широтах. В екваторіальній смузі нагріте і насичене вологою повітря стає легким і піднімається. Над полюсами холодне і сухе повітря як важке опускається і наче притискується до Землі. Тому на однаковій висоті над екватором тиск вищий, ніж над полюсами. У вільній атмосфері він поступово зменшується від екватора до полюсів.

У приземному шарі тропосфери тиск розподіляється інакше. У полярних регіонах він вищий, в екваторіальній смузі знижений і змінюється від полюсів до екватора нерівномірно. У приземному шарі його розподіл визначається неоднаковим нагріванням суші і моря, нерівностями рельєфу, які затримують рух повітря, тощо. В результаті в одні місця повітря надходить, з інших – відтікає. Так утворюються зони високого і низького тиску. Вони розташовуються так над

поверхнею Землі, що утворюють уздовж паралелей смуги високого і низького тиску, які чергуються по широті.

Над полюсами в приземних шарах повітря низькі температури зумовлюють більш-менш постійні ділянки високого тиску.

У субполярних поясах розташовані дві смуги низького тиску (часте утворення циклонів). Простори помірних поясів (від субтропіків до субполярних широт) характеризуються мінливим розташуванням циклональних та антициклональних ділянок, що залежить від пір року та розподілу суші і моря. Влітку над теплими континентами встановлюються ділянки низького тиску, над холоднішими океанами – високого. Взимку навпаки над теплими океанами – низький тиск, а над холодними континентами – високий.

У субтропічних смугах обох півкуль приблизно між 25 і 30° широти скупчуються антициклони. Вони утворюють майже постійні і суцільні пояси високого тиску. Від них тиск спадає до екватора, де він завжди менший від норми.

Екваторіальна зона низького тиску збігається зі смугою найвищого полуденного положення Сонця і переміщується в різні пори року слідом за Сонцем. Ця зона відповідає термічному екватору і є баричним екватором. З переміщенням баричного екватора за Сонцем відповідно зміщуються й інші смуги тиску, бо всі вони зв'язані між собою.

Отже, розподіл тиску в основному має зональний характер. Але смуги високого і низького тиску зміщуються по широті від літа до зими і навпаки. Ці закономірності в розподілі тиску визначають циркуляцію атмосфери на Землі. Загальна циркуляція атмосфери – це закономірно взаємопов'язана система повітряних течій планетарних масштабів.

Сила баричного градієнта, зумовлена різницею тисків угорі між екватором і полюсами, примушує маси повітря рухатись із зростаючими швидкостями від ділянок високого тиску до ділянок низького (від екваторіальної зони до полюсів). Але на цей рух відразу ж починає діяти сила Коріоліса, яка відхиляє повітряні маси у Північній півкулі вправо, а в Південній – вліво. Із збільшенням широти збільшується відхилення. Зрештою повітря починає рухатися вздовж паралелей із заходу на схід і набуває постійної швидкості, яка відповідає баричному градієнту.

Від полюсів до тропіків над усією земною кулею панують західні вітри. Вони у високих і помірних широтах починаються з висоти 3–4 км, а над екватором – 10 км. Нижче від зазначених висотних рівнів відповідно до розподілу тиску єдність загальної циркуляції порушується. В приземній частині тропосфери вона розподіляється на ряд зональних поясів.

Є такі типи повітряних мас: арктичні (та антарктичні), полярні (помірні), тропічні та екваторіальні.

Арктичне (антарктичне) повітря це повітряна маса, що формується над Арктикою, північними частинами Євразії, Північної Америки, а також над Антарктидою. Характеризується низькою температурою, малим вмістом вологи, великою прозорістю. Проникаючи в нижчі широти, спричиняє похолодання (хвилі холоду). Морське арктичне повітря, що формується над океаном у приполярних районах, вільних від льоду, відрізняється більшим вмістом вологи і трохи вищою температурою.

Полярне (помірне) повітря – це повітряні маси, які формуються поза тропічними (високими і середніми) широтами Землі. Полярне

повітря прогріте значно краще, має влітку підвищений вміст вологи, знаходиться переважно над океанами. Західні вітри і циклони переносять морське помірне повітря далеко в глибину материків, де воно супроводжується нерідко опадами. Континентальне помірне повітря взимку дуже охолоджується, і погода в ньому стійка, морозна.

Тропічне повітря це повітряні маси, які формуються в тропічних і субтропічних широтах, а влітку також у континентальних районах на півдні помірних широт. Є континентальне і морське тропічне повітря. Тропічне повітря характеризується високими температурами, значним вмістом вологи, запиленістю. Воно нерідко поширюється в помірні та екваторіальні широти, де атмосферний тиск нижчий.

Екваторіальне повітря – це повітряні маси, що формуються в зоні екватора або скеровуються від нього. Характеризується постійними високими температурами і підвищеним вмістом вологи і над океаном, і над сушею. У після-полуденний час тут часті зливові дощі.

Тиск атмосфери – це тиск, який діє атмосферним повітрям на всі розміщені в ньому предмети і на земну поверхню. Хоч повітря й не важке, проте сила, з якою вся товща атмосфери тисне на земну поверхню, величезна. На дні повітряного океану на кожний квадратний сантиметр земної поверхні, чи то суші, чи води, атмосфера тисне з силою близько одного кілограма. Це означає, що на людську долоню поверхнею 150 см^2 повітря тисне з силою в 150 кг. Однак наш організм пристосований до такого тиску, тому ми його не помічаємо.

З висотою тиск атмосфери безперервно зменшується. Середній тиск повітря на рівні океану відповідає вазі ртутного стовпчика висотою 760 мм з перерізом 1 см^2 . Цей тиск називається нормальним. Інколи вважають одиницею вимірювання тиску атмосфери мілібари:

1 мм тиску становить 1,33 мб. Відстань по вертикалі, на якій атмосферний тиск зменшується на одиницю виміру (1 мм або 1 мб), називається баричним ступенем. У нижніх шарах атмосфери біля земної поверхні тиск зменшується приблизно на 1 мм на кожні 10 і 5 м висоти.

Атмосферний тиск не залишається завжди однаковим, він безперервно змінюється. Навіть невеликі коливання тиску дуже істотно впливають на погоду. Коли тиск різко зменшується, погода, звичайно, погіршується – йде дощ або сніг. А коли тиск збільшується, то погода проясняється, у небі з'являються блакитні просвіти.

У повітрі завжди присутня водяна пара.

Водяна пара – це безбарвний невидимий газ. Хмари складаються з дрібнісіньких краплинок води і є результатом переходу водяної пари з газоподібного стану в рідкий – у воду. Такий перехід газу в рідину називається конденсацією, а зворотний перехід рідкої води у водяну пару має назву випаровування. Конденсація і випаровування тісно пов'язані зі змінами температури повітря.

Певний об'єм простору – порожнього чи наповненого повітря, може вмістити в себе тільки відповідну кількість водяної пари. Тому випаровування буде тривати лише доти, поки водяна пара не досягне стану насиченості, тобто такого стану, коли цей простір уже не спроможний увібрати більше вологи. Виявляється, що кількість водяної пари, яка потрібна для того, щоб «наситити» нею простір не завжди однакова, – вона змінюється залежно від зміни температури повітря. Чим вища температура, тим більше потрібно водяної пари аби наситити даний простір.

При температурі нижче 0°C вода в атмосфері може перебувати не в двох, а в трьох станах – газоподібному (водяна пара), рідкому (вода) і твердому (лід). Рідкі краплі можуть плавати в повітрі навіть при від'ємній температурі, тобто нижче 0°C , все-таки не замерзаючи; у цьому випадку вода перебуватиме в переохолоджені стані, хоч, як правило, вона починає замерзати вже при 0°C .

При морозі конденсація дуже ускладнюється у зв'язку зі здатністю льоду притягувати до себе вологу. При температурі 10°C морозу 1 м^3 повітря, коли немає поблизу льоду, може містити до $2,35\text{ г}$ водяної пари. Якщо ж у цей об'єм повітря внести кусок льоду, то на його поверхні починає утворюватися білий сніговий наліт і кількість водяної пари в повітрі зменшиться до $2,19\text{ г}$. Отже, при морозі місткість простору для водяної пари залежить не тільки від температури, а й від того, чи стикається це повітря з льодом чи ні. В присутності льоду ця місткість зменшується, і повітря насичується меншою кількістю водяної пари.

Атмосферні опади – це вода в рідкому і твердому стані, що випадає з хмар, а також та, яка виділяється з повітря на земну поверхню і на предмети. Із хмар атмосферні опади випадають у вигляді дощу, снігу, крупи, фалу, мряки, мокрого снігу, льодового дощу. З повітря виділяються на ґрунт і на наземні предмети роса, рідкий наліт, іній, твердий наліт, мряка. До атмосферних опадів належить також ожеледь.

Хмари складаються з дуже дрібних краплинок води або кристалів льоду, що плавають у повітрі. Ці краплинки та кристалики такі малі, що під дією ваги лише повільно опускаються.

Коли хмарні краплі і кристали збільшуються і стають важчі, вони починають падати швидше, із хмари випадає дощ або сніг. Основною

умовою утворення опадів є одночасна наявність у повітрі твердої, рідкої і газоподібної води, яка перебуває у змішаних хмарах. Крапельки в хмарах можуть зберігатися в рідкому стані і при температурі нижче 0°C , але частіше при низьких температурах утворюються кристалики льоду або сніжинки. При температурі від -7 до -18°C хмари складаються одночасно з льодових кристаликів і водяних крапель.

Досягаючи розмірів від $0,05$ до $0,1$ мм, краплинки води в хмарах не можуть більше перебувати у повітрі і падають на землю у вигляді атмосферних опадів. При від'ємних температурах водяні крапельки випаровують вологу, а льодові кристалики конденсують її. Збільшуючись, вони падають, приєднуючи до себе інші крапельки води; які приморожуються до кристалів. Зимою такі кристалики падають на земну поверхню у вигляді снігу або крупи, а літом внаслідок танення в нижніх шарах атмосфери – у вигляді дощових крапель різної величини (діаметром від $0,05$ до 7 мм). Під час грози вони можуть випадати у вигляді граду.

2.4. Джерела забруднення атмосфери.

Під атмосферним забрудненням розуміють присутність у повітрі газів, парів, частинок твердих і рідких речовин, тепла, коливань, випромінювань, які несприятливо впливають на рослини, тварин, людей, клімат, матеріали, будівлі та споруди.

Оптимальні для життя і діяльності людини умови навколишнього середовища (і його найважливішого компонента – атмосферного повітря) знаходяться в певних, досить вузьких межах. Збільшення або зменшення меж цих меж означає якісну зміну умов життя людини.

Забруднювачі атмосфери, так само як і інших об'єктів природи, поділяють на механічні, фізичні та біологічні. До механічних відносять речовини в твердому, рідкому і газоподібному стані. До фізичних забруднень відносять: теплові, що виникають в результаті підвищення температури атмосфери (надходження в атмосферу нагрітих газів); світлові, що відбуваються при погіршенні природної освітленості місцевості під впливом штучних джерел світла; шумові, що є наслідком виникнення антропогенних шумів; електромагнітні, викликані зміною електромагнітних властивостей середовища (від ліній електропередачі, радіо, телебачення, мобільного зв'язку, роботи деяких видів промислових установок); радіоактивні, пов'язані з підвищенням рівня надходження радіоактивних речовин в атмосферу. Якість повітря погіршується також через присутність в ньому носіїв неприємних запахів.

Біологічні забруднення в основному є наслідком розмноження мікроорганізмів і антропогенної діяльності. Джерела антропогенного забруднення атмосфери – теплоенергетика, промисловість, транспорт, діяльність збройних сил (в тому числі і в мирний час).

Викиди в залежності від складу шкідливих речовин поділяються за їх агрегатним станом на чотири класи: I – газоподібні і пароподібні; 2 – рідкі; 3 – тверді; 4 – змішані. За хімічним складом вони поділяються на групи, а в залежності від розміру частинок – на підгрупи. Наприклад, тверді викиди підрозділяються на чотири підгрупи з розмірами частинок, мкм: менше 1; 1–10; 10–50 і більше 50.

До поширених шкідливих речовин відносяться аерозолі різного походження – пил, туман, дим; сполуки вуглецю (оксид, діоксид); сполуки сірки (сірководень, діоксид сірки); сполуки азоту (аміак,

окси́ди азо́ту); га́лоїди (хлор, фтор, бром та їхні спо́луки); фо́сфор і його спо́луки (фо́сфори́стий воде́нь); ми́ш'як та його спо́луки (ми́ш'якови́стий воде́нь); ці́анис́ті спо́луки (ці́анис́тий воде́нь, со́лі ці́анис́тої ки́слоти); ва́жкі і рі́дкі́сні ме́тали (сви́нець, ртуть, ма́рганець, цинк, коба́льт, хро́м, ва́надій і і́нші); вуглеводні ароматичного ряду (бензол, толуол, ксилол); вуглеводні жирного ряду (бензини); спирти жирного ряду (метиловий, етиловий); прості ефіри та інші.

В атмосферу Землі щорічно надходить 150 млн. т різних аерозолів; 220 млн. т діоксиду сірки; 450 млн. т оксиду вуглецю; 75 млн. т оксидів азоту. В рік на кожного жителя Землі припадає в середньому 300 кг викидів в атмосферу.

Після попадання в атмосферу забруднення не залишаються в незмінному вигляді; у процесі переміщення в просторі, турбулентної дифузії відбуваються їх фізичні зміни. В результаті хімічних реакцій утворюються нові сполуки. Найбільш поширений в атмосфері хімічний процес окислення речовин киснем повітря: діоксид сірки окислюється в триоксид, оксид азоту – в діоксид, альдегіди – в органічні кислоти, ненасичені вуглеводні – в багато інші речовини.

Навіть невеликий вміст діоксиду азоту в атмосфері може привести до утворення великих кількостей атмосферного кисню та озону, тому він відіграє важливу роль у формуванні смогу. Смог характеризує такий стан атмосфери, коли знижується видимість і різко зростає рівень забруднень (Рис. 2.3). Він негативно позначається на самопочутті і здоров'ї людей.

Ряд хімічних реакцій в атмосфері призводить до утворення кислот, що пов'язано з підвищенням кислотності дощів. Основним джерелом утворення кислотних дощів в атмосфері є діоксид сірки, що

викидається в результаті антропогенної діяльності у великих кількостях. При окисленні він перетворюється в сірчану кислоту і гідросульфати, оксиди азоту в азотну кислоту. Найбільша кількість діоксиду сірки викидають енергетичні підприємства, а оксиди азоту в основному надходять в атмосферу з вихлопними газами при роботі двигунів внутрішнього згоряння.



Рис. 2.3 – Смог у Пекіні (Китай)

(Вміст небезпечних для здоров'я твердих частинок у повітрі складає близько 500 мікрограмів на кубічний метр і перевищує рекомендовану Всесвітньою організацією охорони здоров'я норму в 20 разів)

Пил природного походження утворюється в результаті процесів, не пов'язаних безпосередньо з процесом виробництва, хоча в багатьох випадках є взаємозв'язок між цим видом пилоутворення і господарською діяльністю людини. До пилу природного походження відносять пил, що утворюється в результаті ерозії ґрунту, а також пил, що виникає при вивітрюванні гірських порід, пил космічного походження. Природне походження мають органічні пилоподібні

частинки – пилок, спори рослин. З пилом природного походження доводиться стикатися, головним чином, при вирішенні питань очищення припливного повітря перед надходженням його в вентиляровані приміщення.

Основними джерелами забруднення зовнішнього повітряного середовища є: промислові підприємства, в першу чергу хімічні, нафтохімічні і металургійні заводи; теплогенеруючі установки (теплові електростанції, опалювальні і виробничі котельні); транспорт, насамперед автомобільний.

На викиди енергетичних об'єктів припадає близько 60%, транспорт 20–25, промисловість 15–20%.

Промислове виробництво та інші види господарської діяльності людей супроводжуються виділенням у повітря приміщень та в атмосферне повітря різних речовин, що забруднюють повітряне середовище. Шкідливі речовини надходять у повітря приміщень також у результаті життєдіяльності людей і тварин.

Джерела забруднення повітряного басейну поділяються на джерела виділення та джерела викидів шкідливих речовин в атмосферу. Джерелом виділення шкідливих речовин називається технологічний агрегат (установка, пристрій, апарат тощо), який виділяє в процесі експлуатації шкідливі речовини; джерелом викидів – пристрій (труба, аераційний ліхтар, вентиляційна шахта тощо), за допомогою якого здійснюється викид шкідливих речовин в атмосферу. Промислові виробництва і технологічне обладнання, що є джерелами забруднення атмосфери, поділяються на групи:

- мають умовно чисті викиди, в яких концентрація шкідливих речовин не перевищує гігієнічних норм;

- мають викиди з неприємними запахами;
- містять нетоксичні речовини;
- мають викиди, що містять канцерогенні, токсичні чи отруйні речовини.

Джерела забруднення атмосфери бувають точкові (труба, автомобіль тощо), лінійні (газопроводи) і поверхневі. Потрапляти в атмосферу шкідливі речовини можуть на різних стадіях виробництва (видобуток, транспортування, дроблення, подрібнення, помел тощо), різним чином: в наслідок негерметичності обладнання, при вантажно-розвантажувальних роботах, з відкритих складів.

На підприємствах мають місце організовані (через труби, вентиляційні шахти) і неорганізовані викиди (через ліхтарі та отвори в цехах, від місць навантаження і розвантаження транспорту, через витоки в комунікаціях). Неорганізовані викиди (Рис. 2.4) становлять від 10 до 26% загальної кількості викидів в атмосферу.



Рис. 2.4. – Забруднення повітря.

Забруднення навколишнього середовища викидами двигунів внутрішнього згоряння представляє в останні роки все більшу небезпеку через зростаючу загрозу здоров'ю людини і навколишньому середовищу. Сучасний спосіб життя й розвинуте виробництво тісно пов'язані з автомобільним транспортом. Автомобільний транспорт одержав широке поширення, маючи ряд переваг: відносно високу швидкість руху по вдосконалених дорогах; хорошу прохідність і маневреність; можливість економічного перевезення дрібних партій вантажів; менш високі капітальні вкладення в будівництво автодоріг у порівнянні з залізничним транспортом. На початку XX ст. на нашій планеті налічувалося 6 тис. автомобілів. Кількість транспортних засобів з бензиновим двигуном в усьому світі перевищила 1,5 млрд. Протяжність автомобільних доріг з асфальтовим покриттям тільки в Європі та Північній Америці досягла майже 10 млн. км. По них щорічно перевозиться 16 млрд. т вантажів.

У зв'язку зі значним збільшенням автомобільного парку постійно зростає його роль у забрудненні атмосферного повітря. Легковий автомобіль викидає оксиду вуглецю CO до 3 м³/год., вантажний – до 6 м³/год. Тільки за одну годину автомобілі світу викидають в атмосферу більш як 600 тис. т оксидів вуглецю. Оксид вуглецю в підвищених концентраціях виявлений на значній висоті, а також у робочих і житлових приміщеннях висотних будинків, на вулицях з інтенсивним автомобільним рухом.

У загальному балансі забруднення атмосфери антропогенними джерелами транспортні засоби є одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища, насамперед повітряного басейну, такими токсичними речовинами, як оксид вуглецю, оксиди азоту, вуглеводні

та інші. Токсичними викидами автомобілів, крім зазначених вище вихлопних газів, є також картерні гази, пари палива з карбюратора і паливного бака. В цілому у викидах транспортно-енергетичних установок міститься 1200 хімічних компонентів, включаючи вельми токсичний бенз(а)пірен (Табл. 2.1).

Автотранспорт суттєво забруднює також воду (нафта, масла, розчинники) і ґрунт (нафта, нафтопродукти, кольорові метали і гума як наслідок стирання деталей автомашин і покриттів). На місці масляних плям протягом 20 років нічого не росте, смуга шириною 50–100 м по обидві сторони від доріг є зоною деградації ґрунтово-рослинного покриву з надлишком важких металів (10–20 ГДК) і дефіцитом біогенних елементів.

Таблиця 2.1 – Відпрацьовані гази автомобільного транспорту як джерело забруднення атмосфери.

Вихлопні гази автомобільного транспорту	Бензинові двигуни	Дизелі
N ₂ , об. %	74 – 77	76 – 78
O ₂ , об. %	0,3 – 8,0	2,0 – 18,0
H ₂ O (пара), об. %	3,0 – 5,5	0,5 – 4,0
CO ₂ , об. %	0,0 – 16,0	1,0 – 10,0
CO*, об. %	0,1 – 5,0	0,01 – 0,5
Оксиди азоту*, об. %	0,0 – 0,8	0,0002 – 0,5
Вуглеводні*, об. %	0,2 – 3,0	0,09 – 0,5
Альдегиди*, об. %	0,0 – 0,2	0,001 – 0,009
Сажа**, г/м ³	0,0 – 0,04	0,01 – 1,10
Бенз(а)пірен-3,4**, г/м ³	(1–2)·10 ⁻⁵	1,0·10 ⁻⁵

* Токсичні компоненти.

** Канцерогени.

Вихлопні гази і сильні коливання ґрунту від автомобілів прискорюють процес старіння будівель, приводять до деградації придорожньої рослинності. У районах з вузькими вулицями і високими

будинками велика концентрація оксиду вуглецю розсіюється повільно і викликає хронічні отруєння людей, які тривалий час перебувають в цих районах, особливо на перехрестях (регулювальників вуличного руху, вуличних торговців тощо).

Основні екологічні занепокоєння пов'язані з високою токсичністю вихлопних газів і незадовільними шумовими характеристиками автомобілів. Пробіг 1000 км для кожного легкового автомобіля супроводжується споживанням значної кількості кисню і викидом з вихлопної труби до 40 кг речовин, що забруднюють атмосферу. Вони викликають кисневе голодування, порушення функцій центральної нервової системи, подразнення слизових оболонок очей, носа.

Причинами значних викидів в атмосферу є відсутність або недостатня ефективність систем локалізації джерел виділення газів і пилу і пиловловлюючих пристроїв; конструктивні недоліки виробничого і транспортного обладнання, їх технічна несправність і недостатня герметичність; неправильне ведення технологічних процесів.

Якість повітря, його вплив на організм, а також обладнання і технологічні процеси багато в чому обумовлені вмістом в ньому зважених частинок, головним чином пилових.

Промислові викиди, що містять зважені тверді або рідкі частинки, що являють собою двофазні системи, суцільною фазою в системі є гази, а дисперсною – тверді частинки або крапельки рідини.

Велика кількість забруднень надходить в атмосферу при роботі цементної промисловості. Цементний пил небезпечний для всього живого – рослин, тварин, людини. Шкідливий також і азбестовий пил, що потрапляє в атмосферу при видобутку азбесту і обробці азбестових

виробів. При виробництві гіпсу його втрати досягають 25%, а повітря забруднюється гіпсової пилом високої концентрації в радіусі до 1,5 км. Більшість будівельних робіт пов'язано з застосуванням кварцу, що супроводжується виділенням в атмосферу кварцового пилу, небезпечного для здоров'я людини. Асфальтобетонні заводи викидають в атмосферу велику кількість забруднюючих речовин: пил, сажу, оксиди вуглецю, азоту, сірки та інші шкідливі речовини.

Будівельні роботи пов'язані з переміщенням великих мас будівельних матеріалів та ґрунту. При цьому утворюється багато пилу, що переходить у завислий стан і довгий час знаходиться в атмосфері. Будівельний пил всіх видів становить близько 10% всього пилу, що виділяється в атмосферу від різних джерел. Ці джерела поставляють в атмосферу велику кількість найрізноманітніших речовин – фізичних і біологічних забруднювачів.

Пилоутворення відбувається на відкритих складах нерудних матеріалів, тимчасових автошляхах. При деревообробці утворюється вибухо-, пожеже-небезпечний деревний пил.

Пил технологічного походження характеризується великою різноманітністю за хімічним складом, розміром частинок, їх формою, щільністю, характером країв частинок і так далі. Відповідно має місце різноманітний вплив пилу на організм людини і навколишнє середовище. Пил завдає шкоди організму в результаті механічного впливу (пошкодження органів дихання гострими крайками пилу), хімічного (отруєння отруйним пилом), бактеріологічного (разом з пилом в організм проникають хвороботворні мікроорганізми). Пилові частинки розміром 5 мкм і менше здатні глибоко проникати в легені аж до альвеол. Порошинки розміром 5–10 мкм в основному затримуються

у верхніх дихальних шляхах, майже не проникаючи в легені. Пил надає шкідливу дію на органи дихання, зір, шкіру, а при проникненні в організм людини – також на травний тракт. Найбільш важкі наслідки викликає систематичне вдихання пилу, що містить вільний діоксид кремнію SiO_2 . В результаті виникає силікоз. Це одна з форм хвороби легенів, пов'язаної з вдиханням запиленого повітря, – пневмоконіозу. Вплив пилу на орган зору викликає кон'юнктивіти, на шкіру – дерматити.

Пил у виробничих приміщеннях несприятливо впливає на устаткування, викликаючи, наприклад, його інтенсивний знос. Осадження пилу на поверхню нагріву і охолодження погіршує умови теплообміну. На електричному обладнанні він може привести до порушення його роботи і навіть до аварій.

Органічний пил буває рослинного (деревний, бавовняний, борошняний, тютюновий, чайний) і тваринного (вовняний, кістковий) походження. Органічний пил, наприклад борошняний, можуть бути живильним середовищем для розвитку мікроорганізмів. Пилкові частинки можуть бути ядром конденсації для парів рідин. Разом з пилом в приміщення можуть проникати речовини, що викликають інтенсивну корозію металів. З повітрям багато видів пилу утворюють вибухонебезпечні суміші. Значна частина промислового пилу змішаного походження, тобто складається з частинок неорганічних і органічних або, будучи органічною, включає в себе частинки мінерального та металевго пилу. Наприклад, зерновий пил, крім частинок, що утворюються при подрібненні зерна, містить також мінеральні частинки, що потрапляють в масу зерна при вирощуванні і збиранні врожаю. Пил, що виділяється при шліфуванні металевих

виробів, крім металевих частинок ще містить мінеральні частинки, які утворюються при взаємодії оброблюваного металу і знарядь його обробки.

Аерозоль являє собою дисперсну систему, в якій дисперсійним (суцільним) середовищем є газ, зокрема, повітря, а дисперсною фазою – тверді або рідкі частинки. Найбільш дрібні (тонкі) аерозольні частинки мають розміри, близькі до великих молекул, а для найбільш великих найбільший розмір (до 100–200 мкм) визначається їх здатністю більш або менш тривалий час знаходитися в зваженому стані.

Розрізняють дисперсійні і конденсаційні аерозолі. Дисперсійні аерозолі утворюються при подрібненні (диспергуванні) твердих і рідких речовин, конденсаційні – при конденсації насичених парів, а також в результаті газових реакцій. Дисперсійні частки зазвичай значно грубіше, ніж конденсаційні, вони володіють більшою полідисперсністю і мають неправильну форму. Конденсаційні аерозолі мають часто правильну кулясту або кристалічну форму і при коагуляції, зливаючись, знову отримують кулясту форму.

На практиці часто доводиться зустрічатися з аерозолями, що включають частки як дисперсійного, так і конденсаційного походження, зазвичай ультрамікроскопічного розміру.

2.5. Парниковий ефект.

Існують різні думки з приводу парникового ефекту (термін “парниковий ефект” ввійшов у наукову лексику з XIX століття як “оранжерейний”, його ввів С. Арреніус).

Парниковий ефект — явище в атмосфері Землі та інших планет, при якому енергія сонячних

променів, відбиваючись від поверхні, не може повернутися у космос, оскільки затримується молекулами різних газів, що призводить до підвищення температури поверхні. Без парникового ефекту температура поверхні Землі за оцінками була б приблизно на 33° нижчою, ніж є насправді, і становила б -18 °С. Парниковий ефект суттєвий також на Марсі та, особливо, на Венері.

Відомі вчені оцінюють “парниковий ефект” як позитивний: при збільшенні змісту CO₂ в атмосфері поліпшується ріст рослин, зростає кількість біомаси. Рослини можуть поглинути до 10 млрд. т вуглецю, а зараз видобувають приблизно стільки саме умовного палива, в якому утримується близько 2 млрд. т чистого вуглецю. При збільшенні вмісту CO₂ рослини вимагають менше вологи, отже, більше з'явиться рослинності в посушливих районах. Відомо, що на міжнародних конференціях, що відбулися в Ріо-де-Жанейро (Бразилія) в 1992 році і в Кіото (Японія) у 1997 році цю проблему обговорювали, і на останній конференції були прийняті так звані квоти щодо припустимого рівня вмісту і викидів CO₂ в атмосферу. На Кіотській конференції було проаналізовано стан нижньої атмосфери в різних країнах і регіонах земної кулі на предмет вмісту CO₂. Деякі країни перевищують припустимий рівень. Інші ще не дійшли до нього. Наприклад, скандинавські країни не досягли визначеного для них рівня, а США, Німеччина, Франція його вже перевищили. Цікаво, що промислово розвинені країни розташовані в північній півкулі, а озонову діру виявлено над південним полюсом.

Група американських учених підготувала лист-звернення до урядів розвинених країн, у якому сказано, що “парниковий ефект” нікому не загрожує, і не потрібні подібні квоти на видобуток і

споживання нафти, вугілля й інших видів палива. Лист підтримали начебто ще 17 тисяч вчених та інженерів. Але всі процеси, пов'язані з парниковим ефектом, поки що моделюють на комп'ютері. Згідно з цими моделями, у 2100 році на Землі може підвищитися температура на 2,5–5 °С, що здатне викликати підвищення рівня океану на 1 метр. Крім того, розтане вічна мерзлота, льодовики, збільшиться ерозія ґрунту, площа пустель тощо. Парникові гази CO_2 , CH_4 та інші затримують довгохвильове теплове випромінювання (інфрачервоний діапазон). Але перенесення тепла в тропосфері здійснюється не радіаційним шляхом, а конвекційним. До речі, конвекційні потоки відзначено на висоті до 80 км. Звідси можна зробити висновок, що при поширенні тепла в товщі тропосфери потрібно враховувати розширення та стиснення повітря, при яких відбувається охолодження при підйомі і, навпаки, нагрівання при опусканні.

Цей підхід був підтверджений теоретичними розрахунками і вимірами температури планети Венери, що збіглися до 1–2%. Перенесення тепла в тропосфері сприяє підвищенню вологості і хмарності, що сприяє зменшенню тепла на Землі (Рис. 2.5). Зараз продовжується вікове потепління, яке почалося ще у XVII столітті. Вчені наводять приклад з Каспійським морем, рівень якого опускався, а потім піднімався. Зараз Земля переживає міжльодовиковий період, що має завершитися через мільйони років, і тому варто очікувати суворішого клімату.

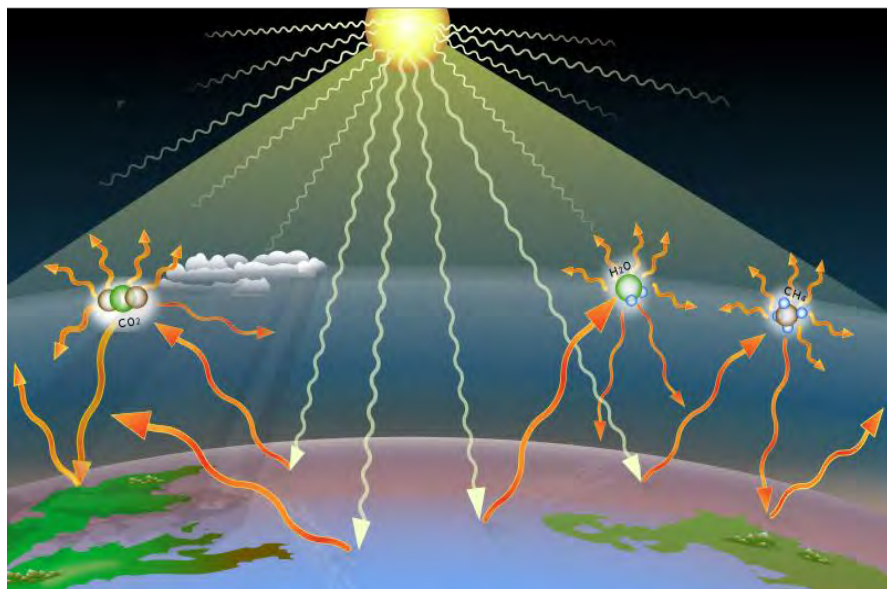


Рис. 2.5 – Схема утворення парникового ефекту.

Це похолодання почалося близько 100 млн. років тому. Завдяки зниженню температури вуглекислий газ поглинула морська вода, його там у 60 разів більше, ніж в атмосфері. Він міститься у зв'язаному стані у вигляді карбонатів, що є рятівним механізмом для Землі. Якби цього не було, вона б повторила долю Венери. Збільшення CO_2 на 80% у XX ст. відбулося за рахунок потепління, але це природний хід, не пов'язаний з парниковим ефектом, хоча збільшення штормів, ураганів, повеней не завжди підтверджує цю тезу. Але чи тільки CO_2 відповідальний за парниковий ефект у нижній атмосфері? Земля випромінює енергію переважно у діапазоні 9–10 мкм, що відповідає температурі $18,5^\circ\text{C}$ ($\approx 255\text{ K}$), яка відрізняється від середньої глобальної температури земної поверхні (288 K). Ця різниця й обумовлена впливом “парникового ефекту”. Звідси можна по-іншому поглянути на роль окремих компонентів у створенні парникового ефекту. Як не дивно,

найбільший ефект у затримці інфрачервоного випромінювання Землі вносить водяна пара (62%). Потім ідуть CO_2 , NO_x і CH_4 (метан), внесок яких становить 21,7; 7,2 і 4,2%, відповідно. Вони мають вищу теплоємність, ніж двоатомні кисень, азот і одноатомний аргон, що є основними складниками повітря. Отже, їхнє накопичення підвищує загальну теплоємність атмосфери та її інерційність. Цим можна пояснити зниження континентальності клімату: м'яка зима і вищі зимові температури в містах порівняно з відкритою місцевістю. Особливо швидко підвищується вміст метану, значно швидше, ніж CO_2 , приблизно на 1% за рік. Накопичення метану відбувається за рахунок виділення з вугільних шахт, льодовиків і гірських порід при підвищенні температури, а також із стоків у сільському господарстві та на виробництві. За останні 100 років вміст CO_2 в атмосфері збільшився в 1,3 рази, а метану – у 2 рази, причому парникова ефективність метану в 20 разів вища, ніж CO_2 . Крім того, CO_2 , як відомо, поглинають води океанів і морів з утворенням нерозчинних карбонатів. Отож, не потрібно боятися CO_2 , його вміст регулює океан. Для людини не шкідлива його концентрація у повітрі до 3%. При підвищенні вмісту вуглекислоти більшість рослин вимагає менше води, так що й у цьому разі накопичення CO_2 є менш небезпечним, ніж метану, водяної пари, оксидів азоту й інших газів. Однією з причин потепління є зменшення товщини озонового шару, мінімум якої спостерігали у 1998 році – на 12% узимку і 7% улітку нижче, ніж звичайно. Коли в геологічному минулому було потепління, вміст CH_4 підвищувався в 450 разів, що відповідало викидові його 10^{12} тон. Потім метан вигорів, і залишився CO_2 на сучасному рівні та вода. Спочатку температура піднялася на 7–9 °C, а потім повернулася до вихідного стану. Потоп на Землі,

очевидно, був, але збільшення кількості CO₂ з'явилося, скоріше за все, як наслідок, а не причина. Потрібно відзначити, що виробництво усіх видів енергії на Землі призводить до посилення вітрів над Світовим океаном, у результаті цього в атмосферу більше надходить частинок морської солі, які є центрами концентрації вологи. Підвищується щільність хмар, зменшується потік сонячної радіації, знижується загальна температура. Хоча нагромадження діоксинів не має прямого відношення до парникового ефекту, воно дуже небезпечне, тому що ці речовини належать до сильнодіючих отруйних. Діоксини – це поліхлоровані поліароматичні сполуки.

Діоксини – велика група хлорованих вуглеводнів. Безбарвні кристали, нерозчинні у воді. Хімічно дуже інертні. Дуже стійкі сполуки, з тривалим часом напіврозпаду. Оскільки розчиняються жирами, то мають здатність до біоаккумуляції, тобто до накопичення в організмі. Діоксини, які можна назвати «екологічним брудом», є побічними продуктами, які утворюються при синтезі деяких гербіцидів, та при їх розпаді в природних умовах (як і інших пестицидів) при виробництві целюлози, при електролізних процесах отримання нікелю і магнію, литті сталі та міді, переплавці лому заліза, при виробництві алюмінію, а також у процесах нафтопереробки, при спалюванні хлоровмісних сполук, спалюванні автомобільного мастила та бензину, сміття тощо. Забруднюють довколишнє середовище. Усі діоксини є високотоксичними, а «лідер» цієї групи — 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-р-діоксин — за токсичністю переважає такі отрути, як синильна кислота, стрихнін, кураре, поступаючись лише ботулінічному, правцевому та дифтерійному токсинам. Його гранично допустима концентрація — 10⁻¹² грама на кілограм речовини або літр рідини. Розрахункова смертельна доза діоксину для людини становить 70 мкг/кг маси тіла.

Відомо, що під час війни у В'єтнамі було розпилено приблизно “лише” 150–500 кг діоксину, у результаті чого і через 30 років ґрунт там ще не відновлений. У навколишнє середовище викинуто вже зараз кілька сотень тон діоксинів, і цього досить для пояснення катастрофічних втрат органічної речовини в біосфері, різкого зниження кількості генофонду і зростання імунodefіциту у всіх вищих організмів. У світі виробляють близько 14 млн. тон хлору, з них одна третина утримується в поліхлорвінілах. Зараз у 150 містах Європи заборонено виробництво і застосування поліхлорвінілу в будівництві, на транспорті, у кабельній промисловості. Отже, не можна однозначно визначити окремо вплив одних компонентів і процесів на зменшення товщини озонового шару без урахування інших. Потрібен комплексний підхід до розуміння механізмів явищ, які викликають коливання кількості озону та парниковий ефект. Слід об'єднати зусилля вчених багатьох країн для постановки глобальних експериментів, щоб наблизитися до розв'язання проблеми.

Зміна клімату є, можливо, найбільш важливою та складною проблемою в сфері охорони навколишнього середовища, яка спіткала людство за останнє століття. Поки що недостатньо достовірно визначено потенційні наслідки збільшення в атмосфері концентрації вуглекислого газу та інших парникових газів, але найбільш вірогідним з них є глобальна зміна температурного режиму. Підвищення температури може викликати цілу низку таких явищ як підвищення рівня моря та зміни в локальних кліматичних умовах, що, в свою чергу, може негативно вплинути на екологічний та соціально-економічний розвиток багатьох країн. Нема сумніву в тому, що глобальне потепління може викликати непередбачені зміни в довкіллі. Навіть

незначна зміна складових радіаційного балансу може спричинити зміни напрямків вітру та течій океану, що сильно змінить існуючі кліматичні умови і може привести до непередбачених наслідків. В результаті цього населенню Землі та більшості її екосистем може бути заподіяно непоправної шкоди.

Комп'ютерні моделі показали, що, якщо вміст парникових газів в атмосфері буде продовжувати рости, то наприкінці XXI сторіччя середньорічні температури збільшаться на 1,4–5,8 °С. При цьому рівень світового океану підніметься на декілька десятків сантиметрів – не стільки внаслідок розтавання полярного льоду, а скільки внаслідок теплового розширення верхнього шару, який прогрівається. Частина приморських країн може повністю зникнути в морі. В Єгипті результати досліджень показали, що внаслідок підвищення рівня моря на 1 метр буде затоплено регіон, в якому зараз проживає 15% населення країни і виробляється 16% продовольства.

Однак глобальне потепління створить проблеми не тільки жителям приморських країн. Підвищення середньої світової температури усього лише на кілька градусів може призвести до величезних змін у кліматі планети. Це буде означати зсув всіх кліматичних зон від екватору до полюсів: південна частина тундри заросте тайгою, на півдні сьогоdnішньої тайги виростуть широколисті ліси. І людям, і тваринам прийдеться звикати до нового клімату.

Значно зросте ерозія ґрунту, почастішають зсуви земель, затоплення прибережних земель, збільшиться кількість збитково зволoжених земель. Зросте ризик виникнення таких стихійних лих як циклони, посухи, пожежі, повені, урагани. Відомо, що кількість стихійних лих на нашій планеті протягом 80-х років XX століття

збільшилась вдвічі порівняно з 70-ми роками. У сільському господарстві зросте необхідність у іригаційних заходах, зміниться врожайність і якісний склад культур, а це, у свою чергу, позначиться на тваринництві. В енергетичному секторі найбільш уразливою буде гідроенергетика.

Почнуть масово розмножуватися кровососні комахи та шкідники лісу. Багато тропічних та субтропічних видів комах розповсюдяться на північ і разом з ними будуть розповсюджуватись хвороби, які вони можуть переносити – малярія, тропічні вірусні лихоманки і тому подібне.

Також можливі різкі відхилення температури в обидві сторони від середньої. Наприклад, в Києві в січні буде більше днів з температурою 25 градусів морозу, а також з температурою вище 0 градусів. Те ж саме буде спостерігатися з опадами і вітрами – зміняться не стільки середні їх величини, скільки відхилення від них.

Збільшення промислових викидів та викидів від автотранспорту, крім посилення парникового ефекту, дедалі погіршує якість повітря у містах. Це негативно впливає на здоров'я людей: зростає кількість захворювань дихальних шляхів, серцево-судинної системи та онкологічних захворювань. Також, ці викиди прискорюють руйнування будівель, корозії металевих конструкцій. Вплив зміни клімату на здоров'я людей буде найбільш відчутним у країнах Африки, Азії та Південної Америки, через слабку економіку ці країни не зможуть ефективно долати наслідки глобального потепління. Може значно збільшитися кількість екологічних біженців з цих країн.

Досліджено, що потепління на планеті не буде рівномірним. Потепління буде найбільшим на полюсах (у 2–3 рази більше

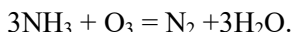
середнього) та найменшим у тропіках (50–75% від середнього рівня). На сьогоднішній день прогнози зміни температури на регіональному рівні мають високу ступінь невизначеності.

Як же вирішувати проблему глобального потепління? Необхідно зменшувати кількість викидів і збільшувати кількість поглиначів парникових газів. Найкращими поглиначами парникових газів є біомаса (ліси) та океан. Коли ми спалюємо ліси, ми не тільки збільшуємо викиди CO_2 , CH_4 , а й зменшуємо кількість природних поглиначів, таких, як ліс. Знищення лісів негативно впливає на обидва процеси: поглинання і викиди.

2.6. Вплив техногенних навантажень на озоновий шар.

У перші мільярди років існування Землі вулканічна діяльність була досить активною. Виверження вулканів створювали первинну атмосферу, що складалася з тих газів, які і зараз вони іноді викидають: хлор і хлороводень, фтороводень, аміак, перегріта водяна пара, окис і двоокис вуглецю, кисень, сірководень, двоокис сірки, водень, пізніше – слабо нагріта пара. При конденсації водяної пари утворилася гідросфера, у якій і зародилися елементарні живі організми. Надалі в первинній атмосфері, завдяки діяльності синьо-зелених водоростей, з'явилися вуглекислий газ, кисень. Останній має найнижчий з усіх атмосферних газів потенціал іонізації – 12,5 В. При поглинанні енергії невидимої частини сонячного спектра атоми кисню переходять у збуджений стан і створюють молекули кисню й озону. Кисень як

найсильніший окиснювач перетворив аміак атмосфери Землі в азот відповідно до реакції



Зі збільшенням вмісту кисню в атмосфері на висоті 20–30 км оформився цілий шар із високим вмістом озону. Так у стратосфері утворився озоновий шар Землі (ОШЗ), що охороняє життя від згубного впливу іонізуючої частини сонячного спектра.

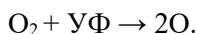
Озоновий шар — шар атмосфери (стратосфери), в межах якого концентрація молекул озону (O_3) в 10 разів вища, ніж біля поверхні Землі. Озоновий шар лежить в стратосфері на висоті від 15 до 35 км. Завдяки порівняно високій концентрації озону в шарі інтенсивно поглинається ультрафіолетова частина сонячної радіації. Тому озоновий шар має виняткове значення для розвитку життя на Землі, перешкоджаючи потраплянню на поверхню планети короткохвильового ультрафіолетового проміння, згубного для живих організмів.

Стратосфера розташовується на висоті від 12 ± 6 км до 55 ± 5 км. Температура в стратосфері підвищується від 180 К приблизно до 300 К. Пов'язано це з тим, що стратосфера на відміну від тропосфери нагрівається не від поверхні Землі, а безпосередньо від Сонця. Механізм нагрівання стратосферного газу полягає в наступному. У складі сонячного випромінювання близько 9% енергії припадає на ультрафіолетове випромінювання. Завдяки порівняно високій концентрації озону в ОШЗ інтенсивно поглинається ультрафіолетова частина сонячної радіації. Тому озоновий шар має виняткове значення для розвитку життя на Землі, перешкоджаючи потраплянню на поверхню планети короткохвильового ультрафіолетового проміння, згубного для живих організмів.

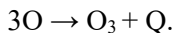
Озоновий шар відкрили 1913 року Шарль Фабрі та Анрі Буїсон. У 1920-х роках озоновий шар активно досліджував професор оксфордського університету Гордон Добсон, на честь якого названо одиницю вимірювання товщини озонового шару – одиниця Добсона (англ. *Dobson unit, DU*). 1928 року Добсон організував світову мережу нагляду за озоновим шаром, яка працює й досі.

При утворенні озону поглинається майже все ультрафіолетове випромінювання з діапазону 100–280 нм, а сам озон поглинає ультрафіолетове випромінювання в діапазоні 200–315 нм. Випромінювання в першому діапазоні (100–280 нм) смертельно небезпечно, але його поглинає атмосферний кисень незалежно від наявності або відсутності озону.

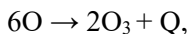
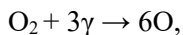
Ультрафіолет з довжиною хвилі 280–315 нм поглинається на 97–99% і виключно озоном. Під дією ультрафіолетового випромінювання відбувається дисоціація (розпад) молекули кисню на вільні атоми



Оскільки довжина вільного пробігу атомів газу в стратосфері в багато разів більша, ніж у тропосфері, то атоми кисню довше перебувають у вільному стані і мають можливість створити молекулу озону



Тепло Q , що виділилося при цій реакції, нагріває навколишній газ стратосфери, і температура в ній зростає. Сумарно весь процес можна записати так



де γ – загальний квант електромагнітного випромінювання, до якого, звичайно, належить й ультрафіолет.

При серйозному зменшенні озонового шару загине більшість рослин, а також багато видів мікроорганізмів. Люди і тварини будуть отримувати опіки за кілька хвилин під сонячними променями. Вся екосистема планети буде зруйнована. При зменшенні озонового шару поверхня Землі буде сильніше нагріватися, що збільшить середню температуру і призведе до глобальних змін клімату.

Озоновий шар із концентрацією озону (близько 8 мл/м^3) поглинає шкідливі ультрафіолетові промені Сонця і служить надійним щитом від цього випромінювання. Отже, завдяки озоновому шару, з'явилося життя на Землі. Загальна кількість озону в атмосфері становить $3 \cdot 10^9 \text{ т}$ (вся атмосфера $5 \cdot 10^{15} \text{ т}$), а це значить, що при нормальному тиску товщина шару буде дорівнювати лише 3 мм. Максимальну кількість його можна спостерігати на висоті 24–26 км. Однак плівка озону такої мізерної товщини надійно захищає Землю, поглинаючи небезпечні ультрафіолетові промені. При поглинанні сонячної енергії озоновим шаром температура атмосфери підвищується, а значить, шар озону є своєрідним резервуаром теплової енергії в атмосфері. Крім цього, озон затримує близько 20% випромінювання Землі, утеплюючи атмосферу.

Озон здійснює регулювання жорсткості космічного випромінювання, і якщо хоча б невелика кількість озону знищується, то різко зростає жорсткість випромінювання, а це призводить до змін у живому світі Землі.

Озон є активним газом, який діє несприятливо на людський організм. У нижній частині атмосфери біля поверхні Землі концентрація озону незначна, тому він не приносить шкоди людині.

Однак у великих містах, де спостерігається інтенсивне автотранспортний рух, утворюється велика кількість озону в результаті фотохімічних перетворень вихлопних газів автомашин. Доведено, що мала концентрація озону або його відсутність негативно впливає на людство, призводить до ракових захворювань.

Згідно з науковою теорією, останнім часом в атмосфері відбувається руйнування озонового шару, внаслідок чого виникають озонові діри, тобто падає концентрація озону в озоновому шарі нашої планети. Потоншення озонового шару відбувається через руйнування молекул озону в реакціях із різними сполуками антропогенного і природного походження, а саме при з'єднанні з фреонами, що містять хлор або бром, а також з простими речовинами (водень, атоми хлору, кисню, броду).

Фреони — група галогеномістких речовин, що киплять при кімнатній температурі. Високолеткі, здебільшого інертні біля поверхні Землі, використовуються в холодильній промисловості і як розпилювачі в аерозольних упаковках. Наприклад, фреон дифлуородихлорометан CF_2Cl_2 — рідина, що кипить при $-29,8^\circ\text{C}$. У стратосфері піддаються фотохімічному розкладу з виділенням іонів хлору, які є каталізатором хімічних реакцій, що руйнують молекули озону.

У 1985 році на Південному полюсі вченими була виявлена озонова діра (Рис. 2.7), тобто рівень озону в атмосфері був значно нижче норми під час антарктичної весни. Такі зміни повторювалися щороку в один і той же час, але з потеплінням діра затягувалася. Подібні діри з'являлися і на Північному полюсі — під час арктичної весни. Сьогодні вченими доведено, що ствердження про те, що озоновий шар зникає через фреони є не зовсім вірним, в даний момент фреони відповідальні не

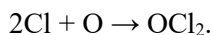
більше ніж за 15–20% втрат озону, інші втрати цілком природні і озонові діри утворюються на полюсах без втручання людини. Це відбувається під час полярної ночі, коли на атмосферу не падають ультрафіолетові промені і новий озон не утворюється.



Рис. 2.7 – Озонова діра / фото pixabay.com

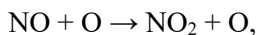
Монреальський протокол, підписаний 16 вересня 1987 року, забороняє виробництво та продаж небезпечних речовин, що виснажують озоновий шар. В рамках протоколу вже вдалося заборонити виробництво і використання понад 100 видів хімікатів. Багато з цих речовин не тільки руйнують озоновий шар, але і сприяють глобальному потеплінню. «Монреальський протокол невідповідно став одним з найуспішніших багатосторонніх угод в історії. Спільні дії по відновленню озонового шару, що спираються на дослідження

авторитетних вчених, забезпечили успіх у реалізації Протоколу в останні 30 років, а також висунуто прогноз, що належна реалізація Монреальського протоколу допоможе до 2030 року запобігти 2 мільйонам випадків раку шкіри, а також має внести важливий вклад в охорону дикої природи і розвиток сільського господарства. Наступним кроком в розвиток духу Монреальського протоколу стала Кігалійська поправка до нього. Вона введена в дію з 2019 роки для розвинених країн і з 2020-го – для окремих країн СНД. Її мета – знизити глобальну температуру на 0,5 градуса. Йдеться про зняття з виробництва і відмову від споживання гідрофторвуглеців, які прийшли на заміну хлорфторвуглецам (фреонам) і гідрохлорфторвуглецам. Нині вони широко використовуються в обладнанні для кондиціонування повітря, холодильної техніки та інших сферах, але тепер потрапили під підозру як агенти глобального потепління. Звичайно, фтор і хлор знищують, а точніше, заважають утворенню озону. На їхню частку припадає приблизно 20% руйнування. Нейтральний хлор діє як каталізатор, тобто він практично не витрачається, і один його атом може зруйнувати близько 6 тисяч молекул озону, а точніше сказати, не дасть їм утворитися

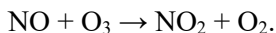


Для порятунку озонового шару, крім зниження техногенної діяльності людини в стратосфері (польоти реактивних літаків, багатьох видів ракет), деякі вчені пропонують штучно створювати електричні заряди в атмосфері. Це можна здійснити за допомогою радіовипромінювань на частотах близько 1,5 МГц, у результаті чого в стратосфері утворюються негативні іони хлору, які, на відміну від нейтральних атомів, не руйнують озон. Передбачено, що в кожному

кубічному сантиметрі буде утворено від 10 до 100 тис. вільних електронів, що і створюють негативні іони хлору. Очевидно, це стосується й інших атомів, що мають високу спорідненість з електроном. Усе це правильно, якщо виходити з того, що озоновий шар руйнують тільки продукти розкладання фреонів. Крім того, невідомо, до яких інших наслідків може призвести електризація стратосфери. Але справа не тільки у фреоні, у руйнуванні озону беруть участь і інші гази і навіть вода. Руйнування ОШЗ почалося в середині XX сторіччя, коли з'явилася стратегічна авіація і ракетно-космічна техніка, почалися випробування ядерної зброї. Як виявилось, однією з причин руйнування ОШЗ став оксид азоту (NO). Цей газ, як і інші оксиди азоту, за винятком NO₂, не трапляється в природі. Він утворюється внаслідок нагрівання повітря при польоті літака або ракети, коли відбувається термічна іонізація молекул кисню й азоту за реакціями



далі знову



Таким чином, оксид азоту NO не витрачається, тобто він є каталізатором, і для того, щоб реакція відбулась, достатньо його концентрації у повітрі лише 0,1%. Виявляється, швидкість окислювання NO збільшується не з підвищенням температури, а з її зниженням. Це і робить оксид азоту NO сильним фактором руйнування ОШЗ. Реагуючи з озоном, він утворює NO₂, що при температурі 160 °C перетворюється в кристали N₂O₄, а останні опускаються в нижні шари атмосфери. Наступною за ступенем участі в процесі знищення ОШЗ є водяна пара й окис хлору ClO. Кисневі з'єднання галогенів (ClO)

надходять в атмосферу при виробництві твердого ракетного палива, сірників, піротехнічних виробів. Типовою ракетною системою з твердим паливом є прискорювачі “Спейс Шаттл”. При підйомі до висоти 50 км такий космічний “човник” викидає в атмосферу 346 т водяної пари, 187 т хлору і хлористих сполук і 7 т азотних оксидів. У процесі фотодисоціації з озоном вода перетворюється в перекис водню, що замерзає при температурі $-0,48\text{ }^{\circ}\text{C}$, ClO перетворюється у ClO_3 , що утворює при температурі $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ кристали ClO_6 , і вони також опускаються в аерозольний шар Землі, як і N_2O_4 . Найпростішу реакцію водню з киснем знає кожен школяр. Водень, потрапляючи в атмосферу, реагує з киснем, що міститься там в активному дисоційованому стані.

Звідки береться водень у стратосфері? Частина його приходить від Сонця (сонячний вітер) у вигляді протонів, концентрація яких значно підвищена над полюсами, звідтіля вони “скидаються” на Землю разом з електронами й утворюють полярні саява. При підвищенні активності Сонця потоки протонів збільшуються. У 1999–2001 роках була найбільша активність Сонця за останні 600 років і спостерігалось зменшення озонового шару. Число Вольфа, що характеризує активність Сонця, досягало 200–220, тоді як у нормальному році воно дорівнює 8–10.

Число Вольфа (міжнародне число сонячних плям, відносне число сонячних плям, щоріхське число) — назване на честь швейцарського астронома Рудольфа Вольфа; числовий показник кількості плям на Сонці. Є одним із найпоширеніших показників сонячної активності.

Вміст водню, як продукту дегазації Землі, зростає за рахунок видобутку вугілля, природного газу, залізних та інших руд, виділення з осадових порід, льодовиків і океанів, за рахунок загального підвищення

земної температури і розкладання гідратів, вміст яких більший у приполярних зонах (низькі температури). Потрібно відзначити, що в льодовиках Антарктиди і Північного Льодовитого океану розчинений водень і сорбований метан. Останній утворює вільний водень за рахунок його конверсії. Частина метану, як і інших легких газів, піднімається в стратосферу.

Звичайно, при цих процесах виділяється і кисень, але він залишається в низьких шарах атмосфери. Літаки викидають за рік близько 250 млн. т водяної пари на висотах приблизно 10 км і вище, плюс до цього потрібно додати CO_2 , NO_2 , і NO . Ці сполуки й обумовлюють знищення озонового шару і прискорення парникового ефекту. Інша можливість утворення оксидів азоту в стратосфері пов'язана з ядерними випробуваннями на великих висотах. Відповідно до виконаних розрахунків, ядерні випробування в атмосфері у 1961–1962 роках призвели до скорочення кількості озону в північній півкулі на 3–6%. Оксиди азоту перебувають у стратосфері приблизно протягом одного року. Тому через 2–3 роки після різкого скорочення ядерних випробувань в атмосфері їхній вплив на стратосферний озон зменшувався. Дуже небезпечним є нагромадження аміаку в атмосфері, причому його відносний вміст у атмосфері у 10^{-5} визнано критичним.

Вихлопні гази двигунів літальних апаратів також вносять свій «внесок» в утворення озонових дір. Оксиди азоту вступають в реакцію з озоном стратосфери, що призводить до руйнування цього шару, що захищає біосферу від жорсткого ультрафіолетового сонячного випромінювання. Великі наукові дослідження, на думку Міжнародної організації цивільної авіації, поки не підтвердили істотного впливу авіації на озоновий шар Землі при польотах у верхніх шарах атмосфери.

Можливо, при збільшенні парку надзвукової пасажирської авіації цей вплив буде сильніше. Тому в даний час ряд міжнародних науково-дослідних і дослідно-конструкторських програм спрямовані на створення камер згоряння для надзвукових літаків з індексом емісії оксидів азоту 5 г/кг (грамів NO_x на кілограм згорілого палива).

Згідно з Кіотським протоколом сторони, що підписали його (84 країни), зобов'язуються скоротити сукупні викиди шести "парникових" газів (з яких саме пряме відношення до авіації має вуглекислий газ) щонайменше на 5% в порівнянні з рівнем 1990 роком. Хоча за результатами досліджень, проведених міжурядовою групою експертів ООН зі зміни клімату, частка авіаційного транспорту в викиді вуглекислого газу в атмосферу складає всього 2%, але до 2025 цей показник складе 3%.

В наслідок запуску ракет в атмосферний газ викидається велика кількість молекул води, вони руйнують озоновий шар, а в іоносфері утворюються дірки діаметром в сотні кілометрів. Так як води на великих висотах немає, то навіть сам факт її появи в іоносфері стає фактом забруднення природного середовища і порушенням природної рівноваги. Можуть виникнути штучні хмари і зони зниженої щільності, що викликає порушення телекомунікаційного зв'язку. Спостерігаються також аномальні світіння.

Руйнування озонового шару при запусках космічних ракет та утворення озонових дір збігається з початком застосуванням ракетних комплексів «Спейс Шаттл» (Рис. 2.8).

«Спейс Шаттл» (англ. *Space Shuttle* – «космічний човник»; початкова назва англ. *Space Transportation System*) – колишня американська програма пілотованих польотів на системі

космічних запусків багаторазового використання, що належить до надважких ракет-носіїв.



Рис.2.8 – «Спейс Шаттл»

В результаті польотів «Спейс Шаттл», стратосферних літаків, запусків ракет і використання фреонів до теперішнього часу відбулося виснаження озонового шару на 8–9%. Трьохсот запусків «Спейс Шатла» досить, щоб повністю знищити озоновий шар Землі.

Повне зникнення озонового шару означало б повне припинення вищих форм життя на планеті. Тому збереження озонового шару – глобальне завдання людства. Однак до сих пір діючих засобів захисту озонового шару від впливу ракетноносіїв та від викидів продуктів згорання ракетного та палива для літаків в атмосферу поки немає.

Розділ 3. ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТОРУ.

3.1. Космічний пил.

Космічний пил (мікрометеорити) це пил, який знаходиться в космосі або потрапляє на Землю з космосу. Розмір його частинок становить від декількох молекул до 0,2 мкм.

Космічний простір, або космос (дав.-гр. κόσμος – всесвіт), — відносно порожні ділянки Всесвіту, розташовані поза межами атмосфер небесних тіл. Всупереч розповсюдженій думці, космос не повністю порожній, але у ньому дуже низька густина речовини. Переважно це Водень в атомарному, молекулярному чи іонізованому стані, також є інші прості гази (Гелій, Нітроген, Оксиген), тверді частинки пилу, що містять переважно Карбон, а за допомогою мікрохвильової спектроскопії виявлено кілька десятків різних молекул. Водночас космос заповнений електромагнітним випромінюванням, зокрема реліктовим випромінюванням, що лишилися після Великого Вибуху, та космічними променями, в яких містяться іонізовані атомні ядра та різні субатомні частинки.

На поверхню Землі, за різними оцінками, щодня осідає від 60 до 100 тон космічного пилу, що в перерахунку на рік становить 25–40 тисяч тон. Пил Сонячної системи включає в себе кометний пил, астероїдний пил, пил з пояса Койпера і міжзоряний пил, що проходить крізь Сонячну систему.

Космічний пил утворюється в космосі частинками розміром від декількох молекул до 0,1 мм. Космічний пил можна класифікувати за його місцезросташуванням: міжгалактичний пил, міжзоряний пил, навколопланетний пил, пилові хмари навколо зірок, міжпланетний пил. Останній містить: астероїдний пил, кометний пил, пил

Поясу Койпера, міжзоряний пил, який перетинає Сонячну систему, і бета-метеороїди (дрібні метеороїди, для яких тиск сонячного випромінювання порівнянний із гравітаційним притяганням і виштовхує їх із Сонячної системи).

Щільність пилової хмари, через яку проходить Земля, становить приблизно 10^{-6} частинок пилу на м^3 . У Сонячній системі міжпланетний пил створює ефект, відомий як зодіакальне світло. Космічний пил містить деякі органічні сполуки (аморфні органічні тверді речовини зі змішаною ароматико-аліфатичною структурою), які можуть швидко виникати природним шляхом. Невелику частину космічного пилу становить «зоряний пил» – тугоплавкі мінерали, що залишилися в процесі зоряної еволюції. Зразки міжзоряного пилу були зібрані космічним апаратом "Стардаст" і доставлені на Землю в 2006 році.

Космічний пил можна розрізнати по його положенню щодо астрономічних об'єктів, наприклад: міжгалактичний пил, галактичний пил, міжзоряний пил, навколопланетний пил, пилові хмари навколо зірок і основні компоненти міжпланетного пилу в нашому зодіакальному пиловому комплексі (що спостерігається у видимому світлі як зодіакальне світло): астероїдний пил, кометний пил і деякі менш значні добавки; пил Поясу Койпера, міжзоряний пил, що проходить крізь Сонячну систему, і бета-метеороїди. Міжзоряний пил може спостерігатися у вигляді темних або світлих хмар (туманностей).

Пояс Койпера (англ. *Kuiper belt*) — область Сонячної системи за орбітою Нептуна (30 а. о. від Сонця) приблизно до відстані 50 а. о. Хоча Пояс Койпера схожий на пояс астероїдів, він приблизно у 20 разів ширший і у 20–200 разів масивніший від останнього. Як і пояс астероїдів, він складається переважно з малих тіл, тобто матеріалу, що залишився після формування Сонячної системи. На відміну від об'єктів поясу астероїдів, які складаються здебільшого з гірських порід і металів,

об'єкти Поясу Койпера складаються головню з летких речовин (званих льодами), таких як метан, аміак і вода.

Астрономічна одиниця (скорочено – а. о., міжнародне позначення — au, від англ. astronomical unit) – позасистемна одиниця відстані, вживана переважно в астрономії. Дорівнює середній відстані Землі від Сонця ($\approx 149,6$ млн. км). Міжнародний астрономічний союз рекомендує визначати астрономічну одиницю як 149 597 870 700 м точно

У Сонячній системі пилова речовина розподілена не рівномірно, а зосереджена в основному в пилових хмарах (неоднорідностях) різних розмірів. Це вдалося встановити, зокрема, під час повного сонячного затемнення 15 лютого 1961 року за допомогою оптичної апаратури, встановленої на зондовій ракеті Інституту прикладної геофізики (Росія) для вимірювання яскравості зовнішньої корони в інтервалі висот 60–100 км над поверхнею Землі.

Космічний пил протягом тривалого часу був джерелом роздратування астрономічного співтовариства, оскільки перешкоджав спостереженням космічних об'єктів. З початком епохи інфрачервоної астрономії було помічено, що частинки космічного пилу є важливими компонентами астрофізичних процесів, та їх аналіз дозволить отримати інформацію про такі явища, як формування Сонячної системи. Космічний пил може грати важливу роль на ранніх стадіях зореутворення і брати участь у формуванні майбутніх планет. У Сонячній системі космічний пил грає велике значення у виникненні ефекту зодіакального світла, спицях кілець Сатурна, системах кілець Юпітера, Сатурна, Урану і Нептуна, а також у кометах.

В даний час дослідження космічного пилу являють собою міждисциплінарну галузь, що включає фізику (фізику твердого тіла,

електромагнетизм, фізику поверхонь, статистичну фізику, теплофізики), теорію фракталів, хімію, метеоритику, а також всі галузі астрономії та астрофізики. Ці формально не пов'язані галузі досліджень об'єднуються в силу того, що частинки космічного пилу проходять еволюційний цикл, що включає хімічні, фізичні і динамічні зміни. В еволюції космічного пилу таким чином «відображаються» процеси еволюції Всесвіту в цілому.

Кожна частинка космічного пилу володіє індивідуальними характеристиками, такими як початкова швидкість, властивості матеріалу, температура, магнітне поле і т. д., і незначна зміна будь-якого з цих параметрів може привести до різних сценаріїв «поведінки» цієї частинки. При використанні відповідних методів можна отримати інформацію, звідки з'явився цей об'єкт і що є проміжним середовищем. Космічний пил може бути виявлений непрямыми методами, у тому числі з використанням аналізу електромагнітних характеристик його частинок. Він також може бути виявлений безпосередньо «на місці» з використанням різних методів збору. За добу в атмосферу Землю потрапляє, за різними оцінками, від 5 до 300 тон речовини позаземного походження.

Розроблені методи збору зразків космічного пилу в атмосфері Землі. Так, НАСА здійснює збір за допомогою пластинчастих колекторів, розміщених під крилами літаків, що літають у стратосфері. Зразки космічного пилу також збирають на поверхневих відкладах великих крижаних масивів (Антарктида і Арктика) і в глибоководних відкладеннях.

Ще одним джерелом космічного пилу є метеорити, які містять зоряний пил. Частинки зоряного пилу це тверді вогнетривкі шматочки

матеріалу, розпізнаються за складом ізотопів, які можуть міститися лише в зірках, які еволюціонують до потрапляння в міжзоряне середовище. Ці частинки конденсувалися із зоряної речовини по мірі охолодження в процесі покидання ними зірки.

Для збирання частинок космічного пилу в міжпланетному просторі використовуються автоматичні міжпланетні станції. Детектори пилу використовувалися в місіях таких станцій як HEOS-2, Helios, Піонер-10 " Піонер-11, Джотто, Галілео і Cassini, навколоземних супутників LDEF, EURECA і Goid. Деякі вчені використовували Вояджер-1 і Вояджер-2 як свого роду гігантський зонд Ленгмюра.

Зонд Ленгмюра це пристрій, що використовується для визначення температури електронів, щільності електронів та електричного потенціалу плазми.

В даний час детектори пилу встановлені на космічних апаратах «Улісс», PROBA, «Розетта», «Стардаст» і «Нові горизонти». Зразки космічного пилу, зібрані як на Землі, так і в космосі, зберігаються в спеціальних сховищах. Одне з них знаходиться в Центрі Ліндона Джонсона НАСА в Х'юстоні.

Великі швидкості (близько 10–40 км/с) утрудняють захоплення частинок космічного пилу. Тому детектори космічного пилу розробляються для вимірювання параметрів, які пов'язані з високошвидкісним впливом частинок, і для визначення фізичних властивостей частинок (зазвичай маси і швидкості) за допомогою лабораторного калібрування. Детектори пилу вимірювали також такі характеристики як ударний світловий спалах, акустичний сигнал і ударну іонізацію. Детектор пилу на «Стардасте» зумів захопити неущкоджені частинки пилу в аерогелі низької щільності.

Хороші можливості для вивчення космічного пилу дають спостереження в інфрачервоному спектрі, зокрема, за допомогою космічного телескопа NASA «Спітцер» – найбільшого інфрачервоного телескопа, що працює на навколоземній орбіті. За час своєї місії «Спітцер» отримував зображення і спектри теплового випромінювання космічними об'єктами в діапазоні від 3 до 180 мікрометрів. Більша частина цього інфрачервоного випромінювання затримується земною атмосферою і не може спостерігатися з Землі. При аналізі ряду даних «Спітцера» були отримані відомості про те, що космічний пил утворюється поблизу надмасивної чорної діри.

Іншим механізмом виявлення космічного пилу є поляриметрія. Оскільки частки не мають сферичної форми і мають тенденцію спрямляти міжзор'яні магнітні поля, вони поляризують світло зірок, яке проходить крізь пилові хмари. Для прилеглих областей міжзор'яного простору була використана високоточна оптична поляриметрія для визначення структури пилу в Місцевому міхурі (області розрідженого гарячого газу всередині рукава Оріона в нашій Галактиці).

У 2019 дослідники виявили в Антарктиді міжзор'яний пил, який, імовірно, має походження з Місцевої міжзор'яної хмари. Наявність міжзор'яного пилу в Антарктиді було виявлено виміром радіонуклідів Fe-60 і Mn-53 за допомогою високочутливої мас-спектрометрії.

Частинки космічного пилу взаємодіють з електромагнітним випромінюванням, при цьому характер відбитого випромінювання залежить від таких характеристик частинок як розмір, поперечний переріз, структура, показники заломлення, довжина хвилі електромагнітного випромінювання і так далі. Характеристики випромінювання космічного пилу дозволяють зрозуміти, чи має місце

поглинання випромінювання, розсіювання частинок, міжзоряне поглинання або поляризація.

Розсіювання і ослаблення («затемнення») випромінювання дає корисну інформацію про розміри частинок пилу. Наприклад, якщо який-небудь космічний об'єкт в певному діапазоні виглядає яскравіше, ніж в іншому, це дозволяє зробити висновок про розміри частинок.

Розсіювання світла від частинок пилу на фотографіях з великою витримкою добре помітно в разі відбивних туманностей (газопилових хмар, що підсвічуються зіркою) і дає уявлення про оптичні характеристики окремих частинок. Дослідження розсіювання рентгенівських променів міжзоряним пилом дозволяють припустити, що астрономічні джерела рентгенівського випромінювання матимуть дифузні гало через пил.

Гало — оптичне явище в атмосфері, що виникає внаслідок заломлення та відбиття світла в льодяних кристалах. Найчастіше спостерігається в перисто-шаруватих хмарах, рідше — за інших умов. Найпоширеніша форма гало — світле слабо забарвлене коло навколо Сонця чи Місяця

Космічний пил складається з мікрочастинок, які можуть з'єднуватися в більші фрагменти неправильної форми, пористість яких варіюється в широких межах. Склад, розмір і інші властивості частинок залежать від їх місцезнаходження, і, відповідно, аналіз складу частинок пилу може вказувати на їх походження. Міжзоряний пил і частинки пилу в міжзоряних хмарах різні за своїми характеристиками. Наприклад, частинки пилу в щільних міжзоряних хмарах часто мають крижану «мантию» і в середньому крупніше частинок пилу з

розрідженого міжзоряного середовища. Частинки міжпланетного пилу, як правило, ще більше за розміром.

Більшу частину позаземної речовини, яка осідає на поверхню Землі, складають метеороїди діаметром від 50 до 500 мікрометрів і середньою щільністю $2,0 \text{ г/см}^3$ (з пористістю близько 40%). Щільність частинок міжпланетного пилу, які захоплено в стратосфері Землі, становить від 1 до 3 г/см^3 з середньою величиною близько $2,0 \text{ г/см}^3$.

У близько зоряному пилу були виявлені молекули CO, карбїду кремнію, силікатів, поліциклїчних ароматичних вуглеводнїв, льоду і поліформальдегїду (також є докази наявностї в міжзоряному середовищі силікатних і вуглецевих частинок). Кометний пил, як правило, відрїзняється від астероїдного пилу. Астероїдний пил нагадує вуглецеві хондритні метеорити.

Хондрити — найпоширенїший тип кам'яних метеоритів, що становить близько 90% усїх кам'яних метеоритів. Характерною рисою хондритів є наявність хондр — сферичних часток розміром до горошини, що містяться в основній тонкозернистїй масї метеорита.

Кометний пил за складом нагадує міжзоряні частинки, які можуть включати силікати, поліциклїчні ароматичні вуглеводні і лїд.

Термін «зоряний пил» відноситься до вогнетривких пилових частинок, які формувалися з газів, що викидаються протозїрковими об'єктами у хмару, з якої формувалася Сонячна система. Частинки зоряного пилу містяться в метеоритах. Зоряний пил до потрапляння в склад метеоритів був компонентом пилу в міжзоряному середовищі з часів початку формування Сонячної системи, більше чотирьох мільярдів років тому. Так звані вуглисті хондрити є найбільш багатими джерелами зоряного пилу.

На основі лабораторних досліджень виділено велику кількість різних типів зоряного пилу. Можливо, що ці вогнетривкі частинки раніше були покриті леткими сполуками, які втрачаються при розчиненні метеорита в кислотах, залишаючи тільки нерозчинні вогнетривкі мінерали. Пошук зоряного пилу без розчинення більшої частини метеорита являє собою надзвичайно трудомісткий процес.

Дослідження концентрації ізотопів різних хімічних елементів у зірковому пилу дозволили відкрити багато нових аспектів нуклеосинтезу. Важливими властивостями зоряного пилу є такі характеристики як твердість, вогнетривкість, наявність слідів високотемпературного впливу. Частими компонентами частинок є карбід кремнію, графіт, оксид алюмінію, шпінель та інші тверді речовини, які конденсуються при високій температурі з охолодженого газу, що виникає при зоряних вітрах або при декомпресії внутрішньої частини наднової.

Надновá (англ. *SuperNova*) — зоря, що раптово збільшує свою світність у мільярди разів (на 20 зоряних величин), а іноді й більше. У максимумі спалаху наднова випромінює стільки ж світла, скільки його випромінюють мільярди зір разом. Це найяскравіші з відомих зір, їх світність порівняна зі світністю цілої галактики, а іноді навіть перевищує її. Спалахи наднових — досить рідкісне явище. У нашому Чумацькому Шляху вони спостерігаються приблизно раз на 500 років, хоча очікуваний проміжок між спалахами — 50 ± 25 років. Завдяки високій світності наднові спостерігають в інших галактиках.

3.2. Зоряний пил.

Зоряний пил за складом сильно відрізняються від складу частинок, що утворюються при низькій температурі всередині міжзоряного середовища.

Склад ізотопів зоряного пилу, згідно з наявними даними, не виявлено в міжзоряному середовищі, що свідчить про те, що зоряний пил конденсується з газів окремих зірок до того, як ізотопи «розбавляються» при змішуванні з міжзоряному середовищем. Це дозволяє ідентифікувати вихідні зірки. Наприклад, важкі елементи в частинках карбіду кремнію (SiC) являють собою практично чисті ізотопи S-процесу, що відповідає їх конденсації в червоних гігантах асимптотичної гілки, оскільки зірки цієї гілки є основним джерелом нуклеосинтезу і мають спостережувані атмосфери, які високо збагачені елементами S-процесу.

S-процес (від англ. *slow* – повільний) – реакції нуклеосинтезу, які полягають у послідовному захопленні ядрами нейтронів. Процес названо *повільним* на відміну від r-процесу, тому що ядра із короткими періодами напіврозпаду, що утворюються у таких реакціях, здебільшого встигають зазнати β -розпаду перш ніж буде приєднано наступний нейтрон. За сучасними уявленнями саме завдяки цьому процесу у Всесвіті утворилася основна кількість хімічних елементів, важчих від заліза (до вісмуту включно), а також деяка кількість ізотопів аргону та кальцію

Ще один приклад – так звані конденсати наднових, в англомовній літературі позначаються аббревіатурою SUNOCON (від SUpErNOva CONdensate), щоб відрізнити їх від іншого типу зоряного пилу, який сконденсувався в зоряних атмосферах. Конденсати наднових містять

аномально велику кількість ізотопу Са-44, що свідчить про те, що вони конденсувалися в атмосфері, яка мала велику кількість радіоактивного ізотопу Тi-44, період напіврозпаду якого становить 65 років. Таким чином, радіоактивні ядра Тi-44 були ще «живими» в період конденсації всередині внутрішній частині наднової, яка розширюється, але стали згаслими радіонуклідами (зокрема, Са-44) після часу, який необхідно для змішування з міжзоряним газом. Це відкриття підтвердило прогноз 1975 року про те, що таким чином можна було б ідентифікувати конденсати наднових. Вміст карбідів кремнію в зоряному пилу конденсату наднових складає всього лише 1% від вмісту карбідів кремнію в зоряному пилу асимптотичної галузі гігантів.

Зоряний пил (як конденсати наднових, так і зоряний пил асимптотичної галузі гігантів) являє собою лише малу частину космічного пилу – менше 0,1% від маси всього міжзоряного твердого речовини, але дослідження зоряного пилу становлять великий інтерес, особливо при вивченні зоряної еволюції і нуклеосинтезу.

Вивчення зоряного пилу дозволяє аналізувати речовини, які існували до утворення Землі, що колись вважалося неможливим, особливо в 1970-х роках, коли панувала думка, що Сонячна система зародилася як хмара розжареного газу, в якому були відсутні тверді частинки, які випарувалися при високій температурі. Існування зоряного пилу дозволило спростувати цю гіпотезу. Великі частинки пилу, мабуть, мають складну структуру, що включає вогнетривкі ядра, які конденсуються всередині зоряних потоків з шарами, сформованими при входженні в холодні щільні міжзоряні хмари. Комп'ютерне моделювання циклічного процесу зростання і руйнування частинок поза хмар продемонструвало, що такі ядра живуть набагато довше, ніж

пилова маса в цілому. Ці ядра в основному містять частинки кремнію, які конденсуються в атмосферах холодних, багатих киснем червоних гігантів, а також частинки вуглецю, що конденсуються в атмосферах холодних вуглецевих зірок. Червоні гіганти, які еволюціонували або змінилися по відношенню до головної послідовності і вступили у фазу зірок-гігантів, є основним джерелом вогнетривких ядер пилових частинок.

Червоні гіганти – це величезні холодні зорі. Вони перевищують Сонце за діаметром у десятки й сотні разів, а за масою – від 1,5 до 15 разів. Температура їх поверхні становить 3–4 тисячі Кельвінів. Червоні гіганти мають складну внутрішню будову.

Ці вогнетривкі ядра також називають «зоряним пилом» – терміном для позначення невеликої частини космічного пилу, яка конденсується в потоках зоряних газів у період закінчення останніх зірок. Кілька відсотків вогнетривких ядер пилових частинок конденсуються в надрах наднових, які розширюються, що представляють собою свого роду космічні декомпресійні камери. У метеоритиці вогнетривкий зоряний пил, який витягнуто з метеоритів, часто називають «пресолярним пилом», але в метеоритах міститься лише мала частина всього пресолярного пилу.

Пресолярними зернами-мінералами називаються матеріали, що утворилися до народження Сонця.

Зоряний пил конденсується всередині зірок у якісно інших умовах, ніж основна маса космічного пилу, яка формується в темних молекулярних хмарах галактики. Ці молекулярні хмари дуже холодні, зазвичай з температурою менше 50 К, тому багато видів льоду можуть

налипати на частинки пилу тільки у випадках, коли вони руйнуються або розщеплюються випромінюванням і сублімацією до газоподібного стану. Після того як Сонячна система сформувалася, багато міжзоряних частинок пилу зазнали додаткових змін шляхом злиття і хімічних реакцій в планетарному аккреційному диску.

Аккреційний диск – диск, що утворюється навколо зорі або чорної діри у результаті акреції, якщо падаюча речовина має момент обертання.

Акреція (лат. *accretio* – приріст, збільшення) в астрофізиці – процес падіння речовини на масивне космічне тіло з навколишнього середовища під дією сили тяжіння. Акреція є обов'язковою стадією формування зір, планет та інших небесних тіл.

Історія різних типів частинок на ранньому етапі формування Сонячної системи до теперішнього часу вивчена досить слабо. Відомо, що космічний пил утворюється в оболонках зірок пізньої еволюції з певних структур, які були спостережувані. Інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі 9,7 мкм є ознакою наявності кремнієвого пилу в холодних гігантських зірках, котрі еволюціонували, багатих киснем. Випромінювання на хвилі 11,5 мкм вказує на наявність пилу карбиду кремнію. Це дає підстави стверджувати, що невеликі кремнієві пилові частинки утворилися від зовнішніх оболонок цих зірок.

Умови в міжзоряному просторі зазвичай не сприяють утворенню кремнієвих ядер пилових частинок оскільки вимагають тривалого часу. Розрахунки показують, що при спостережуваному типовому діаметрі пилової частинки і температурі міжзоряного газу утворення міжзоряних частинок може зажадати часу, що перевищує вік Всесвіту. З іншого боку, видно, що пилові частинки порівняно недавно

формувалися в безпосередній близькості від сусідніх зірок, у викидах нових та наднових, а також змінних зірок типу R Північної Корони, які, мабуть, викидають дискретні хмари, що містять як газ, так і пил. Таким чином, зірки втрачають масу там, де утворюються вогнетривкі ядра пилових частинок.

Велика частина космічного пилу в Сонячній системі – це пил, що пройшов багаторазову трансформацію початкового матеріалу «будівництва» Сонячної системи, який потім сконцентрувався в планетезималях, і залишився твердою речовиною (комети і астероїди), які перетворено під час зіткнень цих тіл.

Планетезималь (від англ. *planet* – планета та *infinitesimal* – нескінченно мала) – небесне тіло на орбіті навколо зорі, що утворюється в результаті поступового осідання на ньому менших об'єктів та частинок протопланетного диску. Безперервно притягуючи до себе речовину, планетезималі стають дедалі більшими, аж поки під дією сили тяжіння окремі частини починають ущільнюватись, піднімаючи температуру в центрі тіла. Висока температура плавить окремі частинки утворюючи протопланету. Прикладом планетезималі є астероїд Лютеція, у якого під кілометровим шаром пилу є цілісне ядро

В історії формування Сонячної системи найбільш поширеним елементом був (і все ще залишається) водень – H_2 . Такі хімічні елементи, як магній, кремній і залізо, які є основними компонентами планет земної групи, що конденсуються в твердий фазовий стан при найвищих температурах планетарного диска. Деякі молекули, такі як CO , N_2 , NH_3 і вільний кисень, існували в газоподібному вигляді. Деякі елементи і сполуки, наприклад, графіт (C) та карбід кремнію, конденсуються в тверді частинки в планетарному диску; але частинки вуглецю і карбиду кремнію, які виявлені в метеоритах, є пресолярними,

що виходить з їх ізотопного складу, а не в наслідок утворення планетарного диска.

Деякі молекули формували складні органічні сполуки, а інші молекули утворювали заморожені крижані покриви, які могли покривати «вогнетривкі» (Mg, Si, Fe) ядра пилових частинок. Зоряний пил представляє виняток із загальної тенденції, оскільки при його конденсації всередині зірок формуються тугоплавкі кристалічні мінерали. Конденсація графіту відбувається всередині надр наднової, коли вони розширюються і охолоджуються, і це відбувається навіть у газі, що містить більше кисню, ніж вуглецю. Подібні властивості вуглецю стали можливі завдяки радіоактивному середовищу наднових. Цей приклад пилоутворення заслуговує особливого розгляду.

Утворення планетарних дисків попередників молекул багато в чому визначалося температурою сонячної туманності. Так як температура сонячної туманності знижувалася у міру видалення від несформованого Сонця, можна визначити походження пилової частинки, виходячи з її складу. Деякі матеріали пилових частинок могли бути отримані тільки при високих температурах, в той час як інші матеріали – при значно нижчих. Нерідко в одній пиловій частинки містяться компоненти, які формувалися в різних місцях і в різний час в сонячної туманності. Велика частина речовини, що була присутня у вихідній сонячної туманності, з тих пір зникла (була втягнута в Сонце, зникла в міжзоряному просторі або стала частиною планет, астероїдів або комет).

Через їх високий ступень трансформації частки міжпланетного пилу являють собою дрібнозернисті суміші, що складаються від тисяч до мільйонів мінеральних часток і аморфних компонентів. Можна

зобразити таку частку як «матрицю» матеріалу з «вбудованими» елементами, які були сформовані в різний час і в різних місцях сонячної туманності, а також до її утворення. Прикладами елементів, «вбудованих» в космічний пил, є скляні частки з вкрапленням металів і сульфідів, хондри і CaI.

Планетологи класифікують хондритові частки по ступеню окиснення заліза, яке міститься в них: енстатитові (E), звичайні (O) і вуглисті (C).

Енстатитові хондрити – це рідкісна форма метеоритів, які, як вважається, становлять лише близько 2% всіх хондритів, які потрапляють на Землю. Станом на 2014 рік відомо всього лиш близько 200 хондритів E-типу.

Як випливає з назви, вуглисті хондрити багаті вуглецем і багато з них мають аномалії у вмісті ізотопів водню, азоту, вуглецю і кисню. Поряд з вуглистими хондритами є частинки космічного пилу, які містять елементи з найнижчою температурою конденсації («летючі» елементи) і найбільшу кількість органічних сполук. Передбачається, що ці частинки пилу утворилися на початковому етапі формування Сонячної системи. «Летючі» елементи не визначалися при температурі вище 500 K, тому «матриця» частинки міжпланетного пилу складається з якогось дуже «раннього» за віком матеріалу. Цей сценарій справедливий у випадку кометного пилу. Походження дрібної фракції, яка є зоряним пилом, зовсім інше; це тугоплавкі мінерали, що сформувалися всередині зірок, які стають компонентами міжзоряної матерії і залишаються в планетарному диску, що формується. Потік іонів від сонячних спалахів залишає сліди на частинках. Іони сонячного

вітру, що впливають на поверхню частинки, породжують аморфне випромінювання, деформоване дисками на поверхні частинки, а спалюванні ядра породжуються галактичними і сонячними космічними променями. Частинка пилу, яка утворюється в Поясі Койпера на відстані в 40 астрономічних одиниць від Сонця, буде мати набагато більшу щільність слідів і більш високі інтегровані дози випромінювання, ніж частинки пилу, що виникають в головному поясі астероїдів.

Комп'ютерне моделювання 2012 року показало, що складні органічні молекули, необхідні для виникнення життя (позаземні органічні молекули), могли утворитися в протопланетному диску з частинок пилу, що оточують Сонце, до утворення Землі. Аналогічні процеси можуть відбуватися і навколо інших зірок, які мають планетні системи.

У вересні 2012 року вчені НАСА повідомили, що поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАУ), які піддані впливу умов міжзоряного середовища за допомогою гідрування, окиснення та гідроксилювання перетворюються в більш складні органічні речовини – «крок по шляху до амінокислот і нуклеотидам, сировини білків і ДНК, відповідно». Крім того, в результаті цих перетворень ПАУ втрачають свої спектроскопічні характеристики, що може бути однією з причин «відсутності виявлення ПАУ в міжзоряних частках льоду, особливо в зовнішніх областях холодних, щільних хмар або верхніх молекулярних шарах протопланетних дисків». У лютому 2014 НАСА оголосило про оновлення бази даних для виявлення і моніторингу поліциклічних ароматичних вуглеводнів у Всесвіті. За словами представників НАСА більше 20% вуглецю у Всесвіті може бути пов'язано з ПАУ, можливими

вихідними матеріалами для формування життя. Мабуть, ПАУ утворилися незабаром після Великого вибуху і вони пов'язані з новими зірками і екзопланетами.

У березні 2015 року представники НАСА повідомили, що вперше в лабораторії в умовах, що максимально наближено до космічного простору, були синтезовані складні органічні сполуки ДНК і РНК, включаючи урацил, цитозин і тимін, з використанням вихідних хімічних речовин, таких як піримідин, знайдених в метеоритах. На думку вчених, піримідин – найбільш багата вуглецем хімічна речовина, яку виявлено у Всесвіті, можливо, утворилася в червоних гігантах або в міжзоряних пилових і газових хмарах.

Сонячна система, як і інші планетні системи, має свою власну міжпланетну пилову хмару. У Всесвіті існують різні типи газопилових туманностей з різними фізичними характеристиками і процесами: дифузні туманності, інфрачервоні відбивні туманності, залишки наднових молекулярні хмари, Н II області, області фотодисоціації і темні туманності.

Відмінності між цими типами туманностей полягають у характері випромінювання, що ними випускається. Наприклад, області Н II, такі як туманність Оріона, де йдуть інтенсивні процеси зореутворення, характеризуються як теплові емісійні туманності.

Туманність Оріона – це емісійна туманність з зеленуватим відтінком, що розташована нижче Пояса Оріона.

З іншого боку, залишки наднових, такі як Крабоподібна туманність, характеризуються нетепловим (синхротронним випромінюванням).

Крабоподібна туманність – волокниста туманність в сузір'ї Тельця, що являє собою залишок наднової. Розташована на відстані близько 6500 світлових років від Землі, має діаметр 6 світлових років і розширюється зі швидкістю понад 1000 км/с. У центрі туманності міститься нейтронна зоря.

Наднова – зоря, що раптово збільшує свою світність у мільярди разів, а іноді й більше. У максимумі спалаху наднова випромінює стільки ж світла, скільки його випромінюють мільярди зір разом. Це найяскравіші з відомих зір, їх світність порівняна зі світністю цілої галактики, а іноді навіть перевищує її.



Рис. 3.1 – Туманність Оріона

Деякі з найбільш відомих пилових туманностей це дифузні туманності з каталогу Мессьє, такі як М1, М8, М16, М17, М20, М42, М43. Існують і більш великі каталоги пилових об'єктів – Каталог Шарплесса (1959). Каталог областей Н ІІ Линдса (1965) Каталог світлих туманностей Линдса (1962), Каталог темних туманностей Ван ден Берга (1966) Каталог відбивних туманностей Гріна (1988) Каталог Національного центру даних з космічних наук (NSSDC) НАСА і CDS Online-каталоги.

В рамках програми НАСА «Discovery» для дослідження комети 81Р/Вільда і збору зразків космічного пилу 7 лютого 1999 року було запущено автоматичну міжпланетну станцію «Стардаст». «Стардаст» доставила зразки пилу на Землю 15 січня 2006 року. Навесні 2014 року було оголошено про відновлення часток міжзоряного пилу із зразків.

3.3. Вплив ракетного палива на екологію земної поверхні, навколоземного і космічного простору.

Ракетне паливо – речовина для живлення ракетного двигуна, який шляхом створення ним тяги змушує ракету-носій до руху у заданому напрямку з пришвидшенням. З розвитком ракетної техніки з'являються нові види ракетних двигунів, наприклад ядерний ракетний двигун, або іонний тощо. Ракетне паливо може бути хімічним (рідким і твердим), ядерним, термоядерним і з використанням антиречовини.

Рідке ракетне паливо ділиться на окисник і паливо. Воно знаходиться в ракеті в рідкому стані в різних баках. Змішування відбувається в камері згоряння, зазвичай за допомогою форсунок. Тиск створюється за рахунок роботи турбонасосних або систем витиску

окисника або палива. Також компоненти палива використовуються для охолодження сопла ракетного двигуна.

Тверде ракетне паливо теж складається з окисника і пального, але вони знаходяться в суміші твердих речовин.

Екологічна безпека ракетних пусків, випробувань і відпрацювання рухових установок літальних апаратів в основному визначається компонентами ракетного палива (КРП), які застосовуються. Багато рідких КРП відрізняються високою хімічною активністю, токсичністю, вибухо- і пожежонебезпечкою. З урахуванням токсичності КРП діляться на чотири класи небезпеки (у напрямку зниження небезпеки):

- перший клас: горючі гідразінового ряду (гідразин, несиметричний диметилгідразин і продукт Люмінал-А);
- другий клас: деякі вуглеводневі горючі (модифікації гасу і синтетичні горючі) і окиснювач пероксид водню;
- третій клас: окиснювачі азотний тетроксид (АТ) і АК-27І (суміш HNO_3 – 69,8%, N_2O_4 – 28%, J – 0,12 – 0,16%);
- четвертий клас: вуглеводневе пальне РГ-1 (гас), спирт етиловий та бензин авіаційний.

Водень рідкий, зріджений природний газ (метан CH_4) і кисень рідкий не токсичні, але при експлуатації систем із зазначеними КРП необхідно враховувати їх пожежо- та вибухонебезпечність (особливо водню в сумішах з киснем і повітрям).

Санітарно-гігієнічні норми КРП представлено в табл. 3.1.

Більшість горючих вибухонебезпечні і по ДГСТ 12.1.011 вони віднесені до категорії вибухонебезпечності II А.

Таблиця 3.1 – Санітарно-гігієнічні норми КРП

Найменування КРП, хімічна формула	Густина при °С і 760 мм рт.ст., г/см ³	Клас небезпеки по ДГСТ 12.1.007 – 76	Гранично допустима концентрація (ГДК)		
			У повітрі робочої зони, мг/см ³	У атмосфері повітря, мг/см ³	У воді водоймища, мг/см ³
Гідразин (N ₂ H ₂)	1,025	1	0,1	0,001	0,01
НДМГ, (CH ₃) ₂ N ₂ H ₂	0,811	1	0,1	0,001	0,01
Продукт Люмінал-А	1,35	1	0,1	0,001	0,01
Спирт етиловий C ₂ H ₅ ОН	0,806	4	1000	5,0	
Вуглеводневі горючі РГ-1	0,847	4	300	1,2	
Бензин авіаційний	0,74	4	-	5,0	-
Водень рідкий, H ₂	0,071 при T=20 К	-	-	-	-
Зріджений природний газ (метан CH ₄)	0,424 при T=111,5 К	-	-	-	-
Окиснювач азотний тетраоксид, (N ₂ O ₄)	1,49	3	2,0	0,85	45,0
АК-27 І (HNO ₃ , N ₂ O ₄ , J)	1,596	3	2,0	0,85	45,0
Окиснювач пероксид водню (H ₂ O ₂)	1,37	2	0,3	0,02	0,1
Кисень рідкий (O ₂)	1,142 при T= 90 К				

Продукти повного і часткового окислення КРП в елементах двигуна і продукти їх згоряння, як правило, містять шкідливі сполуки: окис вуглецю, вуглекислий газ, оксиди азоту (NO_x) та ін.

У двигунах і енергоустановках ракет велика частина тепла (60–70%), що підводиться до робочого тіла, викидається в навколишнє середовище з реактивним струменем ракетного двигуна або з охолоджувачем (у випадках роботи ракетного двигуна на випробувальних стендах застосовується вода). Викид в атмосферу нагрітих відпрацьованих газів може впливати на місцевий мікроклімат.

Найбільш небезпечним ракетним паливом є гептил – несиметричний диметилгідразин (НДМГ, 1,1-диметилгідразин) $(\text{CH}_3)_2\text{N}_2\text{H}_2$ – компонент висококиплячого ракетного палива. Як окисник у парі з НДМГ часто застосовують чистий тетроксид азоту (АТ), або його суміш з азотною кислотою, іноді застосовується чиста кислота або рідкий кисень. НДМГ – безбарвна або трохи жовтувата прозора рідина з різким неприємним запахом, характерним для амінів. Температура кипіння $+63\text{ }^\circ\text{C}$, температура кристалізації $-57\text{ }^\circ\text{C}$, густина 790 кг/м^3 . Добре змішується з водою, етанолом, більшістю нафтопродуктів і багатьма органічними розчинниками, гігроскопічний (поглинає вологу з повітря).

Насичення водою знижує його питомий імпульс тяги на $100\text{ Н}\cdot\text{с/кг}$ на кожні $0,5\text{ }\%$ води.

Самозаймається при контакті з окисниками на основі азотної кислоти і азотного тетроксиду, що спрощує конструкцію ракетних двигунів, забезпечує їх легкий запуск та можливість багаторазового вмикання. НДМГ і його водні розчини бурхливо взаємодіють з азотною кислотою. Загоряння відбувається до 50% концентрації водного розчину. Розчини меншої концентрації реагують з утворенням солей азотної кислоти і продуктів розкладу. НДМГ термічно стабільний до

350° С. В інтервалі 350–1000° С продуктами розкладу є аміак, аміни, синильна кислота, водень, азот, метан, етан, смолисті речовини тощо.

НДМГ – надзвичайно токсичне і мутагенне ракетне паливо (його токсичність вчетверо перевищує токсичність синильної кислоти). Дія на організм людини: подразнення слизових оболонок очей, дихальних шляхів і легень; сильне збудження центральної нервової системи; розлад шлунково-кишкового тракту (нудота, блювання), у великих концентраціях можлива втрата свідомості.

НДМГ використаний як паливо в багатьох моделях ракетносіїв (РН). Зокрема: у російській ракеті-носію «Протон», російсько-українських РН «Дніпро», «Космос», українських РН родини «Циклон»; американських РН родини «Титан»; французьких РН родини «Аріан»; китайських РН Чанчжен-2F; у рушіях установках пілотованих кораблів, супутників, орбітальних і міжпланетних станцій. В ракетах-носіях сімейств Титан та Дельта НДМГ використаний в суміші 50 % з гідразинном та має назву Аерозин 50 в різних ступенях. Існують підстави вважати, що дане паливо використане в деяких балістичних ракетах розробки КНДР.

Переваги пари НДМГ – окиснювач азотний тетроксид: переважає пари «кисень – газ» та «кисень – водень» за густиною (1170 кг/м³ проти 1070 та 285 відповідно); більша вибухобезпечність порівняно з парою «водень – кисень»; самозаймається при контакті паливних компонентів; можливість тривалого зберігання після заправлення при нормальних температурах.

Недоліки НДМГ – АТ: токсичність; канцерогенність; вірогідність вибуху НДМГ в присутності окисника; менший питомий імпульс, ніж

у киснево-газової пари; НДМГ значно дорожчий порівняно з гасом, що суттєво для великих ракет.

В даний час для виведення важких вантажів (орбітальних станцій з масою до 20 тон) в Російській Федерації застосовується ракетносії "Протон" з використанням високотоксичних компонентів палива НДМГ і АТ. Для зменшення шкідливого впливу ракетносіїв на навколишнє середовище була проведена модернізація ступенів і двигунів ракети ("Протон-М") з метою значного зменшення залишків компонента в баках і магістралях доставки палива до ракетного двигуна. Ще для виведення корисних навантажень в Росії використовуються (або використовувалися) відносно дешеві конверсійні ракетні системи "Дніпро", "Стріла", "Рокіт", "Циклон" і "Космос-3М", що працюють на токсичних паливах.

Витрати компонентів палив в момент старту ракетносіїв «Протон» складають 3800 кг/с, «Спейс-Шаттл» – більш 10000 кг/с і «Сатурн-5» – 13000 кг/с. Такі витрати викликають скупчення в районі старту великої кількості продуктів згорання, забруднення хмар, випадання кислотних дощів і зміна погодних умов на території 100–200 км².

Догорання продуктів згорання вихлопного факела відбувається при турбулентному перемішуванні їх з повітрям. Створюваний при цьому рівень температур в окремих випадках може бути досить високим для інтенсивного утворення з азоту і кисню повітря окислів азоту NO_x. Розрахунки показують, що палива, які не містять азот, O_{2p} + H_{2p} і O_{2p} + гас утворюють при догоранні відповідно в 1,7 і 1,4 рази більше оксиду азоту NO, ніж паливо – НДМГ + азотний тетроксид.

Утворення оксиду азоту при догоранні особливо інтенсивно відбувається на малих висотах. При аналізі утворення оксиду азоту в вихлопному факелі враховують наявність в технічному рідкому кисні до 0,5–0,8% по масі рідкого азоту.

Особливі заходи передбачено по ліквідації наслідків падіння ступенів, що містять тони невиробленого НДМГ. Він проникає в землю за рахунок доброго розчинення у воді і може поширюватися на великі відстані. Азотний тетроксид швидко розсіюється в атмосфері і не є визначальним фактором зараження місцевості. Але проведеними оцінками встановлено, що потрібно не менше 40 років для повної рекультивації землі, яку використовують як зони падіння ступенів з НДМГ протягом 10 років (Рис 3.2). При цьому повинні бути проведені роботи по виїмці і перевезенню значної кількості ґрунту з місць падіння. Дослідження в місцях падіння перших ступенів ракетonoсія «Протона» показали, що зона зараження ґрунту при падінні одного ступеня займає площу ~ 50 тис. м^2 з поверхневою концентрацією в центрі 320–1150 мг/кг, що в тисячі разів перевищує гранично допустиму концентрацію.

Гідрозинні палива мають низьку хімічну стабільність в контактi з атмосферою, однак практично не викликають корозії конструкційних матеріалів у паровій і рідкій фазах. Для зберігання НДМГ використовують резервуари з маловуглецевих сталей, які встановлені наземно або заглиблено. Подібно до азотного тетроксиду, НДМГ зберігають під тиском азоту в насиченому стані. Транспортують НДМГ переважно в залізничних і автомобільних цистернах об'ємом 40–60 м^3 , виготовлених з маловуглецевих сталей. Для запобігання контакту

пального з атмосферою в залізничних і автомобільних цистернах підтримується підвищений тиск азоту 100–150 кПа.



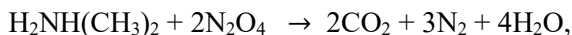
Рис. 3.2 – Падіння першого ступеня ракети китайського виробництва «Великий похід»: ступінь працювала на (НДМГ + АТ); помаранчева хмара на знімку – пари аміла, вкрай токсичні та канцерогенні.

Нейтралізують розливи гідразинового пального переважно хімічним способом за допомогою хлорних солей кальцію і хлорного вапна. Бетон, ґрунт, різні поверхні обробляються пастою з води і хлорної солі, взятих в пропорції один до одного, і змиваються водою. Витрата пасти – 4 л/м² поверхні. Пасту на місці розливу витримують близько 2 годин. Змивні води знешкоджують хімічним способом також хлорними солями, яких беруть з надлишком в 15 разів.

В даний час не існує ефективних способів нейтралізації заражених зон палим НДМГ.

Всесвітньою організацією охорони здоров'я НДМГ внесений до списку особливо небезпечних хімічних сполук. Гептил в 6 разів більш токсичний синильної кислоти.

Відпрацьовані гази гептилу і амілу (окиснення) при випробуванні ракетних двигунів або запуску ракет носіїв вираховуються згідно з хімічною реакцією



але насправді масове співвідношення окиснювач/пальне 1,6: 1 або 2,6: 1 має зовсім інший надлишок окиснювача (приклад: N_2O_4 : НДМГ = 2,6:1 (260 г і 100 г, відповідно), тому коли цей коктейль зустрічається з іншим коктейлем – атмосферним повітрям + органікою + пил + оксиди сірки + метан + пропан + і т.д., то результати окислення виглядають так:

Нітрозодиметиламін (хімічна назва: *N*-метил-*N*-нітрозометанамін). Утворюється при окисленні гептилу амілом. Добре розчинний у воді. Вступає в реакції окислення і відновлення, з утворенням гептилу, диметилгідразина, диметиламіну, аміаку, формальдегіду та інших речовин. Є високо токсичною речовиною 1-го класу безпеки. Канцероген, володіє кумулятивними властивостями. ГДК: у повітрі робочої зони 0,01 мг/м³, тобто в 10 разів більш небезпечний порівняно з гептилом, у атмосферному повітрі населених пунктів – 0,0001 мг/м³ (середньодобова), у воді водойм – 0,01 мг/л.

Тетраметилтетразен (4,4,4,4-тетраметил-2-тетразен) – продукт розкладання гептилу. Обмежено розчинний у воді. Стабільний у абіотичному середовищі, у воді дуже стабільний. Розкладається з утворенням диметиламіну і ряду неідентифікованих речовин. По токсичності має 3-й клас безпеки. ГДК: у атмосферному повітрі населених пунктів – 0,005 мг/м³, у воді водоймиц – 0,1 мг/л.

Діоксид азоту NO₂ – сильний окиснювач, органічні сполуки загоряються в суміші з ним. У звичайних умовах діоксид азоту існує в рівновазі з амілом (тетраоксидом азоту). Чинить подразнюючу дію на зів,

може бути задишка, набряки легень, слизових оболонок дихальних шляхів, дегенерація і некроз тканин в печінці, нирках, головному мозку людини. ГДК: у повітрі робочої зони 2 мг/м^3 , в атмосферному повітрі населених місць – $0,085 \text{ мг/м}^3$ (максимально разова) і $0,04 \text{ мг/м}^3$ (середньодобова), клас небезпеки – 2.

Оксид вуглецю (чадний газ) – продукт неповного згорання органічних (вуглецевмісних) видів палива. Монооксид вуглецю може тривало (до 2 місяців) перебувати в повітрі без зміни. Оксид вуглецю – отрута. Зв'язує гемоглобін крові в карбоксигемоглобін, порушуючи здатність до переносу кисню до органів і тканин людини. ГДК: в атмосферному повітрі населених місць – $5,0 \text{ мг/м}^3$ (максимально разова) і $3,0 \text{ мг/м}^3$ (середньодобова). При наявності в повітрі одночасно оксиду вуглецю та сполук азоту токсична дія оксиду вуглецю на людей посилюється.

Синильна кислота (ціанистий водень) – це сильна отрута. Синильна кислота надзвичайно токсична. Адсорбується неушкодженою шкірою, має загально токсичну дію: головний біль, нудота, блювота, розлад дихання, асфіксію, судоми, може бути смерть. При гострому отруєнні синильна кислота викликає швидку задуху, підвищення тиску, кисневе голодування тканин. При невеликих концентраціях виникає відчуття дряпання в горлі, пекуче гіркий смак у роті, слинотеча, ураження кон'юнктиви очей, м'язова слабкість, похитування, утруднення мови, запаморочення, гострий головний біль, нудота, блювота, позиви до дефекації, прилив крові до голови, посилене серцебиття і інші симптоми.

Формальдегід (мурашиний альдегід) – токсин. Формальдегід володіє різким запахом, він сильно подразнює слизові оболонки очей і носоглотки навіть при незначних концентраціях. Надає загально-токсичну дію (ураження центральної нервової системи, органів зору, печінки, нирок), Подразнює алергенну, канцерогенну, мутагенну дію. ГДК в атмосферному повітрі: середньодобова – $0,012 \text{ мг/м}^3$, максимальна разова – $0,035 \text{ мг/м}^3$.

Інтенсивна ракетно-космічна діяльність на території Росії і других аерокосмічних країн в останні роки породила величезну кількість проблем: забруднення навколишнього середовища, що виділяються частинами ракетноносіїв, токсичними компонентами ракетного палива (гептил та його похідні, азотний тетроксид і ін.).

Вся історія взаємин країн з гептилом – це хімічна війна, тільки хімічна війна не те що неоголошена, а просто нами невизначена.

Продовжуються роботи щодо створення нового високоефективного компонента рідкого ракетного палива Децілін (Т-10) – вуглеводень загальною формулою $C_{10}H_{16}$, який відрізняється високою плинністю та токсичністю. Це ще одна загроза в межах екологічної безпечності, яка мало відома широким верстам населення.

НАСА протягом тривалого часу вивчало вплив стартів «Спейс-Шаттл» на навколишнє середовище, особливо в зв'язку з тим, що Космічний центр імені Кеннеді розташований в заповіднику.

В процесі старту три маршових двигуна орбітального корабля спалюють рідкий водень, а твердопаливні прискорювачі – перхлорат амонію з алюмінієм. За оцінками НАСА, біляземна хмара в районі стартового майданчика під час старту (Рис. 3.3) містить близько 65 т води, 72 т вуглекислого газу, 38 т оксиду алюмінію, 35 т хлориду водню, 4 т інших похідних хлору, 240 кг чадного газу і 2,3 т азоту. Тут звичайно грає роль той факт, що у «космічного човника» не тільки екологічні ракетні двигуни на рідкому палеві, але і найпотужніші в світі «частково отруйні» двигуни на твердому ракетному палеві.

У 1920-х роках минулого сторіччя завдяки винаходу бездимних порохів почався новий етап розвитку ракетної техніки на твердому паліві. Розробка високотемпературних сумішевих палив і теплостійких конструкційних сталей, сплавів і полімерних матеріалів призводить до широкого поширення ракетного озброєння на базі РДТП.

Одним з основних позитивних властивостей РДТП є їх висока надійність.



Рис. 3.3 – Старт орбітального корабля на мисі Канаверал.

У зв'язку з цим у національних програмах Росії, США, Франції, Японії, Індії та ряду інших країн РДТП широко використовуються:

- для космічних ракет-носіїв в якості стартових прискорювачів і маршових двигунів;
- для балістичних ракет (міжконтинентальних, середньої дальності, оперативно-тактичних);
- для зенітних керованих ракет;
- для реактивних систем залпового вогню;
- для протитанкових керованих ракет, реактивних гранатометів, ракет-торпед;

- в якості двигунів для засобів міжорбітального транспортування;
- як двигуни допоміжного призначення;
- як стартові прискорювачі і катапультні системи літаків, парашутно-десантні системи в авіації, антигравові ракетні системи, системи зондування атмосфери.

Ракетні двигуни на твердому паливі мають гарантійний термін зберігання, який дорівнює 10–20 років. По закінченні цього часу РДТП підлягають утилізації. Крім того, підписання договорів про скорочення стратегічного наступального озброєння також передбачає утилізацію ракет, які працюють на твердому ракетному паливі. Для безпечної та економічно доцільної ліквідації ракетних двигунів на твердому паливі пропонується велика кількість принципово можливих способів, часто дуже схожих між собою, і які відрізняються лише варіантами технологічного оформлення. В Росії в якості основного розглядається безсоплове спалювання РДТП на виробничих комплексах з уловлюванням і нейтралізацією продуктів згорання палива.

Існуюче розмаїття твердих ракетних палив різниться складом основних компонентів і їх співвідношенням. Для більшості сучасних палив характерно використання трьох основних компонентів: полімерного пального-зв'язуючого, кристалічного окиснювача і металевої добавки. Роль пального-зв'язуючого в твердих паливах полягає в тому, що воно пов'язує кристалічні речовини і надає паливу необхідні фізико-механічні та міцності характеристики, а також впливає на реакційну здатність палива і є додатковим пальним, а в ряді випадків і додатковим окиснювачем. Як пальне-зв'язуюче для сумішевих твердих палив використовуються каучук, органічні смоли,

поліетилен та ін. Найбільш широке застосування отримали поліуретанові і полібутадієнові тверді палива.

Окиснювачами служать, як правило, неорганічні багаті киснем речовини. В основному, це солі хлорної кислоти HClO_4 (перхлорати амонію і калію) або солі азотної кислоти (селітри – нітрати амонію, калію і натрію). В сучасних твердих паливах в якості окиснювача широке поширення отримав перхлорат амонію. В якості металевих добавок, що підвищують питомий імпульс твердого палива, можуть використовуватися як метали (алюміній, берилій та ін), так і гідриди металів. Найбільш широке застосування в твердих паливах знайшов алюміній.

Горіння палива і витікання продуктів згоряння супроводжується складними і численними хімічними реакціями з фазовими перетвореннями, що мають у ряді випадків істотно нерівноважний характер. Це обумовлено складним хімічним складом палива і додатковим підмішуванням до продуктів згоряння палива продуктів розкладання теплозахисних покриттів.

До складу продуктів згоряння палива входять наступні компоненти: хлористий водень, оксид алюмінію, вуглекислий газ, оксиди азоту та ін., що знаходяться як в газоподібному стані, так і у вигляді дрібнодисперсних частинок. В літературі зустрічається ряд даних про те, що при нерівноважному режимі до складу продуктів згоряння також входять (менше 1%) токсичні речовини - молекулярний хлор, перхлорат-іон, синильна кислота, фосген, аміак, формальдегід). Крім того, деякі дослідники вказують на наявність диоксиноподібних речовин. Ці твердження будуються на основі того, що в складі компонентів твердих палив присутні суміші різних полімерів і

хлорвмісних сполук, тому теоретично утворення діоксинів в процесі горіння твердих ракетних палив можливо. Однак ще однією необхідною умовою протікання даного процесу є наявність каталізаторів протягом достатнього проміжку часу (близько 2 годин) в оптимальному температурному діапазоні (від 150 до 300 °C). Але дані умови при утилізації РДТП відсутні: температура горіння палива перевищує 3000 C, час горіння заряду – кілька секунд.

Однак при нештатній ситуації можливе неповне протікання хімічних реакцій між компонентами ракетного палива і в навколишнє середовище можуть надійти вихідні компоненти, в тому числі, перхлорат амонію. Основними забруднювачами, випадання яких на земну поверхню можливо в помітних кількостях, є HCl і оксид алюмінію. У продуктах згорання сумішевого твердого палива міститься до 15% HCl, а також до 40% конденсованої окису алюмінію Al_2O_3 . У зв'язку з цим з продуктів згорання найбільшу небезпеку для біосфери і тропосфери являє HCl, що має низький ГДК (ГДК парів соляної кислоти в повітрі робочої зони складає 5 мг/м³) і який найдовше за часом зберігається в повітрі. Перехід хлористого водню в рідку фазу в результаті термодинамічних процесів або при контакті з вологою, що знаходиться в повітрі, може привести до випадання на земну поверхню кислих опадів. Хлорид водню в воді перетворюється в соляну кислоту і викликає основні порушення навколишнього середовища навколо стартового комплексу. Близько стартового комплексу знаходяться великі басейни з водою для охолодження, в яких водиться риба. Підвищена кислотність на поверхні після старту призводить до загибелі мальків. Більша молодь, що живе глибше, виживає. Як не дивно: у птахів, що поїдають загиблу рибу, ніяку

хворобу не виявлено. Ймовірно поки. Більш того, птахи пристосувалися прилітати за легкою здобиччю після кожного старту. Деякі види рослин після старту гинуть, але посіви корисних рослин виживають. При несприятливому вітру кислота потрапляє за межі тримильної зони навколо стартового комплексу і руйнує шар фарби на автомобілях. Тому НАСА видає спеціальні чохли власникам, чий автомобілі знаходяться в небезпечному районі в день запуску. Окис алюмінію інертна, і, хоча вона може викликати хворобу легенів, вважається, що її концентрація під час старту не є небезпечною.

Наявність перхлорату амонію в навколишньому середовищі є потенційною загрозою здоров'ю живих організмів, в тому числі людини. Існує кілька шляхів, за якими перхлорат-іони можуть потрапити в організм людини: осідання на шкірі, вдихання, поглинання забрудненої води, молока та інших продуктів. Проведені в США дослідження показують наявність перхлоратів в молоці жінок, які споживали забруднену ними воду. Внаслідок своїх хімічних і фізичних властивостей перхлорат-іони є антагоністами іонів йоду, який є важливим компонентом гормонів, що виробляються щитовидною залозою. Заміщення іонів йоду перхлорат-іонами може викликати зміни метаболічної активності, зачіпаючи багато систем організму. Гормони щитовидної залози необхідні також для нормального росту скелета і розвитку нервової системи плоду і немовляти. ГДК для повітря робочої зони 1 мг/м^3 , для атмосферного повітря, середньодобова $0,01 \text{ мг/м}^3$, для води водойм 5 мг/л , для водойм рибного господарства $0,044 \text{ мг/л}$, в ґрунті $0,1 \text{ мг/кг}$.

У 1997 році була прийнята державна програма утилізації міжконтинентальних балістичних ракет SS-24 у рамках виконання

договору "Старт-1" по скороченню стратегічних наступальних озброєнь, згідно з якою Україна взяла на себе зобов'язання щодо без'ядерного статусу і ліквідації стратегічних наступальних озброєнь. Після знищення шахтних пускових установок, розформування 43-ї ракетної армії та розбирання ракет, ступені ракет з твердим ракетним паливом залишилися на зберіганні в м Павлоград, Дніпропетровської області.

У 2004-му Україна прийняла рішення фінансувати програму утилізації самостійно.

Україна стала другою країною в світі, яка здатна, маючи промислову установку з переробки твердого ракетного палива, вилучати й утилізувати до 2 тисяч тон твердого ракетного палива (Рис. 3.4). А технології, які дозволяють утилізувати тверде ракетне паливо, що міститься в ракети SS-24, не має ні одна країна в світі.

На Павлоградський хімзавод привезено майже 5 тис. тон твердого ракетного палива, яке містилось в 163 корпусах двигунів ракет. Зараз тут утилізовано понад 3 тис. тон. Державне підприємство "Науково-виробниче об'єднання "Павлоградський хімічний завод" – одне з провідних підприємств в Україні з виробництва вибухових речовин, змішаних твердих ракетних палив та виробів з ними, буро-вибухових робіт, утилізації різних видів боєприпасів, непридатних для зберігання та використання, твердого ракетного палива, проведення наукових досліджень в області розробки високоенергетичних матеріалів і виробів, розробці технології виготовлення і утилізації вибухових матеріалів і виробів, проектування і конструювання процесів та обладнання для виробництва та утилізації вибухо-пожежонебезпечних

матеріалів і виробів, процесів та нестандартного обладнання для виробництва полімерних і композиційних матеріалів.



Рис. 3.4 – Комплекс обладнання для утилізації твердого ракетного палива на Державному підприємстві "Науково-виробниче об'єднання "Павлоградський хімічний завод", Україна

Нажаль на підприємстві залишилися 38 ступенів балістичних ракет (Рис. 3.5), в кожному міститься по 50 тон паливної суміші. Кожна з них контролюється, проте вже не керується, оскільки паливо старе. І при утилізації або при зберіганні може виникнути несанкціонована ситуація, аварія. У разі, якщо щось трапиться тільки з одним спорядженим корпусом ракетного двигуна, в атмосферу може статися викид понад 1,84 млрд. літрів токсичних речовин. Створюється реальна загроза для жителів м. Павлоград, сіл і міст із загальною кількістю жителів понад 4,8 млн осіб.



Рис. 3.5 – Сховище ступенів твердопаливних балістичних ракет.

З 15 квітня 2001 року на території промислового підприємства Павлоградський хімічний завод був створений заповідник, острів дикої природи. Площа заповідника – 110 га, зараз тут мешкає понад 150 голів тварин. Серед них: олені, муфлони, коні Пржевальського, дикі кабани, лані, бізони, гірські козли (Рис. 3.6).



а)



б)

Рис. 3.6 – Бізони (а) та коні Пржевальського (б) на території заповідника на Павлоградському хімічному заводі.

Такі оригінальні заходи є найкращою ілюстрацією безпеки виробництва з утилізації ТРП, які високо оцінені світовою спільнотою.

3.4. Близький космос і екологія.

Стихийний, некерований розвиток науково-технічної та господарської діяльності суспільства, особливо активний в останні роки, став істотно порушувати природні механізми компенсації і саморегуляції не тільки на Землі, але і в навколосемному космічному просторі.

«Наді мною небо – синій шовк» – писав поет. За шовком неба, починаючи з висоти 50 – 60 км, простягається гігантська плазмова оболонка планети, шар іонізованого газу завтовшки кілька тисяч кілометрів – іоносфера. З нейтральним газом тут змішані позитивні іони і вільні електрони, які виникають в результаті іонізації – руйнування молекул повітря під дією космічних променів, ультрафіолетового й рентгенівського випромінювання Сонця.

В іоносфері розташований озоновий шар Землі. Його не дарма називають «щитом Землі»: незважаючи на невелику товщину, він відіграє важливу роль у захисті живих організмів від ультрафіолетового випромінювання Сонця, яке здатне пошкоджувати біологічні молекули, в тому числі ДНК, викликає рак шкіри і захворювання очей. Скорочення кількості озону на 15% призводить до втрат у сільському господарстві усього світу на мільярди доларів в рік. Поява «озонної діри» над Антарктидою, судячи по всьому, – процес природний і локальний, і тому відчутних наслідків поки що не має.

Озон хімічно активний. Він утворюється внаслідок приєднання до молекули кисню ще одного атома, що виникає при розпаді кисню повітря під дією короткохвильового сонячного випромінювання. Озон, який утворився, надалі руйнується, реагує з оксидом азоту природного атмосферного походження. При цьому утворюється двоокис азоту і кисень. У присутності кисню двоокис азоту знову перетворюється в оксид.

Таким чином, у цих реакціях оксид азоту веде себе, як каталізатор, він не зникає в реакції, що призводить до знищення озону, і перешкоджає його накопиченню. Для підтримки природної рівноваги достатньо, щоб концентрація оксиду азоту становила лише 0,1% концентрації озону.

Але оксид азоту інтенсивно утворюється в області високочастотного розряду, і привабливий, на перший погляд, проект створення плазмових дзеркал виявляється екологічно небезпечним в наслідок катастрофічної деградації озонного шару.

Такою ж небезпекою загрожуватиме і ще один варіант застосування сфокусованих пучків випромінювання: пряма передача енергії з Землі на борт космічного апарату або навпаки – з орбітальної сонячної електростанції на Землю. Вигоди він обіцяє чималі: з'явиться можливість використовувати унікальні умови космосу – невагомість і вакуум для виробництва надчистих матеріалів і біологічних препаратів та отримання додаткової енергії. Все це, природно, вимагає ретельного аналізу і елементарної перевірки, без чого приступати до здійснення подібних проектів було б необачно.

Людство вдячне природній незбуреній іоносфері за можливість дальнього радіозв'язку, але головне її значення для землян полягає в

іншому. У разі її виникнення під дією іонізуючих випромінювань на верхню атмосферу, вона сама ж і затримує більшу їх частину. Сезонні і добові зміни параметрів іоносфери – природні процеси і її захисних властивостей не порушують.

На іоносферу може бути вчинено і зовнішній вплив. За рахунок зниження концентрації електронів іоносфери було виявлено порушення короткохвильового радіозв'язку при запусках супутників ще в 1973 р. Дослідження показали, що вільні електрони реагують з парами води, вуглекислим газом і іншими продуктами згоряння ракетного палива. Їх концентрація падає, і відбивна здатність іоносфери знижується. Збуджена область на деякий час стає радіопрозорою – виникає «іоносферна діра». Чим більше викинутих газів, тим більше її розміри. Реагує з газами ракетного викиду і озон, але короткочасно. Тому якщо в озоновому шарі і утворюється діра, то вона досить швидко розтягується.

А чи можуть запуски великих ракет впливати на погоду, адже і в приземному шарі атмосфера взаємодіє з продуктами згоряння і слідом за запусками відзначається зміна погоди? Однозначної відповіді поки що немає, але передбачається, що запуски великих ракет стимулюють зростання циклічної активності: атмосферний тиск у приземному шарі знижується, посилюються опади, виникають сильні вітри.

Якщо рани, завдані атмосфері та іоносфері, рано чи пізно так чи інакше заліковуються, то забруднення навколосемного простору уламками космічних апаратів може перерости в серйозну проблему. Космічний простір і раніше не був абсолютно порожнім і чистим. Його заповнюють матеріальні тіла різних розмірів і найдрібніший космічний пил, а між орбітами Марса і Юпітера обертається безліч малих планет

– астероїдів. Так як орбіти космічних апаратів, а їх обертається навколо Землі близько десятків тисяч, займають менший об'єм простору, ніж орбіти астероїдів, ймовірність утворення та подрібнення уламків космічних апаратів набагато вища, ніж у поясі астероїдів.

Середній термін служби супутника – близько 10 років. Єдину небезпеку для нього поки що представляють метеорити. І хоча вона, судячи по досвіду, який накопичено космонавтикою, дуже мала (всі супутники мають метеорний захист), в недалекому майбутньому космічні апарати доведеться захищати від найбільш небезпечних уламків штучного походження.

Є ще один привід для занепокоєння. На деяких космічних апаратах стоять ядерні силові установки. При їх падінні передбачається відділення блоку, що містить збагачений уран, і виведення його на віддалену орбіту, але бували випадки відмов і забруднені уламки випадали на Землю.

Ясно, що з «космічним сміттям» потрібно щось робити. Для початку, можливо, слід скоротити запуск супутників і одночасно їх термін служби, використовувати елементи ракетноносіїв, які повертаються на землю і кораблі типу «Шатлл». Найефективнішою було б радикальне прибирання сміття в космосі, яка звільняє навколоземний простір від мертвих апаратів та їх частин, так як навіть при повному припиненні запусків число уламків все одно буде збільшуватися. Приватна космічна компанія SpaceX всього за чотири запуску стала оператором найбільшого супутникового угруповання на орбіті Землі, адже у планах збільшення кількості апаратів в 175 разів. Цей факт змушує замислитися, які загрози для людства несуть рукотворні «сузір'я» в найближчому майбутньому. Як не дивно,

першочергова проблема полягає не в потенційному засмічуванні ближнього космосу, а у вразливості перед кіберзлочинцями.

Основна мета таких проєктів, як Starlink (SpaceX, США), OneWeb (Великобританія), Kuiper (Amazon, США) – надання широкосмугового доступу в Інтернет по всій Земній кулі. Кожне орбітальне угруповання буде відрізнятися за складом і деякими характеристиками систем передачі даних, однак вони принципово схожі. Це відносно недорогі (порядок цін – сотні тисяч доларів без урахування запуску) і невеликі (масою 100–300 кілограм) космічні апарати (КА), які працюють, на відміну від існуючих систем супутникового зв'язку, на низькій круговій орбіті (200–1200 кілометрів).

Дешевизна кожного окремого КА (а, відповідно, і всього проєкту в цілому) обумовлюється використанням промислових компонентів, які виробляються масово, а також конвеєрним складанням супутників. При цьому, кожен з таких виробів має власну рухову установку (для зміни орбіти і орієнтації), сонячну панель і блок з декількох приймачів. А супутники Starlink (Рис. 3.7), наприклад, так і зовсім будуть зв'язуватися один з одним по лазерному променю, однак поки що перша черга апаратів на орбіті (240 штук) обходиться без нього.

Супутники Starlink, країна – США; кількість супутників – 12–24 тисячі; маса апарату – 230–260 кілограм (залежно від модифікації); орбіта – 340, 550 і 1150 кілометрів (три «шари»); вартість – приблизно 250–400 тисяч доларів (не підтверджена); діапазон частот – Ku (12–18 ГГц), Ka (26,5–40 ГГц) і V (40–75 ГГц); швидкість передачі даних до клієнта – 1 Гбіт/с; апаратів на орбіті (лютий 2020) – 240; статус – дослідна експлуатація. Супутники OneWeb (Рис. 3.8), країна – Великобританія; кількість супутників – 648 (з них 48 резервні); маса

апарату – 150 кілограм; орбіта – полярна, 1200 кілометрів; вартість – приблизно 1 мільйон доларів; діапазон частот – Ku (12–18 ГГц); швидкість передачі даних до клієнта – 50 Мбіт/с; апаратів на орбіті (лютий 2020) – 40; статус – дослідна експлуатація.

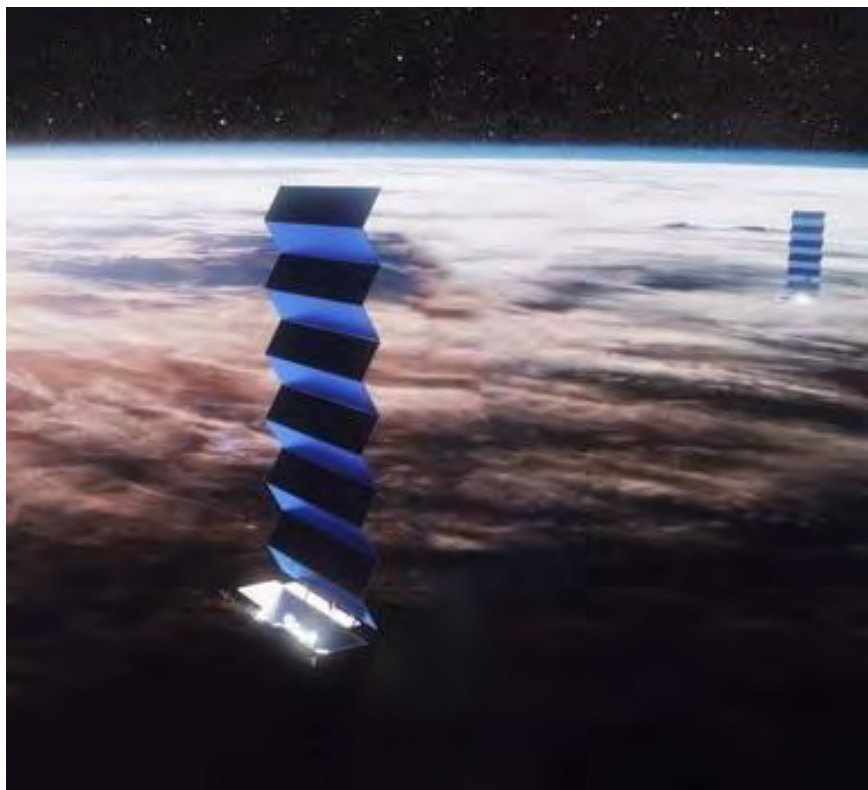


Рис. 3.7 – Розміщення в космічному просторі супутника Starlink

В ідеальній ситуації все виглядає чудово: купуєш цілком собі бюджетний термінал (очікувана вартість до тисячі доларів) і абсолютно скрізь можна дивитися YouTube, читати Wikipedia і скачувати торренти (звичайно ж тільки з дистрибутивами Linux).

Зібравши воедино величезну кількість доступної у відкритих джерелах інформації, фахівці прийшли до думки, що головною загрозою для людей і організацій, які користуються послугами таких провайдерів супутникового зв'язку є хакери.



Рис. 3.8 – Розміщення в космічному просторі супутника OneWeb

Якщо Starlink, OneWeb та інші проекти досягнуть хоча б більшої частини заявлених характеристик, їх аудиторія буде зростати лавиноподібно. Такий Інтернет може бути дуже вигідний і зручний у відкритому морі, віддалених регіонах, а також на літаках і навіть у

великих містах на об'єктах, куди тимчасово або постійно не можна провести альтернативну лінію зв'язку.

Одне з ключових переваг всіх подібних «сузір'їв» супутників на низькій орбіті – мала затримка сигналу – може зацікавити відразу кілька видів дуже важливих клієнтів. По-перше, це інфраструктурні об'єкти та комунальне господарство в тих випадках, коли дані з них необхідно отримувати оперативно. По-друге, це військові, які досить швидко «розпробують» можливість управління, наприклад, дрону в реальному часі (лаг сигналу менше 100 мілісекунд), а не як це є зараз із затримкою в 0,5–4 секунди, а то й більше. По-третє, якщо затримки сигналу вдасться знизити до обіцяного мінімуму, Starlink і його конкуренти стануть цілком імовірним інструментом трейдерів і фінансових організацій, а це гроші, багато грошей.

Розділ 4. КОСМІЧНА РАДІАЦІЯ.

4.1. Види космічного випромінювання.

Земля - унікальна колыска всього живого. Захищені її атмосферою і магнітним полем, ми можемо не думати про радіаційні загрози, крім тих, що творимо власними руками. Однак всі проекти освоєння космосу - ближнього і далекого - незмінно стикаються з проблемою радіаційної безпеки. Космос ворожий життю. Нас там не чекають.

Іноді космічне випромінювання ще називають космічними променями. Космічні промені — це випромінювання, що з'являється в результаті вибухів наднових зірок, а також у результаті термоядерних реакцій на Сонці. Різна природа походження променів впливає на їх основні характеристики. Первинні космічні промені являють собою потік заряджених ядерних частинок, що проходить через поверхню Землі, з'являючись з різних ділянок космічного простору.

Одним з основних негативних біологічних факторів космічного простору, поряд з невагомістю, є радіація. Пряма космічна радіація згубна для людини, але на щастя, наша планета надійно захищена від неї атмосферою. При взаємодії з шарами атмосфери космічна радіація має здатність змінювати свої енергетичні характеристики. Як наслідок, високоенергетичне випромінювання з космосу «слабішає» і утворює вторинне випромінювання. Якими б не були джерела космічних променів, яку потужність вони б не мали – загроза для людини, що перебуває на поверхні Землі, є мінімальною. Відчутної шкоди космічна радіація може завдати тільки космонавтам, адже вони не захищені від прямого космічного випромінювання атмосферою.

Але якщо ситуація з невагомістю на різних тілах Сонячної системи (наприклад, на Місяці або Марсі) буде краще, ніж на МКС, то з радіацією справи йдуть складніше.

За своїм походженням космічне випромінювання буває двох типів. Воно складається з галактичних космічних променів (ГКП) і важких позитивно заряджених протонів, що виходять від Сонця. Ці два типи випромінювання взаємодіють один з одним. У період сонячної активності інтенсивність галактичних променів зменшується, і навпаки. Наша планета захищена від сонячного вітру магнітним полем. Незважаючи на це, частина заряджених частинок досягає атмосфери. В результаті виникає явище, відоме як полярне сяйво. Високоенергетичні ГКП майже не затримуються магнітосферою, однак вони не досягають поверхні Землі в небезпечній кількості завдяки її щільній атмосфері. Орбіта МКС знаходиться вище щільних шарів атмосфери, однак усередині радіаційних поясів Землі. В наслідок цього рівень космічного опромінення на станції набагато вище, ніж на Землі, але істотно нижче, ніж у відкритому космосі. За своїми захисними властивостями атмосфера Землі приблизно еквівалентна 80-сантиметровому шару свинцю.

Єдиним достовірним джерелом даних про дозу випромінювання, яку можна отримати під час тривалого космічного перельоту і на поверхні Марса, є прилад RAD на дослідницькій станції Mars Science Laboratory (MSL), більш відомої як Curiosity. Щоб зрозуміти, наскільки точні зібрані ним дані розглянемо для початку МКС.

У вересні 2013 року в журналі Science була опублікована стаття, присвячена результатам роботи інструменту RAD. На порівняльному графіку, побудованому Лабораторією реактивного руху НАСА

(організація не пов'язана з експериментами, проведеними на МКС, але працює з інструментом RAD марсохода Curiosity), зазначено, що за півроку перебування на навколоземній космічній станції людина отримує дозу випромінювання, приблизно рівну 80 мЗв (мілізіверт). А ось у виданні Оксфордського університету від 2006 року (ISBN 978-0-19-513725-5) говориться, що за добу космонавт на МКС отримує в середньому 1 мЗв, тобто піврічна доза повинна скласти 180 мЗв. В результаті ми бачимо величезний розкид в оцінці рівня опромінення на давно вивченій низькій орбіті Землі.

Основні сонячні цикли мають період 11 років, і, оскільки ГКП і сонячний вітер взаємопов'язані, для статистично надійних спостережень потрібно вивчити дані про радіацію на різних ділянках сонячного циклу. На жаль, як говорилося вище, всі наявні у нас дані про радіацію у відкритому космосі були зібрані за перші вісім місяців 2012 року апаратом MSL на його шляху до Марсу. Інформація про радіацію на поверхні планети накопичена ним же за наступні роки. Це не означає, що дані невірні. Просто потрібно розуміти, що вони можуть відображати лише характеристики обмеженого періоду часу.

Останні дані інструменту RAD були опубліковані в 2014 році. Як повідомляють вчені з Лабораторії реактивного руху НАСА, за півроку перебування на поверхні Марса людина отримає середню дозу випромінювання близько 120 мЗв. Ця цифра знаходиться посередині між нижньою та верхньою оцінками дози опромінення на МКС. За час перельоту до Марса, якщо він займе півроку, доза опромінення складе 350 мЗв, тобто в 2-4,5 рази більше, ніж на МКС. За час польоту MSL пережив п'ять спалахів на Сонці помірної потужності. Ми не знаємо напевно, яку дозу опромінення отримають космонавти на Місяці,

оскільки в часи програми «Аполлон» не проводилися експерименти, які вивчали окремо космічну радіацію. Її ефекти вивчалися лише спільно з ефектами інших негативних явищ, таких як вплив місячного пилу. Тим не менш, можна припустити, що доза буде вище, ніж на Марсі, оскільки Місяць не захищений навіть слабкої атмосферою, але нижче, ніж у відкритому космосі, тому що людина на Місяці буде опромінюватись тільки «зверху» і «з боків», але не з-під ніг.

На можна відзначити, що радіація – це та проблема, яка обов'язково потребує вирішення у разі колонізації Сонячної системи. Однак широко розповсюджена думка, що радіаційна обстановка за межами магнітосфери Землі не дозволяє здійснювати тривалі космічні польоти, просто не відповідає дійсності. Для польоту до Марса доведеться встановити захисне покриття або на весь житловий модуль космічного перелітного комплексу, або на окремий особливо захищений «штормовий» відсік, в якому космонавти зможуть перечікувати протонні зливи. Це не означає, що розробникам доведеться використовувати складні антирадіаційні системи. Для істотного зниження рівня опромінення досить теплоізоляційного покриття, яке застосовують на спускних апаратах космічних кораблів для захисту від перегріву при гальмуванні в атмосфері Землі.

Орбіту Міжнародної космічної станції кілька разів піднімали, і зараз її висота становить понад 400 км. Це робилося для того, щоб відвести літаючу лабораторію від щільних шарів атмосфери, де молекули газів ще досить помітно гальмують політ і станція втрачає висоту. Щоб не коригувати орбіту занадто часто, добре б підняти станцію ще вище, але робити цього не можна. Приблизно в 500 км від Землі починається нижній (протонний) радіаційний пояс. Тривалий

політ всередині будь-якого з радіаційних поясів (а їх два) буде згубним для екіпажів.

Проте не можна сказати, що на висоті, на якій зараз літає МКС, проблеми радіаційної безпеки немає. По-перше, в районі Південної Атлантики існує так звана Бразильська, або Південно-Атлантична, магнітна аномалія. Тут магнітне поле Землі як би провисає, а з ним ближче до поверхні виявляється нижній радіаційний пояс. І МКС його все-таки стосується, пролітаючи в цьому районі.

По-друге, людині в космосі загрожує галактичне випромінювання – мчить з усіх напрямків і з величезною швидкістю потік заряджених частинок, породжених вибухами наднових або діяльністю пульсарів, квазарів і інших аномальних зоряних тіл. Частина цих частинок затримується магнітним полем Землі (що є одним з факторів формування радіаційних поясів), інша частина втрачає енергію в зіткненні з молекулами газів в атмосфері. Щось долітає до поверхні Землі, так що невеликий радіоактивний фон присутній на нашій планеті абсолютно скрізь. У середньому на Землі людина, яка не має справи з джерелами радіації, щорічно одержує дозу в 1 мілізіверт (мЗв). Космонавт на МКС заробляє 0,5–0,7 мЗв. Щодня!

Радіаційні пояси Землі являють собою області магнітосфери, в яких накопичуються високоенергетичні заряджені частинки. Внутрішній пояс складається переважно з протонів, зовнішній – з електронів. У 2012 році супутником NASA було відкрито ще один пояс, який знаходиться між двома відомими.

Можна привести цікаве зіставлення: припустимою щорічної дозою для співробітника АЕС вважаються 20 мЗв – в 20 разів більше, ніж отримує звичайна людина. Для фахівців з ліквідації аварій, цих

особливим чином підготовлених людей, максимальна річна доза становить 200 мЗв. Це вже в 200 разів більше в порівнянні зі звичайною дозою і практично стільки ж, скільки отримує космонавт, який пропрацював рік на МКС .

В даний час медициною встановлено максимальну граничну дозу, яку протягом життя людині перевищувати не можна, щоб уникнути серйозних проблем зі здоров'ям. Це 1000 мЗв, або 1 Зв. Таким чином, навіть працівник АЕС з його нормативами може спокійно працювати років п'ятдесят ні про що не турбуючись. Космонавт ж вичерпає свій ліміт всього за п'ять років. Але, навіть налітавши чотири роки і набравши свої законні 800 мЗв, він вже навряд чи буде допущений в новий політ річної тривалості, тому що з'явиться загроза перевищення ліміту.

Ще одним фактором радіаційної небезпеки в космосі є активність Сонця, особливо так звані протонні викиди. У момент викиду за короткий час космонавт на МКС може отримати додатково до 30 мЗв. Добре, що сонячні протонні події відбуваються не часто, 1–2 рази за 11-річний цикл сонячної активності. Погано, що ці процеси виникають стохастично в випадковому порядку, і погано піддаються прогнозуванню. Дозиметри на МКС раптом показують підвищення фону, фахівці, які наглядають за Сонцем, підтверджують: так, спостерігається аномальна активність нашого світила. Саме через такі сонячні протонні події, які раптово виникають, ніколи точно не відомо, яку саме дозу привезе з собою космонавт з польоту.

Радіаційні проблеми у екіпажів, які вирушають на Марс, почнуться ще у Землі. Корабель масою 100 або більше тон доведеться довго розганяти по навколоземній орбіті, і частина цієї траєкторії

пройде в межах радіаційних поясів. Це вже не години, а дні і тижні. А далі – вихід за межі магнітосфери і галактичне випромінювання в його первозданній формі, тобто багато важких заряджених частинок, вплив яких під «парасолькою» магнітного поля Землі, відчувається мало.

Проблема в тому, що вплив частинок на критичні органи людського організму (наприклад, нервову систему) сьогодні мало вивчений. Можливо, радіація стане причиною втрати пам'яті у космонавта, з'являться ненормальні поведінкові реакції, агресія. І дуже ймовірно, що ці ефекти не будуть прив'язані до конкретної дози. Поки що не накопичено достатньо даних щодо існування живих організмів за межами магнітного поля Землі, тому вирушати у тривалі космічні експедиції дуже ризиковано.

Коли фахівці з радіаційної безпеки пропонують конструкторам космічних апаратів посилити біозахист, ті відповідають, здавалося б, цілком раціональним питанням: «А в чому проблема? Хіба хтось з космонавтів помер від променевої хвороби?» На жаль, отримані на борту навіть не зорельотів майбутнього, а звичної нам МКС дози радіації хоч і вписуються в нормативи, але зовсім не нешкідливі. Радянські космонавти чомусь ніколи не скаржилися на зір – мабуть, побоюючись за свою кар'єру, але американські дані чітко показують, що космічна радіація підвищує ризик катаракти, помутніння кришталика. Дослідження крові космонавтів демонструють збільшення хромосомних аберацій в лімфоцитах після кожного космічного польоту, що в медицині вважається онкомаркером. У цілому зроблено висновок про те, що отримання протягом життя допустимої дози в 1 Зв в середньому скорочує життя на три роки.

Одним із «сильних» аргументів прихильників «місячної змови» вважається твердження про те, що перетин радіаційних поясів і перебування на Місяці, де немає магнітного поля, має було б викликати неминучу загибель астронавтів від променевої хвороби. Американським астронавтам дійсно доводилося перетинати радіаційні пояси Землі – протонний і електронний. Але це відбувалося протягом усього лише декількох годин, і дози, отримані екіпажами «Аполлона» у ході місій, виявилися суттєвими, але порівнянними з тими, що отримують старожили МКС. Звичайно, американцям пощастило, адже за час їх польотів не відбулося жодного сонячної протонної події. Трапся таке, астронавти отримали б сублетальні дози – вже не 30 МЗв, а 3 Зв.

4.2. Радіаційна безпека у космосі.

Фахівці в галузі радіаційної безпеки наполягають на тому, щоб захист екіпажів був посилений. Наприклад, на МКС найбільш вразливими є каюти космонавтів, де вони відпочивають. Там немає ніякої додаткової маси, і від відкритого космосу людину відділяє лише металева стінка товщиною в кілька міліметрів. Якщо приводити цей бар'єр до прийнятого в радіології водного еквіваленту, це всього лише 1 см води. Для порівняння: земна атмосфера, під якою людство ховається від випромінювання, еквівалентна 10 м води. Фахівцями запропоновано захистити каюти космонавтів додатковим шаром з просочених водою рушників і серветок, що набагато б знизило дію радіації. Розробляються медикаментозні засоби для захисту від

випромінювання, правда, на МКС вони поки не використовуються. Можливо, в майбутньому методами медицини та генної інженерії можливо буде вдосконалити тіло людини таким чином, щоб його критичні органи були більш стійкими до факторів радіації. Але в будь-якому випадку без пильної уваги науки до цієї проблеми про далеких космічних польотах можна забути.

Присутність радіації в космосі створює чимало проблем не тільки конструкторам космічних апаратів, але і космонавтам, які літають на орбітальних станціях і космічних кораблях.

Ще на світанку космічних польотів творці супутників зіткнулися з проблемою живучості сонячних батарей. Виявилося, що під дією інтенсивних потоків частинок радіаційних поясів вони досить швидко деградували: їх електричний струм, необхідний для живлення бортових систем, зменшувався. Довелося їх захищати від радіації – охороняти шар кремнію склом, яке поглинає велику частку радіації. Так починалася ера "боротьби" з космічною радіацією. Згодом вчені, вивчаючи її, дізналися досить багато нового і, мабуть, навіть несподіваного.

Радіація на ближніх підступах до Землі. Перед першим польотом у космос людини, питання радіаційної безпеки ретельно вивчалися. В космосі були проведені експерименти щодо визначення доз радіації на передбачуваних орбітах. Виявилося, що на орбітах 300–400 км (саме на таких орбітах літають пілотовані космічні кораблі) потоки радіації порівняно невеликі. Так, за даними приладів, встановлених всередині орбітальної станції "Мир", дози радіації змінювалися в досить широких межах: від 100 до 800 мкГр на добу, що є допустимою величиною для

людини, але все ж це більше, ніж отримує персонал атомних станцій в нормальних умовах.

Грей – одиниця вимірювання поглиненої дози іонізуючого випромінювання в системі SI. Один грей дорівнює дозі випромінювання, за якої опромінений речовині масою один кілограм передається енергія один Джоуль будь-якого іонізуючого випромінювання.

Ця величина створюється, в основному, за рахунок частинок радіаційних поясів, причому лише в одному місці: в районі Південної Атлантики. Саме тут радіаційні пояси "провисають" над Землею через існування глибоко під Землею магнітної аномалії. Космічні кораблі, які літають над Землею, як би "чиркають" пояси радіації протягом дуже нетривалого часу на витках, що проходять район аномалії. На інших витках потоки радіації відсутні і не створюють клопоту учасникам космічних експедицій.

Однак згодом виявилось, що район радіаційної аномалії "дихає". Періодичність дихання аномалії – зміна потоків частинок – відповідають циклу сонячної активності: у мінімумі активності потоки збільшуються, а в максимумі, навпаки, зменшуються. Здавалося б, парадокс? У роки, коли наше світило з особливою щедрістю викидає в простір потужні потоки сонячної плазми і частинок, радіаційна аномалія затихає. І відбувається це за рахунок поглинання частинок поясів атмосферою, яка нагрівається і охолоджується у відповідності з активністю Сонця. У роки максимуму вона розігрівається, щільність її частинок на орбіті пілотованих кораблів збільшується. У ці періоди часу частинки радіаційних поясів починають все частіше й частіше стикатися з молекулами, атомами атмосфери і втрачати свою енергію. Вони припиняють своє життя як енергійні частинки радіаційних поясів.

У роки мінімуму спостерігається зворотна картина: потоки і дози радіації значно збільшуються.

Однак магнітна аномалія в районі Південної Атлантики – не єдина радіаційна "напасть" для космонавтів. Сонячні спалахи, що генерують часом досить енергійні частинки, можуть створити великі складності для польотів космонавтів. Яка доза радіації може бути отримана космонавтом у разі приходу сонячних частинок до Землі – є волею випадку. Ця величина визначається, в основному, двома факторами: ступенем спотворення дипольного магнітного поля Землі під час магнітних бур і параметрами орбіти космічного апарату протягом сонячної події. Депресія магнітного поля під час бур зменшує мінімальний поріг обрізання по жорсткості сонячні космічні промені (СКП), дозволяючи їм проникати на низькі широти. З іншого боку, вплив географічного положення космічного апарату щодо початку зростання сонячних частинок – дійсно важливий фактор. Екіпажу може пощастити, якщо орбіти в момент вторгнення СКП не проходять небезпечних високоширотних ділянок.

Наскільки захищені від радіації космічні станції, супутники і самі космонавти? Розглянемо цю проблему на прикладі деяких найбільш сильних проявів сонячної активності.

Одне з найбільш потужних протонних вивержень – радіаційна буря сонячних вивержень, викликала радіаційну бурю поблизу Землі, це сталося зовсім недавно – 20 січня 2005 р. Аналогічне по потужності сонячне виверження було 16 років тому, в жовтні 1989 р. Безліч протонів з енергіями, що перевищують сотні МеВ, досягли магнітосфери Землі. До речі, такі протони здатні подолати захист товщиною, еквівалентної приблизно 11 сантиметрам води. Скафандр

космонавта тонше. Біологи вважають, що якщо в цей час космонавти опинилися б поза Міжнародної космічної станції, то, безумовно, вплив радіації позначилося б на їх здоров'ї. Але вони знаходилися всередині неї. Захист МКС досить великий, щоб захистити екіпаж від несприятливого впливу радіації в багатьох випадках. Так було і під час цієї події. Як показали вимірювання за допомогою радіаційних дозиметрів, "схоплена" космонавтами доза радіації не перевищувала тієї дози, яку людина отримує при звичайному рентгенівському обстеженні. Космонавти МКС отримали 0,01 Гр або $\sim 0,01$ Зіверт (для біологічних об'єктів доцільніше використовувати біологічні еквіваленти доз в одиницях, що враховують розходження в ступені поглинання різних видів випромінювання в біологічних тканинах. Правда, настільки малі дози пов'язані і з тим, що станція знаходилася на "магнітно-захищених" витках, що може траплятися не завжди.

У табл. 4.1 наводяться значення доз радіації, що призводять до виникнення певних радіаційних ефектів.

Таблиця 4.1 – Таблиця радіаційних ризиків.

Доза, Зв	Ймовірні ефекти
0-0,25	Немає ефекту, за винятком помірних змін у крові.
0,25-1	Радіаційні захворювання 5-10% опромінених людей.
1-1,5	Радіаційні захворювання у $\sim 25\%$ опромінених людей.
1,5-2	Радіаційні захворювання у $\sim 50\%$ опромінених людей.
2-3,5	Радіаційні захворювання майже у всіх людей, $\sim 20\%$ з летальним результатом.
4	50% летальних випадків.
7	$\sim 100\%$ летальних випадків.

Зіверт (Зв, Sv) – одиниця вимірювання еквівалентної дози іонізаційного випромінювання в системі SI. Один Зіверт дорівнює еквівалентній дозі будь-якого виду випромінювання, поглиненої одним кілограмом біологічної тканини, що створює такий же біологічний ефект, як і поглинена доза один Грей рентгенівського або γ -випромінювань.

Кілька Зівертів – величезна доза. Однак і ця доза, якщо вона отримана людиною не миттєво, а поступово, може і не призвести до несприятливого результату. До того ж, не треба забувати про можливість медичної допомоги у разі радіаційного захворювання. Тому можна зробити висновок, що радіаційне середовище на висотах орбітальних станцій при самих несприятливих геліофізичних умовах, навряд чи може привести до останньої межі – доз у декілька Зв.

Тепер подивимося яка радіаційна обстановка подалі від нашої планети.

До сих пір ми розглядали відносно малі висоти над Землею. Набагато більш небезпечними з точки зору радіаційного впливу виявляються висоти вище "пілотованих" орбіт. Тут космонавти зараз не літають. Але ця область, аж до 7R3 дуже сильно "населена" автоматичними космічними апаратами. Як вони "виживають"? В основному за рахунок застосування спеціального захисту для електроніки, використання матеріалів найменш чутливих до радіації.

Однак, проблема радіаційної безпеки автоматичних апаратів все ж існує. Перед конструкторами стоїть завдання створення нового покоління навколосемних супутників з терміном активного існування до 15 років. Це – чимало, більше, ніж сонячний цикл. Такий апарат

повинен в повній мірі випробувати на собі вплив космічних радіаційних бурь.

Крім вторгнення сонячних космічних променів (СКП), радіаційні бурі створюють і частинки радіаційних поясів. Останні відчувають значні просторові та часові зміни своїх потоків під час магнітних бур і сонячних збурень.

Виявлено, що їх потоки сильно збільшуються під час магнітних бур і в періоди збільшення швидкості сонячного вітру. Вони створюють реальну загрозу супутникам, що перебувають у зоні сплесків їх потоку. Часом це закінчується вельми плачевно для супутників. Вже відзначено досить багато випадків, коли вихід з ладу окремих систем супутників або навіть припинення їх функціонування пов'язане з різким посиленням потоку релятивістських електронів. Уявіть собі потужний потік електронів з енергією в декілька MeV, здатний наскрізь пробити оболонку супутника і створити великий потік вторинного гальмівного випромінювання, що складається з низькоенергійних гамма-квантів. Електроніка супутника може не витримати.

Один з ефектів впливу енергійних електронів пов'язаний з тим, що електронний пучок таких частинок, проникаючи всередину неметалевих конструкцій (наприклад, пластика) викликає в ньому внутрішній електричний пробій. Всередині утворюється пошкодження – дуже красива фігура Ліхтенберга. Можна уявити наслідки впливу такої "краси" на бортову електроніку супутника, де досить багато пластикових деталей. Недарма енергійні електрони називали кіллерами супутників. Супутники зазнають лиха, коли в космосі з'являються потужні потоки цих частинок.

Фігури Ліхтенберга (нім. Lichtenberg-Figuren, або «Пилові фігури Ліхтенберга») – розгалужені

електричні розряди, які можуть з'являтися на поверхні та в середині ізолюючих матеріалів (твердих тіл, рідин або газів) у процесі електричного пробію.

Саме тому, що радіація в космосі є одним з несприятливих факторів, що впливають на виконання польотних завдань – будь то екіпаж або сам космічний корабель, їй приділяється особлива увага ще на етапі проектування. Крім пошуку і застосування різних радіаційностійких захисних матеріалів, дублювання і навіть "потроювання" електроніки, на борту практично всіх космічних апаратів встановлюють дозиметричну апаратуру, яка дозволяє операторам на Землі відстежувати радіаційну обстановку в космосі і, якщо це необхідно, проводити зміни в польотному завданні, щоб мінімізувати можливий збиток. Іноді навіть просте виключення енергоживлення всього супутника або окремих його систем дозволяє зберегти йому життя.

Радіаційні поля навколо Землі створюють не тільки СКП і частинки радіаційних поясів. Адже є ще й частинки надвисоких енергій – космічні промені. Їх потік дуже малий у порівнянні з іншими компонентами космічної радіації. Здавалося б, що вони не можуть являти собою загрозу космічній техніці і живим організмам. Однак добре відомо про космічну одісею американських астронавтів на Місяць (Рис. 4.1). Земляни протягом декількох експедицій подорожували на Місяць на космічних апаратах "Apollo". Кілька днів астронавти перебували в космічному просторі, в тому числі тривалий проміжок часу – поза меж земної магнітосфери.



Рис. 4.1 – Висадка астронавтів США на Місяць.

Ніл Армстронг (перший астронавт, який вступив на Місяць) повідомив на Землю про свої незвичайні відчуття під час польоту: часом він спостерігав яскраві спалахи в очах. Іноді їх частота сягала близько сотні в день. Вчені стали розбиратися в цьому явищі і швидко прийшли до висновку, що відповідальні за це галактичні космічні промені. Саме ці частинки високої енергії, проникаючи в очне яблуко, викликають черенковське світіння при взаємодії з речовиною, з якої складаються очі. В результаті астронавт і бачить яскравий спалах. Найбільш ефективно взаємодіють з речовиною не протони, яких в складі космічних променів більше всіх інших частинок, а важкі частинки – вуглець, кисень, залізо. Ці частинки, володіючи великою масою, втрачають значно більше своєї енергії на одиницю пройденого шляху, ніж їх більш легкі побратими. Саме вони відповідальні за генерацію черенковського світіння і збудження ретини – чутливої оболонки ока. Тепер це явище широко відомо. Воно, ймовірно,

спостерігалось і до Ніла Армстронга, тільки не всі космічні пілоти про це повідомляли на Землю.

Зараз на борту Міжнародної космічної станції проводиться спеціальний експеримент щодо більш глибокого вивчення цього явища. Виглядає він так: на голову космонавта одягається шолом, начинений детекторами для реєстрації заряджених частинок. Космонавт повинен фіксувати момент проходження частинки в момент спостережуваних їм спалахів, а детектори роблять незалежну "експертизу" їхнього прольоту через око і детектор. Світлові спалахи в очах космонавтів і астронавтів є прикладом того, як орган зору людини – око може служити детектором космічних частинок.

Однак на цьому неприємні наслідки присутності в космосі космічних променів високої енергії не закінчуються. Десять років тому було помічено, що робота бортових комп'ютерів супутників може порушуватися. Ці порушення можуть бути двох типів: комп'ютер може "зависнути", а через деякий час відновитися, але іноді і вийти з ладу. Знову-таки, вивчаючи це явище, вчені прийшли до висновку, що відповідальні за нього важкі частинки ГКП. Так само, як і у випадку з очним яблуком, вони проникають всередину чипа і викликають локальні, мікроскопічні порушення в його "серці" – чутливої області напівпровідникового матеріалу, з якого він виготовлений.

Чип — одна з назв інтегральної мікросхеми.

В результаті досить складних процесів, пов'язаних з порушенням руху носіїв електричних струмів в матеріалі чипа, і відбувається збій в його роботі (їх називають "одиночними збоями"). Це неприємне явище

для бортової апаратури сучасних супутників з великою кількістю комп'ютерних систем, які керують його роботою. Як результат – супутник може втратити орієнтацію або не виконати необхідну команду оператора з Землі. У гіршому випадку, якщо немає на борту необхідної дублюючої комп'ютерної системи, можна супутник і втратити.

У роки мінімуму сонячної активності, коли потік ГКП максимальний, частота збоїв наростає, і вона падає в максимумі, коли потік ГКП мінімальний. Неможливо боротися з цим неприємним явищем. Ніякий захист не рятує супутник від цих частинок. Занадто велика проникаюча здатність цих частинок з їх величезними енергіями.

Навіть навпаки, збільшення товщини обшивки космічного корабля призводить до зворотного ефекту. Нейтрони, утворюючись в результаті ядерних реакцій галактичних космічних променів (ГКП) з речовиною, створюють сильний радіаційний фон всередині корабля. Ці вторинні нейтрони, взаємодіють з матеріалом, розташованим поблизу чипа, і генерують, в свою чергу, важкі частинки, які, проникаючи всередину чипів, створюють збої.

Важкі заряджені частинки зустрічаються не тільки в космічних променях. Вони присутні і в складі радіаційних поясів, особливо багато їх у внутрішній, ближньої до Землі, частині. Тут є і протони, і важчі частинки. І енергія їх може перевищувати сотні МеВ. Тепер згадаємо про Південно-Атлантичну аномалію, яка "провисає" над Землею. Неважко уявити, що електроніка космічного корабля, що літає на висоті 500 кілометрів повинна "відчувати" ці частинки. Аналогічне явище відбувається і при потужних сонячних спалахах. Протони і важкі ядра в складі СКП можуть викликати в чипах такі ж поодинокі

збої. І вони дійсно спостерігаються. Єдиний порятунок від ГКП – кіллерів чипів – це технічні засоби, пов'язані з дублюванням особливо важливих електронних елементів бортової апаратури.

Не тільки інженери, творці бортовий електронної апаратури, стурбовані присутністю в космосі високоенергетичних космічних променів. Біологи також вивчають механізми впливу цих частинок. Вода, основна речовина біологічних тканин, під дією радіації іонізується, утворюються вільні радикали, які можуть зруйнувати молекулярні зв'язки ДНК. Взаємодія важких частинок ГКП з молекулою ДНК в межах її лінійних розмірів $\sim 20 \text{ \AA}$ може призводити до порушень в її структурі двома шляхами: або через утворення вільних радикалів, або безпосередньо – шляхом пошкодження самої молекули

Альфа-частинки (ядра гелію) та інші важкі частинки космічних променів впливають на клітини більш ефективно, ніж електрони – легкі частинки. Важкі частинки втрачають в речовині набагато більше енергії на одиницю шляху, ніж більш легкі. Виникають неприємні генетичні наслідки, в тому числі канцерогенні, число пошкоджених клітин у разі впливу частинок, більш важких, ніж протони, різко зростає. Безумовно, не можна вважати, що важкі елементи в складі космічних променів – єдиний агент, здатний викликати рак. Біологи, навпаки, вважають, що серед усіх інших факторів зовнішнього середовища, здатних впливати на ДНК, радіації належить аж ніяк не лідируюча роль. Окремі хімічні сполуки здатні викликати значно більш чутливі порушення, ніж радіація. Однак в умовах тривалого космічного польоту, поза магнітного поля Землі, людина опиняється наодинці, в основному, саме з радіацією. Причому це не зовсім звичайна, звична для людини радіація. Це – галактичні космічні промені, у складі яких є

важкі заряджені частинки. Вони, дійсно, викликають порушення ДНК. Не цілком очевидні наслідки цієї взаємодії. Що означає твердження про можливі, наприклад, канцерогенні наслідки такої взаємодії?

На сьогоднішній день фахівці з космічної медицини і біології не здатні дати вичерпну відповідь. Є проблеми, які треба вирішувати в майбутніх дослідженнях. Наприклад, саме по собі порушення ДНК не обов'язково має привести до раку. Більш того, молекули ДНК, отримавши сигнал небезпеки про порушення своєї структури, намагаються включити "програму ремонту" самостійно. І це відбувається, часом, небезуспішно. Будь-яка фізична травма, той же удар молотком по тілу, викликає набагато більше порушень на молекулярному рівні, ніж радіація. Але клітини відновлюють ДНК, і організм "забуває" про цю подію.

Стабільність ДНК надзвичайно велика: ймовірність мутації не перевищує 1 на 10 мільйонів незалежно від локальних умов. Це фантастична надійність біологічної структури, відповідальної за відтворення життя. Навіть надсильні радіаційні поля не можуть її порушити. Є ряд бактерій, які не мутують у величезних по потужності радіаційних полях, які досягають багатьох тисяч Гр. Таке дозове навантаження не витримує навіть кристалічний кремній і багато конструкційних матеріали.

Проблема тут, як це представляється біологам, полягає в тому, що може бути збій в програмі ремонту: наприклад, хромосома в результаті може опинитися в зовсім у непотрібному місці в структурі ДНК. Ось ця ситуація стає небезпечною. Однак і тут можлива багатоваріантність послідовності подій. По-перше, треба врахувати, що процес мутації, який полягає в розмноженні "неправильних клітин", займає великий

проміжок часу. Біологи вважають, що можуть пройти десятиліття між первинним несприятливим впливом і негативної реалізацією цього ефекту. Цей час необхідний, щоб сформувати новоутворення клітин, підданих мутацій, що складається з багатьох мільярдів. Тому прогноз розвитку несприятливих наслідків - справа дуже проблематичне.

Інша сторона проблеми впливу радіації на біологічні структури, полягає в тому, що недостатньо вивчений процес впливу малих доз. Не існує прямого зв'язку між величиною дози, тобто кількістю радіації і радіаційними ушкодженнями. Як вважають біологи, різні типи хромосом, по-різному реагують на радіацію. Одним з них для прояву ефекту "потрібні" значні дози радіації, а іншим достатньо і надмалих. У чому тут причина? Відповіді на це поки немає. Більш того, не цілком ясні наслідки впливу на біологічні структури одночасно двох або кількох видів радіації: скажімо, ГКП і СКП або ГКП, СКП і радіаційних поясів. Склад цих видів космічного випромінювання різних, і кожен з них може призводити до своїх наслідків. Але не ясний ефект їх спільного впливу. Остаточну відповідь на ці питання можна отримати лише в результатах майбутніх експериментів.

Людина вже побувала на Місяці. Недалеко час, коли знову відновляться польоти на нашу супутницю, а потім, ймовірно, і на Марс.

4.3. Фактор галактичних і сонячних космічних променів.

При далеких космічних польотах зростає роль галактичних і сонячних космічних променів як радіаційно-небезпечних факторів. Підраховано, що при польоті на Марс саме ГКП стають основною радіаційною небезпекою. Політ на Марс триває близько 6 місяців, і

інтегральна сумарна доза радіації від ГКП і СКП за цей період у кілька разів вищі дози радіації на МКС за той же час. Тому ризик радіаційних наслідків, пов'язаних з виконанням далеких космічних місій значно зростає. Так, за рік польоту на Марс, поглинена доза, пов'язана з ГКП, складе 0,2-0,3 Зв (без захисту). Її можна порівняти з дозою від одного з найпотужніших спалахів минулого століття – серпня 1972 р. Під час цієї події вона була в кілька разів менше: ~ 0.05 Зв.

Радіаційну небезпеку, створювану ГКП, можна оцінити і передбачити. Зараз накопичено багатий матеріал з тимчасовими варіаціями ГКП, які пов'язані з сонячним циклом. Це дозволило створити модель, на основі якої вдається передбачити потік ГКП на будь-який заданий вперед період часу (Рис. 4.2).

Набагато складніше йдуть справи з СКП. Сонячні спалахи виникають випадковим чином і навіть не очевидно, що потужні сонячні події виникають в роки, обов'язково близькі до максимуму активності.

Космічні промені надвисоких енергій (КПНВЕ) – елементарні частинки та ядра атомів з космічного простору з енергією понад 10^{19} eV. Майже 90 % загальної кількості частинок складають протони, 9 % – ядра гелію (альфа-частинки) та близько 1 % – електрони (бета-частинки). Космічними променями називають заряджені частинки високої енергії (від 10^8 до 10^{20} eV), що надходять або від Сонця, або з міжзоряного простору. За своїми фізичними властивостями космічні промені є дуже розрідженим релятивістським газом, частинки якого майже не взаємодіють одна з одною (енергетичний спектр космічних променів має не максвелівський, а ступеневий характер), однак можуть зіштовхуватися з частинками міжзоряного середовища та взаємодіють із міжзоряним магнітним полем. Частинки з найвищою енергією можуть взаємодіяти також із реліктовим випромінюванням. Потік космічних променів поблизу Землі порівняно невеликий,

однак густина енергії (близько 1 eV на см^3) порівняна з густиною сумарного електромагнітного випромінювання зір у Галактиці, або з густиною енергії теплового руху міжзоряного газу та кінетичної енергії його турбулентних рухів, а також із середньою густиною енергії магнітного поля поблизу площини галактики. Космічні промені можуть сягати енергій понад 10^{20} eV , що значно перевищує можливості наявних земних прискорювачів частинок, в яких можна надати частинці кінетичну енергію лише близько 10^{12} — 10^{13} eV для опису реєстрації частинки з енергією близько 50 Дж , що еквівалентно тенісному м'ячу, розігнаному до швидкості 42 м/с).

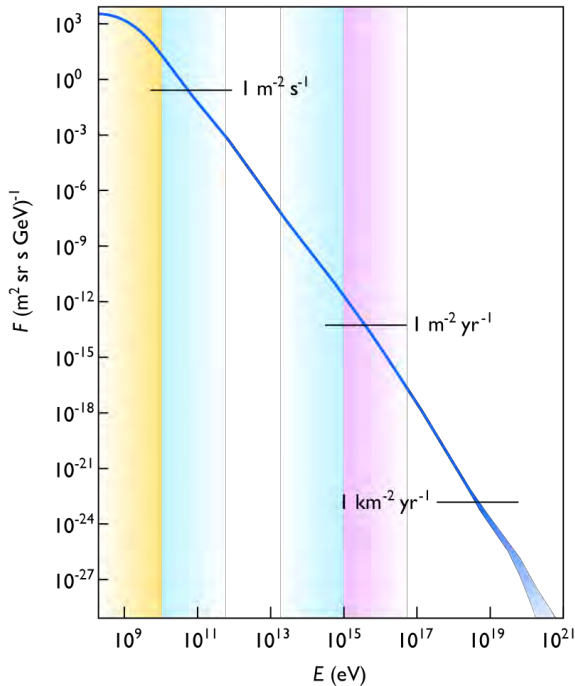


Рис. 4.2 – Диференційний енергетичний спектр космічних променів має степеневий характер (у двічі логарифмічному масштабі – похила пряма) (мінімальні енергії – жовта зона, сонячна модуляція, середні енергії – синя зона, ГКП, максимальні енергії – пурпурова зона, позагалактичні КП)

Принаймні, досвід останніх років показує, що вони відбуваються і в часи затишного світила.

Протони сонячних спалахів несуть реальну загрозу космічним екіпажам далеких місій. Взявши знову в якості прикладу спалах серпня 1972 р., можна показати, перерахувавши потоки сонячних протонів у дозу радіації, що через 10 годин після початку події, вона перевищила летальне значення для екіпажу космічного корабля, якщо б він опинився поза кораблем на Марсі або, скажімо, на Місяці.

Але людина вже була на Місяці і полетить туди знову. Як захиститися від впливу сонячних протонів, які, на відміну від Землі, бомбардують нашу супутницю, не відчуваючи ніяких перешкод.

Тут доречно згадати польоти американського "Apollo" до Місяця в кінці 60-х – початку 70-х. У 1972 р., в серпні, був такий ж по потужності спалах на Сонці, як і в жовтні 1989 р. "Apollo-16" приземлився після своєї місячної подорожі в квітні 1972 р., а наступний – "Apollo-17" стартував у грудні. Пощастило екіпажу "Apollo-16"? Безумовно, так. Розрахунки показують, будь астронавти "Apollo" в серпні 1972 р. на Місяці, вони б були опромінені з дозою радіації в ~ 4 Зв. Це дуже багато, щоб врятуватися, якщо швидко не повернутися на Землю для екстреного лікування. Інший варіант – перейти в кабінку місячного модуля "Apollo". Тут доза радіації зменшилася б у 10 разів. Для порівняння захист МКС в 3 рази товще, ніж місячного модуля "Apollo".

Майбутні дослідники Марса (адже ця планета практично без магнітного поля та атмосфери) також повинні завчасно подбати про

укриття в сховищах від космічної радіації, обумовленої сонячними спалахами.

З того, що сказано вище, випливає, що звести ризик радіаційного ураження до нуля протягом такого тривалого космічного польоту, яким є подорож на Марс, не можна. Але його можна мінімізувати. По-перше, необхідно правильно спланувати політ на Марс. Як відомо, що під час максимуму циклу сонячної активності потік ГКП буде менше за сонячної модуляції. Тому старт треба вибирати саме в цей час. По-друге, необхідно забезпечити надійний захист корабля. Правильно обраний захист, безумовно, значно знизить радіаційні дози від СКП, навіть під час сильних спалахів. Ну, а якщо конструктори космічного корабля передбачать спеціальний відсік-укриття з більш потужним захистом, це ще більше знизить ризик радіаційного ураження. Але, в основному, тільки від відносно низькоенергетичної компоненти космічних променів – сонячної.

З якого матеріалу може бути створена захист корабля? Найбільш поширений в космічних кораблях матеріал – алюміній в силу свого малої питомої ваги і міцності. Розрахунки показують, що можна створити міжпланетний корабель з розумною вагою і досить ефективним захистом від СКП. Розробляються нові види захисних матеріалів, які в якості захисту будуть більш ефективні, ніж алюміній. До них відносяться, наприклад, пластики, які вміщують водень (наприклад, типу поліетилену). За допомогою таких матеріалів можна створити захист, який при товщині 7 см буде зменшувати дозу радіації на 30-35%. Але і цього мало і треба або збільшувати товщину захисту, або зменшувати тривалість польоту. І перше, і друге нереально. Є ще один спосіб боротьби з цією проблемою – медикаментозний. Цілком

ймовірно, що майбутні марсіанські пілоти будуть забезпечені ефективними протирадіаційними препаратами.

Розділ 5. ВОДА І КОСМОС.

5.1. Вода в Сонячній системі.

Позаземна вода – вода поза планетою Земля або хоч би сліди її наявності в минулому, що є об'єктами неабиякого наукового зацікавлення, адже вони дають змогу припустити наявність позаземного життя.

Земля, 71% поверхні якої покрито водними океанами, наразі єдина відома в Сонячній Системі планета, яка містить воду в рідкому стані.

Є наукові дані, які дають підстави припускати наявність води на деяких супутниках планет-гігантів (Юпітера, Сатурна, Урана і Нептуна), що може перебувати під тонкою корою льоду, яка покриває небесне тіло. Однак однозначних доказів наявності рідкої води в Сонячній системі, окрім як на Землі, наразі немає. Вода може мати місце в інших зоряних системах або на їхніх планетах чи інших небесних тілах. Наприклад, водяну пару було виявлено 2007-го року в протопланетному диску на відстані 1 астрономічної одиниці (а.о.) від молоді зірки MWC 480.

MWC 480 – молода зірка в сузір'ї Тельця. Її вік становить усього близько мільйона років. Позначення MWC 480 відповідає каталогу обсерваторії Маунт-Вілсон зірок типів B і A з яскравими водневими лініями в спектрах. Зірка MWC 480, приблизно вдвічі перевершує за масою Сонце, розташована в 455 світлових роках від Сонця в області зореутворення в Тельці. Її протопланетний диск знаходиться на дуже ранній стадії розвитку – він зовсім недавно сформувався з холодної і темної газово-пилової туманності.

Раніше вважали, що водойми й канали з водою можуть розташовуватися на поверхні Венери і Марса. З розвитком роздільної здатності телескопів і появою інших методів спостереження ці дані були спростовані. Проте присутність води на Марсі в далекому минулому залишається темою для наукових дискусій.

Місяць. Місячні моря, що становлять, як зараз відомо, величезні базальтові рівнини, раніше вважалися водоймами. Вперше деякі сумніви щодо водної природи місячних «морів» висловив Галілей у своєму «Діалозі про дві системи світу». Враховуючи, що теорія гігантського зіткнення на даний момент є панівною серед теорій походження Місяця, можна зробити висновок, що на Місяці ніколи не було морів або океанів.

У липні 2008-го року група американських геологів з Інституту Карнегі і Університету Брауна виявила в зразках ґрунту Місяця сліди води, у великій кількості вона виділялася з надр супутника на ранніх етапах його існування. Пізніше більша частина цієї води випарувалася в космос.

Російські вчені за допомогою створеного ними приладу LEND, встановленого на зонді LRO, виявили ділянки Місяця, найбільш багаті воднем. На підставі цих даних NASA обрало місце для проведення бомбардування Місяця зондом LCROSS.

Після проведення експерименту, 13 листопада 2009-го NASA повідомило про виявлення в кратері Кабеус в районі південного полюса води у вигляді льоду. На думку керівника проекту Ентоні Колапрета вода на Місяці могла з'явитися з кількох джерел: через взаємодії протонів сонячного вітру з киснем у ґрунті Місяця, вона могла бути принесена астероїдами, кометами або міжгалактичними хмарами.

Згідно з даними, переданим радаром Mini-SAR, встановленим на індійському місячному апараті Chandrayaan-1, всього в регіоні північного полюса виявлено не менше 600 млн. тон води, велика частина якої знаходиться у вигляді крижаних брил, що розташовані на дні місячних кратерів.

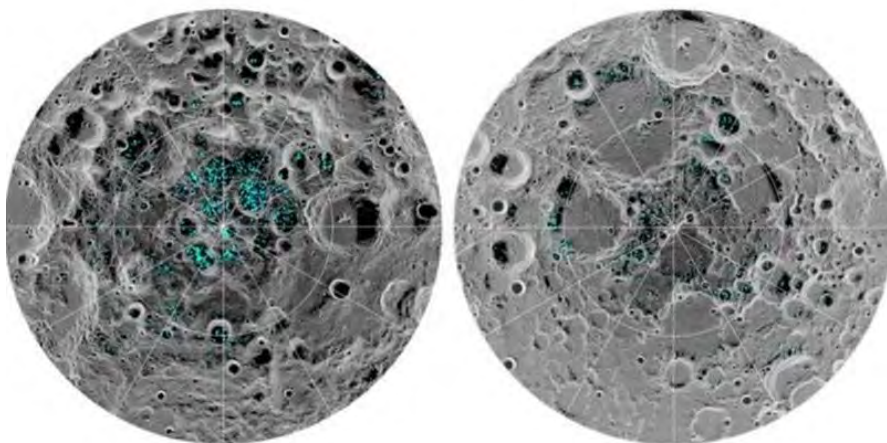


Рис. 5.1 – Вчені заявили про наявність остаточних доказів того, що на поверхні Місяця є вода у вигляді льоду. Лід є як на північному, так і на південному полюсах

Вода була виявлена в більш ніж 40 кратерах, діаметр яких варіюється від 2 до 15 км. Зараз у вчених вже немає ніяких сумнівів в тому, що знайдений лід – це саме водяний лід.

Венера. До того як космічні апарати сіли на поверхню Венери, висловлювалися гіпотези, що на її поверхні можуть перебувати океани. Але, як з'ясувалося, для цього на Венері дуже жарко. Водночас, у незначній кількості водяну пару знайдено в атмосфері Венери.

На даний момент є вагомі підстави вважати, що в минулому на Венері існувала вода. Думки вчених розходяться лише щодо того, в якому стані вона перебувала на Венері. Так, Девід Грінспун з Національного музею науки і природи в Колорадо і Джордж Хасімото з Університету міста Кобе вважають, що вода на Венері існувала в рідкому стані у вигляді океанів. Свої висновки вони засновують на непрямих ознаках існування гранітів на Венері, які можуть утворитися лише при значній присутності води. Однак гіпотеза щодо спалаху вулканічної активності на планеті близько 500 млн. років тому, яка повністю змінила поверхню планети, ускладнює перевірку даних про існування океану води на поверхні Венери в минулому. Відповідь мав би дати зразок ґрунту з Венери.

Ерік Шасефьєр з Університету Париж-Південь (Université Paris-Sud) і Колін Вілсон з Оксфордського університету, вважають, що вода на Венері ніколи не існувала в рідкому вигляді, але містилася в набагато більшій кількості в атмосфері Венери. У 2000-му році за допомогою зонда Venus Express були отримані докази того, що через сонячне випромінювання великий об'єм води був втрачений з атмосфери Венери в космос.

Марс. Телескопічні спостереження з часів Галілея давали вченим можливість допускати, що на Марсі є рідка вода і життя. У міру зростання обсягу даних про планету виявилось, що води в атмосфері Марса міститься мізерно мала кількість, і було дано пояснення феномену марсіанських каналів. Раніше вважалося, що до того як Марс висох, він був більш схожим на Землю. Відкриття кратерів на поверхні планети похитнуло цю точку зору, але наступні дослідження показали, що, можливо, вода в рідкому стані присутня на поверхні Марса.

Існує гіпотеза про існування в минулому покритого льодом Марсіанського океану на півночі. Є ряд прямих і непрямих доказів присутності у минулому води на поверхні Марса чи в глибинах, наприклад у печерах.

На поверхні Марса виявлено близько 120 географічних областей, що носять ознаки ерозії, яка, швидше за все, проходила за участю рідкої води. Більшість цих областей відкрито в середніх і високих широтах, причому більша їх частина знаходиться в південній півкулі. Це насамперед дельта висохлої річки в кратері Еберсвальде. Крім того, до цих областей можна віднести інші ділянки поверхні Марса, такі як Велика північна рівнина і рівнини Еллада і Аргир.

Марсоходом Opportunity виявлений гематит – мінерал, який не може утворитися у відсутності води. Марсоходом виявлено також гірське оголення Ель-Капітан. Хімічний аналіз шаруватого каменю показав вміст у ньому мінералів і солей, які в земних умовах утворюються у вологому теплому середовищі. Передбачається, що колись цей камінь знаходився на дні марсіанського моря. Разом з тим було виявлено камінь «Есперанс-6» (Esperance 6), в результаті дослідження якого було зроблено висновок, що кілька мільярдів років тому цей камінь знаходився в потоці води. Причому ця вода була прісною і придатною для існування в ній живих організмів.

Отже залишається відкритим питання, куди пішла рідка вода з поверхні Марса? Сьогодні існує однозначне ствердження, що вода мається на Марсі і в наш час і знаходиться вона в декількох формах: насамперед, це Марсіанські полярні шапки. При вивченні за допомогою сучасної апаратури у 2000-му році було доведено, що крім твердого двоокису вуглецю в масі льодів марсіанських полярних шапок

міститься велика кількість твердого водного льоду. Основні запаси марсіанської води, як вважається на даний момент, зосереджені переважно у так званій кріосфері – приповерхневому шарі вічної мерзлоти потужністю в десятки і сотні метрів. Виходячи із зібраних наукових даних, що існують в даний час, запаси води (у формі льоду) у всьому об'ємі кріолітосфери Марса, імовірно, складають від $5,4 \cdot 10^{22}$ г (54 млн. км³) до $7,7 \cdot 10^{22}$ г (77 млн. км³). Також існує припущення, що під кріолітосферою Марса існує область підмерзлотних солоних вод, про кількість яких поки важко щось сказати, але імовірно вони величезні.

Гідросфера Марса – сукупність водних запасів на планеті Марс. У широкому сенсі у склад гідросфери Марса включають запаси рідкої води, запаси води у вигляді криги на полюсах та у ґрунті, а також атмосферну воду у вигляді водяної пари та воду, що містять живі організми.

Існує гіпотеза, що під марсіанськими полярними шапками можуть існувати великі реліктові озера рідкої солоної води. У статті, опублікованій в журналі *Geophysical Research*, вчені, які вивчали озеро Схід в Антарктиді, повідомили, що факт існування підлідного озера на Землі може мати значення для можливості наявності рідкої води на Марсі. Так, вчені відзначили, що якщо озеро Схід існувало ще до початку багаторічного заледеніння, то цікаво, що воно так і не промерзло до самого дна. У зв'язку з цією гіпотезою вчені вважають, що якщо рідка вода існувала на Марсі до полярних крижаних шапок на Марсі, то цілком імовірно, що під шапками можуть знаходитися водяні озера, які навіть можуть містити живі організми.

Існує гіпотеза також, що на Марсі у великій кількості і зараз є водойми, але вкриті шаром льоду, який у свою чергу прихований шаром марсіанського пилу.

Нарешті, відкриття, зроблені останнім часом, дозволяють вважати, що в невеликій кількості вода в рідкому вигляді існує на поверхні Марса і в наш час. Так американський зонд Phoenix Mars Lander в 2008-му році в одній з проб марсіанського ґрунту виявив воду, а 4 серпня 2011-го NASA наголосило, що за допомогою космічного апарату Mars Reconnaissance Orbiter вдалося виявити на поверхні Марса ознаки сезонних струмків з рідкої води.

Дослідження проведені в 2013 році за допомогою інструменту Mars Climate Sounder, встановленого на апараті MRO показали, що в марсіанській атмосфері міститься більша кількість водяної пари, ніж передбачалося раніше і більше ніж у верхніх шарах атмосфери Землі. Вона знаходиться в водно-крижаних хмарах, які розташовані на висоті від 10 до 30 кілометрів і зосереджені в основному на екваторі, які спостерігаються практично протягом усього року і складаються з частинок льоду і водяної пари.

Газові гіганти та їхні супутники. Наявність підземних океанів передбачається у багатьох з покритих льодом супутників зовнішніх планет. У деяких випадках вважається, що шар океану, можливо, був присутній в минулому, але з тих пір в результаті охолодження перетворився на твердий лід. В даний час вважається, що рідка вода є під поверхнею тільки декількох галілеєвих супутників Юпітера,

Галілеєві супутники — це 4 найбільші супутники Юпітера: Іо, Європа, Ганімед та Каллісто (в порядку віддаленості від Юпітера), що були відкриті Галілео Галілеєм у січні 1610 року. Супутники входять до числа найбільших супутників Сонячної системи і є більшими за всі

карликові планети. Можуть спостерігатися в невеликий телескоп.

наприклад, таких як Європа (рідка вода під крижаною поверхнею через припливний нагрів), і, з меншою ймовірністю, у Каллісто і Ганімеда. Моделі, які розраховують збереження тепла і нагрівання за допомогою радіоактивного розпаду в невеликих крижаних тілах, дозволяють припустити, що Рея, Титанія, Оберон, Тритон, Плутон, Ерида, Седна і Орк, можливо, мають океани під шаром твердого льоду глибиною близько 100 км. Особливий інтерес у цьому випадку представляє те, що, як передбачають моделі, рідкі шари можуть знаходитися в прямому контакті з кам'яним ядром, що викликає постійне перемішування мінералів і солей у воді. Це становить істотну відмінність від океанів, які можуть бути всередині великих крижаних супутників, таких як Ганімед, Каллісто або Титан, де під шаром рідкої води, швидше за все, розташовується шар щільного льоду.

Юпітер. Атмосфера Юпітера має газовий шар, в якому, за схожих із земними температурою і тиску, водяна пара може конденсуватися в краплі.

Європа. Поверхня супутника повністю покрита шаром води завтовшки імовірно 100 кілометрів, здебільшого у вигляді крижаної поверхневої кори товщиною 10–30 кілометрів; частиною, як вважають, – у вигляді підповерхневого рідкого океану. Нижче лежать гірські породи, а в центрі, ймовірно, знаходиться невелике металеве ядро. Передбачається, що океан сформувався завдяки генерованим припливами теплом. Нагрівання внаслідок радіоактивного розпаду, яке майже таке ж, як і на Землі (на кг породи), не може забезпечити необхідний нагрів надр Європи, тому що супутник набагато менший.

Поверхнева температура Європи в середньому близько 110 K (-160°C) на екваторі і всього 50 K (-220°C) на полюсах, надаючи поверхневому льоду високу міцність. Дослідження, проведені в рамках космічної програми «Галілео», підтвердили доводи на користь існування підповерхневого океану. Так, на поверхні Європи присутні «хаотичні області», які деякі вчені інтерпретують як області, де через талу крижану кірку видно підповерхневий океан. У той же час, більшість планетологів, які вивчають Європу, схилиються до моделі, названої «товстим льодом», в якій океан рідко (якщо це взагалі трапляється) безпосередньо взаємодіє з існуючою поверхнею. У різних моделях наводяться різні оцінки товщини крижаної оболонки, від декількох кілометрів до десятків кілометрів. Передбачається, що цей океан може містити життя.

Ганімед. Поверхню Ганімеда також покриває кора з водяного льоду товщиною 900–950 кілометрів. Водяний лід розташований практично на всій поверхні і його масова частка коливається в межах 50–90%. На Ганімеді є полярні шапки, які імовірно складаються з водяного інею. Інші простягаються до 40° широти. Вперше полярні шапки спостерігалися при прольоті космічного апарату «Вояджер». Існує гіпотеза, що полярні шапки Ганімеда сформувалися через міграцію води до більш високих широт і бомбардування льоду плазмою. На Ганімеді також, швидше за все, є підземний океан між шарами льоду під поверхнею, що йде приблизно на 200 кілометрів вглиб і потенційно має передумови для існування життя.

Каллісто. Спектроскопія виявила на поверхні Каллісто водяний лід, масова частка якого становить від 25 до 50 %. Поверхневий шар Каллісто покоїться на холодній і жорсткій льодовій літосфері, товщина

якої за різними оцінками становить від 80 до 150 км. Дослідження, здійснені за допомогою космічного апарату «Галілео», дозволяють припустити наявність під крижаною корою солоного океану з рідкої води глибиною 50–200 км, в якому можливе життя. Було виявлено, що магнітне поле Юпітера не може проникнути в надра супутника, що передбачає собою наявність цілого шару з електропровідної рідини, товщиною не менше 10 км. Існування океану стає більш ймовірним, якщо припустити наявність у ньому невеликих доз аміаку чи іншого антифризу з масовою часткою в 5% від сукупної маси рідини. У такому випадку, глибина океану може доходити до 250–300 км. Літосфера над океаном також може бути куди товще, ніж вважається, і її товщина може досягати 300 км.

Енцелад. Енцелад переважно складається з водяного льоду і має найчистішу в Сонячній системі крижану поверхню.

Енцелад – чотирнадцятий за віддаленістю від планети супутник Сатурна. Відкритий Вільямом Гершелем 28 серпня 1789 року. Діаметр – 500 км, радіус орбіти – 238 тис. км. Супутник є найсвітлішим небесним тілом Сонячної системи. Енцелад – найбільш геологічно активний супутник Сатурна

Автоматична станція «Кассіні», що досягла в 2004 році системи Сатурна, зареєструвала фонтани води висотою в багато сотень кілометрів, що б'ють з чотирьох тріщин, розташованих в районі південного полюса планети. Втім, це може бути і просто лід. Вода може нагріватися через дії або припливних, або геотермальних сил. Вода, що вивергається з надр Енцелада, вірогідно бере участь у формуванні кільця Е Сатурна. Висунуто гіпотезу про наявність на Енцеладі солоних підземних океанів, що є передумовою до виникнення життя. Передані

«Кассіні» у 2005 році знімки гейзерів, що б'ють з «тигрових смуг» на висоту 250 км, дали привід говорити про можливу наявність під крижаною корою Енцелада північного океану рідкої води. Однак самі по собі гейзери не є доказом наявності рідкої води і вказують, в першу чергу, на наявність тектонічних сил, що призводять до зміщення льоду і утворення в результаті тертя викидів рідкої води. У 2014-го році в журналі Science були опубліковані результати досліджень міжнародної групи, згідно з якими на Енцеладі існує підповерхневий океан.

В основу цього висновку лягли дослідження гравітаційного поля супутника, зроблені під час трьох близьких (менше 500 км над поверхнею) прольотів «Кассіні» над Енцеладом в 2010–2012-х роках. Отримані дані дозволили вченим досить впевнено стверджувати, що під південним полюсом супутника залягає океан рідкої води. Розмір водної маси зіставимий з північноамериканським озером Верхнім, площа складає близько 80 тис. км² (10% від площі Енцелада); океан лежить на глибині 30–40 км, тягнеться аж до 50-х градусів південної широти (приблизно до середини відстані до екватора) і має глибину залягання 8–10 км. Дно, імовірно, кам'яне, що складається із сполук кремнію. Незрозумілим залишається наявність води на північному полюсі Енцелада. Наявність же води на південному полюсі пояснюється особливостями припливного розігріву супутника гравітаційним впливом Сатурна, яке забезпечує існування води в рідкому вигляді, навіть незважаючи на те, що середня температура поверхні Енцелада становить близько -180 °С.

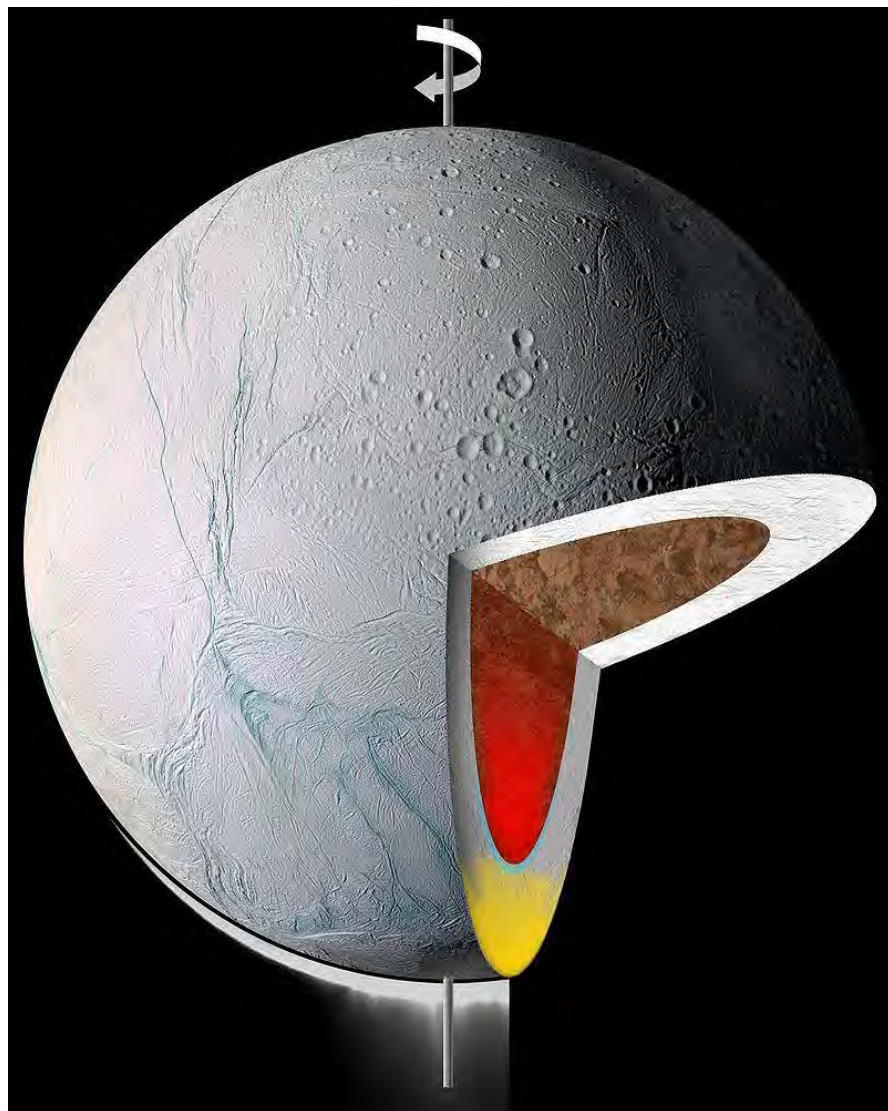


Рис. 5.2 – Внутрішня будова Енцелада: модель на основі останніх даних «Кассіні». Коричневим позначено силікатне ядро, білим – мантію, багату водяним льодом. Жовте і червоне – передбачуваний діапір під південним полюсом.

Титанія. Супутник складається приблизно на 50 % з водного льоду. За допомогою інфрачервоної спектроскопії, зробленої в 2001–2005-х роках було підтверджено наявність водного льоду на поверхні супутника.

За однією з моделей, Титанія складається з кам'яного ядра, оточеного крижаною мантиєю. Поточний стан льодяної мантиї залишається неясним. Якщо лід містить достатню кількість аміаку чи іншого антифризу, то у Титанії може матися шар рідкого океану на кордоні мантиї з ядром. Товщина даного океану, якщо він існує, може доходити до 50 кілометрів, а його температура складе близько 190 К.

Рея. Низька середня щільність Реї (1233 кг/м^3) свідчить, що кам'яні породи становлять менше третини маси супутника, а решта припадає на водяний лід. Задня півкуля супутника крім темних ділянок має мережу яскравих тонких смужок, які імовірно утворені не в результаті викиду води або льоду на поверхню (наприклад, в результаті криовулканізму), а просто є крижаними хребтами і обривами, як і на супутнику Діона. Крім того, Рея покрита розрідженою атмосферою у вигляді тонкої оболонки, що містить кисень і вуглекислий газ. Водяний лід розщеплюється потужним магнітним полем Сатурна і поповнює атмосферу киснем. Загальна потенційна маса кисню в льоду Реї оцінюється в 40 тисяч тон.

Титан. Під час дослідження Титана автоматичною міжпланетною станцією Voyager на ньому були виявлені моря і озера з рідкого метану. Дослідження під час місії Кассіні-Гюйгенса спочатку, при посадці зонда Гюйгенса на поверхню Титана, виявили лише сліди перебування рідини на планеті, такі як русла висохлих річок, проте зроблені пізніше

космічним апаратом Cassini радіолокаційні знімки показали наявність вуглеводневих озер поблизу північного полюса.

Згідно з розрахунками, Титан має тверде ядро, що складається з скельних порід, діаметром близько 3400 км, яке оточене кількома шарами водяного льоду. Зовнішній шар мантиї складається з водяного льоду і гідрату метану, внутрішній – з спресованого, дуже щільного льоду. Крім того, не виключається, що на Титані є підземний океан води під тонкою корою, що складається з суміші льоду і вуглеводнів.

Потужна припливна дія Сатурна може привести до розігріву ядра і підтримці досить високої температури для існування рідкої води. Порівняння знімків Cassini за 2005 і 2007 роки показало, що деталі ландшафту змістилися приблизно на 30 км. Оскільки Титан завжди повернений до Сатурна однією стороною, таке зрушення може пояснюватися тим, що крижана кора відділена від основної маси супутника глобальним рідким прошарком.

Передбачається, що у воді міститься значна кількість аміаку (близько 10%), який діє на воду як антифриз. Тобто знижує температуру її замерзання. У поєднанні з високим тиском, що чиниться корою супутника, це може бути додатковою умовою існування підповерхневого океану. У підповерхневих і поверхневих океанах Титана можливе існування життя як на водно-кисневий, так і на іншій основі.

Крижані гіганти. Уран і Нептун можуть мати великі океани, що складаються з гарячої води, що знаходиться під великим тиском. При тиску вище одного мільйона атмосфер (наприклад, в центрі Урана тиск становить близько 8 мільйонів атмосфер, а температура близько

5000 K) вода за своїми властивостями сильно відрізняється від води, існуючої при низьких тисках. Хоча на даний момент внутрішня структура цих планет є не дуже зрозумілою. Деякі астрономи вважають, що ці планети принципово відрізняються від газових гігантів Юпітера і Сатурна, і виділяють їх в окремий клас «крижаних гігантів».

Карликові планети і комети. Карликова планета Церера містить велику кількість водяного льоду. Температура на планеті занадто низька, щоб вода існувала в рідкому вигляді, але в разі наявності на планеті аміаку, який в розчині з водою має ефект антифризу, це можливо.

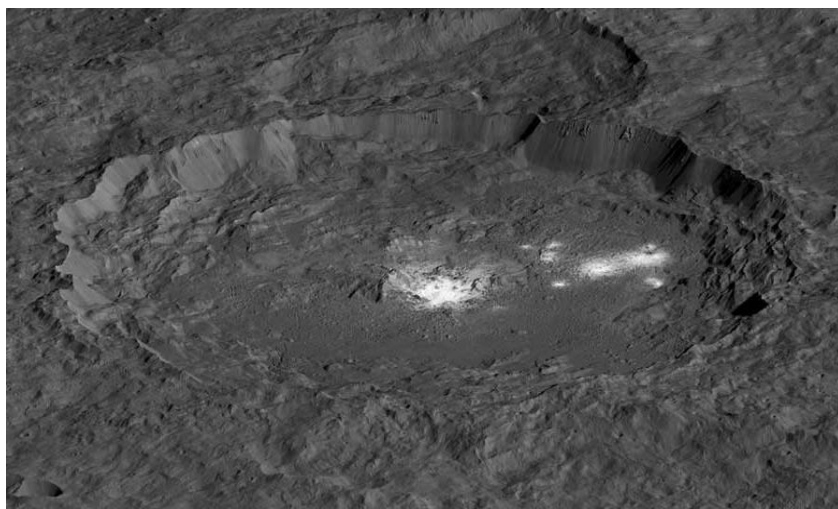


Рис. 5.3 – Кратер Оккатор на поверхні Церери. Фото з сайту NASA.

Більш детальна інформація буде отримана коли остання орбіта Автоматичної міжпланетної станції Dawn матиме найвищу висоту 4000 км і період 27 годин і 13 хвилин. Її обрано для того, щоб синхронізувати обертання космічного зонда з періодом обертання Церери навколо осі.

Це дозволить AMC Dawn в нижній точці орбіти неодноразово пролітати над певним районом карликової планети – над кратером Оккатор (Occator), де видно яскраві соляні відклади.

Вільда. Комети містять великий відсоток водяного льоду, але через їх малий розмір і великі відстані від Сонця наявність рідкої води на них вважається малоймовірною. Проте, дослідження пилу, зібраного з комети Вільда, показало наявність у минулому рідкої води всередині комети. Поки ще неясно, що стало джерелом тепла, що викликало танення водяного льоду всередині комети.

5.2. Вода за межами Сонячної системи.

Більшість із понад 450 виявлених позасонячних планетних систем сильно відрізняються від нашої, що дозволяє вважати нашу Сонячну систему багато в чому унікальною. Завданням сучасних досліджень є виявлення планети розміром із Землю в населеній зоні своєї планетної системи (зоні Златовласки).

Зона Златовласки. Жила зона, зона населеності, зона життя в астрономії – умовна область в космосі, визначена з розрахунку, що умови на поверхні планет, що знаходяться в ній, будуть близькі до умов на Землі і забезпечуватимуть існування води в рідкій фазі.

Крім того, океани можуть знаходитися і на великих (розміром із Землю) супутниках планет-гігантів. Хоча саме по собі питання існування настільки великих супутників є дискусійним, а телескоп Кеплера володіє достатньою чутливістю, щоб виявити їх. Є думка, що кам'янисті планети, що містять воду, сильно поширені по всьому

Чумацькому Шляху. У 2013-му році астрономам за допомогою космічного телескопа «Хаббл» вдалося знайти ознаки водяної пари в атмосферах п'яти екзопланет.

Екзопланета (дав. -гр. $\epsilon\chi\omega$, $\epsilon\chi o$ – поза, ззовні) або позасонцева планета – планета, що дрейфує космічним простором, або обертається навколо якоїсь зорі, але не нашого Сонця.

Всі вони відносяться до категорії «Гарячих Юпітерів»: WASP-17 b, WASP-19 b, HD 209458 b, WASP-12 b, XO-1 b.

55 Рака f. 55 Рака f являє собою велику планету, орбіта якої проходить в населеній зоні зірки 55 Рака. Її склад невідомий, але передбачається, що вона може бути сірчаним або водним гігантом. Крім того, якщо вона має скелясті Луни, то на них може бути присутньою рідка вода.

GJ1132b. Екзопланета в системі червоного карлика Gliese 1132. Знаходиться на відстані 39 світлових років (12 парсек) від Землі. За деякими даними планета схожа на Землю, може мати воду.

Парсек або пс – поширена в астрономії позасистемна одиниця вимірювання довжини. Відстань, із якої середній радіус земної орбіти, перпендикулярний до променю зору, видно під кутом 1". Назва є скороченням від паралакс-секунда. 1 парсек = $3.08567758 \times 10^{16}$ метрів

AA Тельця. AA Тельця являє собою молоду зірку, вік якої становить менше мільйона років, навколо якої мається протопланетний диск. У протопланетнім диску зірки орбітальний інфрачервоний телескоп Спітцер виявив молекули, такі як ціанід водню, ацетилен і вуглекислий газ, а також пари води. У разі, якщо на певній відстані від

зірки в протопланетному диску є тверді об'єкти, то вони могли б конденсувати воду на своїй поверхні.

COROT-7b. COROT-7b являє собою екзопланету майже в два рази більше Землі по діаметру, що обертається дуже близько до своєї зірки. На початку 2009-го року вона була виявлена космічним телескопом COROT. Температура на поверхні планети, за розрахунками, буде в діапазоні 1000–1500 градусів за Цельсієм, але так як склад планети невідомий, можна припустити, що поверхня планети або являє собою розплавлену лаву, або оповита товстим шаром хмар з водяної пари. Планета також може складатися з води і гірських порід у майже рівних кількостях. У разі, якщо COROT-7b багатий водою, він може бути планетою-океаном.

COROT-9b. COROT-9b являє собою екзопланету розміром з Юпітер, орбіта якої проходить в 0,36 а. о. від своєї зірки. Температура на поверхні може коливається від -20 градусів до 160 градусів за Цельсієм. Атмосфера складається з водню і гелію, однак у складі планети з масою до 20 земних мас очікується наявність інших компонентів, таких як вода і гірські породи при високих тисках і температурах.

Глізе 581. В системі Глізе 581 є три планети, що можливо мають рідку воду на своїй поверхні: це Глізе 581c, Глізе 581d і Глізе 581g. Глізе 581c знаходиться в населеній зоні і може мати на своїй поверхні рідку воду.

Глізе 581d виглядає навіть кращим кандидатом на наявність рідкої води. Орбітальний період, який спочатку оцінювався у 83 дні, пізніше був переглянутий до 66 днів. У травні 2011-го року були опубліковані дані, що планета, можливо, має щільну атмосферу, водні океани і навіть

сліди життя. Деякий час Глізе 581g вважалася ще одним гарним кандидатом на рідку воду. Передбачалося, що ця планета в три-чотири рази масивніше Землі, але при цьому занадто мала, щоб бути газовим гігантом. Її орбітальний період був розрахований в 37 днів, і таким чином, вважалось, що вона знаходиться в середині населеної зони своєї зірки. Проте астрономи з Європейської південної обсерваторії (ESO), здійснюючи більш точні спостереження за допомогою спектрографа HARPS, показали, що Gliese 581g не існує — вона є помилкою вимірювань. Проте пізніше, на основі додаткових даних, існування планети було підтверджено, і в даний час планета займає перше місце в числі 6 планет з найвищою ймовірністю придатності для розвитку життя (її сусідка по орбіті Глізе 581d п'ята в цьому списку).

GJ1214b. GJ 1214 b в три рази більше Землі і в 6,5 разів масивніше. По масі і радіусу передбачалося, що планета складається за масою на 75 % з води і на 25 % з кам'янистих матеріалів, а атмосфера планети містить водень і гелій і становить 0,05 % маси планети. Проте за останніми даними астрономів було виявлено, що атмосфера складається з парів металів, 10% атмосфери являє собою водяний пар. Згідно з додатковими дослідженнями, опублікованими в лютому 2012-го року, в атмосфері планети вода становить не менше половини маси.

HD85512b. HD85512 b була відкрита в серпні 2011-го року. Вона більше, ніж Земля, але досить мала, щоб бути скелястим світом, а не газовим гігантом. Вона знаходиться на кордоні населеної зони своєї зірки і, можливо, має рідку воду на своїй поверхні.

MOA-2007-BLG-192Lb. Являє собою Надземлю, яка обертається навколо коричневого карлика. Імовірно, поверхню планети може бути покрита глибоким океаном.

TW Гідри. У протопланетному диску молодії зірки виявлено велику кількість води.

5.3. Вода і людина у космосі.

Земля з космосу виглядає як прекрасна блакитна куля завдяки багатьом мільйонам літрів прісної і солоної води. В окремих регіонах вже почалася стратегічна боротьба за володіння найважливішим ресурсом – чистою питною водою, але виникає питання, що робити людям, які на довгі тижні, місяці і навіть роки у майбутньому відриваються від земної поверхні і спостерігають її з багатокілометрової відстані. Крім психологічного тиску, космонавти змушені дуже швидко адаптуватися до обмеженого простору кабіни космічної станції і строго нормованою кількістю добового споживання води і їжі.

Вся вода, яка присутня на космічній станції, доставляється вантажними кораблями. Вона витрачається для харчування, гігієнічних процедур, підтримки технічних систем корабля. Техніки прораховують буквально кожен грам зайвої ваги, тому неможливо взяти воду з запасом. На борту з величезною кількістю суперсучасної техніки, вчені та інженери працюють в умовах суворої економії води. Будь-яка повсякденна процедура в умовах відкритого космосу перетворюється в пригоду з безліччю нюансів. Для простих гігієнічних потреб запасів води не передбачено. Прийняти повноцінний душ чи випрати одяг в космосі неможливо. Складно уявити, який би «аромат» стояв у відсіках станції, якби не була налагоджена процедура

утилізації. Способів два: кожен використаний комплект одягу упаковується у вакуумний пакет і потім просто викидається назовні, щоб безслідно згоріти в атмосфері нашої планети, другий варіант більш складний – речі відправляються на Землю зворотними рейсами вантажних космічних кораблів. Єдиний випадок прання в умовах невагомості трапився, коли американський астронавт забажав за краще не розлучатися з парою улюблених шорт. Щоб очистити речі, він засунув одяг у пакет, залив водою і гарненько збовтав. Вчені створюють спеціальний одяг з бактерицидними властивостями, волокна якого не підтримують розвиток мікрофлори, що продукує неприємний запах.

Запаси питної води на орбітальних станціях точно прораховані і розподілені. Космонавти на добу можуть витрачати 2,2 літра. Цієї кількості достатньо для підтримки життєдіяльності, причому випивається всього 750 мл.

Їжу для космічних мешканців земляни звикли представляти у вигляді набору різнокольорових тюбиків зі знайомими кулінарними назвами: борщ, пюре або компот. Такий формат був винайдений ще в 60-х роках минулого століття. На заміну їм прийшли сухі сублімовані суміші, які складуються на борту корабля, і які для вживання заливаються гарячою водою. І нехай вони виглядають не дуже апетитно, але забезпечують людину необхідною кількістю поживних речовин. У кожному пакеті є горлечко для заливки води, а сам процес приготування нагадує дозаправлення літака в повітрі. Доповнюється раціон рідких страв порційно запакованими скибочками хліба, консервами і навіть популярними драже M&M. Пити і їсти космонавтам доводиться дуже уважно, ретельно прораховуючи і

координуючи кожну дію. Будь-яка неточність – і заварений свіжий чай з лимоном або порція курячого бульйону красивими кульками розлетиться по всьому відсіку.

Ще тридцять років тому станції обладнувалися справжніми душовими кабінками. Космонавт роздягався, заходив всередину відсіку з герметичними дверцятами і потрапляв під душ з крихітних бульбашок води. Дихати в такому середовищі доводилося через спеціальну трубку. Після процедури використана вода засмоктувалася спеціальним пілососом, і тільки потім можна було вийти з kabіни. Банні заходи в умовах невагомості були визначено трудомісткими і нерентабельними, тому kabіни були демонтовані, а космонавтам довелося задовольнятися вологими серветками з антибактеріальними речовинами. У їх складі не повинно бути спирту з метою пожежної безпеки, і ароматичних добавок.

Процес миття голови також зведений до мінімуму – на волосся наноситься спеціальний засіб, який не вимагає змивання. Чоловікам з короткою стрижкою в цьому плані набагато простіше, а астронавткам з пишною шевелюрою доводиться змочувати волосся теплою водою, потім гребінцем наносити сухий шампунь і протерти рушником. Російські вчені розробили космічний шампунь, який не утворює піни.

Російські космонавти п'ють чисту джерельну воду, доставлену з Землі в 22-літрових бутлях. Перед відправкою вона проходить очищення срібними фільтрами. За рік космічна станція споживає всього 8 кубічних метрів води

У космосі доводиться не тільки жорстко економити воду, ще й потрібно кожен день кудись подіти ту частину води, яка використовується для особистої гігієни і навіть просто випаровується з

шкіри космонавтів. Наявність водяної пари в повітрі станції, стає причиною осідання конденсату і виходу з ладу складної техніки. Щоб цього не сталося, в межах житлової зони підтримується стабільна температура. Космонавти обов'язково повинні регулярно займатися спортом, і щоб крапельки поту не літали навколо, вони постійно витирають себе рушниками.

Спалити в атмосфері брудний одяг та інші відходи життєдіяльності космонавтом не становить проблеми. А ось втратити хоча б краплю навіть використаної води не можна. Будь-яка волога на космічній станції збирається і запускається в цикли повторного використання. Її акумулюють з атмосфери, куди вона потрапляє в результаті роботи киснево-водневих паливних елементів, проведення гігієнічних процедур і дихання астронавтів.

Повторне використання води – один з найбільш актуальних трендів на Землі, а в космосі – це просто життєва необхідність. Річна витрата питної води на всю станцію дорівнює місячній квартирної нормі не дуже економної міської родини. Група космонавтів цілий рік ділить об'єм невеликого плавального басейну. Сучасні системи відновлення побутових стоків до кришталево чистої питної води використовуються в багатьох країнах. Цей фактор багато в чому визначає екологічний статус держави. Вже є міста, які не забруднюють стоками навколишнє середовище, а забезпечують за їх рахунок левову частку власних потреб. У космосі технології створення води з відходів, про які у вихованому суспільстві прийнято дипломатично мовчати, доведені до досконалості.

Природні процеси людського тіла не залежать навіть від екстремальних космічних умов. Кожні добу один астронавт виділяє до

2 кілограмів біологічних відходів. Тверді фракції збираються, щоб згоріти в атмосфері, а з рідин ще можна витягти користь. З переробленої урини на космічних станціях отримують технічну воду для потреб обладнання. Інноваційні системи очищення води дозволяють відновити до 6000 літрів щорічно. Вони здатні витягувати усю доступну вологу з поту, повітря, що видихається і побутових відходів із санвузла.

Незважаючи на жорсткий дефіцит питної води в космосі, думки астронавтів з приводу вживання в їжу води, отриманої з сечі, виявилися протилежними. Американські вчені Міжнародної космічної станції спокійно ставляться до походженням води, і з легкістю п'ють перероблені і очищені відходи. Росіяни зайняли принципову позицію, і категорично не згодні з такою практикою, незважаючи на запевнення зарубіжних колег, що вода не просто не відрізняється від звичайної, а навіть якісніше за багаторазового очищення. Запаси питної води вони заповнюють тільки за рахунок збору конденсату. Альтернативною технологією може стати отримання води з вуглекислого газу, але вона поки на стадії розробки. Це допоможе спроектувати 100% замкнуті системи життєзабезпечення і спростити процес утилізації продуктів дихання людини.

Коли мова заходить про космос, важливо враховувати енерговитрати, або як їх називають у професійній сфері – масовитрати, для виробництва води. Перший повноцінний апарат регенерації води з'явився на станції «Мир», і за весь час існування він дозволив «заощадити» 58650 кг вантажів, що доставляються із Землі. Згадуючи, що доставка 1 кг вантажу коштує близько 5–6 тисяч доларів США,

перша повноцінна система регенерації води дозволила знизити витрати приблизно на 300 млн доларів США.

Для забезпечення життєдіяльності космонавтів потрібна колосальна кількість води. Якщо б до наших днів не налагодили систему регенерації води, то космічні дослідження, напевно, б застрягли в минулому. Враховуючи витрати води в космосі використовуються наступні дані в розрахунку на 1 людину на добу: 2,2 літра – пиття і приготування їжі; 0,2 літра – гігієна; 0,3 літра – змив туалету.

Споживання води для пиття і їжі практично відповідає земним нормам. Гігієна і туалет – набагато менше, хоча все це піддається переробці і повторному використанню, але вимагає додаткових енергетичних витрат, так що витрати у такому випадку були також знижені. Цікавий факт, що якщо на російського космонавта в день припадає 2,7 літра води, то на американських астронавтів виділено приблизно 3,6 літра. Американська місія продовжує отримувати воду з Землі, втім як і російські космонавти. Але на відміну від російської місії, американці отримують воду в невеликих пластикових пакетах, а російські космонавти в 22 літрових діжках.

Одним з джерел води на станції є система «Джерело». Вона представляє дві великі ємності по 210 літрів з питною водою. Для поповнення запасів у цій системі вода доставляється на вантажних кораблях «Прогрес» в аналогічних ємностях. Вантажний корабель привозить воду, а вивільнені ємності на ньому використовуються для зберігання урини. Вода в системі «Джерело» – це аварійний запас на той випадок, якщо вийде з ладу система регенерації води з конденсату атмосферної вологи СРВ-K2M.

Сучасні російські системи регенерації води – СРВ-K2M і Електрон-ВМ дозволяють забезпечити космонавтів на МКС водою на 63%. Біохімічний аналіз показав, що так звана регенована вода не втрачає своїх початкових властивостей, і повністю придатна для пиття. Зараз, російські вчені працюють над створенням більш замкнутої системи, що дозволить забезпечити космонавтів водою на 95%. Існують перспективи розвитку систем очищення, які забезпечать на 100% замкнутий цикл.

Американська система регенерації води – ECLSS, була розроблена у 2008-му році. Вона дозволяє не тільки зібрати вологу з повітря, але і регенерувати воду з сечі і твердих відходів. Незважаючи на серйозні проблеми і часті поломки протягом перших двох років експлуатації, сьогодні ECLSS дозволяє відновити 100% вологи з повітря і 85% вологи з сечі і твердих відходів. В результаті, на МКС з'явився сучасний апарат, що дозволяє відновити до 93% початкового об'єму води. Тим часом вчені Росії розробляють для космонавтів сауну і пральну машину.

Ключовим моментом в регенерації є очищення води. В очисні системи збирається будь-яка вода, та що залишилася від приготування їжі, брудна вода від миття і навіть піт космонавтів. Вся ця вода збирається в спеціальний дистилятор, візуально схожий на бочку. При очищенні води необхідно створити штучну гравітацію, для цього дистилятор обертається, при цьому брудна вода проходить через фільтри. У результаті виходить чиста питна вода, яка за своїми якостями навіть перевершує питну воду у багатьох куточках Землі.

На останньому етапі у воду додається йод. Цей хімічний препарат дозволяє запобігти розмноженню мікробів і бактерій, а також є

необхідним елементом для здоров'я космонавтів. Цікавий факт, що на Землі йодована вода вважається занадто дорогим задоволенням для масового застосування, і замість йоду використовується хлор. Від використання хлору на МКС відмовилися через агресивності даного елемента, і більшої користі від йоду.

Зважаючи на брак прісної води на землі, залишається сподіватися, що людство найближчим часом схаменеться, інакше доведеться пити власні нечистоти, хоч і перероблені.

Радянські, а потім і російські вчені, задають темп у питанні виробництва кисню з води. І якщо в питанні регенерації води американські колеги трохи перегнали російських учених, то в питанні вироблення кисню, росіяни впевнено тримають пальму першості. Навіть сьогодні, 20–30% переробленої води з американського сектора МКС йде в російські апарати з виробництва кисню. Регенерація води в космосі тісно пов'язана з регенерацією кисню. Перші апарати з виробництва кисню з води були встановлені ще на апаратах «Салют» і «Мир». Процес виробництва максимально простий – спеціальні прилади конденсують вологу з повітря, а потім шляхом електролізу з цієї води виробляють кисень. Електроліз – пропускання струму через воду, є добре відпрацьованою схемою, яка надійно забезпечує космонавтів киснем.

Сьогодні до конденсованої вологи додався ще одне джерело води – перероблена урина і тверді відходи, що дозволяють отримати технічну воду. Технічна вода з американський апарату ECLSS поставляється в російську систему і американську OGS (Oxygen Generation System), де потім «переробляється» в кисень.

Вчені б'ються над вирішенням завдання – 100% замкнутий цикл для повного забезпечення космонавтів водою і киснем. Одна з найбільш перспективних розробок – отримання води з вуглекислого газу. Цей газ є продуктом дихання людини, і в даний час цей «продукт» життєдіяльності космонавтів практично не використовується. Французький хімік Поль Саботье, відкрив дивовижний ефект, завдяки якому з реакції водню і діоксиду вуглецю можна отримати воду і метан. Нинішній процес виробництва кисню на МКС пов'язаний з виділенням водню, але його викидають у відкритий космос, так як не знаходять йому застосування. Якщо вченим вдасться налагодити ефективну систему по переробці вуглекислого газу, то вдасться досягти практично 100% замкнутості системи, і знайти ефективне застосування водню.

Реакція Боша, є не менш перспективною в питаннях отримання води і кисню, але ця реакція вимагає вкрай високих температур, тому за процесом Саботье багато експертів бачать більше перспектив.

5.4. Харчування для космічних польотів.

Вантажний корабель «Прогрес» доставляє з Землі, крім води та інших вантажів, продукти харчування для космонавтів. На початку експедицій на МКС використовувалися тільки російські продукти. В даний час всі міжнародні партнери вносять свою лепту в раціон харчування космонавтів. В основному це продукти сублімованого сушіння.

Розробка харчування для космічних польотів – це часто складний процес. Харчові продукти повинні відповідати ряду критеріїв, щоб вважатися придатним для космонавтів (Рис. 5.4).

- По-перше, їжа має бути фізіологічно корисною. Зокрема, вона має бути поживною, легкозасвоюваною і смачною.

- По-друге, продукти харчування повинні бути розраховані для живання в умовах невагомості. Продукти повинні бути добре упаковані, легкими у використанні і вимагати мінімальної очищення. Продукти не повинні залишати крихти (це небезпечно в умовах невагомості).

- Нарешті, продукти повинні мати мінімальну вагу, вони повинні добре зберігатися, легко відкриватися і залишати не багато сміття після використання.

Космічне харчування – це продукти харчування, спеціально створені та оброблені для споживання космонавтами при космічних польотах. Воно має специфічні вимоги забезпечення збалансованого харчування для людей, що працюють в космосі, в той же час його легко і безпечно зберігати, готувати і вживати при умовах низької гравітації пілотованих космічних кораблів.

Продукти готують, заморожують до температури -27°C і поміщають у вакуум, щоб випарувати вологу з продуктів, мінаючи рідку фазу. Сублімовані страви розфасовані в пластикові упаковки, їх можна досить довго зберігати, вони займають мінімальний об'єм і мало важать. Раніше напої і супи поставлялися на орбіту в алюмінієвих тубах, але з початком тривалих експедицій їм на зміну прийшли герметичні пластикові пакети. Пластикові упаковки легше і

компактніше алюмінієвої, а це важливо при транспортуванні продуктів вантажними кораблями – боротьба йде за кожен грам вантажу і кожен сантиметр корисного простору на кораблі.



Рис. 5.4 – Набір продуктів харчування астронавтів.

Продукти, які також доставляються на борт МКС в металевих консервних банках, становлять великий перелік. Під час занять з космонавтами особливу увагу фахівці відділу харчування у космічній невагомості приділяють увагу непростому мистецтву розтину упаковок з харчуванням і прийому їжі в невагомості, тонкощам космічного столового етикету, в тому числі міжнародного. Особливу увагу при навчанні приділяють правильному розкриттю консервних банок.

Відкриваючи банку, космонавт має прикрити місце проколу кришки серветкою, щоб краплі рідини, наприклад соусу, не вилетіли з банки і не розлетілися по всьому модулю.

Екіпажі вчаться розігрівати консервні банки з харчуванням в спеціально сконструйованих для цього нагрівачах, заправляти пакети з сублімованими продуктами через особливі перехідники від системи СРВ-К2М. При заправці пакетів з субліматів космонавту потрібно бути уважним: якщо пакет не втримати, він може злетіти з заправного штуцера через тиск, що створюється системою, і обпалити руки космонавта; якщо нещільно закрити кран, то вода, яка потрапить на прилади та пристрої може завдати чимало неприємностей екіпажу.

Температура води для відновлення продуктів, приготування чаю та кави різна: + 85°C або від + 25°C до + 42°C – за умови, що у космонавта в меню. Гарячу воду використовують в основному для приготування напоїв, перших і других страв, теплу – для салатів і закусок. Щоб пообідати, космонавт надрізає пакет по кольоровій лінії, акуратно наповнює необхідну порцію води і струшує. Не важливо, що в пакеті – овочевий суп-пюре, макарони з грибами або сік процес «приготування» однаковий. Якщо все зробити правильно, пакет можна безбоязно перевертати: двошарова упаковка і спеціальний клапан заблокують вміст і не дадуть йому вилитися.

Як тільки блюдо придбає потрібну консистенцію і буде готово, упаковка надрізається з протилежного боку, і можна починати обід.

В пакетах «подають» овочеві супи і салати, фруктові соки, гарніри і деякі м'ясні страви. У консервні банки упаковані, наприклад, тушкована свинина з перцем, лящ в гострому соусі, м'ясо курчат в білому соусі, судак по польськи, баранина з овочами, омлет з курячим

м'ясом, азу, сири, і список далеко не повний. Взагалі меню для експедицій на МКС дуже різноманітне.

Тижневе меню може складати, наприклад, кілька видів супів – «Селянський», розсольник з м'ясом, борщ, харчо, рисовий суп, гороховий суп-пюре – і безліч інших.

З других страв на обід у космонавтів бувають картопляне пюре, салат з буряка, тушковані баклажани з картоплею, яловича піджарка з рисом і овочами – важко повірити, але всі ці страви відновлюються з сублімату. На десерт – сир з горіхами (теж сублімований!), подрібнена брусниця, ірис, крекер або галети, сухофрукти, солодкий мигдаль, яблука з горіхами. За словами космонавтів, такий космічний раціон їм дуже до смаку. Всі страви готуються з екологічно чистих продуктів, без барвників, консервантів, підсилювачів смаку і запаху. Загальна калорійність щоденного раціону для кожного космонавта – 3 000 Ккал.

«Сервірування» обіднього столу на орбіті теж незвичайне. Для спеціальної їжі на борту МКС використовуються спеціальні столові прилади, які дещо відрізняються від земних. Щоб зручніше було їсти з глибоких пакетів, у ложок на станції подовжений держак з прикріпленою до нього смужкою спеціальної тканини-«липучки» – велькро – це необхідно для додаткової фіксації, щоб зачепити прилад за стіл, не те полетить!

«Обідній стіл» оснащений небачених на Землі (втім, і не потрібне нам тут) спеціальним пристроєм – уловлювачем крихт, який не дає їм зі столу розлетітися за умови невагомості по всій станції і ні в якому разі не потрапити в дихальні шляхи космонавтів. Ще на столі є особливі осередки для фіксації упаковок з харчуванням – 6 клітинок, по одній на кожного члена екіпажу.

Може бути упаковки і банки з їжею дещо незвичні, і потрібно спеціально вчитися використовувати їх в невагомості, зате космонавтам точно не треба мити посуд – після прийому їжі «тарілки» і «чашки» просто викидаються.

Після їжі потрібно забезпечити зберігання харчових і побутових відходів. Вони не повинні розкладатися в замкнутому об'ємі станції. Для цього на МКС є герметичні контейнери побутових відходів, які, по мірі їх заповнення, завантажуються в вантажний корабель, що згорає після розстикування зі станцією у верхніх шарах атмосфери.

Туди ж відправляються контейнери з асенізаційного санітарного пристрою (АСУ). Цією системою космонавти користуються, по-перше, за призначенням, а ще вона призначена для зберігання відходів життєдіяльності людини. АСУ – це одна з найважливіших систем на МКС. Раніше, коли на МКС був єдиний туалет в російському модулі, навіть існувало правило: якщо він ламався, то припинялися інші роботи і всі сили кидалися на ремонт туалету. Зараз є ще один туалет – на американському сегменті. Але в будь-якому разі, якщо техніка відмовить, потрібно робити терміновий ремонт. А щоб система не ламалася, потрібно вміти правильно її експлуатувати, розуміти всі, що відбуваються в ній процеси, і знати її конструктивні особливості.

Відповідно до недавнього дослідження неврологів, довгі космічні польоти викликають розширення мізків у космонавтів через рідину, яка потрапляє в їхні голови за відсутності гравітації. Група європейських неврологів провела дослідження, згідно з яким шлуночки головного мозку 11 російських космонавтів, які повернулися на Землю, були збільшені на 11%. Навіть після 7 місяців з моменту їх повернення з космосу, порожнини головного мозку були на 6% більше від їх

нормального розміру. Вчені припускають, що збільшення мізків космонавтів через надмірну кількість рідини, яка потрапляє туди під час польотів в невагомості, могло привести до погіршення їх зору.

Нещодавно вчені знайшли на Міжнародній космічній станції стафілокок, ентеробактерії та метілобактерії. Ці організми можуть викликати шкірні захворювання, завдавати шкоди носоглотці і шлунково-кишковому тракту людини.

Оскільки космічні польоти за межами низької навколоземної орбіти входять до порядку денного космічних агентств, проблеми, пов'язані з впливом космічного випромінювання на екіпаж, до цих пір не мають остаточних рішень. Ризик довгострокових шкідливих наслідків для здоров'я повинен підтримуватися нижче допустимих меж. Повинні бути заплановані надзвичайні контрзаходи, щоб уникнути короткострокових наслідків впливу високих потоків частинок під час важко передбачуваних сонячних подій. Екранування середовища перебування в космосі не може бути остаточним рішенням: зростаюча складність майбутніх місій зажадає від космонавтів захисту в місцях з низьким ступенем захисту, наприклад під час аварійних операцій. Особистий радіаційний захист є перспективним, особливо якщо використовуються наявні ресурси для багатофункціональних екрануючих пристроїв. У цій роботі вчені повідомляють про всі етапи від концепції, проектування і виготовлення до остаточного випробування на борту Міжнародної космічної станції першого прототипу наповненого водою предмета одягу для аварійного радіаційного захисту від подій, пов'язаних з сонячними частинками. Одяг володіє хорошим екрануючим потенціалом і рівнем комфорту. Бортова вода використовується для заповнення, а потім переробляється

без відходів. Успішний результат цього експерименту являє собою важливий прорив в області захисту від космічного випромінювання, який відкриває можливості для розробки аналогічно задуманих пристроїв та їх використання в міжпланетних польотах, таких як політ на Марс.

Розділ 6. ФАКТОРИ КОСМІЧНОГО ПОЛЬОТУ.

6.1. Основні космічні фактори біологічної дії.

В області космічної біології і медицини у зв'язку з перспективою польоту людини на Марс знову гостро постає проблема адаптації. Вивчення цієї проблеми, у тому числі її загальнотеоретичних аспектів, можна вважати традиційним. Які ж аспекти адаптації важливі для космічної біології і медицини? Перш ніж відповісти на це питання, треба зупинитися на тому, чим займаються ці наукові напрями.

К. Е. Ціолковський, розмірковуючи про перспективи міжпланетних польотів: «Техніка майбутнього дасть нам можливість здолати земну тяжкість і подорожувати по всій Сонячній системі», прийшов до висновку про можливий несприятливий вплив на космонавтів таких факторів, як змінна гравітація (перевантаження і невагомість), дефіцит кисню, харчових речовин, води і т. п., і про необхідність вивчення впливу факторів польоту на організм. Міркування російського вченого носили не лише умоглядний характер. Вони спонукали його до проведення досліджень на самому собі: «Піддав і себе експериментам: по кілька днів нічого не їв і не пив. Позбавлення води міг витерпіти тільки протягом двох днів. Після їх закінчення я на кілька хвилин втратив зір».

Космічна біологія і авіакосмічна медицина вивчають вплив космічних факторів та особливості життєдіяльності організму людини при дії цих факторів з метою розробки засобів і методів збереження здоров'я і працездатності членів екіпажів космічних кораблів і станцій. Ці науки розробляють відповідні профілактичні заходи та способи

захисту від шкідливих впливів; пропонують фізіологічні і гігієнічні обґрунтування вимог до систем життєзабезпечення, керування і устаткування космічних літальних апаратів, а також до засобів порятунку екіпажів в аварійних ситуаціях; розробляють клінічні та психофізіологічні методи і критерії відбору та підготовки космонавтів до польоту, контролю за екіпажом у польоті; вивчають профілактику і лікування захворювань в польоті. У зв'язку з цим космічна біологія і авіакосмічна медицина є єдиним комплексом різних розділів, таких як космічна фізіологія і психофізіологія, космічна гігієна, космічна радіобіологія, теоретична і клінічна медицина, лікарська експертиза.

У космічному польоті на організм людини можуть впливати три основні групи факторів:

6.1.1. Перша група факторів.

Перша група факторів залежить від фізичного стану космічного простору. До цієї групи факторів слід віднести: вкрай низькі ступені барометричного тиску, відсутність молекулярного кисню, необхідного людині для дихання, іонізуючі випромінювання (космічне, ультрафіолетове, корпускулярна радіація та ін.), метеорну небезпеку, несприятливі температурні умови і т. д.

Барометричний тиск. Вітчизняна і зарубіжна наука має більш ніж піввіковий досвід вивчення впливу на людину зниженого барометричного тиску і низького парціального тиску кисню. На підставі наукових даних розроблено герметичні кабінки (вентиляційного та регенераційного типів), кисневі прилади, скафандри і т. д. Добре вивчено також вплив різких перепадів тиску від

більш високих ступенів тиску в герметичній кабіні до значного розрідження атмосферного тиску поза кабіни в умовах польоту.

Земна атмосфера забезпечує людину киснем для дихання, підтримує певний барометричний тиск, створює умови для регулювання температури, розсіяного освітлення, а також є ефективним засобом захисту від потенційно небезпечних космічних випромінювань, які значно слабшають, змінюються або зовсім поглинаються при проходженні через повітряну оболонку Землі.

Барометрична формула (англ. *barometric height formula*) – формула, за якою визначають залежність тиску або густини газу від висоти. Ця залежність зумовлена дією поля тяжіння Землі і тепловим рухом молекул газу (повітря). Припускаючи, що газ є ідеальним газом сталої температури, і вважаючи поле тяжіння Землі однорідним, отримують барометричну формулу такого вигляду:

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right),$$

де p_0 – тиск на нульовому рівні (на рівні біля поверхні Землі або на рівні моря), Па; p – тиск на висоті h , м над цією поверхнею, Па; m – маса молекули (для повітря дорівнює масі молекули азоту), кг; g – прискорення вільного падіння, м/с²; k – стала Больцмана, Дж/К; T – абсолютна температура повітря, К.

У земних умовах людина і тварини знаходяться на рівні моря при атмосферному тиску, який дорівнює $1,01 \cdot 10^6$ Па. Таким же є сумарний тиск газів, які розчинені у тканинах і рідких середовищах організму (крові, лімфі та ін.) або заповнюють порожнисті органи (легені, шлунок, кишечник тощо).

При швидкому падінні барометричного тиску з підйомом на висоту відбувається різке розширення газів, які заповнюють порожні органи і порожнини тіла. Внаслідок цього спостерігаються

поштовхоподібне виходження повітря з легенів, здуття живота (метеоризм), випинання барабанної перетинки середнього вуха.

Метеоризм (від грец. *μετεωρισμός* – підняття вверх або **здуття живота**) – надлишкове скупчення газу в кишківнику. Проявляється здуттям живота, обдиманням, що розпирає боєм у животі, можливо рясне виділенням великої кількості травних газів. У нормі, в кишківнику дорослої людини міститься близько 200 мл різних газів, в їх число входять: азот 11-92 %, вуглекислий газ до 50 %, кисень до 11 %, водень до 10 %, метан до 60 %, сірководень до 30 %, аміак тощо. Неприємний стан проявляється відрижкою, гикавкою, відчуттям важкості, розпирання в животі, нападами болю, що зникають після відходження газів. Іноді проноси перемежуються запорами. Можливий розвиток і в результаті підвищеного заковтування повітря при їжі.

Раптове відносне підвищення внутрішнього тиску в легенях під час вдиху може викликати механічне пошкодження легеневої тканини. Розширення газів у шлунково-кишковому тракті часто супроводжується больовими відчуттями, а також механічними і рефлекторними порушеннями дихання і кровообігу, причому ступінь цих явищ знаходиться в прямій залежності від швидкості і ступеня падіння атмосферного тиску.

Гази, які розчинені в рідких середовищах організму, при зниженні барометричного тиску збираються в більш або менш великі бульбашки, сприяють механічному тиску на нервові чутливі рецептори тканин, викликають больові відчуття – частіше в суглобах і м'язах. В результаті скупчення вільного газу всередині і навколо кровоносних судин іноді виникають порушення кровопостачання окремих ділянок тіла.

Всі описані явища, що об'єднуються під загальною назвою «декомпресійні розлади, які найчастіше виявляються при зниженні

атмосферного тиску до рівня нижче 267 мм рт. ст., що відповідає висоті 8000 м і більше над рівнем моря. Ці розлади можуть виявлятися не тільки у різних людей, але і в однієї і тій же людини при різних ступенях розрідження і різному стані здоров'я.

При дії на організм більш низького барометричного тиску (близько 40 мм рт. ст.) спостерігається висотна газова емфізема, яка проявляється у вибухоподібному утворенню підшкірного здуття, різко збільшує об'єм тіла. Подібні здуття можуть утворитися і у внутрішніх органах, особливо в місцях скупчення пухких тканин.

Ці явища виникають в результаті інтенсивного переходу рідини в газоподібний стан. Відомо, що при нормальному барометричному тиску вода кипить при температурі 100 °С; при меншому тиску вода закипає при більш низькій температурі. При атмосферному тиску 47 мм рт. ст. вода кипить при температурі 37 °С. Оскільки нормальна температура тіла дорівнює приблизно 37 °С, можна очікувати, що «кипіння» рідких середовищ організму відбудеться при зниженні барометричного тиску до 47 мм рт. ст. В реальних умовах це явище спостерігається при дещо меншому тиску.

Отже, розлади, що виникають у людини при різкому падінні барометричного тиску, можуть призвести до виникнення сильного болю, який іноді важко переноситься, і до різкого порушення працездатності, при цьому не може бути виключена поява і більш важких розладів з повним порушенням функцій організму. Таким чином, падіння барометричного тиску становить серйозну небезпеку для космонавтів і змушує фахівців розробляти відповідні захисні пристосування. У герметичній кабіні космічного корабля або супутника барометричний тиск повітря найчастіше підтримується на

рівні 760 мм рт. ст. Проте якщо за технічними умовами необхідно зменшити тиск, то є можливість знизити його до 500–550 мм рт. ст. або до дещо меншої величини. Недолік кисню, що виникає при певному тиску, легко компенсувати збільшенням його процентного вмісту в повітрі. При цьому слід враховувати несприятливий вплив не тільки недостатності, але і надлишок кисню у повітрі, яке вдихається. Експериментально підтверджено, що тривале дихання чистим киснем іноді може призвести до порушення різних функцій організму. Зокрема, нерідко розвиваються порушення діяльності серцево-судинної системи і пошкодження органів дихання (набряк та запалення легенів).

Дослідженнями було доведено, що для організму при нормальному барометричному тиску нешкідливим є вміст кисню у вдихуваному повітрі в межах до 60%. З цього випливає, що який би рівень тиску не був прийнятий для герметичної kabіни, парціальний тиск кисню в ній не повинен перевищувати 420 мм рт. ст. Таким чином, найбільш серйозним питанням під час польоту людини в космос є забезпечення екіпажу киснем, так як при підйомі на висоту одночасно зі зниженням атмосферного тиску зменшується тиск складових повітря газів: кисню, азоту, вуглекислоти.

Зниження надходження кисню в організм з підйомом на висоту призводить до розвитку так званої висотної хвороби, яка проявляється у здорових людей з 4000–5000 м, а на висотах понад 12 000 м вже через 10–15 с настає втрата свідомості. Для запобігання цих порушень в космічному польоті космонавт повинен знаходитися в ретельно ізольованій герметичній kabіні, яка буде захищати його від кисневого голодування й інших шкідливих факторів навколишнього зовнішнього

середовища. Більш або менш нормальні умови для дихання людини під час польотів у космічному літальному апараті можуть бути створені лише за умови, якщо в кабіні космічного корабля буде підтримуватися тиск не нижче 300 мм рт.ст. при тиску кисню не менше 150 мм рт. ст. У зв'язку з цим вчені обґрунтували необхідність використання кабін регенераційної типу, тобто кабін для відновлення (регенерація) газового середовища до зазначених меж, при яких відбувається поглинання людиною вуглекислоти, яка вдихається і виділення кисню.

Велику небезпеку для космонавта являє порушення цілісності герметичної кабіни в разі її пробою, наприклад метеоритом. Якщо екіпаж корабля не буде одягнений в захисний одяг, то в залежності від розмірів отвору в кабіні космонавти через 15–30 с втратять свідомість. Тому при польотах у світовий простір для більшої безпеки космонавти повинні бути одягнені в спеціальні скафандри. Герметична кабіна повинна мати окремі відсіки. При розгерметизації відсіку космонавти в скафандрах зможуть перейти в інший відсік або ж усунути пошкодження. В скафандрі можна виконувати роботу поза кабіни.

Крім того, в умовах вибухової декомпресії, що протікає за частки секунди, можливі розриви тканин і судин внутрішніх органів зі всіма витікаючими наслідками. Так внаслідок розгерметизації кабіни космічного корабля "Союз-11" при спуску його з орбіти в 1971 році загинув екіпаж у складі Г. Добровольського, В. Волкова і В. Пацаєва.

Космічне випромінювання. Верхні шари атмосфери нашої планети безперервно бомбардуються потоками атомних ядер, що рухаються з величезними швидкостями і носять назву космічного випромінювання.

Космічне випромінювання – випромінювання з космосу, що містить атомні ядра, особливо

протони з високою енергією, яке досягає поверхні Землі. Деякі види космічного випромінювання мають дуже високу енергію і здатні проникати в глибину Землі на кілька кілометрів.

Космічні промені – заряджені частинки високих енергій з космічного простору. Майже 90 % від загальної кількості частинок складають протони, 9 % – ядра гелію (альфа-частинки) та близько 1 % – електрони (бета-мінус частинки). Слово «промені» в назві явища не слід сприймати буквально, оскільки частинки потрапляють в атмосферу Землі окремо, а не у вигляді напрямленого пучка частинок чи променю. Назва походить з часів відкриття явища і є більше даниною історії, аніж описом суті явища.

Абсолютна кількість таких частинок невелика, але вони володіють великими енергіями, які вимірюються мільярдами електрон-Вольт. Більшість ядер, що мчать зі світового простору не досягають поверхні Землі. Вони, стикаючись з ядрами атомів газів атмосфери, утворюють так зване вторинне космічне випромінювання. До поверхні Землі доходить лише вторинне космічне випромінювання, інтенсивність якого майже в 50 разів менше первинного. Космічна радіація, як і всяка інша радіація, проникаючи в речовину, відщеплює від атомів речовини електрони; в результаті цього утворюються позитивні і негативні іони. Тому космічне випромінювання, як і рентгенівське, відноситься до іонізуючого випромінювання. Клітинні структури, тканини живого організму пошкоджуються при дії радіації, так як відбувається утворення іонів, що порушують нормальний перебіг біохімічних реакцій живого організму.

Космічне випромінювання майже на три чверті складається з ядер водню – протонів. Ядра гелію, або альфа-частинок становлять близько однієї чверті, а на інші ядра хімічних елементів припадає близько одного відсотка всіх космічних частинок.

Первинна космічна радіація при дії на організм може викликати іонізацію, еквівалентну рентгенівському випромінюванню 0,005 Р (Рентген) на добу.

Рентгенівське (Пулюївське) проміння або **ікс-проміння** (англ. *X-ray emission, roentgen radiation*) – короткохвильове електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 10 нм до 0.01 нм. В електромагнітному спектрі діапазон частот рентгенівського випромінювання лежить між ультрафіолетом та гамма-променями. Рентгенівське випромінювання виникає від різкого гальмування руху швидких електронів у речовині, при енергетичних переходах внутрішніх електронів атома

Якщо ж прийняти, що відносна біологічна ефективність космічної радіації в 10 разів вище звичайної радіації (рентгенівської), то дія її буде еквівалентно 0,05 Р на добу, або 0,35 Р в тиждень, що перевищує допустимі норми і, природно, повинно насторожити лікарів. У всякому разі, при тривалих польотах в світовий простір ці явища необхідно строго враховувати, а біологічну дію космічного випромінювання найбільш ретельно вивчати.

При забезпеченні польотів супутників інтенсивність опромінення можна значно знизити шляхом правильного вибору траси і часу польоту. Космічні частинки, як і всі інші рухомі заряджені тіла, можуть відхилятися магнітним полем Землі. Магнітні силові лінії земного магнітного поля в екваторіальних широтах розташовуються приблизно паралельно земній поверхні, а в полярних широтах – перпендикулярно їй. В результаті космічні частинки в зоні екватора, перетинаючи магнітні силові лінії, значно відхиляються, тоді як ті, що йдуть до північного та південного магнітних полюсів рухаються вздовж цих ліній у великій кількості і досягають поверхні Землі.

З незапам'ятних часів людство знало, що Сонце випромінює світло і тепло, але тільки у XX столітті ученим вдалося отримати перші відомості про більш короткохвильове випромінювання Сонця – ультрафіолетове і корпускулярне. Більша частина цього випромінювання з довжиною хвилі від 10 до 300 мілімікрон не в змозі проникати через товсті шари речовини, наприклад через скло ілюмінаторів, і тому абсолютно нешкідлива для людей, що знаходяться в кабіні. Однак зазначена радіація, інтенсивно діючи на поверхневі шари речовини в умовах глибокого вакууму світового простору, може руйнувати молекули тканини і матеріалу, з яких виготовлені скафандр і кабіна. Ці обставини враховано ученими і тому скафандри виготовляють з тканини, яка є найбільш стійкою до дії ультрафіолетових променів, що здатна значним чином подовжити термін служби скафандрів, а кабіни виготовляти з найміцніших матеріалів.

Крім описаної радіації від Сонця надходять промені з довжиною хвилі менше 10 мілімікрон, і вони мало чим відрізняються від самих м'яких рентгенівських променів, утворюючи так зване корпускулярне випромінювання Сонця. При тривалій дії корпускулярна радіація може пошкодити тканину скафандра, а проникаючи в підскафандровий простір може викликати утворення озону, шкідливого для людини. Щоб знизити вплив на людину ультрафіолетового, рентгенівського і корпускулярного випромінювань Сонця розроблено скафандри з більш щільної тканини, ніж це необхідно з міркувань міцності, а також обмежують час перебування космонавтів за межами герметичної кабіни ракети. Для запобігання впливу на космонавтів даного фактору здійснюється прогнозування радіаційної обстановки. При цьому

враховуються тривалість польоту транспортного пілотованого корабля, характер орбіти, характеристики конструкції космічного апарату, наявність засобів захисту екіпажу. З урахуванням результатів прогнозу вибирається дата старту транспортного пілотованого корабля.

На підставі експериментальних і клінічних даних для екіпажів космічних кораблів встановлені три категорії дози іонізуючого випромінювання, що дозволяють виконати космічний політ без серйозних променевих ушкоджень організму: допустима доза, доза виправданого ризику та критична доза.

З наведених даних випливає, що вплив на людину іонізуючого випромінювання, особливо космічної радіації, вивчено недостатньо. Для забезпечення безпеки тривалих космічних польотів необхідно вивчити вплив космічної радіації спочатку на найпростіші живі організми (мікроби, дріжджові клітини), рослини, комах і тварин. Тільки при отриманні результатів наукових досліджень на тваринах, особливо при тривалих космічних польотах, можна дати науково обґрунтовану відповідь про радіаційну небезпеку і забезпечити космічні польоти людини.

Метеорні тіла. В безхмарні ночі нерідко можна спостерігати «падаючі зірки» – метеорити, які швидко плывуть по темному небу. Метеорні тіла це відносно невеликі тверді тіла, що рухаються в космічному просторі. Сукупність метеорних тіл, що обертаються навколо Сонця, утворює метеорні речовини в міжпланетному просторі. Метеорні тіла є продуктами розпаду комет або уламки малих планет і при своєму русі іноді зустрічаються із Землею та іншими планетами. В наслідок великої швидкості руху, що досягає 70 км/с і більше, метеорні тіла нагріваються до кількох тисяч градусів і починають яскраво

світитися і згоряти. Слідом за метеором тягнеться слід – потік іонізованого газу. Зустріч з метеорними тілами може представляти певну небезпеку для космічного корабля. Справді, швидкість руху метеора в 20–70 разів перевищує швидкість руху кулі, а тому для захисту від нього потрібно куди більш потужна броня, ніж для захисту від кулі. Досить сказати, що метеорне тіло масою 1 г, яке рухається зі швидкістю 30 км/с, здатне вибити з корпусу ракети значну кількість металевого покриття. Однак середня щільність метеорної речовини в міжпланетному просторі мізерно мала і для тіл масою 1 г становить $1,4 \cdot 10^{-24}$ г/см³, що відповідає приблизно одній частинці в об'ємі куба з ребром, що дорівнює 100 км. Просторова щільність більш дрібних метеорних частинок (масою в десятки міліграмів) трохи вище. В цілому ж просторова щільність метеорної речовини в районі орбіти Землі дорівнює $0,5 \cdot 10^{-22}$ г/см³. Отже, ймовірність зустрічі космічного корабля з метеорним тілом тим більше, чим менше розміри такого метеорного тіла.

Досвід польотів великої кількості супутників Землі показав, що метеорна небезпека не так велика, як можна було б припустити на підставі теоретичних розрахунків. Разом з тим і недооцінювати її не можна. Тому дані про інтенсивності метеорних потоків представляють особливу важливість при конструюванні космічних кораблів і виборі їх орбіти.

Небезпеку зіткнення з апаратом представляє велика кількість космічних об'єктів штучного походження. Характер об'єктів, що знаходяться на орбітах, наступний: 5% становлять працюючі супутники, 12% – непрацюючі супутники, 18% – останні ступені ракет-носіїв, болти, кабелі та ін. Решта 65% – в більшості своїй уламки ракет,

які вибухнули, або навмисно підірваних супутників. Щомісяця близько Міжнародної космічної станції в даний час пролітає 2–3 фрагмента штучних об'єктів.

Захист космічного корабля від невеликих метеорних частинок може бути забезпечений досить міцною оболонкою. Якщо ж зустріч корабля з метеорним тілом відбудеться і цілісність обшивки буде порушена, це може спричинити розгерметизацію кабіни. Враховуючи це, необхідно передбачити захист екіпажу від різкої зміни барометричного тиску і нестачі кисню.

Температура. При помірних коливаннях температури зовнішнього середовища організм людини автоматично підтримує внутрішню температуру на постійному рівні.

Температура (від лат. *temperatura* – належне змішування, нормальний стан) – фізична величина, яка описує стан термодинамічної системи і є мірою інтенсивності теплового руху атомів і молекул.

Однак різкі зміни температури (її підвищення або зниження) негативно позначаються на стані людини. Температура може бути високою або низькою не лише всередині транспортного корабля, але і на місці приземлення або приводнення екіпажу. Однією з причин підвищення температури всередині космічного апарату може бути пожежа. Необхідно враховувати не лише безпосередні причини пожежі, але і потенційну небезпеку її виникнення, яка може зростати в результаті складу атмосфери кабіни космічного апарату з великим вмістом кисню або у зв'язку з використанням легкозаймистих матеріалів.

Вплив на людину високої температури призводить, перш за все, до функціональних порушень системи терморегулювання організму. При температурі зовнішнього повітря 30–33 °С теплообмін з навколишнім середовищем практично припиняється, і теплова рівновага підтримується лише завдяки інтенсивному потовиділенню, але воно при обмежених запасах води може бути загрозою дегідратації (зневоднення) організму. Якщо температура повітря та оточуючих стін перевищує 60 °С, організм людини не здатний зберігати тепловий баланс навіть за рахунок рясного потовиділення, внаслідок чого починається процес накопичення тепла в організмі.

Існують допустимі значення тривалості впливу високих температур, а також перебування людини у воді без спецодягу в залежності від температури води, після закінчення яких з високою ймовірністю настає втрата свідомості або смерть. Найбільш дієвим заходом при різких змінах зовнішньої температури є використання одягу, який повинен мати якомога більше шарів і бути щільніше притиснутий до тіла. З цього випливає, що якщо несприятливий температурний фактор діє тривалий час, то у людини різко знижується можливість переносити весь комплекс факторів космічного польоту. Отже, для людини в кабіні космічного апарата необхідно підтримувати оптимальні температурні умови.

Наведені дані про фізичний стан космічного простору свідчать про те, що воно є середовищем, непридатним для проживання людини і тварин без захисних заходів.

6.1.2. Друга група факторів.

Друга група об'єднує чинники, які обумовлені самим польотом на ракетному літальному апараті (шум, вібрації, прискорення і невагомість).

Шум і вібрації. Про вплив на людину шумів є достатня кількість наукових даних, які дозволяють сподіватися, що при розробці космічного корабля повинна бути розроблена ретельна звукоізоляція, яка дозволить знизити рівень шуму в кабінах. При цьому необхідно враховувати, що шуми будуть найбільш інтенсивними на активній ділянці польоту, тобто на ділянці розгону космічного корабля і до кінця виведення його на орбіту. Вплив вібрації на космонавтів на активній ділянці виведення космічного корабля на орбіту вивчено досить добре. Є цілий ряд конструктивних пропозицій амортизаторів, що знижують дію вібрацій на людський організм.

Прискорення, вібрація і шум пов'язані головним чином з фазами запуску двигунів космічного корабля або їх роботи під час польоту. Їх джерелами є робота ракетних двигунів, їх струс, переміщення палива в цистернах-баках, атмосферні потоки і турбулентність атмосфери, а також аеродинамічні удари при подоланні космічним кораблем звукового бар'єру. При польоті з вимкненими двигунами шум і вібрація майже зникають. В цьому випадку їх породжують лише імпульсні двигуни керування орієнтацією космічного корабля в просторі, різні електромотори і система радіозв'язку.

Шум і вібрація викликають відчуття дискомфорту, роздратування, нудоту та інші неприємні відчуття. Характерно поява почуття тривоги і страху, ядухи, болей в області живота і хребта, загального стомлення,

утрудненого дихання, головного болю, свербіжу та глухоти. Шкідлива дія вібрації на організм людини має механічну природу, принаймні, в діапазоні тих частот коливань, які виникають під час космічного польоту. Очевидно, порушується нормальне протікання процесів як в окремих клітинах, так і в органах у цілому. Зокрема, вібрація впливає на анафазу, тобто на ту стадію ділення клітин, під час якої починається розходження половинок хромосом. Біологи у своїх експериментах піддавали вібрації, що характерна для роботи ракетного двигуна, мишей і встановили значне зростання кількості анафазних формацій в спинному мозку вже через день після дослідів.

Анафаза (від грецьк. ἀνά, «вверх» і φάσις, «стадія») – стадія мітозу під час якої подвоєні хромосоми у вигляді сестринських хроматид розділяються та рухаються до протилежних полюсів ділення. Хромосоми мають максимальний ступінь конденсації в пізній анафазі, що допомагає сегрегації та подальшому формуванню нових ядер в дочірніх клітинах.

Мітоз (рідше каріокінез або непрямий поділ) (від дав.-гр. μίτος – нитка) – найпоширеніший спосіб поділу ядер клітин. Під час мітозу два ідентичні набори хромосом, утворені внаслідок реплікації ДНК, розподіляються між двома новими ядрами. Мітозом діляться ядра всіх клітин багатоклітинних організмів.

Відсоток анафазних формацій досягав максимальної величини 9,79, в той час як у контрольної групи тварин він становив 2,61. Якби механічні пошкодження на клітинному рівні відбувалися в більшому масштабі, то вібрація під час космічного польоту стала б серйозною проблемою. Справа в тому, що людське тіло та його окремі органи мають, на жаль, власні резонансні частоти, що лежать в тому ж діапазоні, що і частоти ракетноносіїв. Так, космічний корабель

«Аполлон» з ракетносієм «Сатурн-5» мав основну резонансну частоту близько 4,5 Гц. Після відділення двигунів першого ступеня резонансна частота космічного корабля з двигунами другої і третьої ступенів становить приблизно 6,0 Гц, а частота третьої ступені ракети-носія з космічним кораблем буде вже близько 9,0 Гц. Це дуже важливо, так як резонансна частота тіла людини в залежності від його стану і способу фіксації лежить в діапазоні від 3 до 12 Гц. А окремі органи мають більш високі власні резонансні частоти. Коли космічний корабель вібрає на якій-небудь з цих частот, вібрація відповідних органів людини резонансно збільшується, ці органи деформуються, зміщуються або втрачають фіксацію, тобто відбувається їх механічне пошкодження. Однак до цього в більшості випадків виникає відчуття дискомфорту. Пілоти космічного корабля «Джеміні» при частоті коливань 50 Гц не могли зчитувати показання приладів, так як саме при цій частоті починають вібрувати очні яблука і очі немов застеляє пеленою.

Про колосальні рівні шумів, які генеруються великими космічними ракетами, дають уявлення деякі цифри. Так, ракета «Сатурн-5» при тязі близько 3 млн кг на рівні моря протягом 2 хв. генерує майже 200 млн Вт звукової енергії. Взагалі в звук зазвичай переходить 0,3–0,8% загальної потужності ракети. Показово, що кількість звукової енергії, що генерується реактивним літаком «Боїнг-707», в чотири з гаком тисячі разів менше. Коли ракета набирає швидкість, це викликає додатковий шум. Після 60 с польоту основну частину шуму зовні корабля викликає оточуючий його повітряний потік. При максимальному динамічному тиску, коли тиск повітря на носову частину ракети «Сатурн» досягає 3593 кг/м^2 , виникають

додаткові шум і вібрація. Це відбувається на 78-й секунді польоту на висоті близько 13 км

Шум у 160 дБ може викликати механічні пошкодження і необоротну глухоту в результаті розриву барабанної перетинки і зміщення слухових кісточок в середньому вусі. При 140 дБ людина відчуває сильний біль, а тривалий вплив шуму в 90–120 дБ може призвести до пошкодження слухового нерва.

Фізіологічний вплив на людину низькочастотних шумів вивчають на спеціальних установках. Одна з таких установок споруджена в Дослідницькому центрі НАСА в Ленглі Хемптоні (штат Вірджинія). Основна її частина – циліндрична камера діаметром 7,3 м і довжиною 6,4 м. Один кінець камери обладнаний поршнем діаметром 4,3 м, його приводить в рух гідравлічний силовий привід, керований електронно-обчислювальною машиною. Інший кінець камери закриває рухлива стінка, за допомогою якої здійснюють акустичну настройку камери. У камері можна створювати шум з рівнем до 160 дБ при частоті нижче 3 Гц.

У пілотованому космічному кораблі шуми небезпечні не тільки тим, що впливають на органи слуху космонавта. При рівні шуму 120 дБ наступають серйозні погіршення в мовному зв'язку і радіозв'язку. Експерименти показують, що мова, людини, яка говорить, стає значно менш розбірливою, якщо до вібрації в діапазоні 10–30 Гц додаються хаотичні шуми. Крім того, шум у 60 дБ і понад викликає гальмування нормальних скорочень шлунка і кишечника, а також зменшує виділення шлункового соку і слини. Тому при створенні космічного корабля «Аполлон» прагнули знизити шуми настільки, щоб максимальний їх рівень після закінчення фази польоту

з вимкненими двигунами не перевищував 55 дБ в діапазоні частот 300–3800 Гц. У місячному відсіку «Аполлона» рівень шуму становив 80 дБ, а в діапазоні частот 600–4800 Гц знижений до 55 дБ.

Шуми іншої інтенсивності і частотної характеристики також надають небажану фізіологічну дію на людину, значно знижуючи її працездатність і заважаючи зосередитися. Наприклад, радянська жінка-космонавт В.В. Терешкова під час польоту на космічному кораблі «Восток-6» розповіла, що її увагу особливо відволікав шум вентилятора з інтенсивністю 76 дБ і частотою 2000 Гц. Рівень шуму в командному відсіку корабля «Аполлон» на 62-й секунді польоту становив 125 дБ. Рівень зовнішніх шумів при проходженні їх крізь обшивку космічного корабля знижується до 20–30 дБ. Крім того, вони заглушуються шоломом скафандра. Рівень шуму відразу після запуску радянських кораблів «Восток-5» і «Восток-6» досягав 128 дБ, але гасився шоломом космонавта до 18 дБ. Беручи до уваги всі ці факти, можна зробити висновок, що вібрація і шум не становлять основних проблем при розробці програм пілотованих космічних кораблів. Вплив шуму, що генерується ракетноносієм, невеликий, так як корабель швидко відділяється від ступенів з працюючими двигунами, і шуми заглушуються не тільки навколишнім повітрям, але і обшивкою корабля. Аналогічно цьому вібрація велика лише в перші хвилини польоту корабля з прискоренням і під час входу його в щільні шари атмосфери. У ці короткі проміжки часу вібрація не викликає у людини значних функціональних зрушень.

Прискорення. Протягом дуже тривалого часу вважалося, що великі швидкості пересування мають шкідливий вплив на людину, а швидкість в 500 км/год. є мало не граничною, яка переноситься

людиною. У міру накопичення наукових даних ці побоювання розсіялися. Кожна людина переміщується з величезною швидкістю разом з Землею і цього не відчуває. Люди, що живуть на широті Москви, обертаються навколо земної осі зі швидкістю близько 940 км/год., і це жодним чином не впливає на них. Швидкість руху Землі, а отже, і всіх її мешканців навколо Сонця становить приблизно 108 000 км/год, але це не має шкідливого впливу на організм тварин і людини. Не відчуває людина і свого переміщення разом із Сонячною системою в світовому просторі, що відбувається зі швидкістю 70 000 км/год.

Таким чином, на організм людини впливає не сама швидкість, а її зміна. Зміна швидкості за величиною або напрямку в одиницю часу називають прискоренням. При прискоренні всі тіла, в тому числі тіло людини, відчувають вплив механічних сил. Між силою і прискоренням є пряма залежність: діюча на тіло сила дорівнює добутку маси тіла на прискорення. Тому прийнято говорити про вплив на організм людини прискорень, розуміючи під цим дію механічних сил, що змінюють швидкість або напрямок руху.

Одна з обов'язкових випробувань при підготовки до польоту для майбутніх космонавтів - перевірка витривалості на центрифuzі. Тренування показує як людина справляється зі змінними навантаженнями, що виникають при старті корабля і приземленні. Цей елемент польоту вважається одним з найскладніших, і тренування на центрифuzі допомагають відібрати найвитриваліших кандидатів в зоряний екіпаж. Усередині kabіни центрифуги можна змінити температуру з тиском, вологість і склад атмосфери. Під час обертання тренують як вестибулярний апарат, так само і почуття сприйняття,

шкірні і больові відчуття, витривалість. Для тренування, а швидше за все для тестування вестибулярного апарату льотчика, а також майбутніх космонавтів, використовується призначений для цієї мети апарат - тренажер по типу центрифуги (Рис. 6.1), яка при обертанні перевіряє як всі системи космонавта здатні витримувати такі навантаження. Якщо вестибулярний апарат людини не здатний сприймати таке навантаження, то у нього після цього тренажера виникає сильне запаморочення, і та сильна нудота прямо, пардон-до блювоти.



Рис. 6.1 – Центрифуга

Без міцної вестибулярки ні в льотчики, ні в космонавти йти не варто. Та й не пройде початкові випробування претендент або кандидат в космонавти. На обертових тренажерах тренується вестибулярний

апарат, який розташований у людини в середньому вусі. З його допомогою людина визначає своє положення в просторі. Для космонавта, який постійно знаходиться в стані невагомості тренований вестибулярний апарат вельми необхідний. У разі нетренованого вестибулярного апарату людина в невагомості постійно відчуває падіння. Причому не може визначити, в який бік він падає.

Швидше вони не тренують орган почуттів, а тестують стан людини, а саме - здатність його вестибулярного апарату витримувати таке навантаження. У звичайної людини при такому обертанні може початися сильна нудота і головний біль, а для космонавта це неприпустимо. Так само перевіряють рівень тиску і адекватність сприйняття космонавта після обертання, що б він ні в якому разі не втрачав свідомість або йому не ставало погано.

Вивчаючи функціональні зміни, що відбуваються у тварин і людини під впливом прискорення, зазвичай вимірюють ті сили, з якими людина діє на свою опору. Ці сили діють у напрямку, протилежному прискоренню, і рівні за своєю величиною силі, яка прикладена до тіла людини. Тому, розглядаючи умови старту космічного корабля, необхідно, насамперед, розрахувати або визначити величину сили, з якою космонавт буде тиснути на крісло, підлогу кабіни і т. д. Це створює додаткове навантаження для організму людини, викликаючи ті чи інші деформації. Відношення сили, з якою тіло тисне на опору, до ваги даного тіла прийнято називати перевантаженням і говорити про дії перевантажень.

В залежності від напрямку дії перевантажень розрізняють перевантаження, які направлені уздовж тіла (поздовжні), перпендикулярно поздовжньої осі тіла – від грудей до спини або від

спини до грудей (поперечні), а також справа наліво або зліва направо (бокові). Іноді поздовжні перевантаження ділять на позитивні, коли перевантаження діють у напрямку від голови до ніг, і негативні, коли вони спрямовані від ніг до голови. Залежно від часу дії прийнято розрізняти ударні перевантаження і тривалі. При старті космічного корабля до моменту його виходу на орбіту на людину діють перевантаження тривалістю кілька хвилин. Щоб подолати силу земного тяжіння і вийти у міжпланетний простір Сонячної системи, космічний корабель повинен розвинути кінцеву швидкість понад 11,2 км/с. Виходячи з цього, якщо він буде рухатися від Землі з прискоренням 20 м/с, то досягне зазначеної швидкості лише через 9,5 хв. При таких умовах, щоб віддалитися від Землі на відстань 3136 км, необхідно мати великі запаси палива на борту, що позначиться на розмірах ракети і зменшить її корисний вантаж, тобто масу наукової апаратури та обладнання для екіпажу. Звичайно, цього можна уникнути шляхом скорочення періоду розгону ракетної системи та збільшення його швидкості. Таким чином, відому економію корисних розмірів і маси космічного корабля можна отримати шляхом зменшення часу розгону з 9,5 до 4,5 хв. Тоді діють на космонавтів перевантаження, які збільшаться в 3,5–4,5 рази. З метою економії витрати пального було б бажано подальше збільшення прискорення космічного корабля на ділянці розгону ракетної системи. Однак збільшувати прискорення корабля безмежно не можна, так як це пов'язано з певною стійкістю людського організму до дії перевантажень.

Живі істоти володіють різною стійкістю до перевантажень. Подібний факт був відзначений ще К. Е. Ціолковським. Встановили, наприклад, що таргани-пруссаки легко витримують навіть 300-кратне

збільшення своєї ваги, а курчата – 10-кратне і більше. Дослідження на собаках показали, що ці тварини виживають навіть при 5-хвилинному впливі 80-кратних поперечних перевантажень. Фізіологічні межі перевантажень, які людина здатна фізично переносити незрівнянно нижче.

Дія перевантажень тим значніше, чим більше їх абсолютна величина і тривалість. Якщо при старті ракети людина буде розміщуватися так, що його голова і тулуб будуть звернені у бік руху, він випробує вплив повздовжнього перевантаження, спрямованого від голови до ніг. Можливість переносити людиною тривалих перевантажень у напрямку від голови до ніг обмежена. Людина володіє певною пристосованістю до дії таких перевантажень, однак їх надмірна тривалість загрожує неприємними для нього наслідками. Якщо, наприклад, чотирьох-, п'ятикратне перевантаження триває 20–25 с, то воно може викликати неприємні відчуття і деякі функціональні зміни в організмі людини. При цьому людину сильно притискає до сидіння, у нього зміщуються м'які тканини обличчя, нижня щелепа відвисає, голова насилу утримується в звичайному положенні; рухи стають неточними, вимагають багато часу для виконання; з'являються відчуття тяжкості і болючисті в ікрах ніг; виникають порушення дихання та серцевої діяльності.

Тривала дія таких перевантажень призводить до порушень в системі кровообігу. При дії перенавантаження у напрямку від голови до ніг затрудняється приплив крові від серця до головного мозку, тоді як відтік її від мозку полегшується. Це обумовлює появу у людини потемніння в очах, відчуття сірої або чорної пелени перед очима і навіть тимчасової втрати свідомості. При продовженні дії

перевантаження в цих умовах у людини може настати часткова або повна втрата свідомості.

Крім цього, дія таких перевантажень може викликати зміщення і деформації внутрішніх органів, що, в свою чергу, призводить до порушення їх нормальної діяльності. В цих умовах від деформованих тканин і органів починає надходити в кору головного мозку потік незвичайних нервових імпульсів. В результаті можуть настати зміни вищої нервової діяльності, тимчасова дезорганізація психічних процесів: зниження кмітливості, уваги і т. д.

Дослідження показали, що перевантаження, що діють в напрямку від ніг до голови, переносяться людиною гірше. Стан, подібний до дії однократного негативного перевантаження, людина відчуває, коли висить на перекладині вниз головою. При дії триразового перевантаження у напрямку від ніг до голови спостерігаються набряк обличчя, пульсація в скронях, утруднення дихання, а іноді і посилена сльозотеча. Здорова людина може переносити без шкоди 3-кратне перевантаження протягом лише 5–6 с. При 4-х або 5-кратному перевантаженні стан людини різко погіршується: виникають різуча біль у скронях, різке почервоніння обличчя внаслідок припливу крові до голови, кровотеча з носа, порушення зору, що виражаються в появі червоної пелени перед очима, а потім сплутаність і втрата свідомості. Таким чином, можливість перенесення перевантажень розглянутих напрямків щодо тіла людини невелика, тому їх слід уникати в космічних польотах.

Дію поперечних перевантажень людина переносить краще, ніж дію повздовжніх, як за величиною, так і за тривалістю. Перевантаження, що діють у поперечному напрямку, не викликають

порушення кровопостачання органів і тканин, так як при цьому не відбувається суттєвих переміщень крові і деформації органів. Це пояснюється, зокрема, тим, що поперечні перевантаження діють перпендикулярно або майже під прямим кутом до основних кровоносних судин. Внаслідок цього можливість переміщення крові в верхню чи нижню половину тіла мінімальна. Подібне положення тіла полегшує приплив крові від серця до голови, так як величина гідростатичного тиску стовпа крові зменшується. Цю обставину було враховано, зокрема, при підготовці та проведенні запуску другого штучного супутника Землі. Тварину (собака Лайка), яка знаходилася на борту супутника, було розташовано так, що напрямок дії перевантаження було поперечним.

Вплив поперечних перевантажень великої тривалості вивчено недостатньо, проте експериментальні дані, які отримані при запуску другого штучного супутника Землі, в наступних польотах тварин, а також польоти космонавтів, підтвердили, що тільки при такому положенні тіла космонавти можуть витримувати багаторазові тривалі перевантаження.

У наземних експериментальних дослідженнях встановлено, що 12-кратні поперечні перевантаження, що діють на людину протягом 2 хв., не викликають яких-небудь істотних змін кровообігу, а 15-кратні поперечні перевантаження тривалістю 5 с створюють лише помірне утруднення дихання, але не тягнуть за собою будь-яких несприятливих наслідків. Є дані про те, що 10-кратні поперечні перевантаження можуть без шкоди переноситися людиною протягом 3 хв., а 3-кратні протягом 6 хв. З цього випливає необхідність розміщення людини в космічному кораблі таким чином (особливо на ділянці виведення

космічного корабля на орбіту і при вході в щільні шари атмосфери з метою повернення на Землю), щоб дія перевантажень було направлено перпендикулярно до повздовжньої осі людини або під невеликим кутом, тобто людина повинна перебувати в положенні напівлежачи.

Людина при дії перевантажень в напрямку «спина-груди» або «груди-спина» може переносити значні за величиною перевантаження протягом тривалого часу. Після закінчення дії прискорень, після того, як космічний корабель буде виведений на орбіту, людина буде перебувати в умовах невагомості. Це незвичайний стан, майже не зустрічається в умовах Землі, буде діяти протягом усього польоту космічного корабля по орбіті. Вивчення фізіологічної дії стану невагомості становить винятковий науково-практичний і теоретичний інтерес. Необхідно відзначити, що це питання мало вивчено, так як стан невагомості в земних умовах неможливо створити протягом тривалого часу. Крім того, практика життя на Землі до теперішнього часу не ставила цього питання перед наукою. Інша річ зараз. Як відіб'ється на стані нервової системи людини вимикання сигналізації з великої зони нервових рецепторів, функціонування яких пов'язано з гравітаційним полем Землі? Як вплине на функціонування інших органів почуттів людини і їх взаємодія у разі незвичайного стану вестибулярного аналізатора в умовах невагомості, коли буде відсутній вплив гравітаційних сил Землі? І тому цілком зрозуміло, що серед медико-біологічних проблем, що виникають у зв'язку з космічними польотами, в даний час, першорядне значення надається проблемі невагомості.

Невагомість. Теоретично в міжзоряному просторі немає точки, де б не відчувалася сила тяжіння. Тому навіть в умовах космічного

польоту на тіла будуть діяти гравітаційні поля, але їх вплив виявиться мізерно малим. Залишиться, наприклад, взаємне тяжіння предметів всередині кабіни ракетного корабля, однак воно так само буде надзвичайно малим відносно невеликих мас цих тіл. Однак віддаленість тіл від Землі не єдина причина зменшення або втрати ваги тіла. Не менш важливим фактором виникнення невагомості може виявитися дія відцентрових сил при русі космічного корабля довкола планети. Ця сила «зменшує вагу тіла, так як її дія спрямована в бік, протилежний дії земного тяжіння. Величина цієї сили залежить від лінійної швидкості обертання тіла по колу. Швидкість же обертання земної поверхні неоднакова для різних точок земної кулі. На широті Москви вона дорівнює 260 м/с, а біля екватора – 465 м/с. Зважаючи на це величина відцентрової сили в районі екватора виявляється найбільшою, а «вага» тіла найменшою.

Із зростанням лінійної швидкості тіла, що рухається в бік обертання Землі, відцентрова сила збільшується, «вага» тіла «зменшується».

Невагомість – стан тіла, при якому відсутня внутрішня напруга, зумовлена силою тяжіння. Хоча термін нульова гравітація часто використовується як синонім, невагомість на орбіті не є результатом відсутності сили тяжіння чи навіть її значного зменшення (фактично, сила тяжіння Землі на висоті 100 км тільки на 3 % менша, ніж на поверхні). Причина невагомості полягає в тому, що сила тяжіння надає тілу та його опорі однакове прискорення. Цей висновок істинний для всіх тіл, які рухаються тільки під дією сили тяжіння, тобто перебувають у вільному падінні.

К. Е. Ціолковський зазначав, що «при секундній швидкості» більше одного кілометра починає виявлятися відцентрова сила, «що

полегшує вагу» ракети. З цієї ж причини при русі штучних супутників навколо Землі зі швидкістю близько 8 км/с відцентрова сила повністю врівноважує силу тяжіння і вага супутника стає рівною нулю. Втрата «ваги» в цьому випадку залежить від швидкості руху корабля і називається тому динамічною невагомістю.

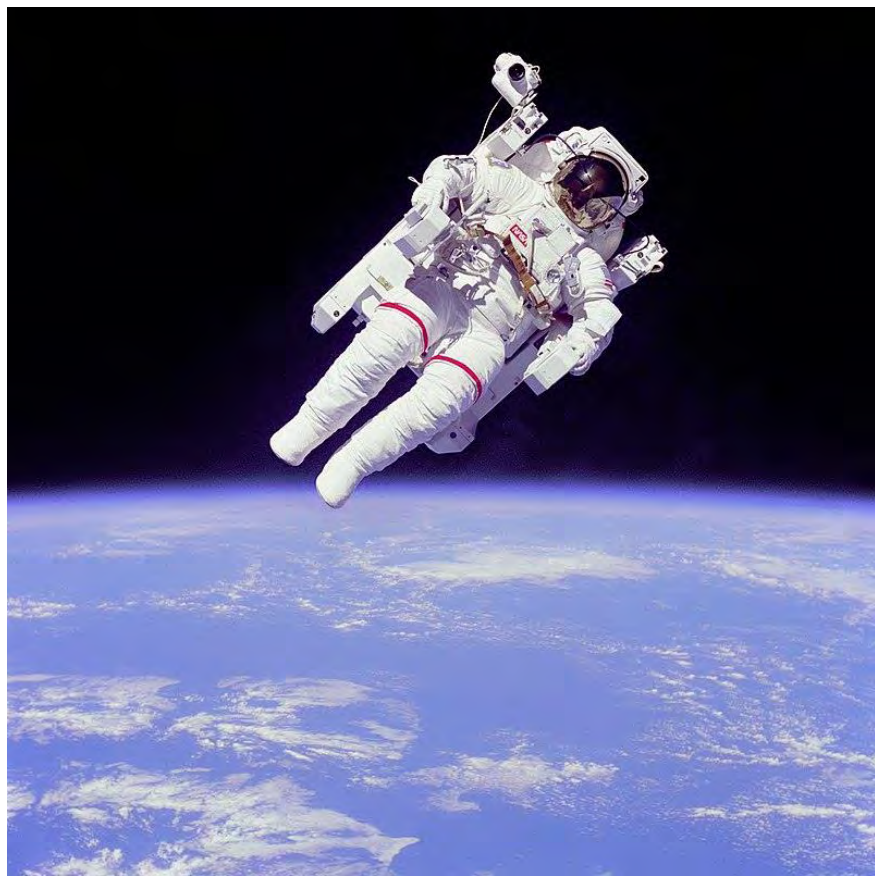


Рис. 6.2 – Космонавт у невагомості у відкритому космосі

Теоретичні дослідження та експериментальні роботи показують, що стан невагомості може позначитися як на фізичних, так і на

біологічних явищах і процесах. Зміна характеру фізичних явищ при невагомості викликають, природно, значні зміни побуту та фізіологічного стану мешканців космічного корабля.

В умовах невагомості неможливо сказати «я вище», «нижче ви», «я йду», «ви опускаєтесь»; не можна визначити, стоїть людина або лежить. Оскільки в цих умовах немає падіння, людина не потребує опори. З цієї причини стають непридатними і звичайні предмети побуту. Їх доводиться робити в значно зміненому вигляді. В умовах невагомості байдуже, в якому становищі по відношенню до осі корабля ми знаходимось, необхідно лише передбачити пристосування для закріплення тіла, так як у разі відсутності фіксації найменший рух людини буде кидати його в ту або іншу сторону. У такому ж становищі опиняться і всі інші тіла. Всі неприкріплені до ракетного корабля предмети будуть зриватися з місця при найменшому русі повітря у зв'язку з переміщенням людини і навіть його диханням. «Втрата ваги» при невагомості не означає, однак, втрату маси. Інертність тіл повністю збережеться. Тому зіткнення зі стінками корабля, предметами в кабіні може скінчитися для людини забоями та іншими прикрими наслідками.

В умовах невагомості виявляться марними багато вимірювальні прилади і апарати (гирьовий годинник, ваги, динамометри і т. д.).

К. Е. Цюлковський писав: «Вода не летіється з графіна, маятник не хитається і висить боком. Величезна маса, що підвішена на гачок пружинних ваг, не виробляє натяг пружини, і вони завжди показують нуль. Важільні терези теж виявляються марними: коромисло приймає всяке положення, байдуже і незалежно від рівності або нерівності вантажів на чашках. Золото не можна продавати на вагу. Не можна звичайними, земними способами визначити масу. Ртутний барометр

піднявся до верху, і ртуть наповнила всю трубку. Двоколінний сифон «не переливає воду». В умовах невагомості іншої уваги і способів зберігання зажадають рідини і газу, без яких, як відомо, неможливе існування людини. Не стикаючись з твердими і рідкими тілами іншої природи, будь-яка рідина буде приймати під дією сил поверхневого натягу сферичну форму. Закривши очі, людина може взагалі втратити орієнтування в просторі. При цьому можлива поява запаморочення, відчуття падіння. Умови невагомості можуть викликати і такі загальні розлади, як почуття непомірної втоми, м'язової слабкості і т. д.

Виникнення незвичайних відчуттів при невагомості пов'язано з порушенням функцій отолітового апарату, або органу рівноваги, розташованого у внутрішньому вусі, і пропріорецепторів, тобто сприймають «прилади», які закладені в м'язах, зв'язках і сухожиллях.

Отолітова мембрана маточки розташована у площині, близькій до горизонтальної, а мішечка – до вертикальної. У зв'язку з цим початок і закінчення горизонтальних рухів сприймаються переважно рецепторами маточки, а вертикальних – мішечка. Нахили голови також спричиняють "ковзання" мембрани, згинання війок і посилення деполяризації у відповідному відділі. Таким чином, за будь-якого положення голови кожна з отолітових мембран, займаючи певне положення щодо своїх рецепторних клітин, створює можливість для постійного його контролю.

Пропріорецептори чи **пропріоцептори** (від латинських слів власний, особливий і рецептори) – чутливі нервові закінчення з групи механорецепторів; розташовані в скелетних м'язах, сухожиллях, зв'язках; дають інформацію про положення різних частин тіла відносно одна одної.

До цієї ж групи факторів належить і той стан, в яке потрапить живий організм після повернення з космічного польоту. Після тривалого впливу невагомості організм потрапляє в умови, коли на

нього будуть діяти прискорення різної спрямованості. Рівень розвитку техніки не дає достатньої можливості стабілізувати падаюче тіло, яке повертається з космічного польоту, тому прискорення при поверненні тіла на Землю будуть діяти в різних напрямках. Крім цього, важливо враховувати і приймати необхідні заходи до зменшення несприятливого впливу режиму реадаптації живого організму при переході від невагомості до дії гравітаційних сил Землі на її поверхні.

6.1.3. Третя група факторів.

Третю групу складають фактори, які пов'язані з перебуванням людини в герметичній кабіні космічного корабля в польоті: штучна атмосфера корабля, особливості харчування в польоті, режим праці та відпочинку, ізоляція, різке скорочення «подразників». До цієї ж групи факторів відносяться особливості зберігання продуктів, приготування і прийому їжі, особливості забезпечення особистої гігієни (миття, прання, відправлення природних потреб) у малих замкнутих об'ємах при постійному дії невагомості.

В космічному польоті, особливо на старті, на початку польоту та при поверненні на Землю, людина піддається значним нервово-психічним навантаженням (емоціям). Нервово-психічна напруженість, у свою чергу, викликає ряд фізіологічних змін у екіпажу космічного корабля. Крім цього, перебування в захисних засобах ускладнює особисту гігієну і відправлення природних потреб організму. Перебування людини протягом тривалого часу в ізольованій кабіні обмеженого об'єму буде, безсумнівно, пов'язане зі значними труднощами психологічного порядку і вимагає серйозного вивчення і

розробки раціональних заходів щодо зниження негативного впливу зазначеного фактору. Можна вважати, що в умовах тривалого космічного польоту людина буде позбавлена більшості звичних подразників. Космонавт буде позбавлений звичного соціального середовища, більшості екстрарецептивних подразників: слухових, зорових – чорнота навколишнього простору, засіяного зірками, не дає відчуття глибини простору. У поєднанні з умовами невагомості різке обмеження звичайних подразників при порушенні звичного ритму життя (наприклад, зміни дня і ночі, праці та відпочинку) та ізоляція можуть призвести до серйозних психічних і вегетативних розладів у людини, якщо не будуть розроблені відповідні заходи, зокрема методи фізичних вправ та навантажень. В умовах космічного польоту людина відривається від звичайного соціального середовища, що викликає зниження і зміну навантаження на органи почуттів, характерних і природних для його повсякденного життя на Землі. Все це, в кінцевому рахунку, впливає на функціонування фізіологічних систем організму.

Людина в тривалому космічному польоті повинна бути функціонально сумісною з середовищем корабля, його обладнанням, а також біологічно і психологічно сумісною з іншими членами екіпажу. Будь-які відхилення у функціональній, особливо в біологічній і психологічній сумісності членів екіпажу можуть викликати зайву напруженість в організмі людини, призвести до фізіологічних зрушень у стані його здоров'я і навіть до глибокого нервово-психологічного зриву. Подібні небажані зміни не можуть не позначитися на здоров'я екіпажу, знизять його працездатність, що може призвести до невиконання програми польоту. Нарешті, необхідно враховувати особливості роботи та діяльності в невагомості. Звичайні земні

предмети, інструменти та обладнання, нормальна, робота яких залежить від земного тяжіння, зовсім не придатні в космічному польоті. Особливості роботи екіпажу в невагомості, в кінцевому рахунку, впливають на їх стан і викликають напругу в ряді фізіологічних систем.

Захворювання екіпажу в процесі польоту можуть бути викликані не тільки впливом несприятливих факторів космічного польоту, але і передполітним інфікуванням екіпажу. Брак їжі і води може виникнути через затримку повернення екіпажу на Землю. Вода та їжа може потрапити в аварійну зону космічного апарату, внаслідок чого доступ до них буде виключений. В тривалих польотах можливі випадки псування води і їжі в наслідок великих термінів зберігання. Серйозна небезпека може виникнути після посадки на Землю, якщо екіпаж не буде своєчасно виявлений і евакуйований. Несвоєчасне виявлення пілотованого космічного апарату після посадки може відбутися в результаті відмови бортових засобів пеленгації, відсутності на ньому засобів для візуального виявлення космічного апарату в нічний і денний час на суші і на воді, неправильної цілевказівки місця посадки космічного апарата наземними засобами.

У спеціальній літературі після проведення досліджень вказані часи збереження життя людини при відсутності їжі або води (в залежності від умов зовнішнього середовища).

Тривалий розвиток та існування людини на Землі виробило у нього складні і стійкі стереотипи фізіологічних і психічних функцій. У людини сформувалися ритми життєдіяльності, пов'язані з коливаннями деяких факторів зовнішнього середовища. Їх умовно називають "датчиками" часу.

Деякі види робіт в космосі потрібно проводити в період, призначений для сну. Може скластися ситуація, при якій необхідно функціонування екіпажу протягом декількох діб без сну і відпочинку, наприклад, при виникненні на борту пілотованого космічного апарату аварійної ситуації, що вимагає негайної її ліквідації. Зазначені дії можуть привести екіпаж до хворобливого стану десинхронозу.

Десинхроноз (*джетлаг*, англ. *jet lag*) – стан людини, що виникає в результаті швидкого перетину декількох часових поясів (наприклад, на літаку) і, таким чином, утворення десинхронізації біологічних ритмів. Десинхроноз також може виникати в результаті праці у різні зміни та переходу на літній або зимовий час. Після перетину декількох часових поясів порушується синхронізація фізіологічного годинника з часом на місці призначення. При цьому довжина подорожі не має значення – важлива лише кількість перетнутих часових поясів. Стан десинхрозу може тривати декілька днів. Вважається, що відновлення зі швидкістю 2/3 дня при переміщенні на один часовий пояс на схід та 0.5 днів на 1 часовий пояс на захід є прийнятним.

Як нинішні, так і особливо майбутні космічні польоти здійснюються і будуть здійснюватися переважно не окремими космонавтами, а групами космонавтів, екіпажами. Сам факт наявності малої людської групи в особливих умовах космічного польоту змушує розробляти ряд важливих проблем, що визначають ефективність діяльності цієї людської групи, вирішувати питання покращення взаємодії між людьми в польоті, максимального зниження напружень стресового характеру, які виникають в умовах польоту. Екіпаж пілотованого космічного апарату – це складний колектив, на який покладено вирішення відповідальних завдань. Його не можна розглядати як механічну суму індивідумів. В екіпаж входять люди

різних віків і професій, різних національностей, що мають свій індивідуальний життєвий досвід.

Існуючі підходи до визначення психологічної сумісності людей лише незначною мірою пом'якшують гостроту проблеми. Велика тривалість польоту, емоційні потрясіння у складних і небезпечних ситуаціях здатні повністю розхитати колектив, який на Землі здався гармонійним за складом і монолітним. Психологічний конфлікт між членами екіпажу може виникнути в будь-який час, і вчорашні друзі можуть відчувати ворожнечу одне до одного. Тому мотиваційна основа поведінки людини в кінцевому підсумку є вирішальною для стабільності функціонування екіпажу і в нормальних і аварійних режимах польоту. При виникненні психологічного конфлікту особливо велика роль командира космічного корабля. Командир повинен володіти не тільки відмінними знаннями справи, але і здатністю швидко і глибоко оцінювати обстановку, що склалася, для прийняття правильного рішення. Не менш істотні його морально-вольові якості. Слабовільний командир не зуміє у скрутні години підтримати строгість субординації в системі "Земля-командир-екіпаж", не знайде правильного підходу до членів екіпажу і може повністю випустити управління з рук.

Крім природної реакції на небезпеку учасники космічних польотів переживають почуття настороженості, що неминуче виникає при зіткненні людини з новими, невідомими раніше досвіду ситуаціями, предметами і явищами. Емоції, що виникають в нових і навіть небезпечних ситуаціях, виявляються у кожного по-різному. Деякі люди в таких випадках відчують почуття гострого страху, іноді перетворюється в паніку і відмова від діяльності (емоційний шок,

емоційний стрес). Люди іншого типу в такій самій обстановці втрачають здатності чинити розумно, доцільно, хоча продуктивність їх діяльності завжди виявляється нижчою, ніж в звичайних умовах (уповільнена реакція, помилкові дії). Є люди, які відповідають на небезпеку високою мобілізованістю, зібраністю, винахідливістю, в результаті чого їх продуктивність в порівнянні зі звичними умовами життя значно підвищується.

Космонавт з НАСА Скотт Келлі провів рік в космосі на МКС. Його спогади з приводу цієї безпрецедентної перевірки людської витримки і фізичних навантажень піднімають питання про можливості майбутніх польотів на Марс. Це був перший американський космонавт, який так довго залишався в космосі. Крім того, в цій місії використовувалася нова апаратура, яка не застосовувалася раніше, докладно фіксуюча стан екіпажу. Абсолютні космічні рекорди належать російському космонавту Геннадію Падалці, який сумарно провів у космосі 878 днів, і Валерію Полякову – він провів на станції "Мир", нині неіснуючої, 437 діб та 18 годин без перерви. Хотілось би звернути увагу читачів лише на декілька епізодів, наведених в книзі спогадів космонавта Скотта Келлі (Рис. 16), що надають яскраве уявлення хто такий космонавт, що то за професія така, про людину, яка присвятила своє життя служінню людству заради майбутнього і ціною свого здоров'я і мужності реагувала на згадані вище фактори космічного польоту, напрацьовуючи нові форми і правила поведінки людини в замкненому просторі космічної станції та виходом у відкритий космос з метою набуття новітнього досвіду майбутніх міжпланетних подорожей.

Уривок з книги: Scott Kelly «Endurance: A Year in Space, A Lifetime of Discovery Kindle Edition», October 6, 2017 – "Витривалість: рік в космосі, і все життя, повне відкриттів", 6 жовтня 2017 р.



Рис. 6.3 – Скотт Келлі всередині симулятора «Союз» перед місією.
Ця капсула стане рятувальною в разі катастрофи.
(<https://habr.com/ru/post/407759/>)

Я сиджу на чолі столу в їдальні у себе вдома, в Х'юстоні, штат Техас, і закінчую обід зі своєю сім'єю: моєю давньою супутницею Аміко, моїм братом-близнюком Марком, його дружиною, колишнім членом конгресу, Геббі Гіффордс, їх донькою Клодісей, нашим батьком Річі і моїми дочками, Самантою і Шарлоттою. Повсякденна річ – сидіти за столом, обідати разом з улюбленими людьми, які роблять це майже кожен день, не особливо замислюючись над цим. Але особисто я мріяв про це майже цілий рік.

Я так часто уявляв собі, як я буду брати участь в цьому обіді. Тепер, коли я, нарешті, присутній тут, він здається мені не зовсім реальним. Особи улюблених мною людей, яких я так давно не бачив, балаканина декількох осіб одночасно, дзвін приладів, булькання вина в келихах – все це незнайомі звуки. Навіть відчуття тяжкості, що утримує мене на стільці, здається мені дивним, і кожен раз, коли ставлю келих або кладу вилку на

стіл, частина мене шукає шматочок липучки або відрізок клейкої стрічки, яка повинна їх утримувати.

Зараз березень 2016 року, і я вже провів на Землі, після року перебування в космосі, рівно 48 годин. Я відштовхуюсь від столу і насилу намагаюся встати, відчуваючи себе як старий чоловік, що вибирається з крісла.

«Все, я більше не можу», – повідомляю я. Всі сміються і пропонують мені відпочити. Я вирушаю в напрямку спальні – 20 кроків від стільця до ліжка. На третьому кроці підлога раптом йде з під мене, і я спотикаюся об квіткову діжку. Звичайно, справа не в підлозі – це моя вестибулярна система намагається впоратися з гравітацією. Я знову звикаю до ходьби.

«Я вперше бачу, як ти спотикаєшся, – говорить Марк. – Непогано справляєшся». Колишній космонавт, Марк з власного досвіду знає, як це – повертатися на Землю. Я йду поруч з Самантою і кладу їй на плече руку, а вона посміхається мені.

Я добираюся до спальні без пригод і закриваю двері. У мене болить все тіло. Всі суглоби, всі м'язи протестують проти гнітючої гравітації. А ще мене нудить, хоча і не вирвало. Я знімаю одяг, залажу в ліжку, з задоволенням відчуваючи простирadlo, легкий тиск ковдри на тіло, пишність подушки під головою.

Саме за цим весь минулий рік я сильно нудьгував. Мені чути веселі розмови моєї сім'ї за зачиненими дверима – я давно не чув цих голосів без спотворень, викликаних телефонним зв'язком, що перескакує між супутниками. Я засинаю під заспокійливий звук їхніх розмов і сміху.

Мене будить смужка світла. Вже ранок? Ні, це Аміко йде в ліжку. Я спав всього пару годин, але я відчуваю себе дезорієнтованим. Доводиться напружувати сили тільки для того, щоб почати рухатися і сказати їй, як погано я себе почуваю. Зараз мене сильно нудить, морозить, і біль посилюється. Після попередньої місії я так себе не відчував. Це набагато гірше.

«Аміко», – нарешті вдається сказати мені. Вона стурбована, чуючи мій голос.

"Що таке?" Її рука з'являється на моєму зап'ясті, а потім на лобі.

Її шкіра здається мені прохолодною, але це тому, що мені спекотно. «Мені недобре», – кажу я.

В останній рік я провів 340 днів разом з російським космонавтом Михайлом «Мишей» Корнієнко на Міжнародній космічній станції (МКС). Ми працюємо в програмі, яка є частиною запланованої НАСА подорожі на Марс. Вона призначена для спостереження за ефектами, які виникають при тривалому перебуванні в космосі. Це вже мій четвертий політ у космос, і до кінця місії я проведу там 520 днів – більше, ніж будь-який інший космонавт НАСА. Аміко раніше вже проходила через усе це і було моєю головною підтримкою, коли я провів 159 днів на МКС в 2010-2011 роках. Тоді я теж відчував наслідки повернення на Землю, але вони і близько не підходили до того, що я відчуваю сьогодні.

Я насилу підводжуся. Знаходжу край ліжка. Спускаю ноги. Сідаю. Встаю. На кожному кроці мені здається, ніби я б'юся з рухомими пісками. Коли я, нарешті, приймаю вертикальне положення, то відчуваю страшний біль у ногах, а крім цього відчуваю щось більш страшне: як кров спрямовується вниз, до ніг. Це щось подібне відчуття, коли ви стоїте на руках, і кров приливає до голови, – тільки навпаки.

Я відчуваю, як тканини ніг набухають. Я насилу пробіраюся до ванної, переміщаючи вагу з ноги на ногу з явним зусиллям. Лівою. Правою. Лівою. Правою. Доходжу до ванни, вмикаю світло і дивлюся на ноги. Це розпухлі, чужі обрубки, а зовсім не ноги. «О, чорт, – кажу я. – Аміко, подивися». Вона стає на коліна і стискає щиколотку, і та стискається, як куля з водою. Вона дивиться вгору з хвилюванням у погляді: «Я навіть не можу намацати кістки в нозі», – говорить вона.

«Так у мене і шкіра горить», – кажу я їй. Аміко швидко оглядає мене. У мене з'явилася дивна висипка на спині, на задній частині ніг, на потилиці і шиї – скрізь у тих місцях, які стосувалися ліжка. Я відчуваю, як її холодні руки торкаються до моєї гарячої шкіри. «Виглядає, як алергічний висип, – каже вона. – Як кропив'янка».

Я роблю свої справи у ванній і пробіраюся назад в ліжко, думаючи про те, що потрібно робити. Зазвичай, прокинувшись з таким почуттям, я б поїхав в службу екстреної допомоги. Але ніхто в лікарні не бачив симптомів, що з'являються після року, проведеного в космосі. Я заповзаю назад в ліжко, намагаюся винайти спосіб лежати так, щоб не чіпати висип".

Я чую, як Аміко риеється в аптечці. Вона повертається з двома таблетками ібупрофену і склянкою води. Вона влаштовується поруч, і в кожному її русі, в кожному зітханні я відчуваю, як вона турбується про

мене. Ми обидва знали про ризики місії, на яку я підписався. Після шести років, проведених разом, я прекрасно розумію її, навіть без слів і в темряві.

Я намагаюся заснути і думаю про те, як мучиться мій друг Міша, у себе в Москві, з набряками ніг і висипом. Підозрюю, що так. Саме тому ми і підписалися на цю місію: з'ясувати подробиці того, як на людське тіло впливає тривалий космічний політ. Вчені будуть вивчати дані, отримані від Міші і від 53-річного мене все наше життя і ще після нього. Наші космічні агентства не зможуть закинути нас далі в космос, куди-небудь на Марс, поки ми не зможемо дізнатися більше щодо посилення найбільш слабких ланок, що робить можливими космічні польоти: людського тіла і розуму.

Мене часто запитують, чому я погодився на цю місію, знаючи всі ризики: ризик запуску, ризик виходу у відкритий космос, ризик повернення, ризик знаходження в металевому контейнері, що рухається по орбіті Землі зі швидкістю 28100 км/год. У мене є декілька відповідей на це питання, але жоден не задовольняє мене повністю. Ні один не дає повної відповіді.

Зазвичай місія на МКС триває від 5 до 6 місяців, тому у вчених є великий запас даних, які описують те, що відбувається з тілом людини у космосі за такий період. Але дуже мало відомо про те, що трапляється після шести місяців. Симптоми, наприклад, можуть різко погіршитися через дев'ять місяців, або ж навпаки, залишатися без зміни. Ми цього не знаємо, і є лише один спосіб з'ясувати.

Під час нашої місії ми з Мішею збирали безліч даних про себе для подальшого вивчення, що забирало чимало часу. Ми з Марком – однояйцеві близнюки, тому я також брав участь у поглибленому річному дослідженні, порівнюючи нас з ним аж до генетичного рівня. МКС була лабораторією світового класу, і крім дослідів з вивчення людини, в яких я грав роль одного з головних об'єктів вивчення, я також проводив багато часу за роботою над іншими експериментами – фізикою рідин, ботанікою, горінням і спостереженням за Землею.

Розповідаючи аудиторії про МКС, я завжди пояснюю важливість наукових досліджень, що проводяться там. Але мені було важливо ще й те, що ця станція служить опорним пунктом для нашого виду в космосі.

Звідти ми можемо більше дізнатися про те, як просуватися далі. Але як ризики, так і плата за це були високими.

В мій попередній політ на космічну станцію, що тривав 159 днів, я втратив кісткову тканину, у мене атрофувалися м'язи, моя кров перерозподілилась по тілу, в результаті чого стінки серця напружилися і стиснулися. Що гірше, у мене були проблеми із зором, як і багатьох інших космонавтів. Опромінення було в 30 і більше разів більшим, ніж у людини на Землі – воно дорівнювало приблизно 10 флюорографиям в день. Таке опромінення збільшило ризик появи смертельного ракового захворювання до кінця мого життя.

Але все це не порівняти з самим страшним ризиком: що з кимось з моїх улюблених трапиться щось жахливе, поки я буду в космосі без можливості повернутися додому.

Я був на станції вже тиждень, і в мене вже краще виходило міркувати, де я перебуваю, ніж після того, як я в перший раз прокинувся. Якщо у мене боліла голова, я знав, що це сталося через те, що я занадто далеко відплив від вентилятора, який обдував моє обличчя. Все ж таки я ще досить часто втрачав свою орієнтацію в просторі: я прокидався, будучи впевненим у тому, що перебуваю догори ногами, оскільки в темряві, без гравітації моє внутрішнє вухо будувало випадковий здогад з приводу розташування тіла в обмеженому просторі. Після включення світла я мав ілюзію, мені здавалося, що кімната швидко обертається і приймає потрібне положення навколо мене, хоча я знав, що насправді це мій мозок пристосовується до нових даних від органів почуттів.

Світла в моїй кімнаті знадобилася хвилина, щоб розігрітися до повної яскравості. Місця ледве вистачало для мене, спального мішка, двох ноутбуків, зменшки одягу, туалетних речей, фотографій Аміко і моїх дочок та кількох книжок. Я вивчив свій графік на сьогодні. Переглянув пошту, потягнувся, позіхнув, порився в мішку з приладдям, прив'язаному до стіни біля лівого коліна в пошуках зубної пасти та щітки. Почистив зуби, не вилазячи із спального мішка, проковтнув пасту і запив водою з пакетика за допомогою трубочки. У космосі спльовувати нікуди.

У мене не було можливості провести час зовні станції до настання першого з двох запланованих виходів у відкритий космос, яке відбулося лише через сім місяців після прибуття. Те, що з космічної станції не можна

вийти, коли тобі захочеться – це одна з тих речей, які важко уявити собі людям. Процедура надягання скафандра і виходу в космос займає багато годин, вимагає повної уваги, щонайменше, трьох людей на станції, і десятків – на Землі.

Вихід у відкритий космос – найнебезпечніше з усього, чим ми займалися на орбіті (Рис 17).



Рис. 6.4 – Скотт Келли (зліва) виконує небезпечний вихід у космос з МКС.
(<https://habr.com/ru/post/407759/>)

Навіть якби станція загорілася, якщо б вона заповнилася отруйним газом, якби метеор прошив житловий модуль і всередину рвався б зовнішній космос – єдиним способом втекти зі станції була капсула «Союз», для старту якої теж потрібно багато планування і підготовки. Ми регулярно тренували свої дії в надзвичайних умовах, і в багатьох випадках ми намагалися підготувати «Союз» до пуску як можна швидше. Нікому ще не доводилося використовувати «Союз» як рятувальний шлюп, і всі сподівалися, що й не доведеться.

Я відкрив контейнер з їжею, прив'язаний до стіни, і виловив пакетик зневодненої кави з вершками та цукром. Я підплив до кип'ятильнику, розташованому в стелі лабораторії, який наливав окріп, якщо вставити

голку в спеціальний наконечник в пакеті. Коли він наповнився, я замінив голку трубочкою для пиття – у цьому випадку рідина не зможе розлитися в модулі. Спочатку було дивно неприємно пити каву через трубочку з пластикового пакетика, але тепер мене це вже не хвилює.

Я переглянув варіанти сніданку, розшукуючи пакетик граноли, яка мені подобалася. Нажаль, вона подобалася і всім іншим. Довелося вибрати зневоднені яйця і відновити їх з того ж кип'ятильника, і розігріти сосиски в коробці для розігрівання їжі, яка виглядала як металевий портфель. Я розрізав пакет, потім, оскільки мийки у нас не було, очистив ножиці, облизавши їх (у кожного з нас свої ножиці). Ложкою я дістав яйця з мішечка і розташував їх на коржіку-тортиль – добре, що поверхневий натяг утримувало їх на місці – додав сосиски, соус, загорнув і з'їв все це разом, спостерігаючи ранкові новини з CNN.

Під час цього процесу я тримався на одному місці, засунувши палець ноги під поручень на підлозі. Поручні були розставлені на стінах, підлогах і стелях кожного модуля, а також у люків, які поєднували модулі, що дозволяло нам запускати себе в політ по модулям, або залишатися на місці, не спливаючи з нього. Безліч особливостей життя в невагомості були цікавими, але тільки не їжа. Я нудьгував по можливості сидіти на стільці під час їжі, розслаблятися і робити паузи для бесід з іншими.

У цій експедиції на МКС було проведено понад 400 експериментів. Вчені НАСА поділяли дослідження на дві великих категорії. Перша була пов'язана з дослідженнями, здатними принести користь життя на Землі. Сюди входили дослідження властивостей хімікатів, які можна використовувати в нових ліках, властивостей горіння - для більш ефективного використання палива, і розробки нових матеріалів. Друга категорія вирішувала проблеми майбутніх досліджень космосу: перевірки нового обладнання для підтримки життя, вирішення технічних завдань космічних польотів і вивчення нових способів задоволення запитів людського тіла в космосі.

Наука займала близько третини мого часу, і вивчення людини – три чверті від цієї кількості. Мені потрібно було брати зразки своєї крові і крові моїх колег, які потім будуть аналізувати на Землі, я вів щоденник про все, від їжі, яка поїдається до перепадів настрою. Я перевіряв свою реакцію в різний час дня. Я робив УЗД кров'яних судин, серця, очей і

м'язів. Також я брав участь у експерименті з переміщенням рідин у тілі – спеціальний пристрій перекачував кров в нижню частину мого тіла, де зазвичай вона утримується гравітацією. Це була перевірка провідної теорії, що пояснює проблеми із зором у деяких космонавтів.

Але насправді дослідження з цих двох категорій часто перетиналися. Якщо ми зможемо дізнатися, як запобігти руйнівний ефект втрати кісткової маси в мікрогравітації, рішення потім можна буде застосовувати для лікування остеопорузу та інших захворювань кісток. Якщо можна з'ясувати, як підтримувати серце в космосі здоровим, це знання може стати в нагоді і на Землі.

Вплив життя в космосі дуже схожий на вплив старіння, якому піддаємося ми всі. Ми вирощували салат-латук, вивчаючи майбутнє космічних подорожей – у космонавтів, що прямують до Марса, із свіжої їжі буде тільки те, що вони самі виростять – але це також мало навчити нас тому, як ефективно вирощувати їжу на Землі. Замкнута система водного забезпечення на МКС, де ми обробляємо нашу сечу і перетворюємо її в чисту воду, буде критичною для польотів на Марс, але у неї є і багатообіцяючі можливості застосування для обробки води на Землі – особливо в тих місцях, де бракує чистої води.

Я сказав хірургу, який фіксує стан здоров'я космонавтів, Стіву, що я досить добре себе почуваю, щоб приступити до роботи відразу після повернення з космосу, так і було – але через кілька днів я відчув себе набагато гірше. Ось, що буває, коли дозволяєш використовувати своє тіло в наукових цілях. Я буду піддослідним об'єктом до кінця життя. Але через кілька місяців після повернення на Землю я вже відчував себе набагато краще. Я їздив по країні і по світу, розповідаючи про час, проведений в космосі. Приємно дивитися, як людям цікава моя місія, скільки дітей інстинктивно відчують інтерес і думають про польоти в космос, і скільки людей разом зі мною вважають, що черговим нашим кроком буде Марс.

Також я знаю, що якщо ми забажаємо летіти на Марс, це виявиться дуже, дуже складним завданням і буде коштувати дуже дорого як в грошах, так і, ймовірно, в людських життях. Але тепер я знаю, що якщо ми вирішимо це зробити – ми зможемо.

Отже, істотною відмінністю професії космонавта від інших професій є наявність комплексу факторів космічного польоту. Ці фактори, будучи відмінними від земних, діють відповідно негативно на організм людини, змушуючи його (і тих, хто здійснює його підготовку) вживати спеціальні заходи (технічні, психологічні, медичні) для забезпечення виконання польотного завдання за умови збереження здоров'я космонавта як на період польоту, так і в наступні часи.

Розділ 7. КОСМІЧНЕ СМІТТЯ.

7.1. Відомості про космічне сміття.

Службами контролю космосу зафіксовані та безперервно відслідковуються більше 10 000 об'єктів, які знаходяться на навколоземних орбітах. В офіційні каталоги занесені біля 8 000 об'єктів, включаючи приблизно 600 діючих супутників на навколоземних орбітах. На початку космічної ери в 1957 році на навколоземній орбіті було лише два космічні апарати, на сьогодні кількість космічних об'єктів зросла до 20558, з яких 2443 – діючі. За 10 наступних років на орбіті, як передбачається, вже буде 38000 космічних апаратів. Така кількість супутників створить значне навантаження на технічні засоби вже наявних (державних і комерційних) наземних сегментів та підвищить вимоги до нових, які будуть створюватися паралельно з розгортанням нових сузір'їв супутників.

Необхідність заходів щодо зменшення інтенсивності техногенного засмічення космосу стає зрозумілою при розгляді можливих сценаріїв освоєння космосу в майбутньому. Існують оцінки, так званій «каскадний ефект», який в середньостроковій перспективі може виникнути від взаємного зіткнення об'єктів і часток «космічного сміття» (Рис 7.1). При екстраполяції існуючих умов засмічення низьких навколоземних орбіт (НЗО), навіть з урахуванням заходів щодо зниження в майбутньому числа орбітальних вибухів (42% всього космічного сміття) та інших заходів щодо зменшення техногенного засмічення, цей ефект може в довгостроковій перспективі призвести до катастрофічного зростання кількості об'єктів орбітального сміття на

НЗО та, як наслідок, до практичної неможливості подальшого освоєння космосу. Передбачається, що «після 2055 процес саморозмноження залишків космічної діяльності людства стане серйозною проблемою».

В даний час в районі низьких навколосеземних орбіт аж до висот близько 2 000 км знаходиться, за різними оцінками, близько 300 тис., за даними Управління ООН з питань космічного простору, техногенних об'єктів загальною масою до 5000 тон.



Рис. 7.1– Фрагмент утворення космічного сміття.

На основі статистичних оцінок робляться висновки, що загальне число об'єктів подібного роду (поперечником більше 1 см) досить невизначене і може досягати 60000 – 100000. З них тільки близько 10% (близько 8600 об'єктів) виявляються, відстежуються і каталогізуються наземними радіолокаційними і оптичними засобами і лише близько 6%

об'єктів, які відслідковуються, діючі. Близько 22 % об'єктів припинили функціонування, 17% представляють собою відпрацьовані верхні щаблі й розгінні блоки ракет-носіїв, і близько 55% – відходи, технологічні елементи, супутні запусків і уламки вибухів і фрагментації. Більшість цих об'єктів знаходиться на орбітах з високим нахилом, площини яких перетинаються, тому середня відносна швидкість їх взаємного прольоту становить близько 10 км/с. Внаслідок величезного запасу кінетичної енергії зіткнення будь-якого з цих об'єктів з чинним космічним літальним апаратом може пошкодити його або навіть вивести з ладу. Прикладом може послужити перший випадок зіткнення штучних супутників: Космос-2251 і Iridium 33, що трапився 10 лютого 2009 року. В результаті обидва супутника повністю зруйнувалися, утворивши понад 600 уламків. Ефективних заходів захисту від об'єктів космічного сміття розміром більше 1 см в поперечнику практично немає.

Найбільш засмічені ті області орбіт навколо Землі, які найчастіше використовуються для роботи космічних апаратів. Це НЗО, геостаціонарна орбіта (ГСО) і сонячно-синхронні орбіти (ССО). Внесок у створення космічного сміття по країнах: Китай – 40 %; США – 27,5 %; Росія – 25,5 %; решта країн – 7%.

Ефективних практичних заходів щодо знищення космічного сміття на орбітах понад 600 км (де не позначається очищаючий ефект від гальмування об атмосферу) на теперішньому рівні технічного розвитку людства не існує. Хоча в ряду інших розглядався, наприклад, проект супутника, який буде шукати уламки і випаровувати їх потужним лазерним променем або наземний лазер, який повинен гальмувати уламки для входу і подальшого згоряння їх в атмосфері, або

апарат, який буде збирати сміття для його подальшої переробки. Разом з тим актуальність завдання забезпечення безпеки космічних польотів в умовах техногенного забруднення навколоземного космічного простору (НКП) і зниження небезпеки для об'єктів на Землі при неконтрольованому входження космічних об'єктів в щільні шари атмосфери і їх падінні на Землю стрімко зростає. Тому для забезпечення вирішення цієї проблеми міжнародне співробітництво з проблематики «космічного сміття» розвивається за такими пріоритетними напрямками:

- екологічний моніторинг НКП, включаючи область геостационарної орбіти (ГСО);

- спостереження за «космічним сміттям» і ведення каталогу об'єктів «космічного сміття»;

- математичне моделювання «космічного сміття» і створення міжнародних інформаційних систем для прогнозу засміченості НКП, її небезпеки для космічних польотів, а також інформаційного супроводу подій небезпечного зближення космічного об'єкту та їх неконтрольованого входу в щільні шари атмосфери;

- розробка способів і засобів захисту космічних апаратів від впливу високошвидкісних частинок «космічного сміття»; розробка та впровадження заходів, спрямованих на зниження засміченості НКП.

Геостационарна орбіта (ГСО) – кругова орбіта, на якій штучний супутник, обертаючись у напрямку обертання Землі, постійно перебуває над однією й тією ж точкою земної поверхні.

У 2014 році міжнародну космічну станцію тричі переміщували через ймовірне зіткнення з космічним сміттям. Колишній вчений NASA Дональд Кесслер нещодавно заявив, людство досягло

«критичної щільності». Досить великі об'єкти в космосі стикаються один з одним і створюють дрібне сміття швидше, ніж його можна буде видалити.

Звідки береться сміття у космосі? Сміття у космосі, як і на Землі, є результатом безпосередньої діяльності людини. Були випадки, коли люди губили у космосі речі. Наприклад, астронавт Пірс Селлерс під час роботи у відкритому космосі загубив свій шпатель. Це сталося у 2006 році. Але скільки речей треба загубити, щоб у космосі літали понад 20 тисяч габаритних предметів до 10 см? Далеко не все сміття, яке літає на орбіті (Рис.7.2), загубили астронавти.



Рис. 7.2 – Космічне сміття.

Люди навіть навмисно запускали туди об'єкти, які з точки зору екології є сміттям, але створювали чудову рекламу для компанії, яка інакше коштувала б в рази більше. Так, про автомобіль Tesla з манекеном на борту, який запустив у космос Ілон Маск та його компанія SpaceX, не говорив хіба що лінивий (Рис. 7.3).

Але всі космонавти разом не змогли б забруднити аж настільки космос. Засмічення це результат запуску шаленої кількості супутників як цивільних, так і військових, починаючи з 1957 року. Тоді в Радянському Союзі запустили перший супутник. Над ним працював Сергій Корольов з колегами. І цей апарат, хоча й не працює, все одно кружляє довкола Землі.



Рис. 7.3 – За кермом автомобіля Tesla сидить манекен в скафандрі, на приладовій панелі машини міститься напис Do not Panic, а з динаміків грає пісня Space Oddity Девіда Боуї. В автомобілі встановлені камери спостереження, які надсилають з космосу епічні знімки. У космос машину вивела найпотужніша ракета-носіє Falcon Heavy компанії SpaceX. Метою польоту було відправити електрокар в напрямку орбіти Марса.

Наші мобільний зв'язок, інтернет, навігатори машин, кораблів та літаків, оборонні комплекси країн працюють через супутники та радары. Без усіх цих речей нам складно уявити своє життя, але сміття може збити супутник і виникнуть проблеми зі зв'язком. Чим більше сміття, тим більше зіткнень і, як наслідок, ще більше уламків.

Колись людство вважало, що можна викидати сміття у космос.

Півсторіччя тому людство вірило, що космос не має кінця і викидати в нього можна будь-що. Коли почали запускати космічні апарати в космос, починаючи з 60-х років, ніхто не ставив питання, що робити потім з усім тим, що буде рухатися по орбіті, тому що існувала теорія безмежного неба. Вона полягала в тому, що скільки б туди не спрямували космічних апаратів, коли вони вийдуть з ладу, вони вийдуть на дальню орбіту і ніколи не зіштовхнуться.

Дональд Кесслер розробив трохи згодом іншу гіпотезу, пізніше її назвали на його честь «Синдромом Кесслера». Вчений спрогнозував, як і чому зросте кількості сміття та передбачив сучасний стан речей.

Синдром Кесслера (також – **Ефект Кесслера**; англ. *Kessler's syndrome or effect*) – гіпотетичний розвиток подій на навколоземній орбіті, коли космічне сміття, що з'явилося внаслідок численних запусків штучних супутників, призводить до цілковитої непридатності ближнього космосу для практичного використання. Вперше такий сценарій детально описав консультант Національного управління з аеронавтики та дослідження космічного простору Дональд Кесслер.

Будь-яке сміття, яке буде знаходитися на орбіті, буде подвоюватися. Коли більші шматки, більші уламки зіштовхуються з іншими уламками, вони утворюють більшу кількість, але дрібніших. У найближчі 100, 50, а може, і 20 років (чіткої цифри сьогодні ніхто спрогнозувати не може) може виникнути навколо Землі пояс з дрібніших уламків. Навіть один сантиметр космічного сміття вщент розбиває супутник.

Виявилось, сміття не просто летить в космічному просторі, а під впливом сили тяжіння Землі обертається, як пояс, навколо планети,

захарашуючи шлях в космосі. Проте людство не надто непокоїться і зараз. Недавно Китай здійснив 39 запусків. Це більше, ніж будь-яка інша країна. Лише один з них був невдалим. США у 2016 році здійснили на 5 запусків менше. При цьому у 2016 році США витратили на свою космічну програму 36 мільярдів, а Китай – менше ніж 5 мільярдів доларів. Китай працює над створенням космічного ліфта і багаторазових ракет-носіїв. Там приватна компанія здійснила всього один запуск, і то невдалий.

В Америці найближче до створення економічно ефективної ракети підбираються приватні компанії, зокрема SpaceX Ілона Маска. Цей винахідник та підприємець планує колонізувати Марс та роздавати безкоштовний Інтернет по всій Землі. Тож у травні 2020 року його компанія запустила 60 супутників. Всього їх має бути 12 тисяч. Їх виводять на нижню орбіту. Там, після закінчення їх строку роботи, супутники мають впасти та згоріти в атмосфері. До речі, такі падіння великих об'єктів, що палають, вже спостерігали в Австралії та в інших країнах.

7.2. Як можна очистити космос від сміття?

Найбільша складність боротьби зі сміттям у космосі – це швидкість його руху (27 тисяч кілометрів на годину). Якщо цю проблему вирішити, можна буде говорити про спуск сміття на землю або виштовхування його у далекий космос.

Дослідники космосу працюють над програмами очищення орбіти від сміття. Транспортний корабель Dragon компанії SpaceX відправив у космос «космічного прибиральника».

Dragon – космічний апарат, розроблений компанією SpaceX з Хоуторна, Каліфорнія. У грудні 2010 року він став першим приватним космічним кораблем, виведеним на орбіту. Першочерговим завданням корабля «Dragon» є доставка вантажів NASA для Міжнародної космічної станції та їх повернення. «Dragon» був розроблений так, щоб він міг перевозити до семи чоловік, або космонавтів і вантажі, з низької навколоземної орбіти. Ці рейси проходять в рамках програми «Комерційних Орбітальних перевезень (COTS)». За цією програмою SpaceX підписала контракти щодо Commercial Resupply Services на 20 польотів (перша фаза програми CRS). Теплозахисний екран Dragon витримує швидкості і нагрів під час входження в атмосферу Землі, а також майбутніх місячних і марсіанських космічних польотів. Його створення частково фінансується з коштів, отриманих у рамках Угоди з NASA щодо Комерційних Орбітальних перевезень.

Китай пропонує знищувати космічне сміття за допомогою спеціальних лазерів. А вчені Європейського космічного агентства запропонували використовувати космічні магнітні «буксири». Нещодавно британський супутник успішно викинув сітку для космічного сміття. Вчені спробували загарпунити великі шматки та об'єкти у відкритому космосі. Вони моделювали різні ситуації, дехто пропонував спалювати сміття лазером з Землі, проте інші відкинули цю ідею, бо в такий спосіб знищиться і техніка, яка працює.

Була ідея створювати умовні сміттєпереробні заводи на орбіті, які будуть якимось чином це сміття ловити та переробляти прямо у космосі. Однак це сьогодні на межі фантастики. Була ідея запустити ракету, наповнену водою. Ракета мала б вибухнути, досягнувши орбіти, а вода утворила величезну кригу разом зі сміттям, яку б

можливо зіштовхнути з орбіти. Нажаль, однозначного рішення, що робити зі сміттям, на сьогодні немає.

За офіційними даними, у космосі зараз зібралося вже понад 8 тон космічного сміття. Тож проблема буде актуальною і надалі. А поки космічні об'єкти каталогізують. Є спеціальний каталог, куди занесені об'єкти понад 10 сантиметрів. Сьогодні можна маневрувати між великими об'єктами. А коли це дрібне сміття, як пісок, то важко маневрувати. Для того щоб визначити чиє це сміття, потрібно з'ясувати, кому до того належали такого роду супутники. США, ЄС та Росія ведуть свої каталоги. У жоден каталог не потрапляють військові розробки та супутники. Країни не лише відправляють супутники, а й тренуються їх збивати. У 2007 році Китай став третьою після США і Росії країною, яка продемонструвала здатність знищувати об'єкти на земній орбіті. Вважається, що у випробуваннях брала участь балістична ракета середньої дальності та наземного базування. Тоді Китай знищив власний супутник для спостережень за погодою. Світова спільнота засудила такі випробування, а Китай у відповідь заявив, що в такий спосіб протистоїть мілітаризації космосу і будь-яким формам гонитви озброєнь. Три роки тому Китай запустив на орбіту апарат, призначений для переміщення космічного сміття, наприклад старих супутників.

За даними NASA, на орбіті Землі перебуває понад 20 тисяч уламків розміром з грейпфрут і більше. Число уламків меншого розміру становить не один мільйон. Проте є побоювання, що такі апарати можуть використовувати для виведення з ладу ворожих супутників у випадку війни. Знайти власників військових об'єктів, які віджили своє, майже неможливо. Часто військові космічні об'єкти не реєструються в глобальному реєстрі, який веде Генеральний секретар ООН, проте їх

все ж можуть виявити радары на Землі чи в космосі, тому від них можна маневрувати іншим космічним об'єктам, але встановити, чи це сміття, чи активний об'єкт вже складніше. А коли такі об'єкти набудуть ознак космічного сміття, досить проблематично провести всі процедури попередніх консультацій, адже юридично встановити власника такого сміття може бути складно, так само, як і отримати від них дозвіл на видалення.

Чи зобов'язаний хтось видаляти сміття з орбіти? Космічне сміття скеровується виключно законами фізики. В Договорі про космос є положення, за яким держави-учасниці угоди повинні уникати шкідливого забруднення космічного простору, проте в науковій літературі доводять, що забруднення стосується більше питань ядерної енергії, і аж ніяк не сміття як такого. Проте є правила, за якими країна повинна мінімізувати розпад об'єктів, обмежити можливість зіткнень, навмисно не руйнувати супутники, не залишати надовго ці об'єкти в навколоземній орбіті після того, як термін їх експлуатації завершився. Відповідальність на окрему державу чи держави не покладають. Є низка вимог щодо особливостей конструкції, яку виготовляють виробники космічної техніки. Наприклад, потрібно мінімізувати відділення частинок під час виводу об'єктів на космічну орбіту, вжити правильний матеріал.

Міжнародне законодавство не регулює, чи повинен сплачувати виробник за утилізацію космічних об'єктів, чи країна, чи світова спільнота загалом. Наразі популярною стала ініціатива – створити фонд під егідою ООН, який відповідатиме за видалення сміття.

Поки вирішити проблему швидко не вдасться, так само, як не вдається вирішити проблему глобального потепління. Допоки країни

женуться за найсучаснішим космічним озброєнням, кількість сміття на орбіті тільки зростатиме. Так, першу китайську орбітальну станцію запустили у 2011 році (Рис. 7.4). На ній могли перебувати астронавти протягом декількох днів. Сюди прилетіла перша китайська жінка-астронавт Лю Ян. Закрили станцію в березні 2016 року. Через два роки вона згоріла в атмосфері над Тихим океаном. У тому ж 2016 році Китай запустив нову станцію, але поки у неї немає постійного екіпажу – повністю ввести її в експлуатацію планують до 2022 року.



Рис. 7.4 – Міжнародна космічна станція виробництва Китаю.

Не відстає й Індія, в неї є своя Організація космічних досліджень і розробок. Два роки тому ця країна вивела на орбіту 104 супутники. А 20 серпня 2020 року вона вивела станцію на орбіту Місяця. Ситуацію може покращити зростання економічного інтересу до освоєння космосу.

Американське оборонне агентство DARPA почало інвестувати в незвичний для нього проект – створення гарпуна для захоплення супутників, що вже відпрацювали.

Агентство передових оборонних дослідницьких проєктів (DARPA) (англ. *Defense Advanced Research Projects Agency*) – агентство Міністерства оборони США, що відповідає за розробку нових технологій для використання в збройних силах США.

Ідея створення такого пристрою належить компанії Star Inc. Науковці пропонують вивести на орбіту дванадцять супутників – «електродинамічних ліквідаторів» (Electrodynamic Debris Eliminator – EDDE) (Рис. 7.5), які озброєно великими сітками та гарпунами.

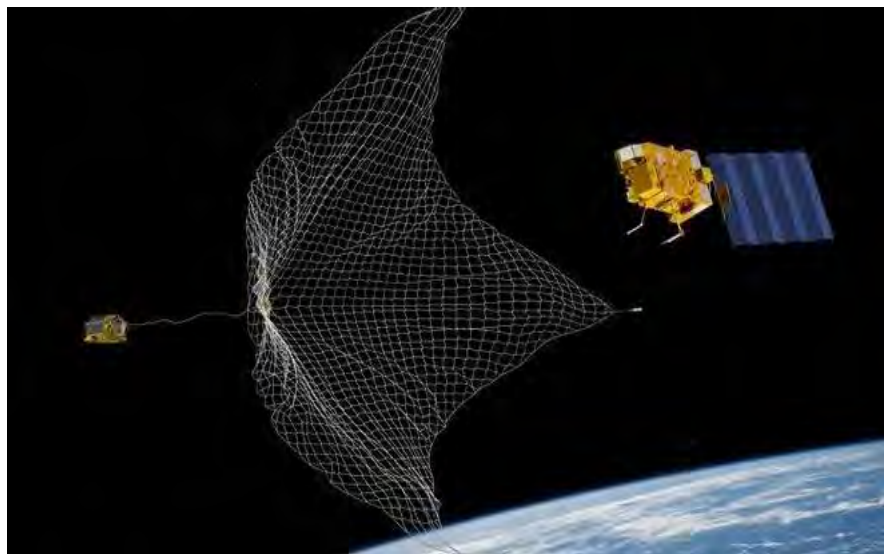


Рис. 7.5 – Електродинамічний ліквідатор.

Передбачається, що за 7 років роботи вони зможуть зібрати близько 2,5 тис. об'єктів вагою понад 2 кг. Технологія EDDE дозволить відправити сміття на дно Тихого океану, «спалити» в атмосфері або забезпечити їх перероблення.

Американська корпорація Global Aerospace винайшла нестандартне рішення боротьби з космічними відходами. В основі методу – ідея транспортування сміття в атмосферу Землі, де воно з великою часткою ймовірності швидко згорить. Як буксир учені запропонували використати величезні повітряні кулі – Gossamer Orbit Lowering Device, або GOLD («Легкий, як павутинка, пристрій зниження орбіти») (Рис. 7.6). Уперше свій винахід Global Aerospace презентувала на конференції з астродинаміки «Astrodynamics Specialist Conference» у 2010 р.

Кулі GOLD пропонують виготовляти з надтонкого, але міцного матеріалу. Діаметр становитиме 37 метрів. Зазначимо, що до цілі призначення їх збираються виводити складеними. Науковці заявили, що загальна вага коробки з кулею та пристроєм для надування становитиме 36 кг.



Рис. 7.6 – Кулі GOLD.

Після зустрічі з мішенню-сміттям GOLD прикріплюється до об'єкта. Наступний етап – природне збільшення сили тертя цього тандему, що посприяє зниженню швидкості та подальшому входженню в щільні шари атмосфери.

Недоліком такого методу вчені вважають обмеженість дії – очистити навколоземний простір за допомогою куль можна буде лише на низьких орбітах – до 2000 км. Проте саме тут і спостерігається найбільша засміченість. Серед головних переваг цих «санітарів» – невеликі фінансові витрати на виготовлення та можливість розміщувати GOLD на ракетах, що летять у своїх справах.

У 2017 році NASA надала каліфорнійській компанії Aerospace Corporation гроші на розроблення міцних і супертонких «ковдр» Brane Craft (Рис. 7.7) для обволікання космічного сміття. Площа такого пристрою становить близько 10 м^2 , а товщина менша, ніж людська

волосина. Їхнє головне завдання – виловлювання сміття, а також його подальше спускання в атмосферу.

Наразі Aerospace Corporation перебувають на стадії вибору матеріалу для «ковдра», однак вони вже визначилися, що конструкція Brane Craft буде модульною (завдяки цьому можна в будь-який момент замінити пошкоджену ділянку). Також пристрої планують укомплектувати як сонячними батареями, так і паливом для експериментальних іонних двигунів NASA.

Учені хочуть найближчим часом запустити на низьку навколоземну орбіту декілька десятків таких пристроїв. Планують, що на початковому етапі кожна ковдра виловлюватиме до 1 кг відходів. У NASA заявили, що в 2019 р. публіці покажуть перший зразок Brane Craft. На початку 2018 р. Цюань Вень та його колеги з Інженерного університету ВПС Китаю запропонували новий метод очищення космічного простору.

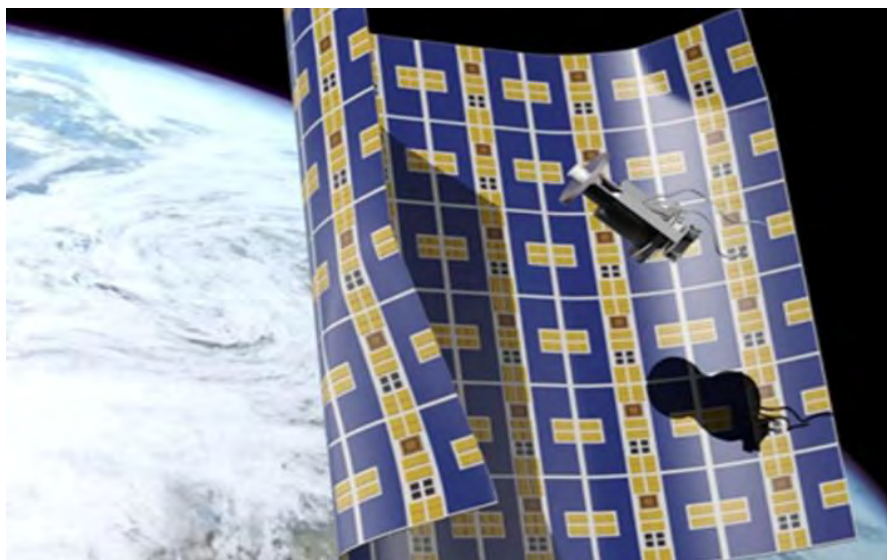


Рис. 7.7 – «Ковдра» Brane Craft для обволікання космічного сміття.

Вони планують випаровувати або розбивати непотрібні об'єкти за допомогою лазера (Рис. 7.8).

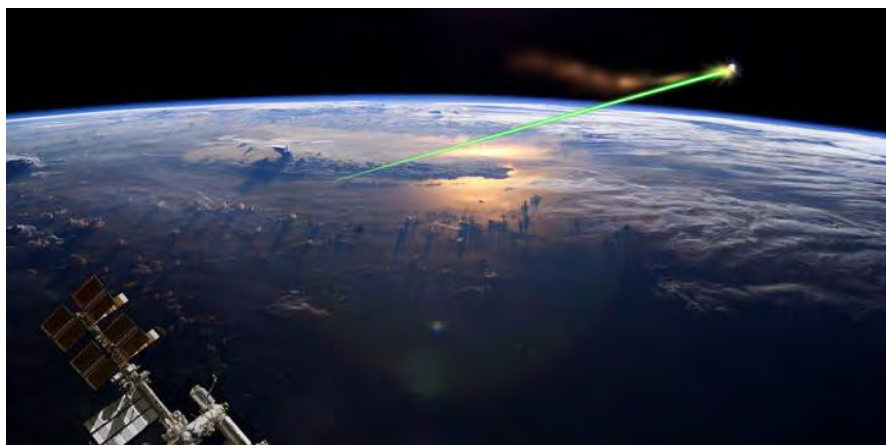


Рис. 7.8 – Лазерне знищення космічного сміття.

Цю ідею вже давно виношували багато винахідників. Однак досі вона була із сфери фантастики: ніхто не розумів, як відстежувати ціль і наводити приціл. На жаль, і в представників Китаю є нестикування. Вони змогли побудувати цікаву комп'ютерну модель і довели, що орбіти «зброї» і сміття мають бути розташовані на одній площині, а також вибрали мішенями уламки понад 10 см. Обстріл планують вести з періодичністю 20 пострілів на секунду. Унаслідок цього сміття має або згоріти, або змінити свою швидкість і поступово «впасти» в атмосферу.

Проте вони не продумали, що для роздроблення такого великого за космічними мірками сміття знадобиться дуже сильний лазер, а це вже буде вважатися зброєю. А як відомо, міжнародним правом заборонено використання космічної зброї. Також незрозуміло, чим житиметься такий потужний пристрій. Зрозуміло одне – винахідники

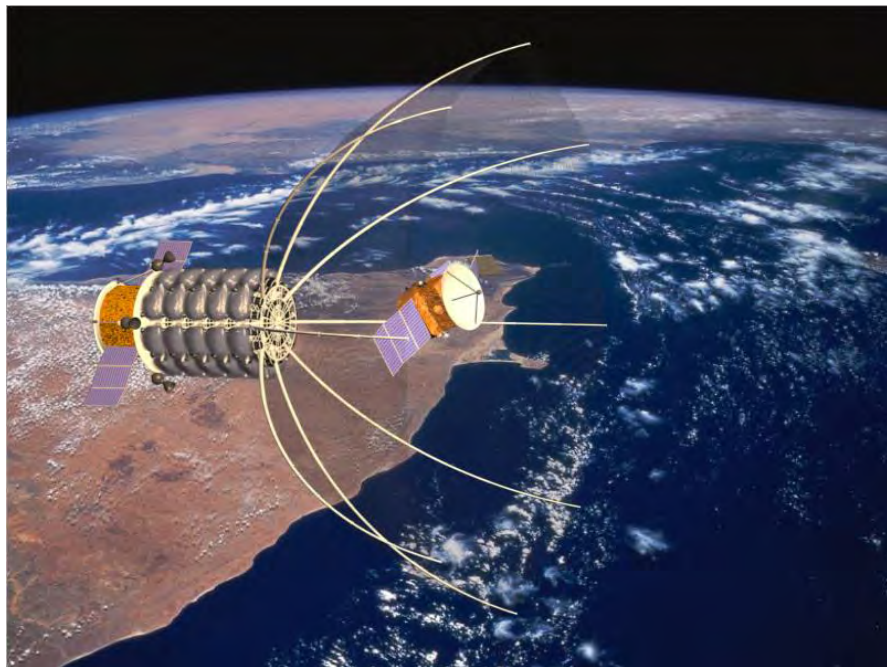
лазера тільки на початку свого шляху, і наразі невідомі всі тонкощі нового космічного очищувача.

Досі на орбіту Землі не виведено жодного сміттєзбирача. Учені й далі вирішують головну проблему – як зробити пристрій таким, щоб не пошкодити під час «збирання» супутники, які функціонують (Рис. 7.9 а, б, в, г).

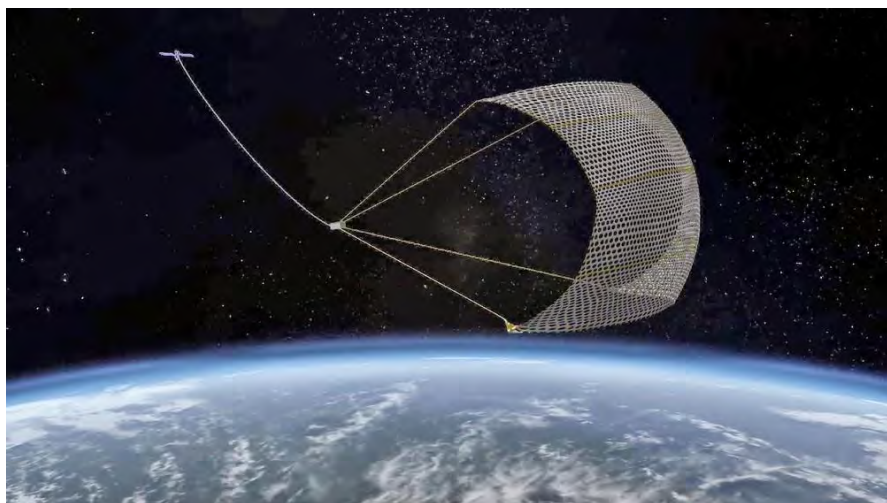
Інші фахівці порушують питання профілактики засмічення космосу. По-перше, вони пропонують робити супутники більш довговічними, а по-друге, збільшити їхню маневреність. Також NASA та ESA зараз серйозно підійшли до створення каталогу орбіт усіх космічних уламків, що надалі сприятиме зменшенню ймовірності зіткнення супутника або МКС із відходами.



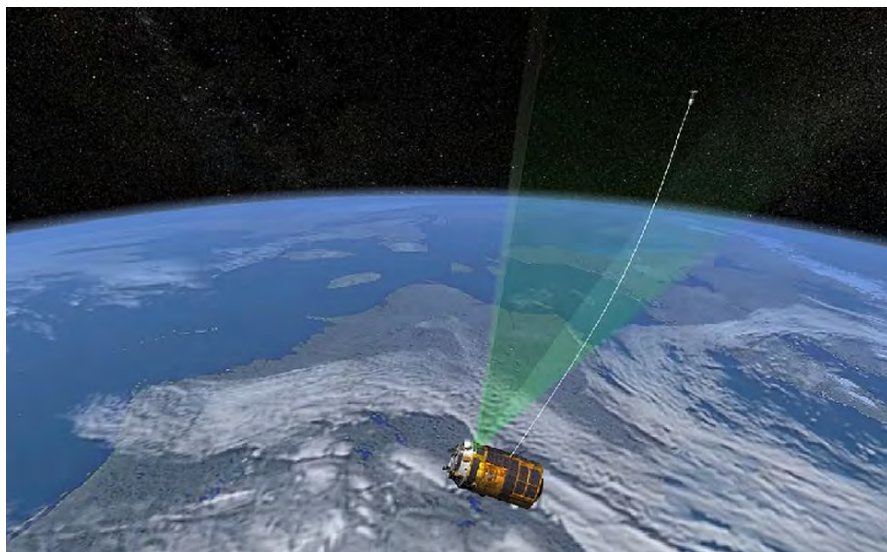
а)



б)



в)



г)

Рис. 7.9 – Проекти вилучення космічного сміття з навколоземного космічного простору.

Підсумовуючи інформацію з приводу космічного сміття слід сказати, що головним фактором сьогодення є час, ідей багато, а реалізацій поки що немає, отже потрібно чекати революційного прориву у цій галузі. Наразі маємо лише погіршення екологічного стану навколишнього космічного простору та практичну реалізацію «Синдрома Кесслера», але навіть такі несприятливі не зупиняють його активне дослідження, цивілізація має рухатись уперед.

Розділ 8. МІЛІТАРИЗАЦІЯ КОСМОСУ. КОСМІЧНА УТИЛІЗАЦІЯ ЯДЕРНИХ ВІДХОДІВ. КОСМІЧНИЙ ЛІФТ.

8.1. Суперництво наддержав. Космічне озброєння.

Поки в космосі немає зброї, однак її поява там не виключена, оскільки Міжнародні угоди недосконалі. Вже сьогодні все більше країн застосовують супутники в військових цілях. Військово-космічна діяльність це використання космонавтики у військовій справі і також використання космічного простору або його окремих областей в якості театру війни. У космосі стає тісно. На навколоземній орбіті сьогодні тільки діючих супутників близько 1000, не кажучи вже про космічне сміття. Супутники посилають телевізійні сигнали, допомагають автомобілістам впоратися з хаосом на дорогах, синхронізують діяльність світових фінансових ринків, спостерігають за погодою і виконують безліч інших завдань.

Міжнародне співтовариство допускає використання супутників у військових цілях лише за умови, що це сприяє підтримці миру. Так, за оцінками Інституту ООН з дослідження проблем роззброєння (UNIDIR – United Nations Institute for Disarmament Research), супутники-шпигуни сприяють стабільності обстановки в Південно-Східній Азії, оскільки з їх допомогою Пакистан і Індія можуть спостерігати за військовими пересуваннями противника. Але з посиленням стратегічного значення супутників зростає і спокуса нейтралізувати їх. У 2007 році Китай в якості експерименту збив ракетою власний метеорологічний супутник, що стало предметом гострої критики з боку

США. А рік потому Сполучені Штати знищили ракетним ударом пошкоджений супутник – що викликало протести Китаю. Можливості супутників використовують і армії різних країн. Наприклад, уже майже два роки бундесвер володіє двома супутниками зв'язку, що дозволяють вести захищені від прослуховування телефонні переговори, відеоконференції і виходити в Інтернет без будь-якого ризику. В області навігації в Німеччині все ще використовують американську систему GPS – Global Positioning System. Однак стратегічне значення цієї сфери настільки велике, що Європа, так само як Росія і Китай, розробляє власну систему.

BBC США в 2010 році в умовах найсуворішої таємності вивели на орбіту безпілотний космічний корабель багаторазового використання X-37b 9 (Рис.8.1). Що саме X-37b робив в космосі сім з половиною місяців, так і залишилося таємницею. Міжнародною спільнотою було припущено, що корабель був створений для транспортування космічної зброї на орбіту. Інститут ООН з дослідження проблем роззброєння (UNIDIR) відразу після старту X-37b теж не виключав такої можливості. Подібний космічний корабель протягом 40 хвилин міг би з граничною точністю уразити будь-яку ціль на землі. Однак докази того, що ці випробувальні системи були офіційно дозволені, відсутні.

Технологічні досягнення останніх десятиліть значно здешевили виведення об'єктів на низькі орбіти. Саме це відкрило дорогу до активного військового освоєння космосу. Адже наявність розвиненої супутникової інфраструктури дозволяє не тільки спостерігати за противником, а також забезпечувати надійний і добре захищений канал зв'язку. Однією з найбільш перспективних галузей є інтеграція супутників в систему управління бойовими дронами, що дозволяє

істотно збільшити як кількість, так і бойову ефективність безпілотних літальних апаратів на конкретних театрах бойових дій.



Рис. 8.1 – Безпілотний космічний корабель Boeing X-37.

І суперництво держав зараз зосереджено саме на можливостях розгортати власні супутникові мережі, захищати їх, відстежувати і вражати ворожі апарати з поверхні землі. А ось розміщення озброєнь на космічних апаратах в найближчій перспективі не очікується. Проте технологічних перешкод для розміщення озброєнь в навколосезному просторі зараз вже майже не залишилося. Ключовими напрямками тут є ракетні, протиракетні і лазерні озброєння. Успіхи в розробці лазерних технологій відкривають можливість для реалізації ідей одного з найамбітніших проєктів часів холодної війни – Стратегічної Оборонної Ініціативи (СОІ) або "Зоряних воєн" Рональда Рейгана. Тоді планувалося створити систему з озброєних лазерами супутників, які

зможуть ефективно перехоплювати балістичні ракети з ядерними боеголовками. Втім, якщо в 1980-х роках будівництво лазерів необхідної потужності виглядало фантастикою, то сьогодні знищення ракет і літальних апаратів за допомогою бойових лазерів – це звичайна справа. А в космосі, при відсутності атмосфери, ефективність лазерної зброї буде ще вищою.

Зниження вартості виведення вантажів на орбіту відкриває дорогу і до реалізації інших фантастичних проєктів космічної зброї. Зокрема, це американські проєкти, відомі під назвою "Жезли Бога". Згідно з ними, на супутнику повинні розміщуватися масивні вольфрамові стрижні, які в момент прольоту над ціллю просто скидаються вниз. До моменту досягнення поверхні землі ці стрижні повинні розвинути швидкість до 12 км/с, що дозволяє вражати цілі з силою ядерного вибуху (Рис. 8.2).

Незважаючи на всі привабливі військові перспективи, перетворення космосу в чергову арену збройного протистояння має серйозну перешкоду. Це – уразливість космічної інфраструктури та катастрофічні наслідки бойових дій на орбіті. Навіть один уламок з хаотичною траєкторією польоту може наробити дуже багато біди на орбіті. А у випадку масштабних руйнувань уламки з величезною швидкістю будуть падати по всій поверхні Землі. А значить, у випадку конфлікту між двома сторонами, постраждають усі держави, а великі і розвинені – більше всього. В той час, як виведення об'єктів на орбіту і підтримка їх діяльності – дуже складна і дорога справа, досить, на думку експертів, запустити у вільний політ по орбіті "відро гайок", щоб на десятиліття поставити хрест на всій космічній інфраструктурі. А тому, хоча мілітаризація космосу і набирає обертів, її просування

відбувається обережно і по можливості без розвитку прямого наступального потенціалу.

Незважаючи на всі привабливі військові перспективи, перетворення космосу в чергову арену збройного протистояння має серйозну перешкоду.



Рис. 8.2 – Передбачуваний вигляд орбітальних ударних платформ програми «Жезли Бога».

Це – уразливість космічної інфраструктури та катастрофічні наслідки бойових дій на орбіті. Навіть один уламок з хаотичною траєкторією польоту може наробити дуже багато біди на орбіті. А у випадку масштабних руйнувань уламки з величезною швидкістю будуть падати по всій поверхні Землі. А значить, у випадку конфлікту між двома сторонами, постраждають усі держави, а великі і розвинені – більше всього. В той час, як виведення об'єктів на орбіту і підтримка їх діяльності – дуже складна і дорога справа, досить, на думку експертів, запустити у вільний політ по орбіті "відро гайок", щоб на десятиліття поставити хрест на всій космічній інфраструктурі. А тому, хоча мілітаризація космосу і набирає обертів, її просування відбувається обережно і по можливості без розвитку прямого наступального потенціалу. Втім, навіть така "обережна" мілітаризація створює значні ризики для "космічного майбутнього" людства. Але тенденції до врегулювання проблеми, наприклад, шляхом прийняття нового космічного Договору, ще тільки у проекті. Часто можна почути тезу, що мілітаризація космосу – неминуча. Широке коло експертів з цим категорично не погоджується. За їх думкою її цілком можна зупинити, але для цього поки що відсутня політична воля. Хорошим прикладом є Договір про заборону випробувань ядерної зброї на землі, в повітрі і в воді. Після того, як він був підписаний, ядерні випробування припинилися і жодна держава його не порушувала. Тому ніяких об'єктивних перешкод для прийняття такого Договору по космосу не існує.

Розробки протисупутникової зброї почалися до появи супутників як таких – США почали її розробку в далекому 1957 році. Перші протикосмічні системи видавалися виключно ядерними – досяжна на

той момент точність перехоплення не дозволяла використовувати ні «шрапнель», ні тим більше, кінетичне перехоплення «прямим ударом».

Саме це поклало початок серії ядерних випробувань у космосі. У 1958 році в ході операції «Аргус» були підірвані три боєголовки потужністю 1,7 кілотон. В результаті виникли штучні радіаційні пояси – високоенергетичні частинки, захоплені магнітним полем Землі, утворили досить стійкі «хмари» в ближньому космосі. У 1959 році, після шести невдалих спроб, була вперше здійснена операція перехоплення на висоті 251 км – модернізована балістична ракета, запущена з бомбардувальника В-52, пройшла в 6,4 км від супутника.

Радянська програма ядерних випробувань у космосі стартувала у 1961 році, коли було підірвано два ядерних заряду малої потужності – 1,2 кілотон. На той момент вона була орієнтована на «потреби» протиракетної оборони.

У 1962 році потенційні противники знову провели серію експериментів. Американці підірвали заряд потужністю 1,4 Мгтон на висоті 400 км (експеримент Starfish – «Морська зірка»). У випадку СРСР – на висоті 150 км була підірвана 300 кілотон боєголовка – «о 14 годині 15 хвилин при яскравому сонці на північному сході спалахнуло друге сонце». Другий вибух був проведений на висоті 80 км.

При цьому світловими ефектами справа не обмежилася – низькоорбітальні вибухи дали досить несподіваний результат. Електромагнітний імпульс виявився несподівано «далекобійним», максимальний радіус розширення плазових продуктів вибуху, що екранували радіовипромінювання, у випадку з «зіркою» перевищив 1000 км. На Гавайях згасло вуличне освітлення, відключився телефонний зв'язок і на кілька годин – місцева радіостанція. У СРСР в

зоні випробувань теж зник радіозв'язок і були повністю забиті перешкодами протиракетні радары. Несподіваним ефектом виявився швидкий вихід з ладу сонячних батарей трьох супутників, що проходили крізь хмари заряджених частинок.

Було доведено, що ефективність ядерних зарядів в якості протисупутникової зброї виявилася більш ніж доведеною. Після невдалої спроби створити протисупутникову ракету на основі протиракет «Nike Zeus» в 1964 – 66 роках американці повернулися до «балістики», розгорнувши протисупутникову систему, яка була на озброєнні до 1975 року. Ракети з боєголовкою в 1 Мтон (радіус ураження – 8 км) могли перехоплювати супутники на висоті до 700 км на відстані до 1800 км. Вікно запуску становило менше секунди. Але «Система» офіційно була визнана малоефективною, її розгортання було обмежено двома ракетами на бойовому чергуванні і двома в резерві.

СРСР діяв в іншій парадигмі. Вже після спільного польоту «Востока-3» і «Востока-4» в 1962 році радянські військові констатували, що «людина здатна виконувати в космосі всі військові завдання, аналогічні завданням авіації (розвідка, перехоплення, удар)». У підсумку в Союзі з'явилася концепція супутника-перехоплювача, який при необхідності повинен був зблизитися з ціллю і знищити її підривом шрапнельної боєголовки. У результаті з'явилася програма «винищувач супутників» ВС (Рис. 8.3).

Перше перехоплення відбулося 1 листопада 1968 року («Космос-252»). У серпні 1970 року відбулося ще одне випробування за ускладненим сценарієм – супутник-мішень було необхідно знищити за 45 хв. У тому ж році було реалізовано ще два вдалих перехоплення. В

цілому, ймовірність перехоплення оцінювалася як 0,6, досяжність по висоті становила від 150 до 1600 кілометрів.

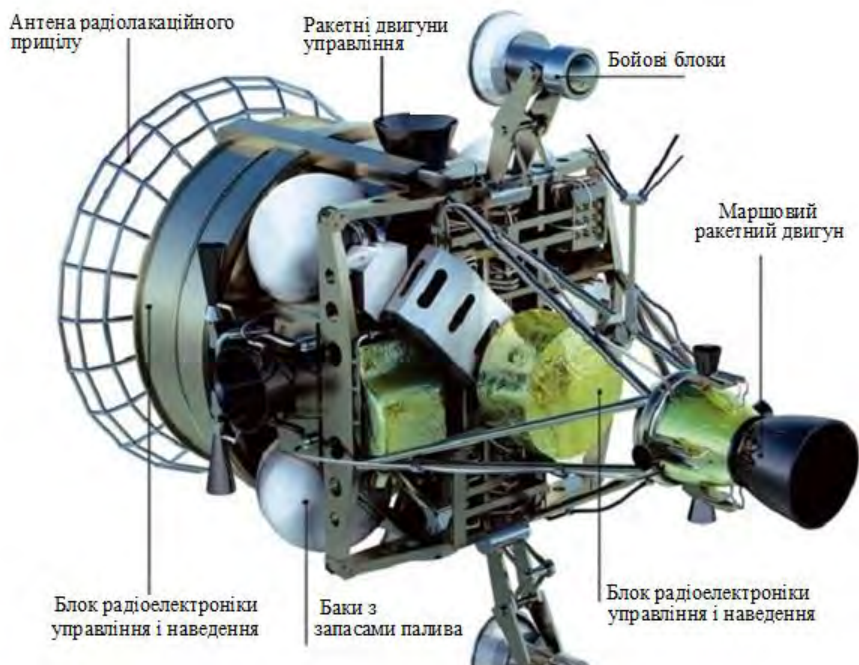


Рис. 8.3 – Супутник-перехоплювач.

Надалі винищувачі супутників запускалися регулярно – так, пуск відбувся під час «семигодинної ядерної війни» (навчань «Щит-82»). Всього було виконано близько двадцяти випробувань, при цьому висота перехоплення склала до 2200 км, ймовірність – зросла до 0,7 – 0,8.

Винищувачі супутників були не єдиними бойовими об'єктами СРСР у космосі. У пілотованих орбітальних станцій «Салют» існував військовий варіант («Алмаз»). На другий «Алмаз» було встановлено 23-міліметрову автоматичну гармату (система «Щит-1»); стрілянини в

космосі відбулися в 1974 році. «Салют-5» обзавівся двома ракетами «космос-космос».

Підсумком стала концепція, що передбачає розгортання двох типів бойових космічних станцій: ракетних («Каскад»), які були призначені для знищення високо- і середньоробітальних супутників, і «лазерних» («Скіф»), яким належало працювати на низьких орбітах. При єдиному службовому блоці (по суті, корабель постачання станції «Салют») перший ніс десять кінетичних перехоплювачів, другий – бойовий газодинамічний CO₂ лазер потужністю постійного випромінювання близько 100 кВт.

Номенклатура цілей при цьому не вичерпувалася штучними супутниками Землі. У 1985 році була випробувана прицільна система Піон-К – за об'єктами на Землі (експеримент «Поверхня»), на океані («Зебра») і в атмосфері («Оболонка») кутовим відбивачем, який відстрілювався з борту апарату – імітатора космічних об'єктів.

Таким чином, «Скіф» не був єдиним носієм лазера з протисупутниковими можливостями. «Лазероносії» (Рис. 8.4) існували в повітряному (А-60) і в наземному варіанті.

У 1987 році на орбіту відправився макет «Скіфа» (Рис. 8.5). П'ять запланованих на 1986 – 87 запусків «Каскаду» не відбулися.

Винищувачі супутників послужили причиною нової активізації американської протисупутникової програми на новому технологічному рівні. В 1977 році в США розпочалася програма розробки протисупутникової ракети наступного покоління – ASM-135 ASAT (Anti-satellite weapon). Ракета, яка запускається з винищувача F-15 з початковою швидкістю 20 М, вражала ціль прямим ударом, її наведення відбувалось за допомогою інфрачервоної боеголовки.

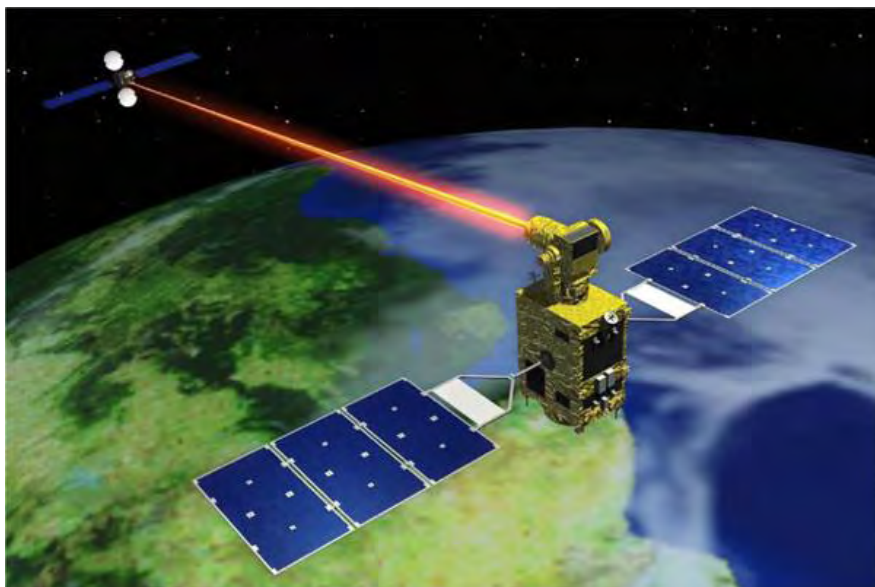


Рис. 8.4 – Бойова лазерна зброя.

Система відрізнялася гнучкістю – на переобладнання стандартного винищувача потрібно було 6 годин. 13 вересня 1985 року ракетою був знищений супутник на висоті 555 км (перехоплення було можливим на висоті до 600). Тим не менш, у 1988 році програма опинилася в рядах численних жертв скорочення військових витрат.

Про роботи в рамках американської програми СОІ написано достатньо. Радянською відповіддю стала система «Наряд», яка передбачала поразку супутників аж до геостаціонарної орбіти. Однак роботи з нею були швидко припинені.

Вважається, що з грудня 2013 року Росія запустила принаймні чотири «супутника-інспектора», здатних маневрувати і наближалися на близьку відстань до інших об'єктів, аж до прямого контакту.

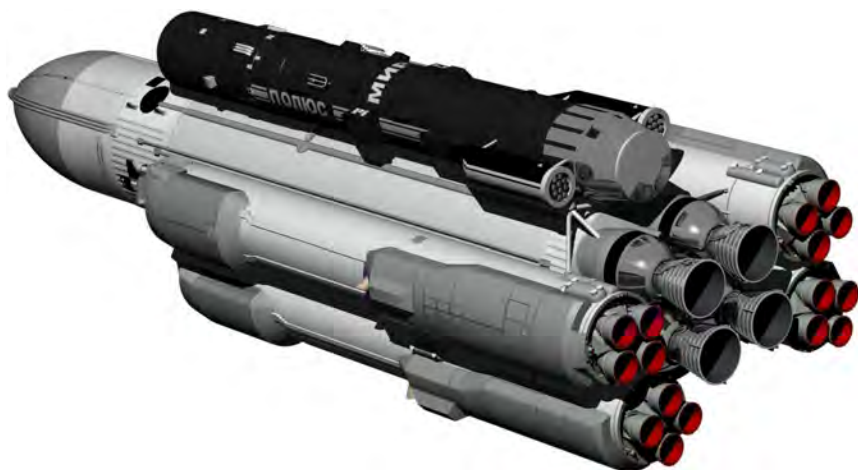


Рис. 8.5 – Бойовий космічний лазер «Скіф».

До наземних систем з протисупутниковими можливостями відносять А-235 «Нудоль», яку призначено для перехоплення об'єктів на висотах від 50 до 1000 кілометрів і нову систему ППО/ПРО ЗА-500 з досяжністю по висоті до 200 км. В 2009 році було повідомлено про «реанімацію» авіаційної системи «Контакт».

У тому ж році з'явилися відомості про реанімацію лазерної протисупутникової програми. Здійснено комплексний експеримент, в якому при наведенні лазерного променя з борту літаючої лабораторії А-60 на космічний апарат з висотою польоту 1500 км був зареєстрований відбитий сигнал. В цілому мова йдеться про реінкарнації радянських потужних CO_2 лазерів (~100 кВт).

Американський космічний безпілотною Х-37 вирушив на орбіту ще в 2010-му році; практично всі системи ПРО США мають

можливість вражати космічні цілі (наземна стаціонарна GBMD на висоті до 2000 км), при цьому SM-3 (Standard Missile 3 – американська зенітна керована ракета сімейства «Стандарт») це вельми наочно довела ще в 2008-му році.

Лазерний «Боїнг», який десятикратно перевершує по потужності А-60, встиг застаріти ще до початку випробувань через швидкий прогрес лазерних технологій, проте в Штатах вже ведуться роботи над наступним поколінням лазерів повітряного базування.

Що стосується лазерів космічного базування, то вони розроблялися ще два десятки років тому. При цьому, незважаючи на ефект «старіння на стапелях» і неминуче перезавантаження програми, космічні лазери виглядають в очах американських військових все більш перспективними. США мають у своєму розпорядженні величезний космічний «флот», що становить майже половину світового та прекрасно усвідомлюють, які переваги їм це дає. Як зазначається в американській «Національній стратегії забезпечення безпеки космосу», «за останні 50 років експлуатація космосу надала політикам США, військовим і їх союзникам безпрецедентні можливості щодо прийняття рішень, проведення військових операцій і забезпечення національної безпеки» (Рис. 8.6).

У найближчій перспективі США отримають значну кількість ракетноносіїв (РН) на перспективному метанові і водневому паливі. Зрив однієї або декількох програм не залишить США без перспективних РН, а лише додасть додатковий імпульс розвитку конкуруючих проєктів. У свою чергу конкуренція на ринку космічних вантажоперевезень призведе до подальшого зниження вартості виведення корисного вантажу на орбіту.



Рис. 8.6 – Багаторазовий пілотований космічний корабель корпорації SpaceX - «Crew Dragon»

Отримана перевага може активізувати Міністерство оборони США до подальшої мілітаризації космічного простору. Президент США Дональд Трамп 20 лютого 2019 року підписав меморандум про створення Космічних сил США. Серед цілей Космічних військ названі захист інтересів США в космосі, "відбиття агресії і захист країни", а також "проектування військової сили в космосі, з космосу і в космос".

Зараз військове застосування космосу обмежується забезпеченням розвіданими, зв'язком і навігацією традиційних видів збройних сил, що само по собі є надважливим завданням, так як це багаторазово «каталізує» їх можливості.

Одним з найбільш секретних проектів збройних сил США є польоти безпілотного космічного корабля Boeing X-37. Цей космічний апарат призначений для функціонування на висотах від 200–750 км, здатний швидко змінювати орбіти, маневрувати, виконувати розвідувальні завдання, доставляти в космос і повертати корисне навантаження. На орбіту Boeing X-37 може виводитися за допомогою ракетоносіїв «Атлас-5» і «Falcon 9». Точні цілі і задачі X-37 не розголошуються. Передбачається, що він служить в тому числі для відпрацювання технологій перехоплення космічних апаратів супротивника.

США залишаються лідером у розвитку космічних технологій, але інші держави активно наздоганяють їх в плані розвитку космічного військового потенціалу. Китай давно (ще в 2007 році) продемонстрував можливість збивати супутники ракетами наземного базування, а в минулому році аналогічним способом ліквідувала супутник Індія. Франція взагалі перша на публічному рівні заявила про намір розмістити в космосі збройні апарати. І це тільки те, що відомо з відкритих джерел. Кількість держав з військовим потенціалом в космічному просторі може бути значно більшим. Все це, безумовно, є загрозою екологічного стану космічного простору і великими масштабними втратами для людства.

8.2. Транспортування ядерних відходів у космос.

Атомна енергетика є практично безальтернативним напрямком

задоволення зростаючих потреб людства в електроенергії в умовах обмеженості запасів енергоносіїв.

Наслідком експлуатації АЕС є щорічне збільшення екологічно небезпечних радіоактивних відходів (РАВ): 10 – 12 тис. тон в рік по країнам світу. Загальна потужність АЕС на Землі може зрости приблизно в 1,7 рази, а накопичена кількість РАВ (відпрацьоване ядерне паливо) вже сьогодні складає більше 300 тис. тон (Рис. 8.7).



Рис. 8.7 – Радіоактивні відходи на землі

Найбільш гострою проблемою, пов'язаною з функціонуванням ядерної енергетики, є накопичення високоактивних відходів у вигляді продуктів ділення і так званих малих актинідів (нептуній, америцій, кюрій). Особливо небезпечним для всього живого на Землі є актинід йод-129.

У політиці локалізації радіоактивних відходів (РАВ), особливо високоактивних, принципово можуть бути 3 напрямки:

- поховати їх на період практично повного розпаду – перетворення в стабільні ізотопи – в літосферу Землі,
- видалити їх назавжди, без можливості повернення, в космічний простір або на інші безлюдні космічні тіла,
- перевести радіоактивні ізотопи, в першу чергу, живучі, в стабільні елементи або такі, які коротко живуть, тобто провести процес трансмутації.

Основним варіантом локалізації радіонуклідів є на даний час їх поховання в могильники, які або глибоко залягають під землею (для високоактивних і деяких середньоактивних відходів), або приповерхневі (для середньоактивних та низькоактивних відходів). Переробка та захоронення РАВ не забезпечує повної екологічної безпеки Землі: проникнення в біосферу високоактивних довгоживучих (кюрій-96, америцій-95) і високодифузійних (йод-53, технецій-43, нептуній-95) компонентів РАВ, які практично не можливо переробити, може призвести до поступового виродження всього живого. Приріст особливо небезпечних РАВ становить 25 – 30 т/рік у світі. Два інших варіанти є допоміжними, так як можуть бути реалізовані тільки для деяких фракцій високоактивних відходів.

Однак, оскільки мова йде про фракції найбільш токсичних і потенційно небезпечних для людини відходів, обидва даних варіанти можуть знайти свою нішу серед методів вилучення з біосфери великої номенклатури високоактивних відходів.

Для методу трансмутації потрібні великі інвестиції в науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи і промисловість, крім того,

при цьому має місце утворення додаткової кількості мало- та середньоактивних відходів. Хоча перспективність цього методу в частині, наприклад, спалювання у швидких реакторах, не викликає сумніву.

Недоліками космічного напрямку є недостатньо підтверджена експериментально безпека при аварійних ситуаціях з екологічно небезпечними наслідками та досить високий рівень витрат.

Розробка методу космічної ізоляції РАВ знаходиться в початковій стадії. Однак, неухильний розвиток космічної техніки дозволяє припускати, що у близькому майбутньому польоти в Космос стануть практично безпечними і масовими. У цьому зв'язку є розумним і доцільним використовувати "космічні вантажопотоки" для видалення з Землі деяких довгоживучих особливо небезпечних радіонуклідів. Їх екологічно безпечне захоронення в земних умовах поки що проблематично, а "спалювання" при трансмутації також не забезпечує повного рішення проблеми.

Серед глобальних проблем людства радіаційна небезпека займає одне з найважливіших місць. Із загального складу відходів доцільно виділити особливо небезпечні живучі, з періодом напіврозпаду, що вимірюється мільйонами років, радіонукліди, для яких традиційні способи захоронення у геологічних формаціях є неприйнятними. У зв'язку з цим пошук додаткових варіантів ізоляції особливо небезпечних РАВ стає вельми актуальним. Одним з таких варіантів є ізоляція РАВ у космічному просторі.

Можливі наступні варіанти ізоляції РАВ в космосі:

- 1) на геоцентричній орбіті;
- 2) на орбітах планет Сонячної системи;

- 3) на геліоцентричній орбіті;
- 4) пряме транспортування на Сонце;
- 5) локалізація на Місяці з тими чи іншими проектами розробки місячних баз;
- 6) транспортування на одну з планет Сонячної системи;
- 7) розпилювання РАВ за межі Сонячної системи.

Перший варіант є абсолютно неприйнятним з ряду причин. По-перше, сьогодні відсутні дані, чи буде людство мати засоби космічної техніки, які необхідні для вирішення цієї проблеми через 300 років, коли закінчиться гарантований термін безпечної локалізації РАВ на орбіті Землі. По-друге, прилеглі орбіти легко досяжні і уразливі до можливих дій конкуруючих країн і терористичних угруповань (мова йде, повторюємо, про 300-річний часовий період).

Остання з перелічених альтернатив, крім високих витрат, потребує радикального перегляду сучасних знань про Космос і Всесвіт на основі створення якісно нової наукової основи, в іншому випадку будемо мати безвідповідальний підхід, коли РАВ виводяться за межі досяжності при повній відсутності усвідомленого розуміння наслідків для людини і навколишнього світу.

Створення такої наукової основи і системи знань необхідні у випадку реалізації інших альтернатив локалізації, і насамперед, на планетах Сонячної системи і їхніх орбітах, але це було б схожим на бомбардування планет ядерною зброєю з непередбачуваними наслідками. Разом з тим, отримання таких знань в даний час в умовах прямої ринкової залежності наукових розробок і низького рівня наукових уявлень, що знаходяться у зародковій стадії, навряд чи представляється можливим.

Варіанти місячної локалізації РАВ також зажадали б високих витрат на створення баз. Крім того, внаслідок близькості Місяця до нашої планети, не можна не брати до уваги безпосереднього впливу на Землю тих процесів, які відбуваються на Місяці.

Четвертий варіант, пов'язаний з переміщенням РАВ у найближчі околиці Сонця, особливо загрожує непередбачуваністю найбільш радикальних наслідків, при повній неможливості отримання яких-небудь достовірних експериментальних даних в цій області. Тут з проведенням одного або декількох експериментів по впливу на Сонце абсолютно не буде слідувати сприятливий результат або допустимість наступного експерименту, що повністю роблять безрезультатними такого роду дослід. Так, якщо живий організм протягом години інтенсивно опромінювати радіацією, і він після закінчення цього опромінювання години збереже здоровий вигляд, зовсім не означає, що через десять днів він залишиться живий. Реакція ж наукових кіл найбільш промислово розвинених країн і наявні розробки і публікації говорять про те, що вони не мають у своєму розпорядженні достатніх знань і матеріалів про Космос, і в основному наївно слідують шляхом, на який виводять економічні ринкові процеси, пов'язані із взаємодією фінансових потоків, в руслі усталених знань, що не суперечать загальноприйнятим обмежувальним, але позбавленим обґрунтувань догмам, неадекватним часу.

Варіант з геліоцентричної орбітою, хоча і вимагає також серйозного і всебічного обґрунтування і достатнього рівня знань про Космос, представляється сьогодні найбільш прийнятним, як, ймовірно, з позицій екологічної безпеки, так і, очевидно, з точки зору необхідних витрат.

Незважаючи на те, що створені потужні засоби виведення корисних вантажів в космос, перш ніж реалізувати даний варіант, необхідно провести складні комплексні дослідження, вирішити великі технічні проблеми щодо підвищення надійності та безпеки застосування засобів виведення, підготувати і узгодити міжнародні правові документи, переконати громадськість у доцільності застосування даного способу.

Деякі вчені і фахівці з космічної галузі вважають, що відправка радіоактивних відходів або космічного сміття на Сонце буде надзвичайно дорогою і просто неможливою. Для цього доведеться прискорити їх, вивести з орбіти Землі, а потім сповільнити, щоб вони «впали на Сонце». Це можливо вже сьогодні зробити, адже вже відправлено зонди на Венеру та інші планети, у дальній космос та за межі Сонячної системи, просто це складно уявити собі на власні очі.

Причина, по якій люди не падають з Землі і не опиняються викинутими в космос в тому, що гравітаційне тяжіння Землі діє на нас на відстані від центру Землі. Зокрема, прив'язаними до світу нас зберігає певна кількість енергії (гравітаційна потенційна енергія), і є два важливих показники швидкості, які ми можемо враховувати: стабільна кругова швидкість орбіти на відстані від центру Землі, яка буде утримувати нас на орбіті Землі навіть якщо ми не будемо торкатися землі, і швидкість руху, що дозволить нам повністю подолати гравітаційне тяжіння Землі і відправитися в міжпланетний простір. На Землі нам потрібно рухатися на швидкості 7,9 км/с щоб досягти орбіти, і 11,2 км/с, щоб залишити земне тяжіння. Наша планета обертається на швидкості 0,47 км/с по екватору, тому немає ні найменшого шансу на те, що нас кудись викине.

Для того, щоб вийти на орбіту Землі, ми витрачаємо колосальну кількість енергії, щоб розігнати ракету до цієї швидкості, а це пов'язано з величезними витратами. Людство займається подібним з 1950-х років, воно є частиною системи, яка обертається навколо Сонця на величезній швидкості. Земля рухається навколо Сонця зі швидкістю 30 км/с, а все, що запускається на орбіту Землі, теж буде обертатися навколо Сонця приблизно з такою ж швидкістю. З іншого боку, ми перебуваємо в 150 мільйонах кілометрів від світила. Щоб залишити Сонячну систему, нам потрібно додати 12 км/с у швидкості (і буде 42 км/с).

Оскільки на вихід в космос потрібно так багато енергії і тяги, вчені намагаються змусити Всесвіт зробити все, що він може. Пропонується використовувати гравітацію в допомогу, щоб досягти внутрішнього або зовнішнього світу нашої системи. Оскільки планети обертаються навколо Сонця, в такій схемі беруть участь два гравітаційно важливих тіла а космічний апарат має бути третім. Є два способи заручитися підтримкою гравітації:

- Направити космічний апарат так, щоб він летів за планетою, вилітав перед нею і гравітаційно закидався за планету знову.
- Направити космічний апарат так, щоб він летів попереду планети на орбіті, залітав за неї і гравітаційно закидався знову перед нею.

У першому випадку планета тягне космічний апарат на буксирі, а космічний апарат тягне на буксирі планету, так що планета трохи додає у швидкості щодо Сонця, стає трохи менше пов'язаною, а космічний апарат трохи втрачає в швидкості (внаслідок меншої маси) і стає більш тісно пов'язаним у зв'язку з переходом на низькоенергетичну орбіту. У другому випадку все відбувається якраз навпаки: планета втрачає трохи

швидкості і стає більш тісно пов'язаною, а космічний апарат додає багато швидкості і переходить на високоенергетичну орбіту.

Перший сценарій пов'язаний з відвідуванням внутрішньої Сонячної системи: Венери, Меркурію або навіть самого Сонця. Другий дозволяє добиратися до більш віддалених частин Сонячної системи. Виходить, сміття на Сонце відправляти цілком можливо. Але в самій ідеї є купа недоліків:

- Можливість відмови при запуску.
- Висока вартість.
- Було б простіше викинути його за межі Сонячної системи, ніж скидати на Сонці.

Система космічних пусків «Союз», найуспішніша з усіх, має показник успіху в 97% після більше тисячі запусків. Але навіть 2-3% відмови можуть бути катастрофічними, якщо в них братиме участь ракета, під зав'язку набита небезпечними відходами, від яких мешканці Землі хотіли б позбавитися. Мова йдеться про можливі наслідки, якщо ці відходи будуть відправлятися в безмежні простори космосу з земного океану або з поверхні Землі, яка так чи інакше населена людьми.

Вантажопідйомність найбільшої з ракет «Союз» становить близько 7 тон. Припустимо бажання позбутися всіх наявних накопичених ядерних відходів. У США в даний час зберігається близько 60 000 тон відходів високого рівня, і там же розташована чверть від атомних електростанцій всього світу. Вийде близько 34 000 ракет з відходами, і найдешевший запуск обійдеться в 100 мільйонів доларів. Навіть якщо скоротити показник відмови до 0,1%, 34 ракети випустять свій вантаж у випадковому порядку на Землю.

Може бути, коли з'явиться надійний космічний ліфт, фахівці ще повернуться до цього варіанту. Але до тих пір вартість і майже стовідсоткова ймовірність окремої катастрофи накладають вето на доставку сміття на Сонці (Рис. 8.8).

Друга ідея також передбачає вивезення ядерних відходів в космос. Існує кілька розробок такого роду. Приміром, НАСА та Міністерство Енергетики США розглядали можливість виведення на навколосонячну орбіту контейнерів.

Ця ідея має незаперечне достоїнство – подібним чином радіоактивне сміття видаляється з планети Земля. Однак одночасно зростає ризик – наприклад, ніхто не може гарантувати, що можливе потрапляння цієї речовини на Сонці не призведе до жодних негативних наслідків або космічний сміттевоз не зіткнеться з метеоритом або космічним кораблем.

Разом з тим, проектні дослідження, проведені як у нас в країні так і за кордоном, забезпечують можливість переходу до повномасштабної дослідно-конструкторської розробки ракетно-космічного комплексу для вирішення завдання космічного захоронення особливо небезпечних для біосфери Землі відходів атомної промисловості.

ДКБ "Південне" (м. Дніпро) спільно з Міжнародною академією астронавтики (МАО) відпрацьовують можливість реалізації проекту щодо захоронення найбільш небезпечних радіоактивних відходів в далекому космосі. Пошуки технічного рішення планується вести в тісній співпраці з ученими-ядерниками і фізиками щодо перспектив проекту захоронення у космосі найбільш небезпечних, довгоживучих радіонуклідів. У загальному обсязі радіоактивних відходів, за наявними оцінками, їх частка мізерна – близько 1%.

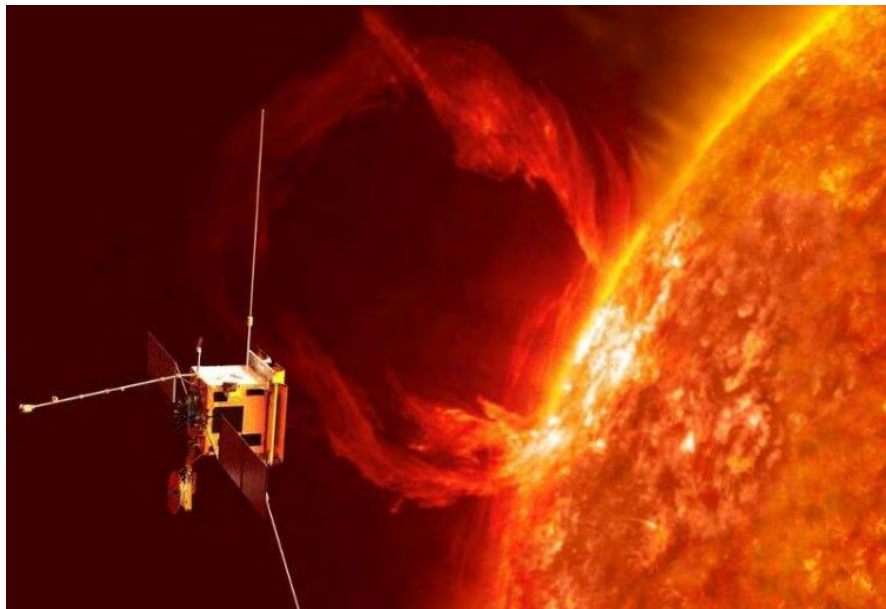


Рис. 8.8 – Проект доставки радіоактивних відходів у контейнерах на Сонце.

Вчені вважають, що реалізація значущої для зниження ступеня небезпеки екологічної загрози – однієї з глобальних в сучасному світі – потребує також врегулювання міжнародної правової бази з даного питання.

8.3. Ліфт на орбіту Землі з'явиться до 2050 року.

Японська компанія Obayashi має амбітні плани щодо будівництва супер сучасного підйомного засобу, який зможе доставляти людей і вантажі безпосередньо у відкритий космос. На реалізацію проекту першого космічного ліфта планується витратити близько 30 років. Зведення грандіозного "підйомника майбутнього" не лише стане

здійсненню давніх фантастичних ідей, але зробить переворот у світовій економіці. Після успішного введення в експлуатацію, новий ліфт зробить революцію у сфері космічних польотів.

Будівельна корпорація Obayashi планує створити космічний ліфт, протяжністю 96 тис. кілометрів (Рис. 8.9).

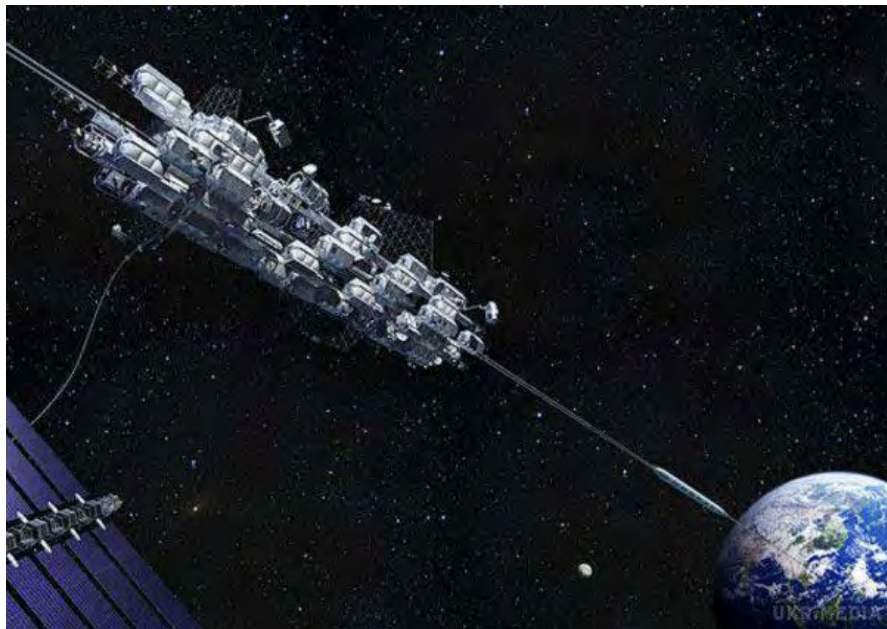


Рис. 8.9 – Ліфт у майбутнє будівельної корпорації Obayashi (Японія).

Головним достоїнством нового типу доставки буде більш низька собівартість, ніж у сучасних ракет. При цьому на подолання значних відстаней буде йти всього кілька днів.

Головним інноваційним рішенням, яке зробить втілення проекту реальним, повинні стати вуглецеві наноматеріали. З'єднає Землю і космічну станцію трос буде мати різне натяг, що безпосередньо залежить від висоти і сили тяжіння. Показники міцності нових

матеріалів у 100 разів перевищують показники звичайних сталевих тросів. Єдиним відчутним недоліком на даному етапі є довжина нанотрубки, яка не може перевищувати 3 див. Але в конструкторському бюро Obayashi впевнені, що цю проблему зможуть подолати до 2030 року.

Багато науково-дослідні лабораторії Японії задіяні у створенні нових технологій, які дозволять вирішити цю проблему. На державному рівні відбувається постійний обмін новими відкриттями і знаннями. Інженери в різних університетах розробляють автономні засоби доставки, підйомники, а також особлива увага приділяється механізмам гальмівної системи.

Ще в 2012 році японські вчені досягли взаєморозуміння в тому, що робота над будівництвом космічного ліфта повинна відбуватися спільно з усіма зацікавленими групами. Більш того, для реалізації задуманого повинна бути створена окрема міжнародна організація.

В даний час запуск ракет в космічний простір є досить дорогим і небезпечним діянням. Реалізація проекту космічного ліфта істотно знизить ці витрати, а згодом і зовсім зможе його замінити. Зараз доставка одного кілограма вантажу на орбіту землі коштує 22 000 доларів, майбутній ліфт знизить цю вартість до 200 доларів.

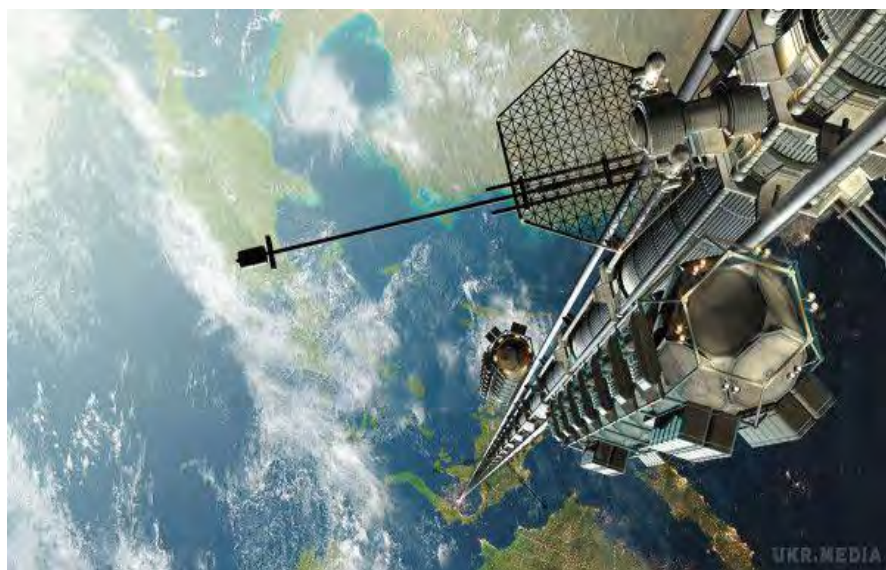
Величезним позитивним моментом у використанні ліфта стане можливість доставляти в космічний простір невеликих ракет. Новий спосіб дасть суттєву економію палива при подоланні земної сили тяжіння. Також вдасться вирішити кілька нагальних енергетичних проблем. По-перше, з орбіти можна буде доставляти дешеву сонячну енергію, практично в необмежених обсягах. По-друге, у космосі можна буде зберігати небезпечні радіоактивні відходи.

Поява ліфта повинна дати новий сильний імпульс розвитку орбітального туризму. Доступність і практичність майбутніх поїздок обіцяють вивести дану індустрію на новий виток свого розвитку. Японські вчені розробляють кабіни, здатні одночасно перевозити 30 пасажирів. Тому не далекий той день, коли подібну поїздку будуть порівнювати з відвідуванням парку розваг.

Паралельно роботі японських вчених активну діяльність по розробці власного проекту космічного ліфта проводить канадська компанія Thoth Technology. Варто одразу наголосити, що їх розробка зовні виглядає менш амбітно, але головним її плюсом є використання вже наявних технологій. Об'єкт, висотою близько 20 кілометрів, буде побудований з модульних труб кевлар-поліетиленових композитів, наповнених гелієм (Рис. 8.10 а, б). Даний матеріал дозволить зробити конструкцію більш легкого, ніж при використанні інших сучасних матеріалів, а наявність гелію дозволить утримувати структуру вертикально. незважаючи на те, що це ще атмосфера Землі, така висота дозволить значно знизити паливні витрати космічних апаратів для подолання сили земного тяжіння. Нагорі будівлі буде розташована баржа, на якій будуть відбуватися запуски і приземлення ракет. При цьому кожній ракеті буде потрібно лише один щабель для виходу на орбіту Землі, що в грошовому еквіваленті можна порівняти з польотом звичайного «Боїнга».



а)



б)

Рис. 8.10 – Проект космічного ліфту компанії Thoth Technology (Канада) (а, б)

За проектом канадських інженерів новий ліфт буде володіти масою 880 тис. тонн. Щоб було зрозуміло про що йде мова, цю цифру

можна порівняти з вагою Емпайр Стейт Білдінг, який становить 365 тис. тонн. При цьому друге будова буде нижче першого в 45 раз.

Доставка космічних кораблів на вершину ліфта буде здійснюватися за допомогою електрики. Для його отримання планується використовувати енергію вітру, що виникає внаслідок різниці тисків у підстави і вершини вежі Thoth. За проектом конструкторів, частина елементів конструкції буде надувний.

Говорячи про реальність реалізації кожного з проектів, вчені сходяться на думці, що обидві технології повинні отримати великі інженерні прориви. Найімовірніше, що незабаром ці нові рішення будуть застосовуватися не тільки в підкоренні космосу, але і в багатьох «земних» сферах. Вдала реалізація задуманих програм кардинально вплине на можливості будівельників будинків і сучасних метрополітенів. Незабаром можуть з'явитися будівлі, які будуть мати принципово нові сейсмостійкі характеристики і досить доступну вартість.

Розділ 9. РОСЛИНИ У КОСМІЧНОМУ ПРОСТОРІ.

9.1. Роль рослин для людини у космічній подорожі.

Вирощування рослин у космічному просторі, як правило, відбувається в невагомому контрольованому середовищі під тиском, в конкретних космічних садах. В контексті польотів людини в космос, такі рослини можуть споживатися в їжу або забезпечувати освіжаючу атмосферу. Вирощування рослин у космосі може також позитивно впливати на психологічний стан екіпажу.

Рослини – це в основному багатоклітинні організми, переважно фотосинтезуючі еукаріоти з царства Plantae.

Еукаріоти (інколи евкаріоти, від грец. εὖ- - повністю, добре й грец. κάρυον – ядро) або ядерні (лат. Eukaryota Whittaker & Margulis, 1978) – домен одно- та багатоклітинних організмів, що характеризуються переважно полігеномними клітинами, морфологічно сформованим ядром та наявністю мембранних субклітинних органел. **Органела** (від слова орган й давньогрець. εἶδος – вид) – зазвичай вільно-плаваюча частина еукаріотичної клітини, яка виконує специфічну функцію. Історично, органели були виявлені за допомогою різноманітних форм мікроскопії або завдяки клітинному фракціонуванню.

Історично склалося так, що рослини розглядалися як одне з двох царств, включаючи всі живі істоти, що не були тваринами, і все водорості і гриби розглядалися як рослини. Однак всі сучасні визначення Plantae виключають гриби і деякі водорості, а також прокаріотів (археї і бактерії).

Доядерні або **прокаріоти** (Prokaryotes, від давньогрецького pro- перед + karyon горіх або ядро, посилаючись на ядро клітини + суфікс -otos, pl. -otes; також може писатися як «proscaryotes») – організми без ядра клітини; здебільшого також без будь-яких інших мембранних органел, таких як мітохондрії чи ендоплазматичний ретикулум (але є винятки).

Відповідно до одного визначення, рослини утворюють кладу Viridiplantae (латинська назва «зелені рослини»), групу, яка включає квіткові, хвойні та інші голонасінні рослини, папороті і їх союзники, кушир, печеночники, мохи та зелені водорості, але не включає червоні і бурі водорості.

Печіночники – організми, що належать до вищих несудинних рослин, але не мають почленування тіла на вегетативні органи. Вегетативне тіло у вигляді талому. Талом дихотомічно галузиться. Зверху помітна центральна жилка, на наростаючих таломах у виїмках містяться точки росту.

Талом (від грец. θάλλος – молода, зелена гілка) або **слань** – вегетативне тіло водоростей, грибів, їх сімбіозів (лишайників), а також печіночникових та антоцеротовидних.

Антоцеротофіти, антоцеротоподібні, антоцеротовидні – (Anthocerotopsida) відділ мохоподібних. Іноді розглядається як клас відділу мохоподібних.

Зелені рослини отримують більшу частину своєї енергії від сонячного світла за допомогою фотосинтезу первинними хлоропластами, які утворюються в результаті ендосимбіозу з ціанобактеріями.

Ендосимбіоз – це союз між видами, де один з них живе всередині іншого.

Їх хлоропласти містять хлорофіли (a і b), що надає їм зелений колір. Деякі рослини є паразитичними або мікотрофними і втратили здатність виробляти нормальну кількість хлорофілу або фотосинтезувати, але все ще мають квіти, плоди і насіння. Для рослин характерно статеве розмноження і чергування поколінь, хоча поширене і безстатеве розмноження. Існує близько 320 000 видів рослин, переважна більшість з яких, близько 260 – 290 тисяч, дають насіння. Зелені рослини забезпечують значну частину молекулярного кисню в світі і становлять основу більшості екосистем Землі. Рослини, що виробляють зерно, фрукти і овочі, також є основними продуктами харчування людини і були одомашнені протягом тисячоліть. Рослини знаходять безліч різних застосувань в культурі та інших сферах, наприклад, в якості прикрас, будівельних матеріалів, письмового приладдя, і у великій різноманітності вони служать джерелом ліків і психотропних препаратів. Наукове вивчення рослин відомо як ботаніка, розділ біології.

Ріст рослин в космосі викликав великий науковий інтерес. В кінці 20-го і початку 21-го століття рослини часто відправляли в космос на низькій навколоземній орбіті для вирощування в невагомості, але знаходиться під тиском контрольованого середовища, іноді званого космічними садами. В контексті пілотованих космічних польотів їх можна вживати в їжу або створювати освіжаючу атмосферу. Рослини можуть метаболізувати вуглекислий газ в повітрі для виробництва цінного кисню і можуть допомогти контролювати вологість в салоні. Зазвичай рослини були частиною досліджень або технічних розробок для подальшого розвитку космічних садів або проведення наукових експериментів. На сьогоднішній день завезені в космос рослини

представляли в основному науковий інтерес з обмеженим внеском в функціональність космічного корабля, однак проект місячного дерева Аполлона був більш-менш натхненний лісовою місією. Перша проблема при вирощуванні рослин в космосі – це змусити рослини рости без гравітації. Таке явище стикається з труднощами, пов'язаними з впливом сили тяжіння на розвиток коренів, забезпеченням відповідних типів освітлення і іншими проблемами. Зокрема, постачання корінням поживних речовин, а також біогеохімічні цикли поживних речовин і мікробіологічні взаємодії в ґрунтових субстратах, які є особливо складні, але роблять можливим космічне землеробство в умовах гіпо- та мікрогравітації.

Неповний список рослин, що були вирощені в космосі під час експериментів: arabidopsis, mizuna lettuce, brassica rapa, рис, тюльпан, каланхое, льон, цибуля городня, горох посівний, редиска, салат сійний, пшениця, часник, огірок звичайний, петрушка кучерява, кріп.

Обговорюється система виробництва овочів для МКС. У 2010-х роках зросла потреба в тривалих космічних польотах, що призвело до бажання вирощувати рослини у космосі в якості їжі для космонавтів. Прикладом цього є вирощування овочів на Міжнародній космічній станції (МКС) на навколоземній орбіті. До 2010 року на борту МКС було проведено 20 експериментів з вирощування рослин. Кілька експериментів були зосереджені на тому, як порівнювати зростання і поширення рослин в умовах мікрогравітації, в космічних умовах і на Землі. Це дозволяє вченим досліджувати, чи є певні моделі росту рослин вродженими або зумовленими навколишнім середовищем. Наприклад, Алан Х. Браун перевіряв рух проростків на борту космічного корабля "Колумбія" у 1983 році. Рух проростків соняшника

було зареєстровано під час перебування на орбіті. Дослідники помітили, що сіянці і раніше росли в обертанні і кружляли, незважаючи на брак сили тяжіння, показуючи, що така поведінка є інстинктивною. Інші експерименти показали, що рослини мають здатність проявляти гравітропізм навіть в умовах низької гравітації. Наприклад, Європейська модульна система вирощування ЕКА дозволяє експериментувати з ростом рослин. За допомогою діючої мініатюрної оранжереї вчені на борту Міжнародної космічної станції можуть досліджувати як рослини реагують в умовах змінної сили тяжіння. В експерименті Gravi-1 (2008 р.) використовувалася Європейська модульна система вирощування для вивчення росту проростків сочевиці і руху амілопласти по кальцій-залежним шляхах. Результати цього експерименту показали, що рослини могли відчувати напрямок сили тяжіння навіть на дуже низьких рівнях. Пізніший експеримент з Європейською модульною системою вирощування включав 768 проростків сочевиці, розміщених в центрифугу, для стимулювання різних гравітаційних змін. Цей експеримент, Gravi-2 (2014 року), показав, що рослини змінюють кальцієву сигналізацію в сторону росту коренів при вирощуванні з декількома рівнями сили тяжіння. У багатьох експериментах використовується більш загальний підхід до спостереження за загальними моделями росту рослин, а не за однією конкретною поведінкою зростання. Один такий експеримент, проведений Канадським космічним агентством, наприклад, показав, що саджанці білої ялини росли в антигравітаційному космічному середовищі інакше, ніж саджанці, прив'язані до Землі; космічні сіянці продемонстрували посилений ріст з пагонів і хвої, а також мали

рандомізований розподіл амілопласти в порівнянні з контрольною групою, пов'язаної з Землею.

Рандомізація (англ. *randomization, hashing*,) – розташування або вибір об'єктів у випадковому порядку.

Першими організмами в космосі були «спеціально розроблені штами насіння», запущені на відстань 134 км 9 липня 1946 року на ракеті Фау-2 (США). Ці зразки не були поновлені. Першими насіннями, запущеними в космос і успішно відновленими, були насіння кукурудзи у 1946 році. Незабаром пішли жито і бавовна. Ці ранні суборбітальні біологічні експерименти проводилися Гарвардським університетом і Військово-морською дослідницькою лабораторією і стосувалися радіаційного впливу на живі тканини. У 1971 році 500 одиниць насіння дерев (Лоболі сосна, платан, Sweetgum, Redwood і ялина Дугласа) були доставлені на орбіту навколо Місяця на Apollo-14. Ці місячні дерева були посаджені і вирощені за допомогою засобів управління ще на Землі, де не було виявлено ніяких змін.

Система виробництва біомаси використовувалася 4-ою експедицією МКС. Система вирощування овочів пізніше була використана на борту МКС (орбітальна плантація Veggie). Перед польотом у космос на Veggie були випробувані такі рослини, як салат, мангольд, редис, китайська капуста і горох. Салат червоний ромейн вирощували в космосі в рамках 40-ої експедиції, збирали дозрілим, заморожували і тестували на Землі. Учасники 44-ї експедиції стали першими американськими астронавтами, які з'їли рослини, вирощені в космосі 10 серпня 2015 року, коли було зібрано урожай червоного ромейну. З 2003 року російські космонавти з'їдають половину свого врожаю, а інша половина йде на подальші дослідження. У 2012 році на

борті МКС під наглядом астронавта НАСА Дональда Петтіта зацвів соняшник. У січні 2016 року американська астронавти оголосили, що на борту МКС зацвіла цинія. У 2017 році для МКС була розроблена система Advanced Plant Habitat (APH), яка представляла собою систему вирощування рослин для цієї космічної станції на низькій навколоземній орбіті. Система встановлювалась паралельно з іншою системою вирощування рослин на борту станції, Veggie, і головна відмінність цієї системи полягала в тому, що APH було спроектовано таким чином, щоб не вимагати ретельного догляду з боку людей. APH підтримується менеджером реального часу Plant Habitat Avionics. Деякі рослини, які повинні були бути протестовані в APH, включають карликову пшеницю і арабідопсис.

Arabidopsis arenosa (жерушник пісковий як *Cardaminopsis arenosa*) – вид трав'янистих рослин родини капустяні (Brassicaceae), поширений у Європі; знайдений у Гренландії.

У грудні 2017 року на МКС було доставлено сотні насіння для вирощування в системі Veggie. У 2018 року експеримент Veggie-3 на МКС проводився з подушками для рослин і кореневими матами. Одна з цілей – вирощувати їжу для споживання екіпажем. В цей час протестовані культури: капуста і салат. У 2018 році була протестована система доставки поживних речовин PONDS в умовах мікрогравітації. У грудні 2018 року Німецький аерокосмічний центр запустив супутник EuCROPIS на низьку навколоземну орбіту. Ця місія включає в собі дві теплиці, призначені для вирощування томатів в умовах імітації гравітації спочатку Місяця, а потім Марса (по 6 місяців кожна) з використанням побічних продуктів присутності людини в космосі в

якості джерела поживних речовин. Серія експериментів з вирощування розсади для вивчення механізмів тропізму клітин та циклу роцнення була проведена на МКС в період з 2013 по 2017 роки.

Тропізми (від грец. τροπος – «поворот», «напрямок») – реакція орієнтування організму або клітини, тобто наряду росту або руху клітин щодо подразника (хімічного, світлового або іншого). В основі тропізму лежить одна з властивостей цитоплазми клітини – її подразнюваність, реакція відповіді на різні чинники зовнішнього середовища.

Ці експерименти також включали використання модельної рослини *Arabidopsis thaliana* і були результатом співпраці НАСА і ESA. 30 листопада 2020 року космонавти на борту МКС зібрали перший урожай редиски, вирощеної на станції. Всього було зібрано і підготовлено до транспортування на Землю 20 рослин. В даний час планується повторити експеримент і виростити другу партію. На Місячну поверхню Місячний посадковий модуль Chang'e 4 в січні 2019 року ніс 3-кілограмову герметичну «біосферу» з насінням і яйцями комах, щоб перевірити, чи можуть рослини і комахи вилуплюються і рости разом в синергії.

Синергія (від грец. συνεργία – (грец. σύν) разом; (грец. έργον) той, що діє, дія) – це сумарний ефект, який полягає у тому, що при взаємодії двох або більше факторів їхня дія суттєво переважає ефект кожного окремого компонента у вигляді простої їхньої суми.

В експеримент були включені насіння картоплі, томатів та *Arabidopsis thaliana* (квітуча рослина), а також яйця тутового шовкопряда. Вони стали першими рослинами, вирощеними на Місяці.

Екологічні системи збережуть контейнер гостинним і земним, за винятком низької місячної гравітації. Якщо яйця вилупляться, личинки будуть виробляти вуглекислий газ, а пророслі рослини виділятимуть кисень за допомогою фотосинтезу. Є надія, що разом рослини і шовкопряди шовковиці зможуть створити просту синергію всередині контейнера. Мініатюрний фотоапарат сфотографує будь-яке зростання. Біологічний експеримент був розроблений 28 китайськими університетами.

9.2. Вирощування сільськогосподарських культур для виробництва продуктів харчування та інших матеріалів за межами Землі.

Простір сільського господарства відноситься до вирощування сільськогосподарських культур для виробництва продуктів харчування та інших матеріалів в космосі або на позашляхових Землі небесних об'єктах – еквівалентних сільському господарстві на Землі. Землеробство на небесних тілах, таких як Місяць або Марс, має багато спільного з сільським господарством на космічній станції або в космічній колонії. Однак землеробство на небесних тілах може не володіти складністю мікрогравітації, в залежності від розміру тіла. Кожне середовище буде мати відмінності в доступності ресурсів для процесу космічного сільського господарства: неорганічний матеріал, необхідний для росту рослин, ґрунтове середовище, інсоляція, відносна доступність вуглекислого газу, азоту і кисню і так далі.

Поставки їжі на космічні станції та інші тривалі місії важкі і неймовірно дорогі. На одного астронавта на Міжнародній космічній

станції потрібно приблизно 1,8 кілограма їжі і упаковки в день. Для довгострокової місії, такий як трирічна марсіанська місія з екіпажем з чотирьох осіб, це число може вирости до близько 10886 кг. Через вартості поповнення запасів і непрактичність поповнення запасів міжпланетних місій перспектива збільшення кількості продовольства в польоті неймовірно приваблива. Існування космічної ферми сприятиме створенню стійкого навколишнього середовища, оскільки рослини можна використовувати для рециркуляції стічних вод, вироблення кисню, безперервного очищення повітря і повторного використання фекалій на космічній станції або космічному кораблі. Всього 10 м² сільськогосподарських культур виробляють 25% добової потреби 1 людини, або близько 180-210 грамів кисню. По суті, космічна ферма перетворює космічний корабель в штучну екосистему з гідрологічним циклом і переробкою поживних речовин. На додаток до збереження терміну зберігання і зниження загальної маси, можливість вирощувати їжу в космосі допоможе скоротити дефіцит вітамінів в раціоні космонавтів і забезпечити свіжі продукти з поліпшеним смаком і текстурою. В даний час велика частина їжі, що поставляється космонавтам, піддається термообробці або сублімаційному сушінню. Обидва ці методи здебільшого зберігають властивості попередньої обробки харчових продуктів. Однак при зберіганні може відбутися розкладання вітамінів. Дослідження 2009 року показало, що значне зниження вмісту вітамінів А, С і К, а також фолієвої кислоти і тіаміну може статися лише за один рік зберігання. Місія на Марс може зажадати зберігання продуктів на термін до п'яти років; таким чином, буде потрібно нове джерело цих вітамінів. Постачання продуктів харчування має бути основною частиною ранніх поселень поза Землею.

Виробництво їжі – нетривіальне завдання і, ймовірно, буде однією з найбільш трудомістких і життєво важливих завдань ранніх колоністів. Серед іншого, НАСА вивчає можливості космічного землеробства. Колоністи, які намагаються займатися землеробством за межами Землі, зіткнуться з безліччю технічних проблем. До них відносяться ефект зменшення сили тяжіння, освітлення і тиску, а також підвищене випромінювання. Хоча космічні теплиці можуть вирішити багато проблем, їх будівництво пов'язане зі своїм набором технічних проблем. Рослини, які вирощені в польоті, відчувають мікрогравітацію, а рослини, вирощені на поверхні Марса, відчувають приблизно 1/3 гравітації, ніж земні рослини. Однак при наявності спрямованого світла рослини ростуть нормально.

Нормальний ріст класифікується як протилежний напрямок росту коренів і пагонів. При цьому багато рослин, вирощені в умовах космічного польоту, були значно менше, ніж рослини, вирощені на поверхні Землі, і росли повільніше. На додаток до різних ефектів гравітації, рослини, вирощені на поверхні Марса, будуть піддаватися набагато більш високим рівням радіації, ніж на Землі, якщо вони не захищені. Вплив високих рівнів радіації може пошкодити ДНК рослин, що відбувається в результаті того, що високореактивні гідроксильні радикали націлені на ДНК. Деградація ДНК має прямий вплив на проростання, ріст і розмноження рослин. Іонізуюче випромінювання також впливає на функцію ФСII і може викликати втрату функції та формування радикалів, відповідальних за фотоокиснення. Інтенсивність цих ефектів варіюється від виду до виду. Навколишнє середовище з низьким тиском на поверхні Марса також є приводом для

занепокоєння. Гіпобаричні умови можуть вплинути на чисту швидкість фотосинтезу і евапотранспірації.

Основна **функція** фотосистеми II – генерація сильного окиснювача, який індукує процес окиснення води і перенесення її електронів на мембранний переносник.

Евапотранспірація (від лат. *evaporare* – випаровується і транспірація), або сумарне випаровування – кількість вологи, що переходить в атмосферу у вигляді пари в результаті десукції і подальшої транспірації (фізіологічне випаровування) і фізичного випаровування з ґрунту і з поверхні рослинності. Евапотранспірація виражається в мм водяного стовпа і корелює з біопродуктивністю екосистем.

Проте, дослідження 2006 року припускають, що підтримка підвищених концентрацій CO_2 здатні пом'якшити наслідки гіпобаричних умов (до 10 кПа) для досягнення нормального росту рослин. Марсіанський ґрунт містить більшість мінералів, необхідних для росту рослин, за винятком реактивного азоту, який є продуктом мінералізації органічних речовин. Оскільки поверхня Марса бідна органічними речовинами, відповідно реактивний азот відсутній. Реактивний азот є необхідним компонентом ґрунту, який використовується для росту рослин, і можливо, що азотфіксуючі види, такі як бактерії, можуть допомогти в постачанні реактивного азоту. Однак дослідження 2014 року показало, що рослини могли проростати і вижити протягом 50 днів на марсіанському і місячному ґрунті при використанні імітантів ґрунтів. При цьому тільки один з чотирьох експериментальних видів показав себе досить добре, щоб досягти повного формування квітки, і щоб досягти повного зростання потрібна додаткова робота.

Вчені університету Вагенінген (Нідерланди) з листопада 2019 року експериментують з вирощуванням квасолі в місячному і марсіанському ґрунті. Особливістю цієї серії експериментів є те, що для добрива частини рослин використовується людська сеча у вигляді струвита (струвит – це водний фосфат амонію і магнію, речовина, з якої складаються ниркові камені). Для цього експерименту використовували струвит, отриманий з очисних споруд. Ці експерименти проводяться для вивчення можливостей забезпечити майбутніх колоністів на Місяці і на Марсі власним продовольством. Зрозуміло, що регулярно посилати на Марс продовольство в достатніх кількостях буде дорого і складно. Після ряду експериментів вчені прийшли до висновку, що вирощування продовольчих культур на Місяці і Марсі цілком можливо. Однак недостатньо просто вирощувати рослини. Необхідно також переробляти фекалії астронавтів в добриво для рослин.

У ході експерименту 60 горщиків були наповнені аналогами місячного і марсіанського ґрунту (насправді це пісок з пустель Арізона і Невада, який за своїми властивостями близький до оригінального місячного і марсіанського ґрунту), а також земним ґрунтом. Горщики були наповнені 250 г земного ґрунту, 750 г «марсіанського» або «місячного» ґрунту. Потім до них додали 250 г води. У половину горщиків додали 15 г струвита, отриманого від різних фірм по очищенню води.

Струвіт – це фосфатний мінерал з формулою: $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Струвіт кристалізується в орторомбічній системі у вигляді пірамідальних кристалів білого до жовтуватого або коричнево-білого кольору або в пластинчастих слюдяподібних формах. Це м'який мінерал з

твердістю Мооса від 1,5 до 2 і має низьку питому вагу 1,7.



Рис. 9.1 – Пророщування квасолі в «місячному» та «марсіанському» ґрунті.

У кожен горщик було посіяно по три квасолини. Після сходів слабкі паростки видалили, залишивши в кожному горщику по одній найсильнішій рослині. Горщики щодня поливали водою в автоматичному режимі. Температуру повітря в теплиці підтримували на рівні 20 °С вдень і 18 °С вночі. У дні з недостатньою природною освітленістю включали лампи досвічування.

В ході експерименту вимірювали висоту всіх рослин. Відмінності в зростанні швидко проявилися, при цьому найкраще росли рослини в земному ґрунті та аналогу місячного ґрунту з добавкою струвита. Рослини в «марсіанському» ґрунті зі струвитом відставали в рості, що здивувало вчених. У попередніх експериментах «марсіанський» ґрунт показував кращі результати, ніж «місячний». Рослини в горщиках без

добавки струвита не досягли й 25 см і значно відставали від інших. 20 грудня 2019 року розкрилися перші квітки, а напередодні Різдва зав'язалися перші стручки. Це відбулося протягом всього двох місяців від моменту посіву, значно швидше, ніж очікувалося. В результаті дослідникам довелося працювати в Різдвяні канікули. Новий рік ознаменувався збиранням першого врожаю, хоча ще і не в такій кількості, щоб квасоллю можна було приготувати. Однак з рослин в земному ґрунті та в «місячному» ґрунті було зібрано по кілька стручків. Перший урожай з рослин в «марсіанському» ґрунті був отриманий на тиждень пізніше. До 20 січня 2020 року був зібрано близько одного кілограма квасолі з рослин, що удобрюють струвитом. З рослин, вирощених в горщиках без струвита, було отримано всього кілька стручків.

Навіть якщо результати цих експериментів виявляться неспроможні в реальних умовах Місяця або Марса, вони можуть допомогти окультурити земні пустелі, якщо людству колись дійсно не вистачить землі для ведення сільського господарства.

Американська аерокосмічна компанія Nanoracks і Об'єднані Арабські Емірати (ОАЕ) планують вирощувати в орбітальних теплицях надстійкі культури, які зможуть рости на Землі в найсуворіших умовах. Товариство з обмеженою відповідальністю «Наноракс» це приватна компанія, що надає космічні послуги. Nanoracks створює інструменти, які дозволяють перепрофілювати космічне обладнання і перетворити його в гнучкі космічні станції, які компанія називає Outposts.



Рис. 9.2 – Гнучка космічна станція компанії Nanoracks з орбітальною теплицею.

Новий дослідницький центр в ОАЕ StarLab Space Farming Centre розроблятиме бактерії, мікроби, мікроплівку і рослини. У Nanoracks сподіваються, що перша розробка з StarLab відправиться на Міжнародну космічну станцію вже в кінці 2021 року. Через кліматичні особливості і брак орних земель перед ОАЕ стоїть проблема забезпечення населення країни продовольством. До 90% продуктів харчування в Емірати імпортується.

Цей же центр розроблятиме робототехніку та автоматизовані системи для обслуговування орбітальних теплиць.

Спочатку теплиця буде створена на шлюзовому модулі Bishop, а потім протягом п'яти років її переведуть на автономну орбітальну тепличну платформу.

На Місяці проросли насіння бавовни, які китайський космічний апарат «Чан'є-4» доставив на природний супутник Землі. Це перший

випадок вирощування рослини на Місяці, і вчені вважають його значним кроком до довгострокового освоєння космосу. Перші дослідження з земними культурами проводилися тільки на Міжнародній космічній станції.

Досвід вирощування рослин на Місяці допоможе вченим підготуватися до довгострокових космічних місій, таким як політ на Марс, який займе приблизно 2,5 року. Крім насіння бавовни в ґрунті, яке «Чан'є-4» доставив на Місяць, перебували також насіння картоплі, ріпаку, резуховидки (рослини сімейства капустяних), а також яйця дрозофіли (плодової мухи) і дріжджові грибки. З їхньою допомогою вчені розраховують створити в герметичному контейнері на борту космічного апарату міні-біосферу – штучне самодостатнє середовище. Сам контейнер являє собою ємність вагою 3 кг і висотою 18 см. Над його створенням працювали вчені з 28 китайських університетів.



Рис. 9.3 – Китайський космічний апарат «Чан'є-4», який 3 січня 2019 висадився на темну сторону Місяця.

У організмів і рослин в ящику є запас повітря, води і поживних речовин, які допомагають їм рости. Однак китайські вчені вже зіткнулися з труднощами: складно підтримувати сприятливу температуру в контейнері, коли на Місяці вона коливається між -173°C і 100°C і більше.

Під час 20-денного польоту космічного апарату з Землі на Місяць насіння тримали в спокої. Вони почали проростати тільки після того, як наземний центр управління послав зонду команду поливати насіння.

19 листопада 2018 року німецький авіаційно-космічний центр (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; DLR) запускає в космос з бази військово-повітряних сил в Каліфорнії супутник з двома біосистемами вирощування карликових томатів. Мета проекту – перевірити, як насіння проростає в космосі і як рослини продовжуватимуть вегетацію на навколоземній орбіті на висоті 600 кілометрів. Біосистеми включають теплиці, насіння карликових томатів, одноклітинні водорості і синтетичну сечу, тобто рослини повинні рости, завдяки перетворенню сечі в розчині добрив. Місія покликана показати, як біологічні системи життєзабезпечення можуть використовуватися для постачання продовольством людей під час довгострокових космічних подорожей.

Супутник «Eu: CROPIS» має приблизно один кубічний метр в розмірі і важить 230 кілограмів з його біологічної корисним навантаженням. У цьому проекті DLR ще раз продемонструвала його системний досвід в проектуванні і будівництві супутників. Супутник має відділятися від ракети-носія Falcon 9 через 35 хвилин після запуску на своїй орбіті. Німецький центр космічних операцій DLR (GSOC) в

Оберпфaffenхоене, який контролює супутник, вже через півтори години після запуску мав перший радіоконтакт.

Назва супутника «Eu: CROPIS» означає «Euglena і комбіноване регенеративне виробництво органічних продуктів в космосі». Ця місія спрямована на те, щоб показати, що сеча може бути перетворена в поживні речовини навіть в умовах місячної і марсіанської гравітації. Усередині супутника розташовані дві оранжереї, кожна з яких підтримується як замкнута система. Основними елементами цих систем є біофільтр і зелені водорості (*Euglena gracilis*).

Euglena gracilis – вид прісноводних джугиткових одноклітинних організмів класу *Euglenoidea* типу евгленових. Живе у ставках та озерах по всьому світу. Використовується в різноманітних наукових дослідженнях, оскільки здатний реагувати на світлові подразники.

Біофільтр складається з камери об'ємом 400 мілілітрів, заповненої лавовими каміннями. Бактерії осідають на цих пористих каміннях і всередині них, перетворюючи сечу в добрива в циклі руху води. Отриманий живильний розчин використовується для культивування томатів. Це, так би мовити, індикатор того, що експеримент успішно проходить в космосі.

Одноклітинна *Euglena gracilis*, також відома як «зелені водорості» перенесена в космос у вигляді зеленого розчину об'ємом 500 мілілітрів, також грає ключову роль в системі. По-перше, водорості можуть виробляти кисень, що буде особливо важливо на початку експерименту, коли насіння ще не генерують кисень через фотосинтез. По-друге, *Euglena* послужить як детокс система і захистить парник від надмірного рівня аміаку, що може статися, якщо біофільтр почне працювати неправильно.

Вченими використано властивості спільнот організмів для застосування чисто органічних методів перетворення відходів в речовини, які нам необхідні для вирощування сільськогосподарських культур, наприклад, помідорів. Саме це стає життєво важливою основою для забезпечення космонавтів їжею в майбутніх довгострокових місіях. Процеси, що відбуваються в теплицях, записуються камерами і передаються в GSOC і Центр підтримки користувачів Microgravity (MUSC). Світлодіоди забезпечують денний і нічний ритм, в той час атмосферний тиск в теплицях підтримується в один бар, що відповідає атмосферному тиску Землі. Також на борту супутника «Eu: CROPIS» знаходяться два пристрої RAMIS (радіаційний вимір в космосі), які розроблені Інститутом аерокосмічної медицини. Вони будуть вимірювати рівні випромінювання як всередині, так і зовні супутника під час місії. DLR також відправляє бортовий комп'ютер SCORE (SCalable On-BoaRd Computing Experiment), розроблений Інститутом космічних систем, вперше для перевірки принципу використання COSC (Compact On-Board Computer) в космосі. Комп'ютер має обробляти зображення, зроблені бортовими камерами.

Під час місії супутник буде обертатися навколо своєї поздовжньої осі. Залежно від швидкості обертання це створює певний рівень зміненої сили тяжіння. Під час першої частини експериментальної фази протягом 23 тижнів будуть створені гравітаційні умови, подібні до тих, що на Місяці – з 20 обертами в хвилину. На цьому етапі в експлуатацію вступить перша теплиця. На другому етапі дослідження супутник почне моделювати гравітацію на Марсі, обертаючись 32 рази в

хвилину. Експерименти тепер будуть проходити в другій системі життєзабезпечення.

Свіжі овочі, які процвітають в космосі завдяки конвертованим органічним відходам, є не тільки передумовою для довгострокових космічних подорожей. Результати досліджень у ході виконання таких проєктів також можуть бути корисні і на Землі. Якщо сечу або гній можна переробляти в прісну воду і поживні речовини, які використовуються рослинами, це може поліпшити умови життя в переповнених районах або в місцях з крайньою нестачею питної води, забезпечуючи при цьому рельєф для ґрунту та ґрунтових вод – це ще одна з областей, досліджуваних в проєкті DLR.

Раніше Національний музей Грузії повідомив про те, країна приєдналася до проєкту освоєння космосу і запропонувала «космічну» культивуацію винограду. До роботи над проєктом підключені не тільки вчені, а й підприємці. Дослідникам належить з'ясувати, який сорт винограду зможе винести радіацію, пилові бурі та інші несприятливі умови на Марсі. Поки розглядається варіант сорту винограду Ркацителі: за припущеннями вчених, для вирощування на сусідній планеті швидше корисним має стати білий виноград – більш стійкий до вірусів і радіації. Фахівці будуть проводити досліди з вирощування різних сортів винограду на марсоподібному ґрунті. Вибрати найбільш підходящий сорт для вирощування на Марсі планується до 2022 року.

Космічне землеробство все одно стане реальністю, говорять вчені. З розвитком наукового прогресу люди будуть освоювати космос все більш активно, відправлятися в далекі експедиції, можливо колонізувати планети і без власного городу їм не обійтися.

Проблема в тому, що застосовуючи принципи земного сільського господарства до космічного, вчені стикаються з двома проблемами: врожайність рослин в умовах мікрогравітації і живлення рослин у позаземних ґрунтах, які, ймовірно, мають низький вміст поживних речовин в порівнянні з нашими фермерськими землями.

Але вихід є – вчені з Цюріхського університету вважають, що рослинні гормони можуть зробити космічне землеробство можливим.

Раніше використання рослинних гормонів для космічного землеробства не мало достатніх підтверджуючих доказів, але останні лабораторні досліді в Цюріхському університеті, де в штучно модельованих космічних умовах було протестовано вплив стріголактона на зростання культур, показали позитивний результат. Залишилося тільки отримати можливість перевірити теорію вчених в реальних умовах, а саме на станції МКС.

Стриголактони — це група хімічних сполук, що утворюються корінням рослини. Завдяки механізму їх дії ці молекули були віднесені до рослинних гормонів або фітогормонів.

Американський стартап Space Tango відправить на Міжнародну космічну станцію паростки конопель. Як тільки паростки конопель виростуть до потрібного розміру, зразки повернуться на Землю, щоб вчені провели їх генетичний аналіз. Вони вважають, що рослини адаптуються до нових умов. Такі експерименти дуже важливі для майбутніх космічних місій, в ході яких на борту корабля повинні знаходитися системи забезпечення їжею, киснем і паливом, відзначає TechCrunch.

Цього літа дослідний супутник з Бремена, всередині якого будуть перебувати насіння помідорів, запустять в космос . В космічній теплиці

томати будуть рости в різних умовах гравітації – півроку в умовах гравітації Місяця, а потім півроку з гравітацією Марса. Дослідження по вирощуванню томатів в космосі триватиме близько півтора року. В кінцевому підсумку це має стати моделюванням і тестуванням теплиць, які можуть бути поміщені на Місяці або Марсі (всередині середовища проживання), надаючи свіжі продукти для екіпажу, використовуючи закриту систему для переробки відходів в добрива. У місячному середовищі існування теплиця буде розташована в закритому просторі, оскільки навіть космонавти, перебуваючи в даних умовах, перебувають в атмосфері, схожою із землею (Рис. 9.2).



Рис. 9.2 – Так плантація на космічній станції може виглядати в майбутньому

Рослинам доведеться адаптуватися до нових умов гравітації. Відомо, що гравітація Місяця в 6 разів слабкіше земного, тяжіння на Марсі – в три рази менше, ніж на Землі. Дослідники з Німецького

аерокосмічного центру (DLR) в Бремені і Кельні спостерігатимуть за тим, що відбувається в невеликій екосистемі всередині супутника.

Космічна рослинництво не обмежується експериментами в невагомості. Людині для колонізації інших планет доведеться розвивати сільське господарство на ґрунті, який відрізняється від земного, і в атмосфері, що має інший склад. У 2014 році біолог Майкл Маутнер виростив спаржу з картоплею на метеоритному ґрунті. Щоб отримати придатний для вирощування ґрунт, метеорит був розмелений в порошок. Дослідним шляхом вчений зумів довести, що на ґрунті позаземного походження можуть вирости бактерії, мікроскопічні гриби і рослини. Матеріал більшості астероїдів містить фосфати, нітрати і іноді воду.

У випадку з Марсом, де багато піску та пилу, подрібнення породи не знадобиться. Але виникне інша проблема – склад ґрунту. У ґрунті Марса є важкі метали, підвищена кількість яких в рослинах небезпечно для людини. Вчені з Голландії імітували марсіанський ґрунт і з 2013 року виростили на ній десять урожаїв декількох видів рослин. В результаті експерименту вчені з'ясували, що вміст важких металів в вирощених на імітованому марсіанському ґрунті горосі, редисці, жита і помідорах не є небезпечним для людини. Картоплю та інші культури вчені продовжують досліджувати.

Однією з важливих завдань є створення замкнутого циклу життєзабезпечення. Рослини отримують вуглекислий газ і відходи життєдіяльності екіпажу, натомість віддають кисень і виробляють їжу. Вчені перевіряли можливість використання в їжу одноклітинної водорості хлорели, що містить 45% білка і по 20% жирів і вуглеводів. Але ця в теорії поживна їжа не засвоюється людиною через щільну

клітинну стінку. Існують способи вирішення даної проблеми. Можна розщеплювати клітинні стінки технологічними методами, використовуючи термообробку, крейда помел або інші способи. Можна брати з собою розроблені спеціально для хлорели ферменти, які космонавти братимуть з їжею. Вчені можуть також вивести ГМО-хлорелу, стінку якої людські ферменти зможуть розщепити. Хлорелою для харчування в космосі зараз не займаються, але її використовують в замкнутих екосистемах для виробництва кисню. Експеримент з хлорелою проводили на борту орбітальної станції «Салют-6». У 1970-ті роки ще вважали, що перебування в мікрогравітації не робить негативного впливу на людський організм – дуже було мало інформації. Вивчити вплив на живі організми намагалися і за допомогою хлорели, життєвий цикл якої триває всього чотири години. Її зручно було порівнювати з хлорелою, вирощеною на Землі.

З 70-х років в СРСР проводили експерименти по замкнутим системам. У 1972 році почалася робота «БІОС-3», ця система діє і зараз. Це комплекс, оснащений камерами для вирощування рослин в регульованих штучних умовах – фітотронах. У них вирощували пшеницю, сою, салат чужу, моркву, редис, буряк, картоплю, огірки, щавель, капусту, кріп і цибулю. Вчені змогли досягти майже на 100% замкнутого циклу по воді і повітрю і до 50–80% по харчуванню. Головні цілі Міжнародного центру замкнутих екологічних систем – вивчити принципи функціонування таких систем різного ступеня складності і розробити наукові основи їх створення.

Одним з гучних експериментів, який симулює переліт до Марса і повернення на Землю, був «Марс-500 ». Протягом 519 днів шість добровольців знаходилися в замкнутому комплексі. Експеримент

організували Рокосмос і Російська академія наук, а партнером стало Європейське космічне агентство. На "борту корабля" були дві оранжереї – в одній ріс салат, в іншій – горох. В даному випадку метою було не виростити рослини в наближених до космічних умов, а з'ясувати, наскільки рослини важливі для екіпажу. Тому дверцята оранжереї заклеїли непрозорою плівкою і встановили датчик, що фіксує кожне відкриття.

У людини буде багато шансів померти на Марсі. Він ризикує розбитися при посадці, замерзнути на поверхні або ж просто не долетіти. І, звичайно, померти від голоду. Рослинництво необхідно для утворення колонії і вчені, і космонавти працюють в цьому напрямку, показуючи вдалі приклади вирощування деяких рослинних видів не тільки в умовах мікрогравітації, а й в імітованому ґрунті Марса і Місяця. У космічних колоністів безумовно буде можливість повторити успіх Марка Уотні.

Марк Уотні, якого зіграв Метт Деймон, у фільмі "Марсіанець" Рідлі Скотта. вирощував картоплю на Марсі.

Якщо коли-небудь з людством трапиться велика біда – глобальна війна чи природна катастрофа, і тим, хто вижив, доведеться з нуля відновлювати світове сільське господарство, то їм потрібно буде знати лише одне слово: «Шпіцберген».

Всесвітнє сховище насіння в Шпіцбергені (Королівство Норвегії), яке іноді називають «сховищем кінця світу», може стати останньою надією людства на виживання після подій, які зможуть зашкодити людству в його подальшому розвитку. Втім, хоч його місія й полягає в

тому, щоб зберегти насіння планети, сховище не задумувалось для перезасівання постапокаліптичного світу.

Усесвітнє зерносховище (англ. Svalbard Global Seed Vault) – споруда в горах острова Шпіцберген, неподалік від норвезького міста Лонг'їр (норв. Longyearbyen), призначена для збереження генофонду сучасних зернових на випадок локальних або навіть глобальних катастроф.

Шпіцбергенське зерносховище зобов'язане своїм існуванням Кері Фаулеру – вченому, борцю за охорону природи і захиснику біорізноманіття.

Морган Керрінгтон "Кері" Фаулер-молодший – американський сільськогосподарський спеціаліст і колишній виконавчий директор Crop Trust, в даний час працює старшим радником престу.

По всьому світу існує понад 1700 генних банків, де зберігається насіння рослин, але всі вони вразливі до війни, стихійних лих, відмови обладнання та інших проблем. У 2003 році Фаулер почав розробляти резервне сховище, де все насіння світу могло б зберігатись у якомога більшій безпеці.

У 2008 році ідея Фаулера реалізувалась у Шпіцбергені, заглиблене на 120 метрів в схил гори, було побудоване Всесвітнє зерносховище. У 2015 році через війну в Сирії до сховища надійшов перший запит. Насіння зі сховища замінило те, що зберігалось у генному банку поблизу понівеченого війною сирійського міста Алеппо.

Місцезнаходження. Всесвітній банк насіння знаходиться у Шпіцбергені, норвезькому архіпелазі в Північному Льодовитому

океані. Шпіцберген розташований на північ від материкової частини Європи, на півдорозі між континентальною Норвегією і Північним полюсом.

Чому для сховища була вибрана саме Норвегія? «Ми повинні були розташувати сховище в країні, яка б мала повагу і довіру в усьому світі, зокрема стосовно проблеми біорізноманіття, яка може мати політично спірні аспекти» - пояснював Фаулер. Норвегія відповідає цим вимогам набагато краще, ніж будь-яка інша країна; нею захоплюються і їй довіряють. Норвегія також була готова надати стовідсоткове фінансування для будівництва сховища. За великим рахунком, це було не дуже дорого – близько \$9 млн., але фінансування було необхідним.

Жодна з цих причин розміщення об'єкта в Норвегії не зіграла б ролі, якби не той факт, що Шпіцберген пропонує майже ідеальні умови: він віддалений, а значить безпечніший, ніж інші можливі місця, і природно холодний (Рис. 9.3). Необхідно було мати споруду, яка б залишалась замороженою природно, без допомоги механічного заморожувального обладнання. Всередині гори, в умовах вічної мерзлоти, температури стабільно нижчі від точки замерзання. Механічно було доведено температуру до -18°C , що набагато простіше зробити при -5°C , ніж при плюсовій температурі.

Локація знаходиться в геологічно стабільному регіоні з низькою вологістю, до того ж, на висоті, що запобігає затопленню; це також найпівнічніша точка, до якої здійснюють перельоти авіакомпанії, що робить її дуже віддаленою. Якщо електрика або охолоджуюче обладнання дасть збій, завдяки розташуванню насіння все одно залишатиметься в холоді.

Зберігання. На додачу до зберігання насіння при -18°C , його герметизують у тришарових пакетах з фольги, а пакети запечатують в герметичні коробки.



Рис. 9.3 – Автор навчального посібника біля входу в Всесвітній банк насіння на Шпіцбергені

Коробки складають на полицях сховища, температура і вологість в якому ретельно контролюються. Цей процес допомагає підтримувати низьку метаболічну активність насіння, зберігаючи його життєздатність протягом тривалих періодів часу.

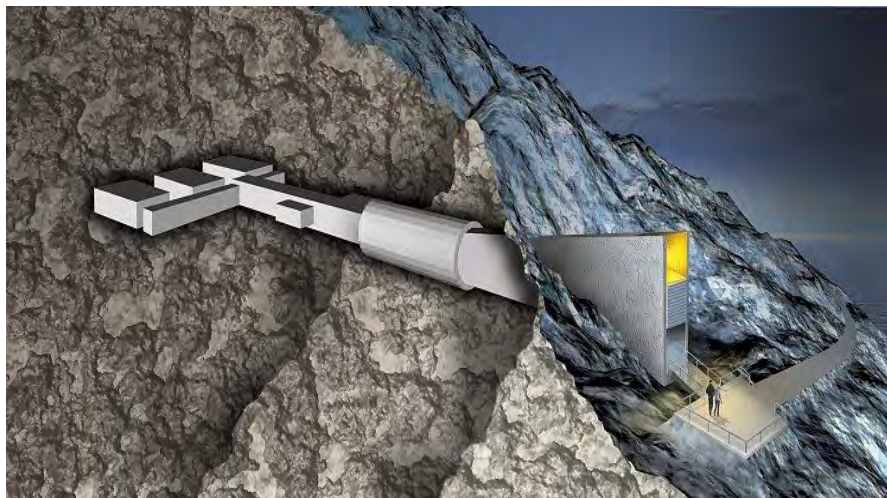


Рис. 9.4 – Схема «Сховища Судного Дня». Глобальне зерносховище на Шпіцбергені використовуватиметься на повну потужність і воно має стати найбільшим глобальним фондом насіння.

Мета сховища. Всесвітнє сховище насіння часто вважають «сховищем кінця світу», яке стане джерелом насіння після планетарної катастрофи, але насправді це не так.

«Насіння, яке зберігається у сховищі, не призначене для безпосереднього поширення серед фермерів і садівників. Його цінність і користь полягає в тому, щоб бути генетичним ресурсом для селекції рослин. Воно покликане служити селекціонерам та іншим вченим, які беруть участь у розробці нових сортів сільськогосподарських культур для фермерів. Насіння як сукупність ознак, або навіть в більш

широкому сенсі, як про сукупність властивостей культур, повинні мати в майбутньому сталі властивості, такі як стійкість до хвороб і шкідників, толерантність до посухи та спеки, покращена поживність тощо.

Всесвітнє сховище насіння, як і інші сховища по всьому світу, може також бути способом збереження історичних видів рослин. За даними National Geographic близько 90% історичних фруктових та овочевих сортів в США зникли. Сховище може захистити це насіння для майбутніх поколінь. Всесвітнє сховище насіння може допомагати іншим генним банкам.

Насіння у сховищі дублює колекції, що знаходяться в національних та інших банках насіння по всьому світу. Якщо щось станеться з одним із цих об'єктів, через що їх зразки насіння будуть зіпсовані, на цей випадок у сховищі є резервна копія. В минулому втрата різноманітності означала б зникнення певних різновидів і всіх унікальних ознак, які вони несуть. Сьогодні ж пожежі, повені, стихійні лиха, війни, людські помилки, нещасні випадки, скорочення фінансування – ніщо з цього не призведе до зникнення цих культур. Якщо культура є у сховищі, вона в такій безпеці, яка тільки може бути.

Потужності. Всесвітнє зерносховище здатне зберігати величезну кількість насіння. Воно розраховане на колосальні 4,5 млн. сортів сільськогосподарських культур, а кожен сорт представлений приблизно 500 насінинами. Це відповідає максимуму у 2,5 млрд. насінин, які можуть зберігатись у сховищі, відповідно до Global Crop Diversity Trust, міжнародної групи, яка працює над управлінням сховищем спільно з урядом Норвегії. Наразі сховище зберігає більше 860 тисяч зразків насіння. Це насіння було подароване майже кожною

країною світу, тому різноманітність насіння, представленого у Всесвітньому сховищі насіння, величезна. Список культур, представлених у сховищі, складає близько 55 сторінок тексту з одинарним інтервалом. Рис і пшениця займають два рядки.

Перші зразки до зернового сховища Україна надіслала 2010 року. У червні 2017 року до сховища на зберігання передані сорти миронівської селекційної пшениці, виведені науковцями України. На початок 2018 року сховище містило 4231 зразок українських культур.

Обмін насінням. Всесвітнє сховище насіння має кілька правил щодо обміну насінням. По-перше, приймаються тільки ті пожертви, які є частиною Багатосторонньої системи, що є частиною Міжнародного договору про харчові ресурси, або насіння, яке походить з країни-вкладника. Багатостороння система є положенням Міжнародного договору про генетичні ресурси рослин для виробництва продовольства і ведення сільського господарства, яке регламентує поширення генетики рослин. Договір гарантує, що країни можуть вільно обмінюватись генетичною інформацією 64 культур, на які припадає 80% всього споживання людиною, через насінневі банки, заданими Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН.

Всесвітнє сховище насіння не володіє і не розпоряджається насінням, яке воно зберігає. Все подароване насіння належить тим, хто його пожертвував. Це означає, що лише люди, які зробили пожертви, можуть мати доступ до цього насіння або дозволити іншим його позичити.

Розділ 10. СПОРЯДЖЕННЯ, ПРИЗНАЧЕНЕ ДЛЯ ІЗОЛЯЦІЇ ЛЮДИНИ ВІД ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (КОСМІЧНИЙ СКАФАНДР).

10.1. Призначення скафандру.

Скафандр – спеціальне спорядження, призначене для ізоляції людини від зовнішнього середовища. Це не просто костюм – це космічний корабель у формі тіла! Частини спорядження утворюють оболонку, непроникну для компонентів зовнішнього середовища. Скафандри в основному поділяються на водолазні, авіаційні і космічні.

Слід почати з самого визначення слова скафандр, яке з давньогрецької дослівно перекладається як «судно людини» або «лодколюдина». Першим вжив це слово, у відомому нам розумінні, французький абат і математик Ла Шапель для опису розробленого ним костюма. Згаданий костюм був аналогом водолазного і призначався для комфортної переправи солдатів через річку. Трохи пізніше були створені авіаційні скафандри для льотчиків, мета яких - забезпечити порятунок льотчика при розгерметизації кабіни і під час катапультивання. З початком космічної ери сформувався новий тип скафандра – космічний.

Звичайно, що знаходиться в космосі без скафандра дуже небезпечно. Зрештою, всі запобіжні заходи та постійне поліпшення костюмів для космонавтів виникли не на порожньому місці. Але що саме сталося б з людським тілом в космосі без захисту? По-перше, через різке зниження кількості кисню в крові, відбудеться втрата свідомості приблизно через 15 с. Кисень в організмі почне

розширюватися, що призведе до збільшення розмірів тіла. Хоча це не звучить як смертний вирок, але протягом наступних 75 секунд, після опромінення, настає смерть. Різниця тисків призведе до того, що повітря, яке залишилося в легенях, їх розірве. Тому краще не затримувати дихання в космосі, хоча в такій ситуації це не має особливого значення. Будь-яка рідина в тілі почне випаровуватися і закипить. Кров, через брак повітря, перестане посилати кисень в мозок. До того ж в космосі дуже холодно, тому через деякий час людина замерзне. Як не парадоксально, опіки – ще одна проблема. Сонячне випромінювання смертельно небезпечно, і в залежності від того, де знаходиться космонавт, тіло згорить протягом декількох годин. Згорілі останки будуть довго бовтатися в просторі, тому що розкладання в космосі відбувається дуже повільно.

У 1960 році сталася розгерметизації костюма Джозефа Кіттінгера. Права рука космонавта збільшилася вдвічі. До речі, протікання повітря перекрила опухла кінцівка, і Кіттінгеру вдалося завершити місію. Незважаючи на сильний біль, рука прийшла в норму протягом трьох годин. Це як раз один з тих випадків, які, на щастя, трапляються нечасто.

Виходи у відкритий космос небезпечні з різних причин. Глибокий вакуум, екстремальні температури від мінус 150 °C до плюс 150 °C, випромінювання Сонця, вірогідність зіткнення з частками космічного сміття або з мікрометеоритами. Тому в умовах відкритого космосу космонавта захищає скафандр.

Однією з найбільших подій XX століття є перший політ і вихід людини у відкритий космос. Думка про те, що вихід людини у відкритий космос можливий, з'явилася у Корольова ще в 1963 році.

Сергій Павлович Корольов – український радянський вчений у галузі ракетобудування та космонавтики, конструктор. Вважається основоположником практичної космонавтики. Академік АН СРСР, очолив ракетну програму СРСР.

Конструктор припустив, що незабаром такий досвід буде не тільки бажаний, але і абсолютно необхідний. Він мав рацію. У наступні десятиліття космонавтика стрімко розвивалася.

Наприклад, підтримка нормальної роботи МКС взагалі виявилася б неможливою без проведення зовнішніх монтажних і ремонтних робіт, що зайвий раз доводить, як необхідний був перший вихід людини у відкритий космос. Рік 1964-й став початком офіційної підготовки до цього експерименту. Але тоді, в 1964 році, для того щоб здійснити такий зухвалий проект, необхідно було серйозно продумати конструкцію корабля

В результаті за основу був взятий корабель «Восход -1», який добре зарекомендував себе раніше. Один з його ілюмінаторів замінили вихідним шлюзом, а також скоротили кількість екіпажу з трьох чоловік до двох. Сама шлюзова камера була надувною і розташовувалася зовні корабля. Після завершення експерименту, перед посадкою, вона повинна була сама відокремитися від корпусу. Так з'явився космічний корабель «Восход-2».

18 березня 1965 року радянський космонавт, 30-річний майор ВПС Олексій Леонов здійснив перший в історії людства вихід у відкритий космос з борту космічного корабля «Восход-2», пілотованого льотчиком-космонавтом П. І. Беляєвим, «відпливши» від корабля «Восход -2 » на один метр. Створений скафандр став справжнім дивом техніки. На тверде переконання його авторів – це був продукт

складнішим за автомобіль. Скафандр «Беркут» (Рис. 10.1), який використовувався для першого виходу, був вентиляційного типу і витрачав близько 30 л кисню за хвилину при загальному запасі в 1666 л, розрахованому на 30 хвилин перебування космонавта у відкритому космосі. Загальний час перебування поза космічним кораблем – 23 хвилини 41 секунда. За виходом космонавта у відкритий космос стежив увесь світ.

Через деякий час після виходу у відкритий космос космонавта Леонова, такий же експеримент вдалося повторити і американцям. 3 червня 1965 року американські космонавти Джеймс Макдіватт і Едвард Уайт, що стартували на космічному кораблі «Gemini-4», відкрили люк і Уайт (Рис. 10.2) вийшов в космос.



Рис. 10.1 – Олексій Леонов здійснив перший в історії людства вихід у відкритий космос у скафандрі «Беркут».



Рис. 10.2 – Ед Уайт, перший американець, який вийшов у відкритий космос.

Перший вихід у відкритий космос, здійснений А. Леоновим, став черговою точкою відліку для світової космонавтики. Багато в чому завдяки досвіду, отриманому в цьому першому польоті, сьогодні вихід у відкритий космос є вже стандартною частиною експедицій на Міжнародну космічну станцію.

Потенційною небезпекою є можливість втрати або неприпустимого віддалення від космічного корабля, яка може

призвести до загибелі через закінчення запасу дихальної суміші. Небезпечні також можливі пошкодження або проколи скафандрів, розгерметизація котрих загрожує декомпресією та швидкою смертю, якщо космонавти не встигнуть вчасно повернутись до корабля. Небезпечні також можливі пошкодження або проколи скафандрів, розгерметизація яких загрожує декомпресією та швидкою смертю, якщо космонавти не встигнуть вчасно повернутись до корабля. Інцидент з пошкодженням скафандра стався під час польоту «Атлантика» STS-37, маленький прутик проколов рукавицю одного з астронавтів. Завдяки щасливій випадковості розгерметизації не відбулося, оскільки прут застряг та блокував собою утворений отвір. Прокол навіть не помічали до повернення космонавтів на корабель та перевірки скафандрів.

Відомо, що найперший досить небезпечний інцидент стався під час першого виходу космонавта у відкритий космос 1965 року. Виконавши програму першого виходу, Олексій Леонов зіткнувся з проблемою повернення на корабель, оскільки відпустив поручень і в умовах невагомості не міг увійти ногами у люк шлюзової камери космічного корабля «Восход». Це відбулося через недоліки у підготовці до першого виходу у відкритий космос. Його скафандр роздувся. Також шарніри скафандра «Беркут» мали недостатню рухливість, яка на пряму залежала від рівня тиску у скафандрі. Здійснивши кілька спроб увійти до шлюзу ногами уперед, космонавт вирішив увійти до нього головою уперед. Прокрутивши регулятор тиску, космонавт знизив рівень надлишкового тиску у скафандрі з 0,4 атм до 0,27 атм, що дозволило йому повернутися до шлюзової камери. Можливість зниження тиску була передбачена конструкцією

скафандра. Всередині камери космонавт з великими труднощами розвернувся та зачинив за собою люк. Потім шлюзова камера була надута, тиск в ній зрівнявся із тиском у кабіні корабля. Космонавт О. Леонов повернувся у корабель.

Ще один потенційно небезпечний випадок стався під час другого виходу у відкритий космос астронавтів космічного корабля «Діскавері» (політ STS-121). Від скафандра Пірса Селлєрса від'єдналася спеціальна лебідка, яка допомагала повертатися на станцію та не давала космонавтові вилетіти у відкритий космос. Своєчасно помітивши проблему, Селлєрс зі своїм напарником змогли закріпити пристрій і вихід був завершений успішно.

Станом на кінець 2020 року здійснено сотні виходів у відкритий космос. Вирішено багато наукових завдань, здійснено ремонти космічних кораблів, станцій та супутників. Найбільш відомий ремонт телескопу «Хаббл», який відремонтували астронавти. Скафандри для виходу у відкритий космос здійснили значну еволюцію з часів «Беркута». Космонавтами зібрано чимало конструкцій (антени, ферми, сонячні батареї тощо). Доведена можливість успішної роботи людини у відкритому космосі. Розробка спеціальних телекерованих або автономних роботів поки що не увінчалась успіхом.

Сама ідея виживання в такому середовищі спирається на очевидну думку – створити навколо людини якийсь покрив, під захистом якого він без шкоди для себе зможе перебувати якийсь час. Причому, в цих умовах необхідно не просто зберегтися, а й виконувати складну роботу. Головна складність полягає в тому, що людина здатна жити і діяти в порівняно вузькому «коридорі» біосферних умов. Планетарна «ніша» його проживання, що забезпечує прийнятний склад повітря,

температуру і атмосферний тиск, дуже невелика і обмежується простором, що тягнеться від поверхні Землі всього лише на 6 кілометрів.

Шлях, що веде в цей простір, першими почали освоювати повітроплавці і авіатори ще на початку минулого століття. До 30-х років минулого століття висоти польотів літаків, а також дирижаблів стрімко збільшувалися, настільки ж стрімко наростав і обсяг нової інформації про умови проживання на великих висотах – понад 6 000 м. Виявилося, що за цим кордоном починався критичний поріг, після подолання якого кисневе голодування ставало для «звичайної» людини небезпечним – на цій висоті втрата свідомості відбувалася буквально за кілька хвилин. За межами ж в 7–8 км в організмі настають вже вкрай серйозні порушення. Іноді навіть екстрений спуск не в силах запобігти найгіршому результату. Тільки унікальні – «штучні»-люди в змозі переносити дефіцит кисню на цій висоті.

Починаючи з 10 км для дихання потрібен вже чистий кисень. Далі ж, пропорційно «висотності» цей час ще більше скорочується – на 16-кілометровій висоті воно дорівнює вже 15 с. Тому на висоті понад 12 км навіть при диханні чистим киснем людина не може існувати без створення навколо нього надлишкового тиску.

Крім кисневого голодування велику небезпеку на значних висотах представляє зниження атмосферного тиску, що призводить до декомпресії. Азот, розчинений в тканинах людини, переходить в газоподібний стан, що призводить до виникнення больових відчуттів.

Таким чином, для стратосферних польотів однієї лише кисневої маски недостатньо. І вже в 30-і роки були розпочаті роботи з проектування перших висотних скафандрів, що створюють навколо

людини атмосферу з надлишковим тиском по відношенню до навколишнього атмосфері. Тоді їх створювали для польотів людей на висотних повітряних кулях, стратостатах, предків перших низькоорбітальних космічних кораблів.

Скафандр повинен був стати універсальним засобом захисту. Уже тоді визначилася головна вимога до нього – герметичність. Крім того, він повинен захищати людину не тільки від низького барометричного тиску, а й від перегріву і охолодження.

Експериментально доведено, що гранична температура тіла, при якій ще зберігається життя, становить не більше 42–43 і не менше 27°C. При особливих умовах у людей з дуже міцним організмом допустимо лише короткочасне охолодження до 22–24°C. Труднощі, з якими зустрілися творці перших скафандрів, були безпрецедентними, адже вони повинні були забезпечити не просто фізичне існування дослідника в екстремальних умовах, а й дати йому можливість виконувати необхідну роботу, рухатися всередині літального апарату.

10.2. Сучасний скафандр це щось середнє між костюмом і будинком.

З моменту першого польоту в космос Юрія Гагаріна з'явилася нова, вкрай важлива професія космонавт. Дана робота відрізняється особливою специфікою, особливою підготовкою і, звичайно, особливим одягом. Основний одяг космонавта це скафандр, який буває декількох видів в залежності від призначення. Є скафандри для

відкритого космосу, а є для знаходження власне в кабіні космічного корабля.

Майже за 60 років "мода" на космічний одяг неодноразово змінювалася. Скафандр, в якому Гагарін здійснив перший в світі виток навколо Землі, повинен був врятувати йому життя в разі аварії і допомогти протриматися до появи рятувальників (Рис. 10.3).



Рис. 10.3 – Перший у світі космонавт Юрій Гагарін у скафандрі.

Скафандри останніх поколінь – це вже щось середнє між костюмом і будинком. У такій оболонці космонавт може понад десять годин перебувати у відкритому космосі. Тепер усередині скафандра є навіть запас питної води, щоб під час роботи поза станцією у людини була можливість втамувати спрагу, не повертаючись на борт.

Як і будь-який одяг, костюм космонавта повинен бути зручний як для енергійних рухів, так і для відпочинку. Костюм підрозділяється на кілька шарів.

Натільна білизна. У космічному кораблі використовується білизна одноразового типу, комплект просто утилізується і відкривається новий. Кращим варіантом з численних досліджень з'явилася в'язана бавовна, для підвищення міцності якої додається мала частина штучних волокон. Подібним синтетичним волокном була обрана віскоза. Цей варіант підтверджений численними дослідженнями, навіть через десять днів постійного носіння такої білизни під скафандром вона не викликає на шкірі подразнення і прекрасно вбирає все виділення шкірного покриву, що особливо важливо тому що в космічному кораблі не передбачені якісні гігієнічні процедури. Останньою розробкою даного виду одягу став варіант антимікробної білизни. Вона підходить для тривалих польотів, не дозволяє розвинути подразненням і успішно вбирає все виділення протягом довгого часу.

Польотний костюм. Це одяг для знаходження в кабіні, роботи і відпочинку, цей шар слідує відразу за натільною білизною і теж може бути одноразовим. Костюм не повинен обмежувати рухів і бути зручний в носінні, також необхідно врахувати при його виготовленні всі необхідні датчики, які кріпляться на одяг представника даної

професії. Польотний костюм виготовляється строго для певного корабля, враховується вологість, температура і тиск в кабіні. Використовуваний для виготовлення подібного костюма матеріал повинен відповідати багатьом критеріям, щоб не ускладнювати роботу космонавта. Основними якостями є еластичність, зносостійкість, жаростійкість, легкість та пиловідштовхуючі властивості. Дизайн самого костюма зазвичай враховує переваги його власника, якщо виготовляється костюм універсального типу, то модель роблять класичних спокійних відтінків. Костюм виготовляється з суміші синтетичних і натуральних тканин. Синтетика володіє більшою зносостійкістю, жаростійкістю, але синтетика створює навколо себе статичну електрику, що неприпустимо в костюмі космонавта.

Теплозахисний костюм. Теплозахисний костюм виготовляється на всякий випадок і основне його завдання зігріти космонавта. Крім самого костюма представнику даної професії дозволено використовувати вовняні шкарпетки і шапочку. Останній третій шар одягу виготовляється за тими ж критеріями, еластичність тканини, зручність крою, суміш натуральних і синтетичних волокон. До цього верхнього костюму додається стійкість до умов навколишнього середовища. Сам костюм складається з двох частин: це підкладки та верхнього шару. Основний матеріал шерсть, вона найкраще гріє і досить зручна в шкарпетці. Подібні теплові костюми розрізняються ступенем захисту від холоду на літній, вовняний, перехідний, зимовий, арктичний, особливо арктичний. З подібними костюмами в комплекті йдуть шапочки того ж типу. Найпопулярніша модель шапки це головний убір з козирком і відворотом. Шапочка робиться трохи легше костюма і не повинна зачіпати волосся або бути надто спекотною.

Після цього головного убору може бути шолом, він може бути як частиною костюма, так і ще однією деталлю комплексу теплового одягу. Крім голови шолом захищає значну частину грудей плечей і спини за рахунок широкої манишки. На шолом є можливість прикріпити необхідні для зв'язку датчики.

Останньою деталлю теплового костюма є взуття. Воно виготовляється індивідуально по нозі космонавта, відрізняється особливою легкістю і теплою. Всі три шари одягу виготовлені для перебування їх носія в невагомості. Всі деталі костюмів ретельно кріпляться до них і в той же час дозволяють зробити це максимально швидко. Матеріали для виготовлення костюмів проходять безліч тестів, перевіряючи їх зручність і безпеку. У космічному кораблі не повинно нічого створювати незручність або додаткові труднощі в роботі, тому костюми розробляються з особливо ретельним підходом до даного виду одягу.

Скафандр першого космонавта («СК-1») – Юрія Гагаріна, був спроектований як раз на базі авіаційного костюма «Воркута». «СК-1» був м'яким типом скафандра, який складався з двох шарів: термопластика і герметичної гуми. Зовнішній шар скафандра був розміщений в помаранчевий чохол, для більш зручного проведення пошукових робіт. Крім того, під скафандр було надягнуто теплозахисний комбінезон. До останнього кріпилися трубопроводи, завдання яких полягало в вентиляції костюма, виведення вологи і вуглекислоти, що виділяється людиною. Вентиляція відбувалася за допомогою спеціального шлангу, що підключався до скафандра всередині кабіни. Також «СК-1» мав так званий асенізаторний пристрій – щось на зразок еластичних трусів зі змінними

поглинаючими прокладками. Основна мета такого скафандра – уберегти космонавта від згубного впливу оточення в аварійній ситуації. Тому при розгерметизації вентиляційний шланг миттєво відсікався, опускалося забрало шолома і запускалася подача повітря і кисню з балонів. При нормальній роботі корабля, час роботи скафандра становив близько 12-ти діб. У разі ж розгерметизації або неполадки системи життєзабезпечення (СЖЗ) – 5 годин.

10.3. Типи космічних скафандрів і їх функціональні властивості.

Виділяють два основних типи космічних скафандрів: жорсткий і м'який. І якщо перший може вмістити значний функціонал системи життєзабезпечення і додаткові захисні шари, то другий – менш громіздкий і значно підвищує маневреність космонавта.

До першого виходу людини у відкритий космос космічні скафандри розділилися ще на три типи: для порятунку в разі аварійної ситуації, для роботи у відкритому космосі (автономний), а також універсальний.

Базовою моделлю російського скафандра без виходу у відкритий космос є «Сокіл» та американський «ACES». Перша модель «Сокола» увійшла в експлуатацію в 1973 році і надівалася космонавтами при кожному польоті на кораблях «Союз».

Конструкція сучасної версії скафандра («Сокіл KB – 2»)

(Рис. 10.4) включає два склеєних шари: силовий – зовні, і герметичний – всередині.



Рис. 10.4 – Скафандр «Сокіл»

До гермооболонці підведені трубопроводи для здійснення вентиляції. Трубопровід для підведення кисню підключений тільки до шолома скафандра. Габарити скафандра залежать безпосередньо від параметрів людського тіла, але мають вимоги до космонавту: зріст 161–182 см, обхват грудей – 96–108 см. У цілому значних нововведень в цій

моделі не було і скафандр відмінно справляється з поставленою метою – збереження безпеки космонавта у час космічної транспортування.

«Орлан-МК». Космічний скафандр, призначений для ведення робіт у відкритому космосі. Модель МК застосовується на МКС з 2009 року. Даний скафандр є автономним і здатний підтримувати безпечну роботу космонавта у відкритому космосі протягом семи годин. У конструкцію «Орлан-МК» входить невеликий комп'ютер, який дозволяє бачити стан всіх систем скафандра під час позакорабельної діяльності (ПКД), а також рекомендації в разі неполадок будь-якої з систем. Шолом скафандра має золоте напилення для зменшення шкідливого впливу сонячних променів. Варто відзначити, що в шоломі є навіть спеціальна система для продувки вух, які закладає при зміні тиску всередині скафандра. Ранець, розташований позаду скафандра, містить механізм постачання кисню. Вага «Орлан-МК» становить 114 кг. Час роботи поза корабля – 7 годин. Вартість такого скафандра можна лише припустити в діапазоні від 500 тис. до 1.5 млн доларів США.

«A7L». Справжні випробування для розробників скафандрів почалися з моменту початку підготовки висадки астронавтів на Місяць. Для здійснення поставленого завдання був розроблений скафандр «A7L». Щодо конструкції даного скафандра слід згадати кілька особливостей. Як відомо, «A7L» складався з п'яти шарів і мав теплоізоляцію. Внутрішній гермокостюм мав кілька роз'ємів для СЖЗ, зовнішня міцна оболонка включала два шари: протиметеорний і вогнестійкий. Сама оболонка була зроблена з 30-ти різних матеріалів для забезпечення вищезазначених характеристик. Помітним

компонентом «A7L» (рис. 10.5) був ношений на спині ранець, який містив основні компоненти СЖЗ.



Рис. 10.5 – Скафандр «A7L»

Щоб уникнути перегріву астронавта, а також запотівання гермошлема, всередині скафандра циркулювала вода, якою передавалося тепло, що виділяється тілом людини. Нагріта вода надходила в ранець, де охолоджувалася за допомогою холодильника.

«EMU». Extravehicular Mobility Unit або «EMU» - американський костюм для позакорабельної діяльності, який поряд з «Орлан-МК» використовується космонавтами для виходу у відкритий космос (Рис. 10.6, 10.7).

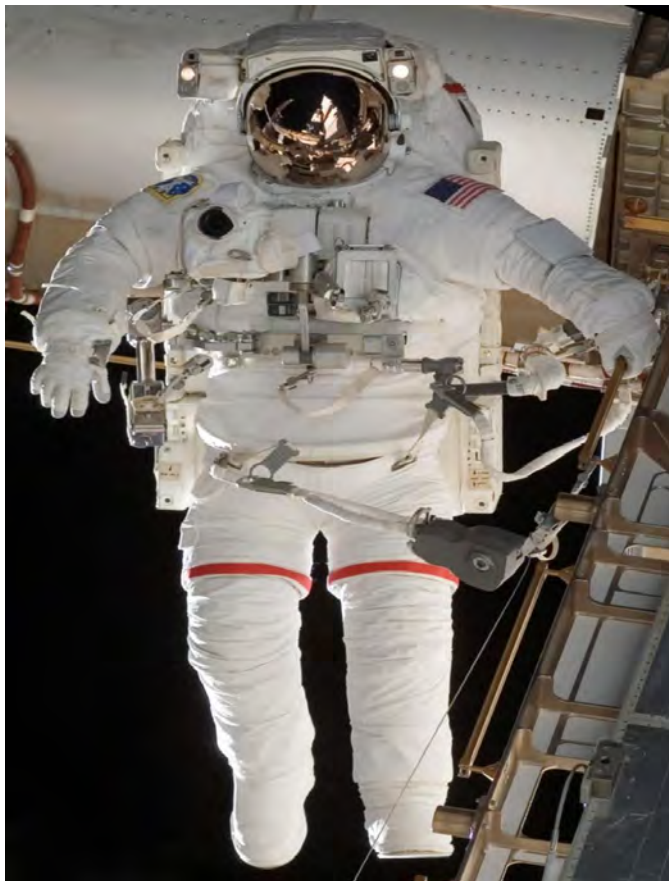


Рис. 10.6 – Скафандр «EMU».



Рис. 10.7 – Астронавти в скафандрах «EMU». Їдуть роботи на МКС. На задньому фоні видно протоку між Північним і Південним островами Нової Зеландії / © NASA

Скафандр «EMU» є напівтвердим костюмом, здебільшого схожий з російською розробкою. Серед деяких відмінностей: літровий контейнер з водою, підключений трубкою до шолома; посилений корпус, здатний витримувати температури в діапазоні від -184°C до $+149^{\circ}\text{C}$; час роботи у відкритому космосі – 8 годин; кілька менший тиск всередині скафандра – 0,3 атм., в той час як у «Орлан МК» – 0,4 атм.; є відеокамера. Наявність перерахованих вище особливостей позначилося на вазі костюма, який становить близько 145 кг. Вартість одного такого скафандра становить 12 млн доларів.

В 2016 році введено в експлуатацію нову модифікацію скафандра «Орлан-МКС» (Рис. 10.8).

Скафандр «Орлан» – тип космічного скафандра, створений в СРСР для здійснення безпечного перебування і роботи космонавта у відкритому космосі. В наш час модифікований варіант космічного скафандра «Орлан» забезпечує роботу космонавтів на МКС при здійсненні ними діяльності у відкритому космосі.



Рис. 10.8 – Скафандр «Орлан МКС» для роботи у відкритому космосі

Основні параметри скафандра: робочий тиск всередині скафандра – 0.4 атм, атмосфера – киснева. У костюмі водяне охолодження, яке надівається космонавтом на тіло, температура може регулюватися в інтервалі 8–25 °С, температура газу, який вентилює 15–20 °С. Для видалення вуглекислого газу використовується літєвий поглинальний патрон ЛП-9, що дає можливість перебувати в скафандрі протягом 9 годин. У тім'яної частини шолома розташований ілюмінатор, що збільшує площу огляду. Крім того, шолом

забезпечений протисонячних фільтром, що опускається. Для роботи в тіні на шоломі є світильники.

В «Орлан-М» можуть працювати люди зростом від 165 до 190 см. Причому жінки-космонавти також випробовували скафандр, і представниці прекрасної статі, навіть досить тендітної тілобудови, вважають його зручним для роботи. У місцях згинів рук та ніг (плечі, лікті, коліна) стоять гермопідшіпники; рукавички можуть зніматися і виготовляються індивідуально. Для «продувки» вух при зміні тиску в скафандрі є спеціальний пристрій Вальсальви, який можна використовувати і для чухання носа, де при тривалій безперервній роботі можливо скупчування поту. Адже доторкнутися рукою до обличчя в скафандрі неможливо.

Основними особливостями даної моделі є автоматична терморегуляція, в залежності від складності виконуваної космонавтом роботи в даний момент, і автоматизація підготовки скафандра для виконання виходу у відкритий космос.

На МКС передбачено використання як російських, так і американських скафандрів EMU. Причому виходи в «Орланів-М» можливі як з російського стикувального відсіку «Пірс», так і з американської шлюзової камери Quest, а в американському скафандрі — тільки з Quest.

10.4. Скафандри недалекого майбутнього

НАСА також займається розробкою нових скафандрів. Один з

таких прототипів вже проходить тестування – «Z-1» (Рис. 10.9). Його функціонал має деякі значні інновації:

- наявність універсального порту в задній частині скафандра дозволить підключати до нього як автономну СЖЗ, у вигляді ранця, так і систему життєзабезпечення, що надається кораблем;



Рис. 10.9 – Новий скафандр Z-1.

- підвищена рухливість астронавта в скафандрі досягнута за рахунок нової технології «вставок» в місцях згину частин тіла, м'якої конструкції костюма, а також відносно невеликої ваги – близько 73-х кг в збірці для ВКД.

Мобільність астронавта в «Z-1» настільки висока, що дозволяє йому нахилитися і дістати до пальців ніг, присісти на коліно, а то і зовсім сісти в позу схожу на позу «лотоса».

Але з «Z-1» вже на початкових етапах виникли проблеми – його громіздкість не дозволяє перебувати в ньому астронавтам на борту деяких космічних кораблів. Тому НАСА, крім «Z-1» і вже анонсованої модифікації – «Z-2», повідомляє про роботу над ще одним прототипом, особливості якого поки не розкриваються.

Американське космічне агентство НАСА ще не до кінця впевнено в тому, куди наступного разу вирушать астронавти, на Марс, на Місяць або на астероїди. Але в будь-якому випадку одна із запланованих експедицій в недалекому майбутньому відправиться до одного з вищевказаних космічних тіл і інженери НАСА, які розробляють новий космічний скафандр, повинні врахувати всі особливості майбутніх місій. До нового скафандра розробляється спеціалізований набір інструментів і пристосувань, за допомогою яких астронавти будуть здатні впоратися з будь-яким дослідницьким завданням.

Прототип нового скафандра Z-1, який в даний час проходить серію випробувань у вакуумній камері, як раз і розроблений для того, що б дати астронавтам можливість виконувати будь-які дії у відкритому космосі за межами космічних апаратів або на поверхні космічних тіл, планет і астероїдів, де може бути присутня атмосфера, яка непридатна для дихання.

Особливості нової конструкції скафандру Z-1.

Універсальний порт. В першу чергу, через цей універсальний порт, розташований в задній частині скафандра Z-1, астронавт потрапляє в скафандр, перебуваючи всередині космічного корабля. Універсальний набір сполучних елементів дозволяє астронавту в скафандрі підключатися до систем космічного корабля, отримуючи необхідне для дихання повітря. До цього ж порту може бути підключена і автономна система життєзабезпечення, за допомогою якої астронавт може виконувати дії, не будучи прив'язаним до космічного апарату. Так само, універсальний порт значно збільшує внутрішній об'єм скафандра, що дає астронавта шанс дістатися до безпечного місця в разі якихось неприємностей з системою життєзабезпечення.

Рухливість. Найперші космічні скафандри не відрізнялися особливою гнучкістю, що вельми обмежувало астронавта в свободі рухів і переміщень. Але у скафандра Z-1 є спеціальні гнучкі вставки і звуження, розташовані в ключових точках: на ліктях, в стегнах і на щиколотках, які дозволяють астронавту рухатися лише з невеликими обмеженнями. Астронавт, одягнений в скафандр Z-1, буде здатний навіть нахилитися, відколоти від поверхні і підняти з неї зразки породи.

Матеріал. При створенні скафандра Z-1 були використані всі наявні на сьогоднішній день досягнення в області матеріалів. Одні верстви призначені для захисту людського організму від жорсткого космічного випромінювання, шар з поліуретану і нейлону дозволяє зробити скафандр герметичним і не допустити витоку повітря, а шар з полієфіру дозволяє скафандру не втрачати свою форму. А самий останній шар, виготовлений зі складних композитних матеріалів,

захищає організм астронавта від перепадів зовнішньої температури і створює комфортні умови для перебування всередині скафандра.

Для більш ефективного контролю тиску при створенні скафандра використовувався матеріал з нейлону і поліестеру. Значно поліпшено конструкція «суглобів» скафандра, що дозволяє астронавтам легше і природніше пересуватися і виконувати необхідні дії. З боку спини, де раніше знаходився гігантський рюкзак, тепер передбачено розмістити ще й люк-шлюз. Завдяки цьому пристосуванню, космічним посланцям буде легше пристикуватися до корабля або транспортного засобу.

Не можна не відзначити, що в даній області виникають і інноваційні сміливі пропозиції, найбільш відома з яких – «Biosuit». Особливістю «Biosuit» є відсутність порожнього простору в костюмі для наповнення його газами з метою створення зовнішнього тиску на тіло. Останнє проводиться механічним чином за допомогою сплаву титану і нікелю, а також полімерів. Тобто скафандр сам стягується, створюючи тиск на тіло. Будучи розділений на сегменти, «Biosuit» «не боїться» проколів скафандра в тому чи іншому місця, так як місце проколу не призведе до розгерметизації всього костюма, і може бути просто заклеєно. Крім того, дана технологія значно знизить вагу скафандра і запобіжить травмам астронавтів, що виникають в результаті роботи в важкому костюмі. Що ще залишається в процесі розробки так це шолом, який, на жаль, за вказаною технологією створити швидше за все не вдасться. А тому, ймовірно, в майбутньому нас чекає якийсь симбіоз скафандра «Biosuit» і «EMU».

NASA представило нові скафандри для своїх космонавтів, які планується використовувати при польотах на Місяць і на Марс.

Це сімейство складається з двох видів нових скафандрів: OCSS (Рис. 10.10) (Orion Crew Survival System – Система виживання екіпажу «Оріон»), який планується надягати під час роботи і польоту і xEMU (Exploration Extravehicular Mobility Unit – Мобільна одиниця для досліджень поза кораблем), який буде використовуватися для роботи на поверхні Марса чи Місяця. Дані скафандри зможуть носити як чоловіки, так і жінки.

Скафандр OCSS виконаний з оранжевого матеріалу, він має легкий захист від радіаційного та температурного впливу, а також розроблений з можливістю дати космонавту час при раптовій розгерметизації. При цьому рукавички скафандра виконані із зносостійкого матеріалу, вони дозволяють користуватися пристроями з сенсорними тачскрінами.

Тачскрін – це пристрій введення якої-небудь інформації в телефон або планшет. Він призначається для адекватного сприйняття пристроєм наказів. Часто тачскрін (або сенсор) плутають з екраном, але це абсолютно дві різні речі.

Скафандр xEMU (Рис 10.11) підходить для роботи при температурі навколишнього середовища від -121 до +121°C. Цей скафандр зроблений за принципом "один розмір для всіх". У той же час він забезпечує космонавту великий ступінь свободи. У ньому людина зможе нахилитися, підняти руки, а також повертати торс.

Крім компанії Ілона Маска, NASA також уклало контракт на доставку астронавтів на МКС з аерокосмічним концерном Boeing. Для цього планується використовувати розроблений компанією корабель CST-100 Starliner (Рис. 10.12) та сині скафандри Boeing (Рис. 10.13).

CST-100 Starliner – пілотований транспортний космічний корабель, що розробляється компанією Боїнг у співпраці з компанією Bigelow Aerospace за програмою НАСА – Commercial Crew Development. Головне завдання – транспортування екіпажу до МКС і до приватних космічних станцій, таких як Комерційна космічна станція Бігелоу.



Рис. 10.10 – Скафандр OCSS для роботи і польоту на Луну і Марс.



Рис. 10.11 – Скафандр xEMU для роботи на поверхні Марса чи Місяця.



Рис. 10.12 - Корабль CST-100 Starliner



Рис. 10.13 – Скафандр, розроблений компанією Boeing.

Підводячи підсумки, хочеться зазначити, що стрімкий розвиток

технологій призводить до настільки ж стрімкому розвитку космічної техніки, інструментів та спорядження. Гальмівним фактором розвитку скафандрів може бути лише фінансування, так як дане спорядження коштує мільйони доларів.

Розділ 11. НАВІЩО ЛЮДСТВУ ПОСЕЛЕННЯ НА МІСЯЦІ ТА МАРСІ?

11.1. Походження Місяця.

Летючі елементи і вода майже відсутні на поверхні Місяця, так як вони зникли в процесі гігантського зіткнення. До такого висновку в 2017 році прийшли американські та французькі вчені, проаналізувавши породи з району, де проходило випробування першої в світі ядерної бомби. Робота дослідників опублікована в журналі Science Advances.

Одна з теорій походження Місяця припускає, що вона з'явилася в результаті катастрофічного зіткнення молодшої Землі і Тейи (планета, яка, ймовірно, існувала на початку формування Сонячної системи на тій же орбіті, що й Земля). Протопланета розміром з Марс врізалася в Землю під кутом, і велика частина речовини об'єкта, який вдарився, а також частина речовини земної мантиї були викинуті на навколосонячну орбіту. З цих «уламків» сформувався Місяць і став обертатися навколо нашої планети (Рис. 11.1).



Рис. 11.1 – Загадковий Місяць.

Така гіпотеза добре пояснює, чому на Місяці, на відміну від її сусіда – Землі, спостерігають вкрай мало летких речовин. На думку дослідників, вони могли просто випаруватися в наслідок дуже високих температур і тиску. Тим не менш, перевірити це припущення важко, так як вчені в лабораторії не можуть відтворити температуру або навіть віддалений масштаб подібного процесу. Проте на Землі відбувалися події, які можуть слугувати моделлю для планетарних досліджень: одна з них – це випробування ядерної бомби «Трініті», яке проведене в 1945 році в штаті Нью-Мексико, США.

Під час вибуху, який був еквівалентний приблизно 21 кілотоні тротилу, пісок на прилеглій поверхні розплавився, перетворившись в тонкий шар скла, або тринітит. Він піддався впливу температур понад 8 тисяч градусів Цельсія і тиску близько 80 тисяч атмосфер. На думку вчених, ці умови близькі до тих, які виникли при формуванні Місяця.

Автори роботи вивчили розподіл одного летючого елемента, цинку, а також його ізоотопів у зразках тринітита. Дослідники помітили, що чим ближче до епіцентру вибуху знаходився тринітит, тим менше в ньому містилося цинку і його легких ізоотопів. Це пояснюється тим, що вони зникли в процесі. У той же час, більш важкі ізотопи цинку ($Zn-66$) показали зворотну залежність – їх концентрація зростала по мірі наближення до точки, де проходили випробування.

Так як дослідження зразків місячних порід показують, що ґрунт Місяця також містить мало летких елементів і сполук, в тому числі і легких ізоотопів цинку, фахівці вважають, що їх дослідження свідчать на користь великого зіткнення в давнину або на користь існування

океану магми, що виник після нього. В результаті цих подій летючі елементи і сполуки могли просто випаруватися.

Дослідження і освоєння Місяця становить величезний інтерес для вчених і відкриває нові перспективи для освоєння космосу. На Місяці цілком можна побудувати постійну базу: там є вода (у вигляді льоду в кратерах) і корисні копалини – наприклад, залізо і титан. Вакуум повинен дозволити отримувати надчисті сплави.

Доставка корисних копалин на Землю, видобутих на природних космічних об'єктах, економічно не доцільна, тому інтерес представляє переробка їх безпосередньо на станції видобутку в космосі. Через 5–15 років об'єктом для видобутку і переробки корисних копалин поза Землі може стати Місяць, поверхневий шар якого, реголіт, складається з частинок зруйнованих гірських порід.

Реголіт = являє собою шар пухких, неоднорідних поверхневих накопичень, що покривають тверду породу. Він включає пил, ґрунт, розбиту скелю та інші супутні матеріали та присутній на Землі, Місяці, Марсі, деяких астероїдах та інших земних планетах та місяцях.

При цьому особливого сенсу повторювати польоти на 2–3 дні на Місяць немає ніякого сенсу: це занадто дорого і неефективно. Будівництво місячної бази обійдеться ще дорожче і вимагає від космічної індустрії нових, більш потужних ракет і величезних витрат, на які зараз бюджет будь-якої країни навряд чи готовий. Наприклад, у часи програми «Аполлон» NASA отримувало фінансування в розмірі 5% від державного бюджету, а зараз – близько одного відсотка.

Інтересами країн (крім корисних копалин) безумовно є, по-перше, космічна сонячна енергетика. Китай оприлюднив амбітні плани і, здається, приступив до їх реалізації. Уявімо собі, що цілодобово висять

обличчям до Сонця гігантські батареї, які напрямляють мікрохвильові пакети гігаВат вниз, до приймачів енергії на Землі. По-друге, супутниковий Інтернет. Уявіть собі фермера в Болівії, який стоїть перед вибором: платити за нього американській компанії або прийняти його "в подарунок від китайського народу". Зрозуміло, що він обере.

Науці відомо, що Місяць має масу різноманітних корисних копалин, зокрема, метали, які є надзвичайно корисними для промисловості. Серед них наступні: алюміній, титан, залізо. Крім цього, у верхній частині місячного ґрунту, первинному шарі, так званому реголіті, міститься велика кількість вельми рідкісного на Землі ізотопу гелію-3, який може успішно застосовуватися у сфері поліпшення якості палива і згодом використовуватися для перспективних реакторів термоядерного типу. У тому числі, якщо вірити науковим джерелам, на Місяці були знайдені багаті поклади водяного льоду. Можливість використовувати глибокий вакуум, присутній на Місяці, а також дешеву сонячну енергію, відкривають кардинально нові горизонти для таких сфер, як матеріалознавство, електроніка, металообробка, металургія.

Вченим вдалося не тільки виявити корисні копалини Місяця, але також розробити методики їх видобутку. На сьогоднішній день здійснюються багато розробок промислових методик видобутку з реголіту кисню, окремих металів, гелію-3.

Ефективний і динамічний видобуток корисних копалин на Місяці став можливим завдяки використанню сучасних технологій і обладнання. Варто зазначити, що умови для створення пристроїв мікроелектронного типу і процедури обробки металів на Землі досить несприятливі через наявність великих об'ємів вільного кисню в

атмосфері. Саме кисень є чинником, який суттєво погіршує якість зварювання і лиття. В тому числі, кисень винен у тому, що отримання підкладок мікросхем у великих обсягах практично неможливо.

Крім того, що на Місяці є багато корисних копалин, вчені відзначають їх користь для людства в тому, що на нього можна виводити ті чи інші небезпечні і шкідливі для здоров'я людей виробництва, тим самим зберігаючи не тільки здоров'я всього людства, але також і здоров'я планети Земля, її екологію.

Місячний ґрунт може стати джерелом води і палива для космічних місій. Протягом останніх 4,5 мільярдів років поверхня Місяця піддається сонячному і космічному випромінюванню, в наслідок чого його ґрунт перетворюється в реголіт – сірий і сухий залишковий ґрунт. Для багатьох дивний факт, що в ньому міститься вода, яка може бути зібрана і використана в довгострокових космічних місіях. Європейське космічне агентство відмінно знає про це, тому оголосило про намір почати видобуток місячного ґрунту в 2025 році.

Регулярні метеоритні удари піднімають з поверхні Місяця частки води в об'ємі 200 тонн щорічно. Порівняння приполярних кратерів на Місяці й Меркурії вказало, що в них можуть ховатися поклади мільярдів тонн водяного льоду – приблизно в 100 разів більше, ніж вважалося раніше. Однак ця вода швидко випаровується в космос навіть з кратерів, які завжди перебувають у тіні. Сьогодні вчені не сумніваються в існуванні на Місяці значних запасів водяного льоду. Зокрема, багато води має бути на дні постійно затінених кратерів в районі південного полюса. Більш точні оцінки зробити сьогодні важко, так як на даний момент найбільш докладні дані отримуються за допомогою вивчення відбитого світла. Проте в темних кратерах за

визначенням мало світла, тому вимірювання не дозволяють реєструвати малі кількості води.

Однак підкорення місяця не впирається тільки в технологічну складову. Зрештою, жити там будуть люди, і все це матиме на них вплив. До теперішнього часу було проведено не так багато досліджень, присвячених впливу космічного середовища на фізіологію людини на клітинному рівні. Наші технології краще підготовлені до місячних баз, ніж наші тіла.

Відомо, що людські органи, тканини і клітини дуже чутливі до гравітації, але розуміння того, як вони функціонують і відновлюються, в даний час немає. Що станеться, якщо космонавти захворіють? Чи спрацюють ліки з Землі? Якщо на Місяці поселяться люди, потрібно відповісти на ці фундаментальні питання.

Можливо, в даному випадку підійде 3D-друк. Росія нещодавно продемонструвала перший 3D-біопринтер, що функціонує в умовах мікрогравітації. Роботою в даному напрямку займається і Європейське космічне агентство (ESA). У довгостроковій перспективі 3D-біопечать людських органів і тканин може відіграти вирішальну роль в підтримці місячних місій.

Астрономи з Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі провели паралелі між Місяцем і Меркурієм. На полюсах цих об'єктів, незважаючи на значну різницю у відстані до Сонця, умови багато в чому схожі. Зокрема, температура в тіні і на освітленій частині сильно відрізняється в наслідок майже повної відсутності атмосфери.

Найбільш докладні дані про короткоперіодичні планети Сонячної системи зібрав апарат «MESSENGER». Зокрема, на його борту був прилад Mercury Laser Altimeter, що дозволяв вимірювати висоту

особливостей рельєфу. Автори роботи використовували цю інформацію для побудови залежності між розміром і глибиною двох тисяч кратерів, які розташовано на північному полюсі Меркурія. Виявилося, що кратери стають помітно менш глибокими ближче до полюса. Вчені пов'язують цей факт з накопиченням речовин, які випадають в осад, у тому числі водяного льоду, а в деяких місцях товщина таких покривів становить до 50 метрів. Порівняння результатів з аналогічними даними для 12 тисяч кратерів на Місяці дозволило виявити схожу залежність для південного полюса найближчого космічного тіла. Дослідники також пов'язують це з накопиченням водяного льоду. Просторове розташування кратерів з відомими покладами льоду корелює зі зменшенням глибини, і автори вважають це підтвердженням запропонованої інтерпретації. Якщо припустити що всі 10 тисяч квадратних кілометрів затінених місць на поверхні Місяця покриті десятиметровим шаром льоду, то сумарна його кількість буде становити близько 100 мільярдів тонн.

В іншій роботі вчених Центру космічних польотів NASA імені Годдарда описується вплив сонячного вітру і мікрометеоритів на лід в затінених кратерах. Автори показують, що взаємодія з потоками плазми від зірки, що розширюється і невеликими тілами, що постійно падають, призводить до постійного випаровування верхніх шарів. Це пов'язано з невеликою гравітацією Місяця і відсутністю атмосфери, через що вибита з поверхні мікроскопічна частинка може піднятися високо над поверхнею, опинитися під впливом прямих сонячних променів і впасти лише в десятках кілометрів від попереднього місця.

В результаті шар товщиною близько півмікрона повинен повністю руйнуватися у масштабі двох тисяч років. За оцінками

дослідників, над полярними кратерами з покладами льоду має перебувати розріджена хмара води. Великий кратер близько 40 кілометрів в діаметрі повинен випромінювати приблизно 1019 молекул води в секунду. Підтвердити це зможуть майбутні вимірювання: автори прогнозують концентрацію над кратерами близько 10 молекул водт в кубічному сантиметрі.

Всі плани країн щодо освоєння ресурсів Місяця передбачають створення на її поверхні постійних баз і періодичні (або постійні) пілотовані експедиції до них. За відсутністю атмосфери на Місяці м'яка посадка космічних апаратів на місячну поверхню може здійснюватися з допомогою реактивних двигунів, причому енергетично вигідно, щоб максимальне гальмування апарату відбувалося безпосередньо перед посадкою. При цьому гальмовими двигунами неминуче будуть підніматися хмари пилу, що знаходиться на поверхні Місяця.

Типова порошокина на місячній поверхні складається з безлічі спаяних в складну структуру скла і мікрокристалів, кожен з яких має гострі грані, розташовані під різними кутами. Подібний пил субмікронних розмірів легко зчіплюється навіть з самими гладкими поверхнями, після чого вся поверхня стає абразивною. Всяке тертя з нею призводить до інтенсивного зношування поверхонь.

Крім того, у відсутність атмосфери порошокини під дією іонізуючого сонячного випромінювання легко набувають і довго зберігають електричний заряд, завдяки якому місячний пил схильний до левітації над поверхнею. Левітація (від лат. *levitas* – легкість) – стійка рівновага об'єкта у гравітаційному полі без безпосереднього контакту з іншими тілами. Левітуючий пил навіть створює щось на зразок «пилової атмосфери» Місяця.

Заряджені порошинки легко прилипають до всіх поверхонь космічних апаратів. Астронавти NASA, переміщаючись по поверхні Місяця, неодноразово падали, в наслідок чого їх скафандри виявлялися неабияк забруднені місячної пилом.

Під час проведення перших пілотованих місій на Місяць властивості речовини місячної поверхні не були відомі. У конструкції космічних кораблів «Аполлон» не були передбачені перехідні тамбури для ізоляції кабіни з пілотами від забруднень, які могли бути принесені в неї на скафандрах після повернення астронавтів з екскурсій по поверхні Місяця. Хоча астронавти намагалися по можливості очистити свої скафандри, вони занесли місячний пил в посадковий модуль. Опинившись в кабіні, пил забруднив в ній повітря і через дихальні шляхи потрапив в організм космонавтів, наслідки чого були дуже неприємними. Всі астронавти скаржилися на печію в горлі, свербіж шкіри і головні болі. Характер токсичної дії місячного пилу на людський організм поки не повністю вивчений, але абсолютно ясно, що боротьба з ним буде складним завданням при організації майбутніх експедицій на Місяць.

Проблему ускладнює, крім іншого, і вкрай висока проникаюча здатність малорозмірних місячних пилинок. Частинки пилу були виявлені навіть у внутрішніх частинах скафандрів, всередині всіх приладів місячних апаратів. У рухомих частинах апаратури місячний пил приводив до інтенсивного зносу поверхонь, що труться і скорочення терміну служби приладів. Герметичність контейнерів для зразків, що стикалися з місячним пилом, була порушена. Все це створює складну проблему щодо захисту апаратури, скафандрів і жилих приміщень від небезпечного місячного пилу.

Одним з ефективних методів запобігання попадання пилу в житлові приміщення місячної станції є створення майданчиків (космодромів) на освоєваних територіях, на яких штучно буде видалено поверхневий пил. В такому випадку для астронавтів, які здійснять посадку на такий майданчик, будуть створені умови з мінімальними можливостями контактів з пилом.

Минуло п'ять десятиліть після того, як стався маленький крок для людини і величезний стрибок для всього людства. І через 50 років після першого кроку на Місяць реалізується нова ініціатива – постійна колонія, що підтверджує наміри нашої популяції влаштуватися на супутнику Землі (Рис. 11.2) на постійній основі.



Рис. 11.2 – Такою вбачається наша Земля з поверхні Місяця.

Проект являє собою абсолютно нову задачу в області архітектурного проектування. Місячне поселення повинне бути здатне підтримувати людське життя в абсолютно інших, незаселених умовах.

Мають бути враховані проблеми, про які ніхто раніше не мав гадки на Землі, і такі як радіаційний захист, перепади тиску і як забезпечити астронавтів киснем для дихання.

Стійкість архітектури і самодостатність інженерних комунікацій є ключовими завданнями в проєкті. Ділянка, яку визначено на генеральному плані, була ретельно відібрана вченими і архітекторами і передбачає розташування Місячного Села на краю кратера Шеклтон біля Південного полюса. Ця ділянка на поверхні Місяця отримує майже безперервне денне світло протягом місячного року. Таке планування має важливе значення для першого з трьох передбачених етапів розвитку: кількох критичних інфраструктурних компонентів і придатних для житла споруд, які дозволять Поселенню використовувати сонячне світло для виробництва енергії і проводити експерименти по використанню ресурсів на місці або генерувати їжу і інші елементи життєзабезпечення за допомогою ресурсів Місяця. Вода з постійно затінених западин поблизу Південного полюса видобуватиметься для створення життєво необхідного повітря і ракетного палива для транспортування і підтримки промислової діяльності. Поселення має бути згруповано близько до покладів льоду в кратері. Крім того, кожен кластер модулів повинен бути згрупований один з одним для забезпечення безперешкодного з'єднання між спорудами, з вежами зв'язку на найвищих точках нерівномірної поверхні Місяця. Архітектура Поселенню являє собою серію надувних контейнерів під тиском, в яких будуть розміщуватися робочі місця, житлові приміщення, системи контролю навколишнього середовища і системи життєзабезпечення. На рівні третього-четвертого поверху,

модулі можуть трансформуватися і розширюватися, збільшуючи площу житлового простору для майбутнього зростання.

Ці надувні конструкції забезпечать, разом із захисними оболонками на основі реголіту, стійкість до екстремальних температур, метеорного дощу, реголітного пилу, радіаційного та сонячного випромінювання (Рис. 11.3).

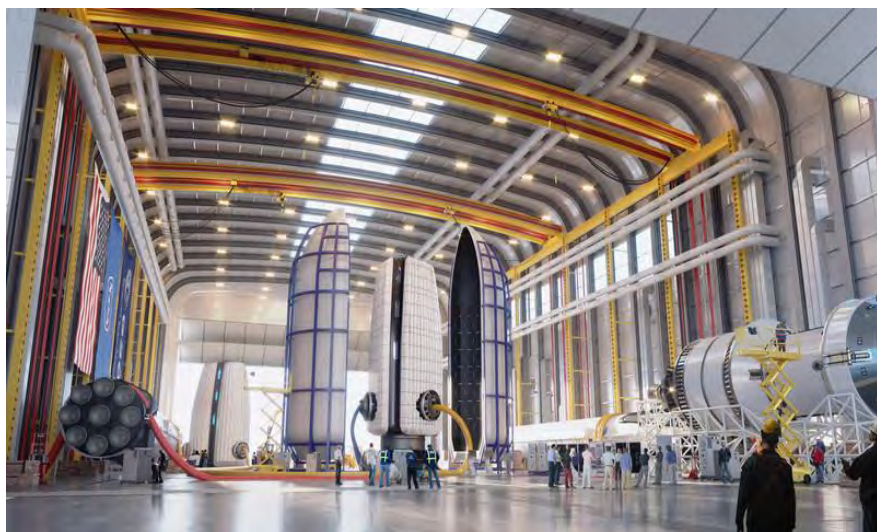


Рис. 11.3 – Проект Місячного Поселення.

Інша концепція припускає, що спочатку невеличка група з чотирьох астронавтів створить тимчасову базу на краю кратера Шеклтона, що на південному полюсі Місяця. Житлові приміщення являють собою легкі рами, обгорнені герметичною оболонкою. Це аерокосмічна технологія, яку МКС вже використовує у своєму літньому надувному модулі Bigelow – міцна конструкція, з економією ваги, що вкрай важливо, коли кожен фунт вантажу дорівнює мільйонам доларів витрат на паливо.

Житла для майбутніх колоністів Місяця і Марса можна виростити з грибниці. З такою ідеєю виступили вчені Науково-дослідного центру ім. Еймса NASA. Повідомлення про це опубліковано на офіційному сайті космічного агентства США. Передбачається, що для «живого будівництва» спочатку необхідно побудувати льодовий панцир, використовуючи його відповідні запаси на Місяці і Марсі. Потім помістити всередину колонію ціанобактерій. Вони будуть виробляти з льоду кисень для людей і поживні речовини для міцелію.

Грибниця (також **міцелій**) – вегетативне тіло справжніх грибів, складається з тонких розгалужених гіфів, діаметром 1,5 – 10 мкм. Розвивається зазвичай всередині субстрату, рідше – на його поверхні. Міцелій може бути неклітинним або багатоклітинним. Ядра клітин міцелію можуть бути гаплоїдними або диплоїдними.

Останній, поступово розростаючись в потрібних напрямках, і сформує стіни житла. Як тільки «живе будівництво» буде завершено, міцелії необхідно буде прожарити, щоб зупинити подальший розвиток. В експериментальних умовах вчені центру вже змогли отримати з грибниці щось на зразок табурета, а також аналоги будівельних цегли.

Незважаючи на велику кількість перешкод, які пов'язані з життям за межами Землі, люди повернуться на Місяць швидше, ніж вперше ступлять на Марс. І колонізація нашого єдиного супутника стане хорошою спробою підготуватися до того, що людину чекає після прильоту на червону планету.

Чи зможемо ми звикнути до життя в іншому, абсолютно непривітному для людини світі? Як довго ми будемо звикати до нового виду з вікон і новим засадам життя? І чи зможе життя за межами Землі допомогти нам усвідомити, що вона є нашим єдиним будинком, який

необхідно оберегати і цінувати? Відповіді на ці питання ми отримаємо лише тоді, коли людина знову ступить на Місяць, поставить на місячному реголіті перший житловий модуль і почне освоювати суворі горизонти такого близького до Землі, але все ж дуже далекого для нашої свідомості світу.

11.2 Марс.

Марс – четверта планета Сонячної системи за відстанню від Сонця та сьома за розміром і масою. Марс – планета земного типу з розрідженою атмосферою. На Марсі є метеоритні кратери, як на Місяці, вулкани, долини та пустелі, подібні до земних. Тут розташована гора Олімп (22 456 м), найвища відома гора в Сонячній системі, та Долини Марінера – величезна рифтоподібна система каньйонів. На додаток до особливостей – період обертання Марса та сезонні цикли також подібні до земних.

Марс невелика планета, більша за Меркурій, але майже вдвічі менша від Землі за діаметром. Марс має екваторіальний радіус 3396 км і середній полярний радіус 3379 км (обидва значення точно визначені космічним апаратом «Mars Global Surveyor», який почав свою місію на орбіті навколо планети 1999 року). Маса Марса становить $6,418 \cdot 10^{23}$ кг, що вдесятеро менше за масу Землі, а прискорення вільного падіння на його поверхні складає $3,72 \text{ м/с}^2$. Це означає, що об'єкти на Марсі важать лише третину своєї земної ваги.

Загальна площа поверхні Марса приблизно дорівнює всій площі Земної суші. Це десь третина всієї площі планети Земля. Марс має криваво-червоний колір, яким він завдячує мінералу магнетиту – γ -оксиду заліза(III). Саме через цей колір його іноді називають Червоною планетою. Марс довго асоціювали з війною та кровопролиттям, і тому його назвали на честь римського бога війни. У планети є два супутники, Фобос (грец. «Страх») і Деймос («Жах»), які були названі на честь двох дітей: Ареса й Афродіти (римські варіанти назв – Марс і Венера відповідно).

Протягом минулого сторіччя Марс посідав особливе місце в популярній культурі. Він служив натхненням для поколінь фантастів. Загадковість планети та багато таємниць залишаються стимулом для наукових досліджень і людської уяви до цього дня.

Орбіта Марса приблизно у 1,5 рази віддалена від Сонця, ніж орбіта Землі. Через відносно видовжену орбіту, відстань між Марсом і Сонцем змінюється від 207 млн км у перигелії до 250 млн км в афелії. Тривалість марсіанського року становить 687 земних діб. Марс обертається навколо своєї осі з періодом 24 години 37 хвилин (марсіанську добу називають сол), що лише трохи довше за тривалість доби на Землі. На Марсі спостерігається також зміна пір року. Через еліптичну орбіту сезони в північній і південній півкулі мають різну тривалість: літо в північній півкулі триває 177 марсіанських діб, а в південній воно на 21 день коротше та на 20 градусів тепліше. Орбіти Марса та Землі лежать практично в одній площині (кут між ними становить 2°). Вісь обертання Марса нахилена під кутом $25,2^\circ$ до перпендикуляра до площини орбіти та спрямована у сузір'я Лебедя.

Через кожні 780 діб планети Земля та Марс опиняються на мінімальній відстані одна від одної, яка змінюється між ними від 56 до 401 млн км. Такі зближення планет називають протистояннями. Якщо відстань між планетами менша 60 млн км, то такі протистояння називають великими. Великі протистояння відбуваються кожні 15–17 років. Згідно з орбітальними спостереженнями й експертизою марсіанських метеоритів, поверхня Марса складається здебільшого з базальту. Деякі докази свідчать, що частина поверхні Марса багатша на кварц, ніж типовий базальт. Більша частина поверхні багата на оксид заліза(III). Марсіанські породи представлені уламковими пористими породами і еоловими пісками. Густина марсіанських порід на піщаних рівнинах – $1\text{--}1,6 \text{ т/м}^3$; на скелястих рівнинах – $1,8 \text{--} 2,16 \text{ т/м}^3$ (для порівняння, на Місяці, відповідно: $1\text{--}1,36 \text{ т/м}^3$ і $1,5\text{--}2,16 \text{ т/м}^3$). Розмір частинок на поверхні планети: 10–100 мкм – від 60 % (піщані рівнини) до 30 % (скелясті рівнини), 100–2000 мкм – відповідно від 10 % до 30 %. Основні компоненти марсіанських порід – залізо (в деяких пробах – до 14 %), кальцій, алюміній, кремній, сірка. Є також стронцій, цирконій, рубідій, титан. Ґрунт Марса, згідно з наявними даними, представлений сумішшю силікатів і мінералів класу оксидів зі значним вмістом сульфатів (можливо, гідратованих). Сірка, очевидно, наявна в сульфатах. Велика кількість червоного пилу з діаметром часточок близько 1 мкм надає поверхні планети червоного відтінку. Характерна особливість поверхні Марса – наявність кріосфери – льоду H_2O в полярних шапках і в ґрунті. Сучасні дані з марсіанських порід свідчать про існування на Марсі хімічно диференційованої кори, аналогічної земній корі. Марсохід «Curiosity» американського космічного агентства NASA знайшов великі поклади

кварцу в марсіанських гірських породах. Також «Curiosity» виявив на поверхні Марсу мінерал тридиміт (SiO_2), який, як правило, асоціюється з кремнієвим вулканізмом, відомим на Землі, але це перші ознаки цього явища на сусідній планеті.

Тридиміт (англ. tridymite) – мінерал класу оксидів, високотемпературна ромбічна поліморфна модифікація кварцу каркасної будови.

У центрі Марса розташоване ядро, діаметром близько 2968 кілометрів, яке складається здебільшого з заліза із вмістом сірки близько 14 – 17 %. Ядро перебуває в рідкому стані й має вдвічі більшу концентрацію легких елементів, ніж ядро Землі. Ядро оточене мантією з силікатів, яка сформувала багато тектонічних і вулканічних особливостей на планеті, але зараз вже не діє. Середня товщина кори планети близько 50 км, максимальна товщина 125 км.

Планетологічну історію Марса поділяють на донойський час та три періоди: нойський, гесперійський та амазонський. Донойський час: від утворення Марса до 4,18–4,08 млрд років тому. Тоді Марс мав магнітне поле. Наприкінці того часу з'явилися низовини північної полярної області. Нойський період: від 4,18 – 4,08 до 3,74 – 3,50 млрд. років тому. Поділений на 3 епохи (ранньонойську, середньонойську та пізньонойську). На початку періоду відбувалося інтенсивне астероїдне бомбардування; з'явилися басейни рівнин Еллада та Аргір. Пізніше розпочався ріст вулканічного нагір'я Фарсида. Інтенсивно формувалися річкові долини. Гесперійський період: від 3,74–3,50 до 3,46–2,0 млрд років тому. Поділений на 2 епохи. На початку періоду йшло активне рифтоутворення в долинах Марінера та лабіринті Ночі. Тривали вулканічні виверження (зокрема, на нагір'ї Елізій). З'явилися річкові русла, що впадають у рівнину

Хриса. Амазонський період: від 3,46 – 2,0 млрд років тому до сьогодні. Поділений на 3 епохи. На початку періоду – інтенсивне заповнення осадами північних низовин, а наприкінці – утворення шаруватих відкладень у полярних областях. Протягом більшої частини періоду тривали виверження вулканів Фарсиди та Елізія.

Через більшу віддаленість від Сонця Марс отримує на 57 % менше енергії, ніж Земля. Середньорічна температура там -60°C . Температура поверхні протягом доби істотно змінюється. Наприклад, у південній півкулі на широті 50 градусів температура в середині осені змінюється від -18°C (опівдні) до -63°C (увечері). Однак на глибині 25 м під поверхнею температура практично постійна -60°C і не залежить від сезону. Максимальні значення температури поверхні не перевищують декількох градусів вище 0°C , а мінімальні значення, зареєстровані на північній полярній шапці, -138°C . Температура на Південному полюсі опускається до -130°C .

Атмосфера Марса досить розріджена. Атмосферний тиск на поверхні змінюється від $0,3$ мбар (на горі Олімп) до 12 мбар, із середнім тиском на поверхні близько $6,1$ мбар. Це в 160 разів менше тиску на рівні моря нашої планети (1 бар). Висота однорідної атмосфери становить близько 11 км, вона більша, ніж на Землі (8 км) через нижчу гравітацію.

Атмосфера на Марсі складається з 95 % вуглекислого газу, 3 % азоту, $1,6$ % аргону й містить сліди кисню, метану й води. Атмосфера дуже запилена через велику кількість мікрочастинок близько $1,5$ мкм у діаметрі, які надають марсіанському небу рудувато-коричневого відтінку, якщо дивитися з поверхні планети. Активні природні явища в атмосфері – густі тумани або пилові бурі.

Під поверхнею Марса на окремих ділянках є шар вічної мерзлоти товщиною кілька кілометрів. У таких районах на поверхні кратерів видно незвичайні для планет земної групи застигли потоки, за якими можна зробити висновок про наявність підповерхневого льоду. За винятком рівнин, поверхня Марса сильно кратерована. Кратери здебільшого виглядають більш зруйнованими, ніж на Меркурії чи Місяці. Сліди вітрової ерозії можна побачити всюди.

Обробка збурень в орбітальному русі космічних апаратів дозволили отримати мапу ареоїда (марсіанського аналога геоїда). Виявилося, що вона добре корелює з рельєфом Марса, що свідчить про слабкість прояву ізостазії.

Ізостазія, або ізостатична рівновага – геологічний процес врівноваження мас гірських порід земної кори на поверхні субстрату. Процес полягає у тому, що окремі частини менш щільної земної кори ніби плавають у пластичному підкірковому шарі, перебуваючи в стані гідростатичної рівноваги згідно з законом Архімеда.

Особливо помітний Олімп. Ареоїд оконтурює гору западинами глибиною від 300 м до 400 м. Над центром гори ареоїд піднімається на 500 м. Гравітаційні аномалії в гірському регіоні Фарсида досягають 344 мГал на висоті супутника (275 км).

Гал (англ. gal) – одиниця прискорення в системі одиниць СГС. 1 Гал дорівнює 1 см/с^2 . Широко використовується в гравіметрії (геофізика) при вимірюванні прискорення вільного падіння. Використовуються також дольні одиниці: мілігал $1 \text{ мГал} = 10^{-3} \text{ Гал}$, мікрогал ($1 \text{ мкГал} = 10^{-6} \text{ Гал}$).

Взагалі, гравітаційні аномалії на Марсі перевищують гравітаційні аномалії на Землі в 17 разів. Питання про ізостазію залишається поки відкритим.

Для поверхні Марса характерна глобальна асиметрія в розподілі знижених ділянок – рівнин, що складають 35 % усієї поверхні, і піднесених, вкритих безліччю кратерів районів. Значна частина рівнин розташована в північній півкулі. Межа між ними в деяких випадках представлена особливим типом рельєфу – столовими горами, складеними плосковершинними гірками й хребтами. Над нагір'ям Фарсида (що має висоту близько 9 км) на висоту до 17 км піднімаються чотири велетенські згаслі вулкани. Найбільший серед них – Олімп, розташований на західній околиці нагір'я. Його основа має діаметр 600 км, а кальдера на вершині 60 км. Над середнім рівнем поверхні він височіє майже на 26 км. Недалеко від нього на одній прямій розташовано три дещо менших вулкани: Аскрійська гора, гора Павича й гора Арсія. Загалом на Марсі знайдено понад 70 згаслих вулканів, але всі інші значно менші за перераховані чотири.

Марс має різні полярні крижані шапки, але Марс також має пояси льодовиків в центральних широтах як у південних, так і північних півкулях. Товстий шар пилу покриває льодовики, що складаються з замерзлої води. Вчені підрахували, що лід у льодовиках містить більш ніж 150 мільярдів кубічних метрів льоду – така кількість льоду може покривати всю поверхню Марса шаром в 1,1 метрів, тому лід на середніх широтах важлива частина водосховища Марса. Цей лід не випаровується в простір, бо захищений товстим шаром пилу.

Вчені зі Смітсонівського інституту в США визначили, що озера і моря на Марсі існували помітно довше, ніж передбачалося спочатку. В

цілому цей період збільшився на 1 млрд років. Тобто вологий період на планеті існував на цілий 1 млрд років довше, ніж це вважалося раніше.

Полярні шапки Марса багат шарові. Нижній, основний шар товщиною в кілька кілометрів утворений звичайним водяним льодом, змішаним з пилом. Це постійні шапки, що зберігається й у літній період. Сезонні зміни полярних шапок, що спостерігаються, відбуваються за рахунок верхнього шару товщиною менше 1 метра, що складається з твердої вуглекислоти, так званого «сухого льоду». Площа, вкрита цим шаром, інтенсивно збільшується в зимовий період, досягаючи паралелі 50 градусів, а іноді й долаючи цю межу. Навесні, із підвищенням температури, цей шар випаровується й залишається лише постійна шапка. Хвиля потемніння ділянок поверхні, що спостерігається зі зміною сезонів, пояснюється зміною напрямку вітрів, що постійно дмуть у напрямку від одного полюса до іншого. Вітер здуває верхній шар сипучого матеріалу – світлий пил, оголюючи ділянки темніших порід. У періоди, коли Марс проходить перигелій, рівновага марсіанського середовища порушується.

Перигелій – найближча до Сонця точка орбіти планети або комети; лінія, що проходить через цю точку й центр Сонця, – головна вісь кіничного перерізу, що являє орбіту, називається лінією апсид. Внаслідок збурень лінія апсид повільно змінює своє розташування у просторі.

Вітер підсилюється до 69 км/год., починаються бурі. Більше мільярда тонн пилу піднімається й утримується в зваженому стані, різко змінюючи кліматичний стан всієї марсіанської кулі. Тривалість пилових вітрів іноді досягає 50 – 100 діб. Під час пилових буревіїв на Марсі виникає так званий «антипарниковий ефект», коли хмари пилу не пропускають сонячне випромінювання до поверхні, але

пропускають теплове випромінювання, що іде від неї, тому поверхня сильно охолоджується, а атмосфера розігрівається.

Уточнення космічними апаратами складу атмосфери дало змогу виявити роль полярних шапок у формуванні буревіїв. Під час танення полярних шапок утворюються величезні маси вуглекислого газу й збільшується тиск над ними, внаслідок чого виникають потужні вітри, що піднімають з поверхні дрібні частки ґрунту.

Наразі немає наукових доказів існування життя на Марсі. Хоча припускають, що воно там може бути. Ще до початку польотів на Марс він був першим кандидатом на виявлення там позаземного життя. На Марсі було знайдено зразки льоду, що є однією з умов існування життя. За останніми відомостями, в минулому на Марсі існувала вода в рідкому стані, поверхню планети вкривали моря. Однак внаслідок нез'ясованих досі причин вона практично зникла. Цілком можливо, що ще кілька мільйонів років тому клімат на Марсі був вологішим. Доказом цього слугує рельєф планети. Одна з версій втрати Марсом води – це результат дії сонячного вітру.

Група геофізиків з Канади і США пояснила наявність у давнину рідкої води на поверхні Марса. На думку фахівців, для цього необхідна тепла і щільна газова оболонка, яка забезпечувалася викидами з літосфери в гідросферу метану. За словами вчених, періоди потепління були пов'язані з надходженням парникового газу і тривали близько мільйона років.

Причиною вивільнення метану з літосфери планети вчені вважають варіації кута нахилу осі власного обертання Марса відносно площини його навколосонячної орбіти. До такого висновку геофізики змогли прийти після проведення комп'ютерного моделювання.

Повідомляється, що на Марсі теплий клімат був близько 3 млрд років тому. У 2019 році вчені досліджували занадто швидкий процес зникнення метану з поверхні планети. В процесі дослідження було виявлено, що газ іонізується, а тверді речовини окислюються. Ці процеси можуть призводити до утворення хімічно активних речовин, які є дуже токсичними для живих організмів, включно з бактеріями. Грунтуючись на цих висновках, дослідники з данського Орхуського університету зробили висновок, що ймовірність існування життя на Марсі дуже низька.

Понад 100 років тому італійський астроном Джованні Скіапареллі у загальних рисах описав планету Марс і її лінії, які він назвав «canali». Американський астроном Персіваль Лоуелл розвинув сенсаційну теорію, згідно з котрою ці лінії являли собою канали, створені марсіанською цивілізацією. В це припущення хотілося вірити, але в 1965 році американська станція Марінер-4 пройшла близько від планети й не виявила жодних ознак цих гідротехнічних споруд.

У 2018 році скануючи південну полярну шапку, радар MARSIS під льодом виявив структуру, яка за своїми радіолокаційними особливостями дуже схожа на воду. Науковці вважають, що це підземне озеро, яке лежить на глибині 1,6 км площею 20 кв. км.

Колонізація Марса є одним із етапів космічної експансії людства, що включає в себе попереднє теоретичне підґрунтя проекту, будівництво різних комплексів та споруд на Марсі і заселення них людиною. Колонізація Марса включає зміну кліматичних умов планети для приведення атмосфери, температури та екологічних умов до стану, придатного для проживання земних рослин і тварин. На першому етапі створення маленьких «марсиків», поселень на планеті Марс.

Колонізація космосу це великий крок для майбутнього людства. Марс завжди був центром уваги як різноманітних припущень, так і серйозних досліджень в області створення колоній.

Марс – планета, подорож до якої із Землі потребує найменших енергетичних витрат з-поміж усіх, не враховуючи Венери. Подорож по найекономічнішій напівеліптичній орбіті триватиме близько 9 місяців, а із підвищенням початкової швидкості час польоту швидко скоротиться, оскільки зменшиться і довжина траєкторії. Перед тривалим перельотом для поповнення космічного корабля на орбіті Землі або Марсу ракетним паливом розглядається можливість космічної заправки.

Без захисного спорядження людина не зможе вижити на поверхні Марса й декількох хвилин. Однак, у порівнянні із умовами на спекотних Меркурію та Венері, холодних зовнішніх планетах та позбавлених атмосфери Місяці та астероїдах, умови на Марсі видаються придатнішими для освоєння планети людиною. На Землі є місця, у яких природні умови багато у чому схожі на марсіанські. Атмосферний тиск на висоті 34668 метрів – рекордна за висотою точка, якої досягла повітряна куля із командою на борту (травень 1961 р.) – приблизно відповідає тиску на поверхні Марса. Вкрай низькі температури в Арктиці та Антарктиді рівні середній температурі на Марсі (-46°C). Також на Землі є пустелі, зовні схожі із марсіанським ландшафтом.

Основні завдання освоєння Марса полягають у наступному:

- Створення атмосфери із тиском, за якого було б можливе існування води у рідкому агрегатному стані.

- Підвищення температури у приекваторіальних територіях до +10 — +20 °C (за допомогою парникового ефекту, створеного перфторвуглеводними сполуками).

- Створення аналогу озонового шару для захисту від ультрафіолетового випромінювання.

- Створення біосфери.

Способи, якими може бути досягнуто виконання завдань:

- Найбільш оптимальним видається поширення на поверхні Марса генно-модифікованих лишайників чорного кольору, що перероблятимуть марсіанські мінерали на газоподібні фторвуглеводні з'єднання.

- Бомбардування поверхні Марса астероїдами з Головного поясу астероїдів з метою нагрівання атмосфери і наповнення її водою та газами.

- Обвал на поверхню Марса одного із його супутників (Фобоса або Деймоса), з метою нагрівання атмосфери і наповнення її водою та газами.

Слід зазначити, що останні два із вищенаведених способів вимагають ґрунтовних розрахунків, спрямованих на вивчення подібного впливу на планету, її орбіту, швидкість обертання тощо, адже знищення природних супутників Марса викличе непередбачуваність нахилу осі обертання планети (оскільки Фобос і Деймос, певною мірою, відіграють роль балансірів).

Магнітне поле Марса слабше за земне приблизно у 800 разів. Разом із розрідженою атмосферою це збільшує кількість іонізуючого випромінювання, що досягає його поверхні. Радіаційні вимірювання, проведені американським безпілотним космічним апаратом The Mars

Odyssey, показали, що радіаційний фон на орбіті Марса в 2,2 рази перевищує радіаційний фон на МКС. Середня доза складала приблизно 220 мілірада на день (2,2 міліГр. на день або 0,8 Гр. на рік). Обсяг опромінення, отриманого в результаті перебування у такому фоні протягом трьох років, наближається до гранично допустимих меж, встановлених для космонавтів. На поверхні Марса радіаційний фон буде, швидше за все, трохи нижчим і може значно змінюватися у залежності від місцевості, висоти і локальних магнітних полів. Житлові та робочі приміщення можна буде екранувати за допомогою марсіанського ґрунту, сильно знижуючи ступінь опромінення людей під час їх перебування всередині комплексу.

Періодичні сонячні протонні події (СПП) спричиняють набагато вищі дози опромінення. Космонавтів на Марсі можна попереджати про СПП сенсорами, що знаходяться ближче до Сонця, щоб вони могли сховатися під час цих подій. Деякі СПП, не помічені навколоземними датчиками, були відстежені електронікою The Mars Odyssey з орбіти Марса, що дозволяє зробити припущення про спрямованість СПП. Із цього припущення можна зробити висновок про необхідність мережі детекторів навколо Сонця для забезпечення своєчасного виявлення всіх небезпечних для Марса СПП.

Пілотований політ на Марс. Створення космічного корабля для польоту на Марс — складне завдання. Однією з головних проблем є захист космонавтів від потоків сонячної радіації. Пропонується кілька шляхів вирішення цієї проблеми, наприклад, створення особливих захисних матеріалів для корпусу або навіть розробка магнітного щита, подібного за механізмом дії планетарному.

Паливо для зворотного польоту до Землі у НАСА пропонують видобувати з марсіанського реголіту (пиловидного ґрунту).

Зв'язок з Землею. Затримка сигналів від Марса до Землі, обумовлена скінченною швидкістю світла, обчислюється хвилинами. Світловий сигнал долає відстань від Марса до Землі від 3 до 22 хвилин, залежно від розташування планет у момент подачі сигналу. Проте використання електромагнітних хвиль (у тому числі світлових) не дає можливості підтримувати зв'язок із Землею безпосередньо (без супутника ретрансляції), коли планети знаходяться у протилежних точках орбіт відносно Сонця.

Американське космічне агентство НАСА за рахунок розробки і створення принципово нових двигунів космічних кораблів найближчим часом планує розробити програму спрямовану на скорочення в два рази (з 8 до 4 місяців) часу польоту на Марс.

Можливі місця заснування колоній. Найкращі місцини для заснування колоній розташовані біля екватора та у низовинах. У першу чергу це: Западина Еллада — має глибину 8 км, і на її дні тиск на планеті є найвищим, завдяки чому у цій місцевості найменший рівень фону від космічних променів на Марсі; Долина Маринера — не настільки глибока, як западина Еллада, але в ній найбільші максимальні температури на планеті, що розширює вибір конструкційних матеріалів для будівництва Колонії.

У разі тераформування Марса перша відкрита водойма з'явиться у долині Маринера.

Тераформування — зміна кліматичних умов планети, супутника чи іншого космічного тіла для приведення атмосфери, температури та екологічних умов до стану, придатного для проживання земних рослин і тварин. Сьогодні ця

задача становить лише теоретичний інтерес, але в майбутньому може розвинути́ся і на практиці.

Сучасні науковці роблять спроби проектування і виготовлення макетів житла для людини на Марсі.

Економічний потенціал колонізації Марса. Південна півкуля Марса розплавленню не піддавалася, на відміну від усієї поверхні Землі — тому гірські породи південної півкулі успадкували кількісний склад протопланетної хмари. За розрахунками кора Південної півкулі має бути збагаченою тими елементами (відносно Землі) які на Землі «потонули» у її ядрі при розплавленні планети: метали групи міді, заліза та платинові, вольфрам, реній, уран.

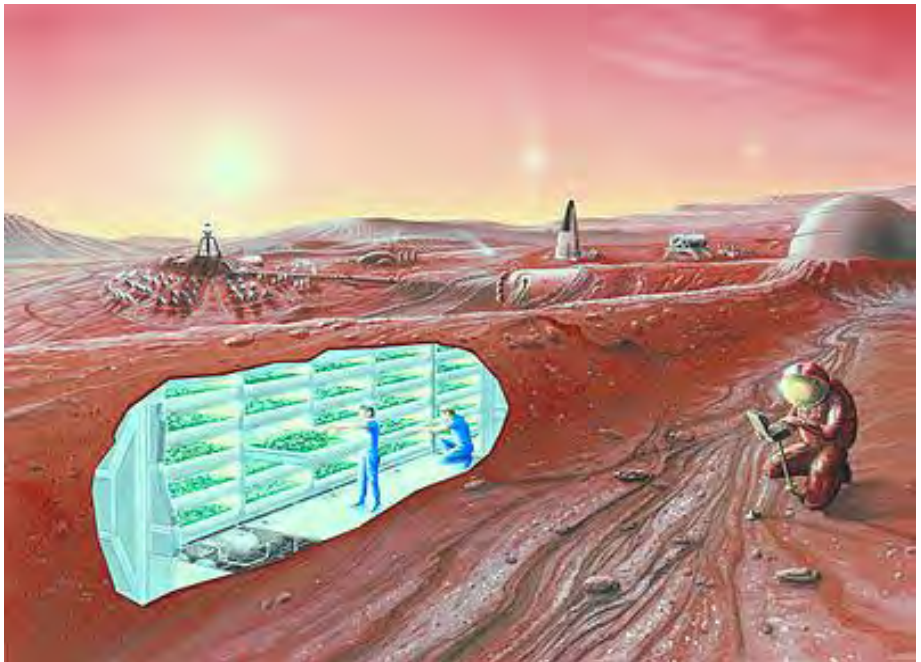


Рис. 11.4 – Можливий вигляд колонії на Марсі.

Вивезення на Землю ренію, платинових металів, срібла, золота та урану має хороші перспективи, але вимагає для реалізації наявності поверхневої водойми з рідкою водою для збагачувальних процесів.

Відсутність біосфери і високий фон космічних променів дозволяють широкомасштабно застосовувати термоядерні заряди для великомасштабних змін рельєфу і розкриття рудних тіл. Малі відносно Землі маса і щільність планети дозволять набагато раніше, ніж на Землі, реалізувати космічний ліфт (із сучасних масових конструкційних матеріалів), не чекаючи створення довгих стрічок із графену або нанотрубок. Це наблизить вартість доставки з тривалим терміном зберігання вантажу із Марса на Землю до вартості міжконтинентальних авіап перевезень.

Критика. Крім основних аргументів критики ідеї колонізації космосу людиною, є й інші, специфічні для Марса, заперечення:

- На Землі є цілий материк – Антарктида – умови життя на якому набагато сприятливіші, ніж на Марсі.

- Викликає занепокоєння факт – «забруднення» планети земними формами життя. Питання про існування (сьогодні чи у минулому) життя на Марсі досі не вирішено.

- Існує думка, що дослідження Марса було б економічніше провести із використанням роботів. Але ця ідея не виключає можливості подальшої колонізації.

- Багато вчених пропонують Місяць як логічніше місце для заснування першої позаземної колонії. Надалі ця база могла б бути використаною для проведення експедицій на Марс за участю людини.

Як один з основних аргументів проти колонізації Марса наводиться аргумент про його надзвичайно малий ресурс ключових

елементів, необхідних для життя (у першу чергу мова йде про водень, азот та вуглець). Проблемою є і енергетичний ресурс колоній землян.

Украй низька температура поверхні Марса і низький атмосферний тиск змушує шукати вихід в інноваційних проєктах систем життєзабезпечення. Але, оскільки на земній поверхні не зустрічаються умови близькі до марсіанських, перевірити їх експериментально нині не видається можливим. Це, певною мірою, ставить під сумнів практичну цінність більшості з них. Також не вивчено довгостроковий вплив марсіанської гравітації на людей (усі досліді проводилися або у середовищі із земним тяжінням, або у невагомості). Ступінь впливу гравітації на здоров'я людей при її зміні від невагомості до 1G не вивчена. На земній орбіті передбачається провести експеримент («Mars Gravity Biosatellite») на мишах з метою дослідження впливу марсіанської (0,38 G) сили тяжіння на життєвий цикл ссавців.

Друга космічна швидкість Марса 5 км/с досить висока, хоч і вдвічі менша за земну. Це підвищує витрати на міжпланетні переміщення вантажів і ускладнює досягнення рівня беззбитковості колонії за рахунок експорту матеріалів. Викликає побоювання також і психологічний чинник. Тривалість перельоту на Марс і подальше життя людей у замкнутому просторі на ньому можуть стати серйозними перешкодами на шляху освоєння планети.

Також істотним недоліком Марса є пил, частинки якого нагадують борошно найдрібнішого помолу і який становить небезпеку для здоров'я людей.

Деякі інші труднощі колонізації Марса випливають із істотних відмінностей цієї планети від Землі. Тераформування Марсу малоймовірне внаслідок «змиву» його атмосфери у космос «сонячним

вітром». Фобос розглядається вченими в якості можливої бази для дослідників Марса через те, що його слабка гравітація дозволяє безперешкодно посадити на його поверхню літальні апарати. Передбачалося, що астронавти зможуть керувати роботами. Вчені NASA встановили, що спалахи і корональні викиди на Сонці можуть призводити до появи зарядів електрики на супутниках Марса Фобосі і Деймосі, що робить їх небезпечними для спускних модулів і зондів в ході майбутніх місій.

Тепер, коли ми практично впевнені, що Марс неживий, цій планеті відведена нова роль у суспільній свідомості. Людству потрібен другий дім, і четверта планета від Сонця, як здається, найкраще для цього підходить. Якщо Марс «звільнився», ми повинні заселити його самі. Зрештою, це наша страховка на той випадок, якщо ми наведемо Землю в стан сьогоdnішнього Марса. Сьогодні ідея освоєння червоної планети оволоділа масами не менше, ніж колись віра в існування розумних марсіан. З ракетами зрозуміло, вони доставлять на планету поселенців. Технологія Hyperloop чудово підходить для створення транспортної системи для переміщення колоністів по поверхні між поселеннями. В умовах розрідженої атмосфери планети підтримувати необхідну вакуумну середу набагато простіше, ніж на Землі. Сонячні батареї поки єдиний реально діючий спосіб отримання електроенергії на планеті.

Про бажання зробити метою Марс метою своєї космічної експансії заявили Об'єднані Арабські Емірати. Своїх ракет і технологій у країни поки немає, та й космічне агентство створено лише нещодавно. Але у 2021 році Емірати вже планують відправити до Марса свій перший космічний апарат. В рамках проекту «Марс-2117», ініційованого ОАЕ, передбачається створення до 2117 році жилого міста на Марсі.

Природно в рамках міжнародного співробітництва. А поки Емірати працюють над створенням ряду науково-дослідних центрів на базі своїх університетів і вже в недалекому майбутньому займуться науковими дослідженнями в галузі енергетики, транспорту і забезпечення продовольством, тобто тим, що може стати в нагоді не тільки на Марсі, але і на Землі. Але для початку перше «марсіанське» місто буде побудовано на Землі. Це буде справжнє місто, заховане під куполом, умови проживання в якому будуть близькі до марсіанських. Саме ОАЕ стане першою країною, в якій побудують систему вакуумних поїздів Hyperloop.

Однак, може бути, що, до того часу, коли наші технології дозволять наблизити умови життя на Марсі до земних, коли ми зможемо будувати на цій планеті міста і перевозити в космосі велику кількість людей, пройде не одна сотня років, і нам будуть доступні польоти за межі Сонячної системи.

Серед найближчих зірок ми знайдемо планету більш придатну для життя, ніж наша сусідка. Втім, про це ми будемо знати вже раніше. Можливості наших телескопів ростуть. Методи пошуку екзопланет стають все більш реальними. Ми вже визначаємо масу, щільність і відстань до зірки. Спектральний аналіз дозволяє визначати склад атмосфери. Незважаючи на гігантські відстані, що відділяють нас від далеких планет ми скоро зможемо визначати і наявність у такої екзопланети магнітного поля – необхідної умови для існування складного життя.

На Марсі немає магнітного поля, а отже, і немає полярних сьйв. Світіння атмосфери спостерігаються тільки в районі магнітних аномалій. Але полярні сьйва генерують не тільки світло –

електромагнітні хвилі видимого діапазону, але також і радіохвилі. Їх можуть виявити радіотелескопи. А значить, завдяки ним можна знайти придатну для життя планету. Виявивши схожу за параметрами із Землею планету у сонцеподібній зірці, нам залишиться тільки з'ясувати, чи є у неї магнітне поле здатне захистити життя на планеті. Правда найкращим місцем для розміщення такого телескопа є зворотна сторона Місяця. Мабуть, це найбільш вагома мета для польоту на наш супутник.

Рано чи пізно, перебравши всі схожі на наше Сонце зірки, в межах ста світлових років, ми знайдемо «новий Марс» – планету більш придатну для життя, ніж наша сусідка по Сонячній системі. Планету, яку зробимо своєю метою і рано чи пізно долетимо до неї. Але ми зможемо це зробити, тільки якщо не зупинимося зараз. Не послухаємо тих, хто каже, що в космосі нам робити нічого. І тоді, це вже буде не «новий Марс», це буде «нова Земля».

11.3. Перспективні космічні колонії.

Життя в космосі не так комфортне, як це може здатися при перегляді науково-фантастичних фільмів і серіалів. Безліч небезпек підстерігають людину за межами Землі: наприклад, космічна радіація, що негативно діє на здоров'я, або уламки небесних тіл, які здатні пошкодити космічний апарат.

Сьогодні у космосі обертається навколо Землі Міжнародна космічна станція, яку було створено з метою проведення масштабних

наукових і практичних досліджень, що мають передувати довгостроковим космічним польотам як у навколоземному просторі, так і міжпланетному сполученні (Рис. 11.5).

Міжнародна космічна станція (МКС; англ. *International Space Station, ISS*, МКС) – пілотована космічна станція на орбіті Землі.

Відповідно до початкового Меморандуму про взаєморозуміння між НАСА і Роскосмосом, Міжнародна космічна станція мала бути лабораторією, обсерваторією і заводом у космосі. Було також заплановано забезпечити транспортування, технічне обслуговування і використання як проміжної бази для можливих майбутніх польотів на Місяць, Марс і астероїди. У 2010 році, згідно з національною космічною політикою США, МКС було надано додаткову роль – виконання комерційних, дипломатичних та освітніх завдань.

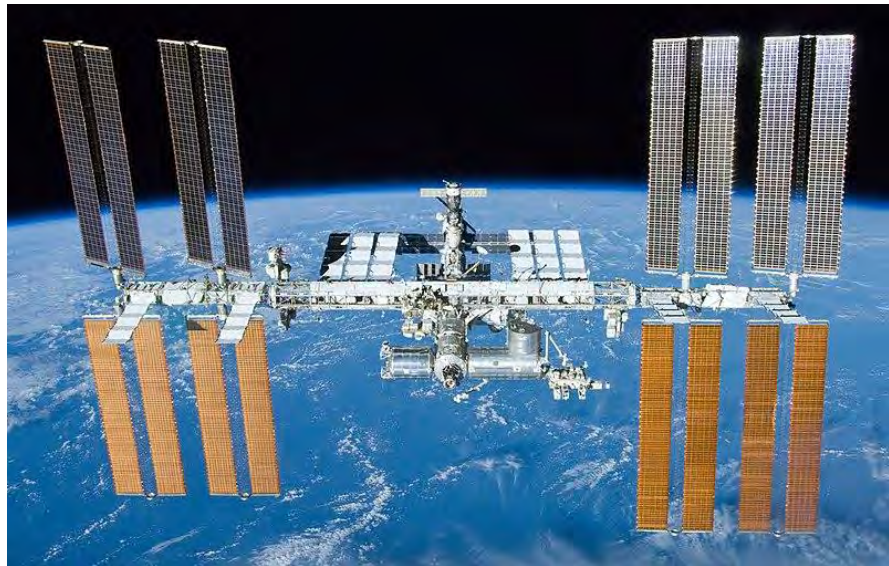


Рис. 11.5 – Міжнародна космічна станція (МКС).

Будівництво розпочалось 1998 і тривало в співробітництві аерокосмічних агентств Росії, США, Японії, Канади, Бразилії та Євросоюзу. Маса станції становить приблизно 450 тон. МКС обертається навколо Землі на висоті близько 415 кілометрів здійснюючи 15,77 обертів за добу, рухається з середньою швидкістю 27700 км/год., її можна легко побачити неозброєним оком. Спочатку планувалося, що станція пропрацює на орбіті до 2010 року, та вже 2008 називалася інша дата – 2016 або 2020 рік. На початку 2015 року було повідомлено про плани роботи станції до 2024 року.

За угодою, кожному учаснику проекту належать його сегменти на МКС. Росія володіє модулями «Звезда» і «Пірс», Японія – модулем «Кібо», Європейське космічне агентство – модулем Columbus. Сонячні панелі, а також інші модулі належать NASA.

Станція спрощує окремі експерименти, усуваючи необхідність в окремих ракетних запусках і наукових співробітниках. Досліджуються космічна біологія, астрономія, невагомість, космічна медицина та науки про життя, фізичні науки, матеріалознавство, вивчення космічної погоди, і погоди на Землі (метеорологія). Вчені на Землі мають доступ до даних екіпажу і можуть змінювати експерименти або запускати нові, що зазвичай неможливо у випадку використання безпілотних космічних апаратів. Екіпажі здійснюють експедиції тривалістю кілька місяців, забезпечуючи приблизно 160 людино-годин впродовж робочого тижня, в екіпажі з 6 осіб. Модуль «Кібо» призначений для прискорення прогресу Японії в галузі науки і техніки, отримання нових знань і застосування їх у промисловості та медицині. Для виявлення темної матерії і відповіді на інші фундаментальні питання щодо нашого Всесвіту інженери й вчені з усього світу побудували «Магнітний

Альфа-Спектрометр» (англ. Alpha Magnetic Spectrometer AMS), який НАСА порівнює з телескопом Хаббла, і який неможливо розмістити на супутниковій платформі для вільного польоту через вимоги до потужності і пропускну здатності даних.

МКС перебуває у відносній безпеці на низькій навколоземній орбіті, придатній для перевірки систем космічних апаратів, що будуть необхідні для тривалих польотів на Місяць і Марс. Під час польоту станції можна отримати досвід з управління, технічного обслуговування, а також ремонту на орбіті, що забезпечить суттєві навички у обслуговуванні космічних апаратів далеко від Землі, знизить ризики при польотах і збільшить можливості міжпланетних кораблів.

У 1955 році інженер Дерелл Сі Роумік представив Американському ракетному суспільству проект космічного міста на 20000 чоловік. Передбачалося, що на орбіту відправляться 10 триступневих ракет. Якщо зістикувати одну з одною треті ступені, то вони здатні утворити довгий циліндр, навколо якого буде побудований герметичний щит (Рис. 11.6). За планом Роуміка, будівництво «міста» зайняло б 3,5 року.

Сфера Бернала (Рис. 11.7), розроблена ще в 1929 році британським вченим Джоном Десмондом Берналом, здатна вмістити не менше 10000 чоловік. Гравітація в «космічній комуналці» діаметром 1,6 км створюється за рахунок її обертання навколо своєї осі. Передбачалося, що проект буде реалізований до початку 1990-х. Однак він все ще залишається мрією.

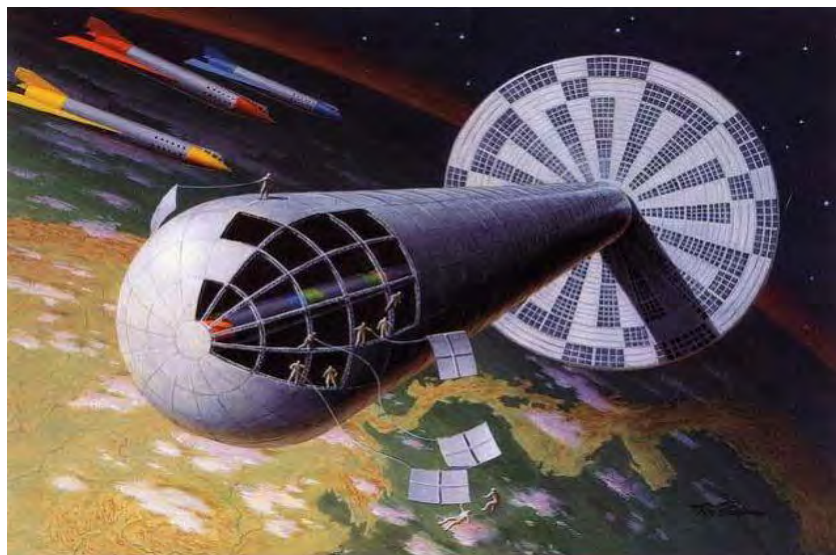


Рис.11.6 – Проект космічного міста на 20000 чоловік



Рис. 11.7 – Сфера Бернала на 10000 чоловік.

Стенфордський тор – проект поселення, запропонований в 1975 році фізиком Джерардом О'Нілом, і модифікований групою вчених і інженерів NASA. «Бублик» діаметром 1,6 км і місткістю 10000 чоловік збиралися помістити між Землею і Місяцем за 402 000 км від нашої планети (Рис. 11.8). Поселення з власним теплицями і фермами мало з'явитися до 2000 року. Не склалося. Але реалізація ідей не вмирає, їх людство відкладає на майбутнє.



Рис. 11.8 – Стенфордський тор

Свою ще більш амбітну задумку фізик Джерард О'Ніл назвав на честь себе Циліндром О'Ніла (Рис. 11.9). Поселення має бути повноцінним містом з парками і бізнес центрами. При ширині 8 км і довжині 32 км космічний мегаполіс готовий прийняти 40000 жителів. А щоб підтримувати всередині земне тяжіння, Циліндр здійснює 40 обертань навколо своєї осі на годину. Все це поки тільки на папері.

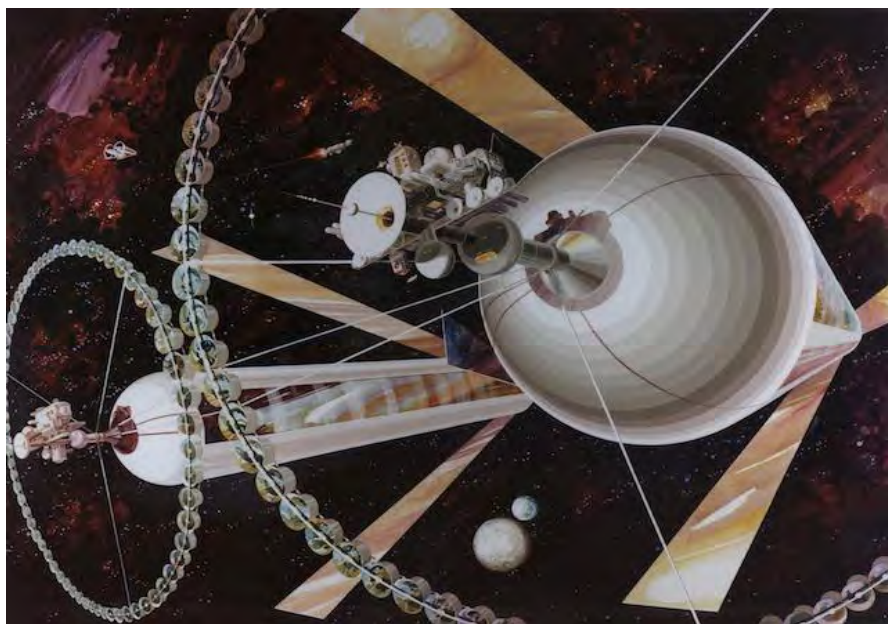


Рис. 11.9 – Циліндр О'Ніла

У 1991 році співробітник NASA Аль Глобус спробував удосконалити концепти космічних станцій, використовуючи сучасні комп'ютери. В результаті з'явився проект Lewis One (Рис. 11.10), який представляє собою циліндр довжиною 1921 метр і шириною 534 метра. Зовні капсулу обрамляють дві гігантські сонячні батареї, які не тільки видобувають енергію, але і захищають людей від космічних променів.

Проект Kalpana One отримав свою назву на честь першої індійської жінки-астронавта Калпани Чалва, яка загинула в катастрофі Шатла Columbia в 2003 році. Він являє собою поліпшену і зменшену версію Lewis One. На станції довжиною 325 метрів і діаметром 550 метрів можуть розміститися 5500 чоловік (Рис. 11.11).

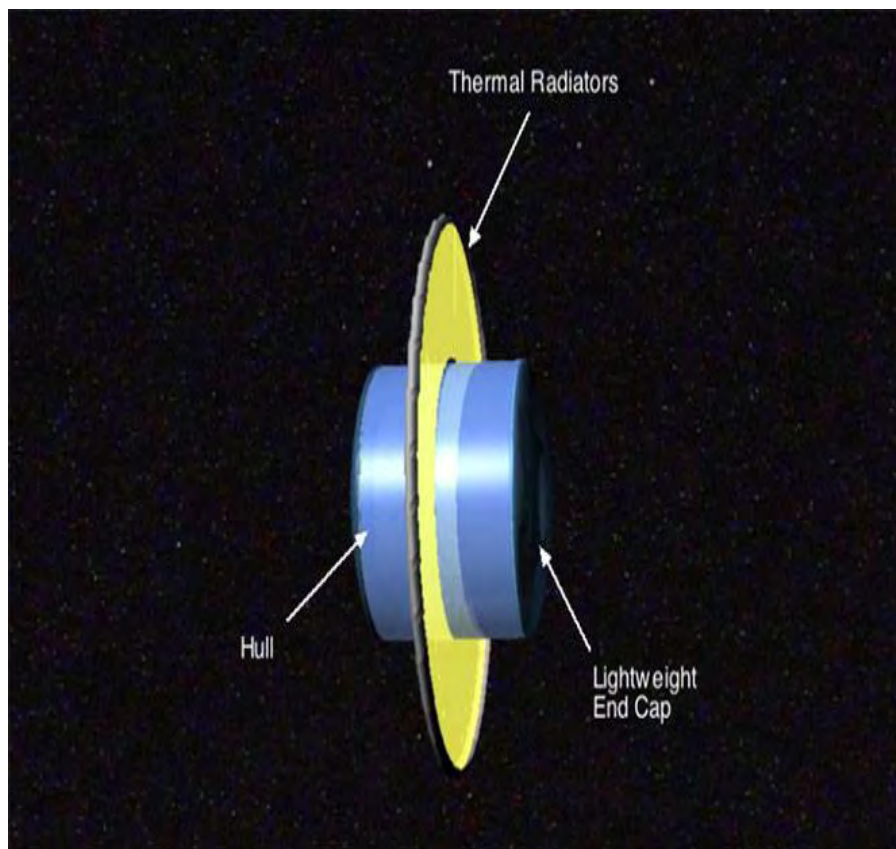


Рис. 11.10 – Проект Lewis One

Прямо зараз вчені та інженери з 4 країн працюють над космічним ковчегом «Персефона», який знадобиться у разі глобальної катастрофи на Землі. На борту корабля (Рис. 11.12) довжиною 20 км і діаметром 5 км буде відтворена екосистема з джерелами світла, повітря, води, їжі і гравітації. Погана новина: при найоптимістичніших розкладах врятуватися зможуть не більше 500 чоловік.



Рис. 11.11 – Проект Kalpana One

У 1990 році NASA розробило проект надувної космічної станції TransHab (Рис. 11.13). І хоча він так і не був реалізований, ідею підхопила приватна компанія Bigelow Aerospace. У 2006 і 2007 році в космос відправилися два перших надувних модуля. Такі апарати вимагають набагато менше палива і їх набагато легше доставити в космос. У майбутньому з таких блоків збираються будувати нові орбітальні станції.

Архітектурне бюро Fosters + Partners і Європейське космічне агентство спільно розробили план заселення Місяця. Спочатку на

супутник відправляється 4 сміливця, 2-поверховий надувний купол і 3D-принтер, який дозволить відтворити потрібні предмети з місячного пилу.



Рис. 11.12 – Космічний ковчег «Персефона».

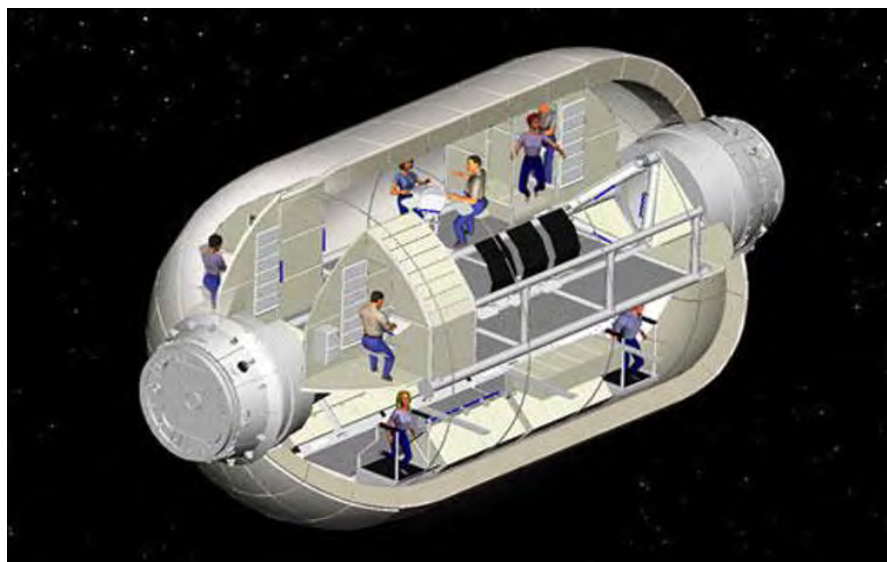


Рис. 11.13 – Проект надувної космічної станції

Перші поселенці побудують навколо купола стіну товщиною 1,5 метра для захисту від радіації і метеоритів і мають створити основу для подальшої колонізації (Рис. 11.14). Mars One – некомерційна голландська організація, яка планує до 2027 року колонізувати Марс (Рис.11.15). Передбачається, що перші чотири сміливця відправляться в подорож в один кінець вже в 2026 році. Але перш на Марс закинуть системи життєзабезпечення, житлові модулі та інше необхідне обладнання.

Не відстають від закордонних фахівців і українські спеціалісти. У рамках концептуального проекту нашими фахівцями було сформовано вигляд бази (Рис. 11.16) , попередньо визначено конфігурацію й інфраструктуру на різних етапах функціонування, строки реалізації проекту, а також основні технічні характеристики систем, що розроблюються, таких як космічна транспортна система для доставлення екіпажу і вантажів на поверхню Місяця та повернення на Землю, типові конструкції місячних модулів, засоби пересування по поверхні Місяця тощо.

Місяць – єдиний природний супутник планети Земля. Другий за яскравістю об'єкт на земному небосхилі після Сонця і п'ятий за величиною супутник планет Сонячної системи. На сьогодні це перший і єдиний позаземний об'єкт природного походження, на якому побувала людина. Середня відстань між центрами Землі і Місяця – 384 400 км.

Україна по праву носить ім'я космічної держави. І нехай ми поки не запускаємо власні ракети в космос, наші вчені розробляють і створюють винаходи, які допомагають людству освоювати космос.



Рис. 11.14 – Проект поселення на Місяці.



Рис.11.15 – Проект поселення на Марсі.

Конструкторське бюро «Південне» на Dubai Airshow 2019 представило макет місячного Лендера-хопера – корабля з сімейства місячних перелітаючих посадкових апаратів (Рис.11.17). Апарати можуть після приземлення на поверхню Місяця зробити три стрибки на відстань до 20 км, переносити з собою обладнання і виконувати в кожній точці приземлення наукові дослідження. Лендер-хопер може також доставити на супутник до 150 кг вантажу.

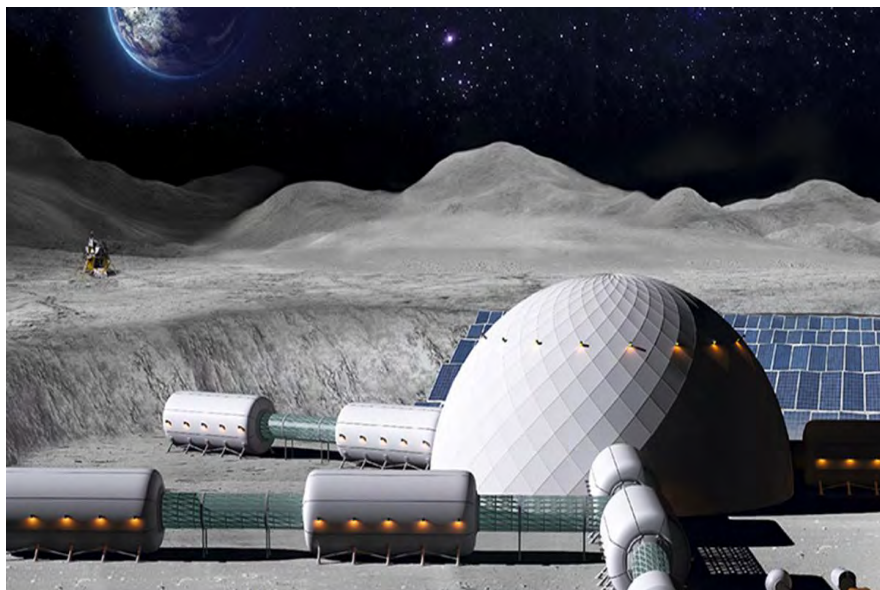


Рис. 11.16 – Проект Місячного містечка, який розробляють фахівцями КБ «Південне» спільно з партнерами з 34 країн.

У перспективі це відкриває нові можливості для науково-дослідницької діяльності та пошуку корисних копалин на Місяці.

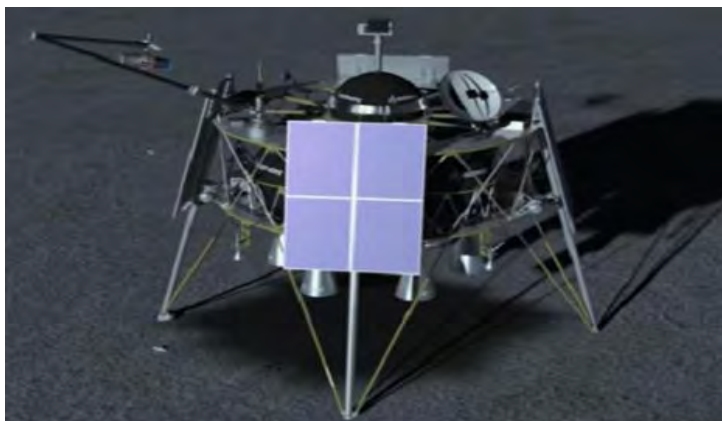


Рис. 11.17 – Лендер-хопер розробки КБ «Південне».

І все ж через властиву людині внутрішньої потреби досліджувати і колонізувати нові території, люди постійно шукають способи зробити життя в космосі можливим. Перед нами декілько цікавих розробок, які поки не реалізовані – але хто знає, що несе нам майбутнє!

Розділ 12. ПРАВОВИЙ РЕЖИМ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ.

12.1. Фактори ризику для цивілізації, людей і планети Земля

Екзистенціальні небезпеки, які можуть загрожувати людству, мати негативні наслідки для ходу людської цивілізації і навіть привести до кінця планети Земля виражається в таких різних фразах, як «Кінець світу», «Судний день», «Рагнарок», «Армагедон», «Апокаліпсис» тощо.

На думку Стівена Хокінга основними загрозами для людської цивілізації є людська дурість та зумовлене нею забруднення навколишнього середовища.

Різні фактори ризику існують для всього людства, але не всі вони рівні. Їх можна умовно розділити на шість типів, виходячи з обсягу (особисті, регіональні, глобальні) і інтенсивності. Фактори глобального характеру та випадкові по інтенсивності є тими, де несприятливий результат або знищить розумне життя на Землі, або різко скоротить його потенціал.

Було запропоновано багато сценаріїв. Окремі, які майже напевно покінчать з життям на Землі, безсумнівно, відбудуться, але через дуже довгий термін. Інші, ймовірно, відбудуться у більш короткі терміни, але, ймовірно, не повністю знищать цивілізацію. Треті взагалі вкрай мало ймовірні і можуть бути навіть неможливі. Наприклад, існують деякі передбачені небезпеки, які були виключені зі списку на тій підставі, що вони здаються занадто неймовірними чи можуть викликати глобальну катастрофу: наднова, спалахи наднових, чорні діри чи вибухи-злиття, гамма-спалахи, спалах галактичного центру,

накопичення забруднення повітря, поступова втрата людської плодючості, а також різні релігійні сценарії кінця світу.

Є цілий ряд космологічних теорій щодо кінцевої долі Всесвіту, які відзначаються невизначеним продовження життя. Більшість включають періоди часу далекого майбутнього значно більше, ніж термін у 13.7 млрд років. Теорія зоряної еволюції пророкує, що наше Сонце вичерпає свої водневе ядро і стане червоним гігантом приблизно через 5 млрд років, стане у тисячі разів більше та світліше, втративши приблизно 30 % від власної маси.

Земля зіткнулася з кількома великими астероїдами в останню геологічну історію. Крейдово-третинний астероїд, наприклад, припускають, викликав вимирання динозаврів 65 мільйонів років тому. Якщо такий об'єкт вразить Землю, це може мати серйозний вплив на цивілізацію. Можливо, навіть, що людство буде повністю знищено. Для того щоб це відбулося, довжина астероїда повинна бути не менше 1 км у діаметрі, але, ймовірно, між 3 і 10 км. Астероїди з 1 км діаметром впливали на Землю в середньому раз в 500 000 років. Великі астероїди зустрічаються рідше. Астероїди час від часу зближуються із Землею, що спостерігається регулярно.

1400 тисяч років потому зірка Глізе 710, як очікується, може привести до збільшення числа метеорних тіл в околицях Землі у 1.1 світлових роках від Сонця. Деякі моделі передбачають, що це викличе велику кількість комет з хмари Оорта в разі можливого зіткнення із Землею, тоді як інші моделі пророкують лише 5 % збільшення швидкості удару.

Був запропонований ряд інших сценаріїв. Масивні об'єкти, наприклад, зірки, планети або велика чорна діра, можуть бути катастрофічними, якщо зіткнення відбудеться в Сонячній системі.

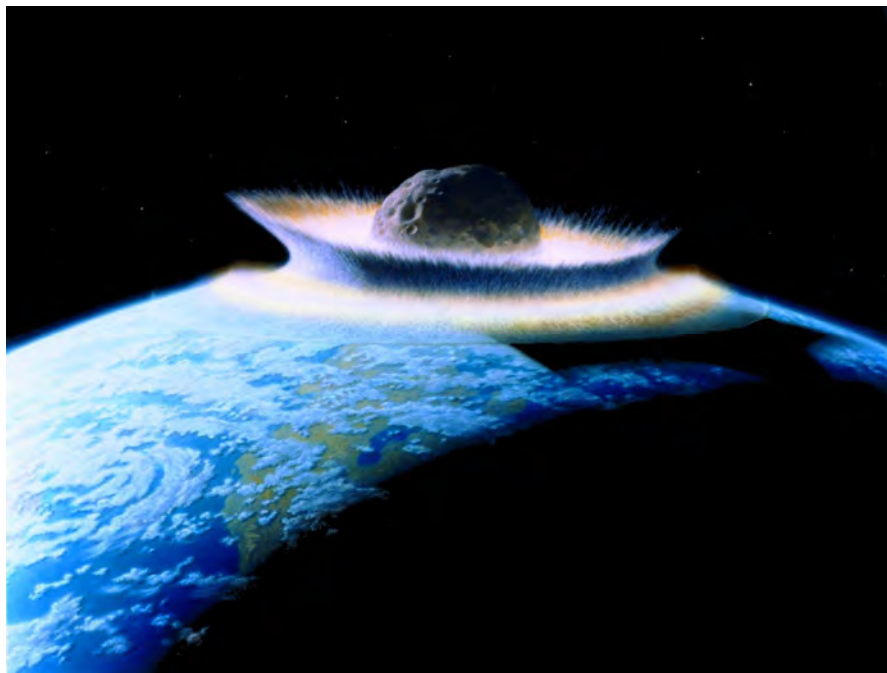


Рис. 12.1 – Зіткнення космічних тіл з планетою Земля.

(Гравітація від блукаючих об'єктів може призвести до збоїв орбіти і кинути тіла в інші об'єкти, в результаті чого станеться вплив метеориту або зміна клімату. Крім того, тепло від блукаючих об'єктів може призвести до зникнення атмосфери Землі, а зникнення припливних сил може призвести до ерозії вздовж наших берегів). Ще одна загроза може виходити від гамма-сплесків. Обидві дуже малоймовірні.

Тим не менш, інші бачать позаземне життя як можливу загрозу для людства. Вчені вважають такий сценарій можливим, але малоімовірним.

У квітні 2008 року було оголошено, що орбіта Меркурія може бути нестійкою внаслідок гравітаційного впливу Юпітера, протягом тривалості життя Сонця. Якби це сталося, моделювання свідчать, що зіткнення із Землею може бути одним з чотирьох можливих результатів (інші — Меркурій зіштовхується з Сонцем, стикається з Венерою або викидається з Сонячної системи в цілому). Якщо Меркурій зіткнеться із Землею, усі життя форми на Землі буде знищено і вплив може витіснити досить матерії на орбіту у формі іншого місяця. Зверніть увагу, що астероїд лише 15 км в ширину, як кажуть, знищив динозаврів; Меркурій близько 5000 км у діаметрі.

Як один з розв'язків футурологи розглядають евакуацію людства на придатну для життя землеподібну екзопланету.

Стівен Хокінг вважає, що забруднення навколишнього середовища та нерациональність рішень людини – найбільші загрози для усього людства. Зокрема, реальними загрозами фізик вважає можливість війни зі штучним інтелектом (цілі машин можуть відрізнятись від наших). Забруднення і перенаселеність Землі – загрози що прогресують. Якщо темпи збільшення населення Землі збережуться, то до 2100 року на землі мешкатиме 11 мільярдів людей. Забрудненість повітря зросла на 8 % за останні 5 років. Понад 80 % населення урбаністичних регіонів живе за умов небезпечного рівня забруднення атмосфери.

Ще одна загроза, яка на нас може чекати – зустріч з розвиненими інопланетянами. У своїй півгодинній програмі «Улюблені місця

Стівена Гокінга» на телеканалі CuriosityStream вчений заявив, що зустріч з більш розвиненими цивілізаціями для жителів Землі може бути подібною до «зустрічі корінних жителів Америки з Колумбом». На думку фізика, жителі інших планет можуть використати Землю як джерело ресурсів, якщо вони виявляться більш розвиненими, аніж ми.

12.2. Правова складова щодо врегулювання відносин стосовно космічних об'єктів.

Космічний простір не зовсім порожній: у ньому є комічні об'єкти природного та штучного походження, на які заявлені права чи вони виникли внаслідок їх створення та запуску на орбіту, видаються сертифікати та свідоцтва тощо. Рано чи пізно до природних об'єктів виникає пізнавальний, а потім власницький інтерес: наразі не тільки на Місяць чи ділянки на ньому зареєстровані права, але навіть і на Сонце. Тож стосовно цих об'єктів виникають правовідносини, які є міжгалузевими, але наразі вони охоплюються предметом космічного права. Це призводить до непорозумінь, спорів і навіть конфліктів і потреби їм запобігати завдяки посиленню регулятивної та охоронної функцій права.

Не можна не сказати, що тим не переймаються науковці: наразі досить інтенсивно і усесторонньо. Тож дослідження і використання космічного простору, включаючи його об'єкти: Місяць та інші небесні тіла, а також штучні апарати, космічне сміття тощо здійснюється в країнах:

а) які мають розвинуту космічну інфраструктуру (США, РФ, Великобританія, Франція, останні десятиріччя – досить посилено Китай);

б) які проявляють чи мають свій інтерес у космічній сфері та є учасниками міжнародних та інших космічних програм (Україна),

в) інші, незалежно від ступеня їх економічного чи наукового розвитку.

Принаймні, космічний простір та небесні тіла відкриті для дослідження і використання всіма державами без будь-якої дискримінації на основі рівності й відповідно до міжнародного права при вільному доступі до всіх районів небесних тіл.

Варто відзначити, що цей напрям розвивається в Національній Академії України, де працювали та працюють досі представники напрямку космічного права. Можна по різному ставитися до космічного права і навіть його штучності, видання галузі законодавства за галузь права і її ототожнення, але одна ознака його є – система нормативних актів, яка регулює вказані відносини. Проте справа не у тому. Навіть при пасіонарності розуміння космічного права – все рівно те, що відносини виникають стосовно об'єктів, які є чи виведені людиною в космос, залишається.

Досить фундаментальна правова складова щодо врегулювання відносин стосовно космічних об'єктів. Їх основу становлять Договір про космос 1967 року та Угода про діяльність держав на Місяці та інших небесних тілах 1979 р. Водночас не все, що визначене цими та іншими актами позитивного права, є беззаперечне, навіть розумне з точки здійсненності співвідношення належного та сущого. Це стосується правового режиму об'єктів як частини правового режиму

космічного простору взагалі чи як речей природного чи штучного походження зокрема. Саме потребою того на тлі загального вчення про правовідносин, їх об'єкт та його правовий режим спричинена потреба встановлення світоглядної людиноцентричної позиції. Насамперед йдеться про безпеку людства і недопущення його вимирання від наслідків вторгнення на Землю великих космічних об'єктів, а значить про відстеження орбіт космічних об'єктів та готовність їх змінити в разі загроз, упорядкування використання космічного простору космічними апаратами, прибирання його від космічного сміття, використання інформаційних ресурсів та мінімізації наслідків господарської, наукової та іншої, зокрема туристичної, діяльності в космосі.

Об'єктом є правовий режим космічних об'єктів як порядок їх створення, введення в правовий оборот та, особливо, використання і відповідальності за заявлені права на них. Предметом є акти чинного законодавства, правозастосовна практика, наукова доктрина.

Підхід розпадається на дві частини: встановлення семантичного та правового навантаження категорії «правовий режим об'єкта прав» і на цьому тлі визначення правового режиму космічних об'єктів природного та штучного походження. Щодо першого, то в юридичній літературі досі не склалось єдності і домінує формальне визначення правового режиму земельних ділянок, в основі якого є специфіка права власності на них чи порядок та спосіб введення у використання, можливості використання та припинення прав на такий об'єкт, яке екстраполюється щодо інших об'єктів прав або доктринальні підходи. Водночас з ним конкурує поняття «режим діяльності». В результаті їх пересікання виникають змішані конструкції.

Не вдаючись у їх аналіз, йдеться про правову категорію та, у даному разі те, що стосовно цих об'єктів можуть виникнути чи існують права і охоронювані законом інтереси; вони мають певні фізичні властивості, які охоплюються цією категорією, зокрема можуть складати потенції небезпеки для інших космічних об'єктів, особливо штучного походження, міняти орбіти природних об'єктів та загрожувати негативними наслідками. За порядком встановлення правовий режим космічних об'єктів може бути легальним (законним) чи договірним. Більше йдеться про другий, який є прийнятним для міжнародного співтовариства.

Загальновизнано, що польоти космічних суден призначені для орбітального інерційного пересування в безповітряному просторі. На їх рух впливає сила тяжіння Землі та інших планет. Міжнародна авіаційна федерація реєструє політ судна як космічний, починаючи з висоти 100 км. На цій висоті космічний апарат може здійснити повний орбітальний оберт навколо Землі.

Міжнародно-правовий режим космічних об'єктів, як і космонавтів чи астронавтів, визначено рядом міжнародно-правових документів, як джерел міжнародного космічного права: Договір про принципи діяльності держав по дослідженню і використанню космічного простору, включаючи Місяць та інші небесні тіла, Угоду про діяльність держав на Місяці та інших небесних тілах, Резолюцію Генеральної Асамблеї ООН 37/92 «Принципи використання державами штучних супутників Землі для міжнародного безпосереднього телевізійного мовлення» від 10 грудня 1982 р., Конвенція про реєстрацію об'єктів, які запускаються в космічний простір (Нью-Йорк, 14 січня 1975 р.), Угода про спасання космонавтів, повернення космонавтів і повернення

об'єктів, які запуснені в космічний простір (22 квітня 1968 р.), і ряд інших.

Так згідно названого нами першого договору держава – його учасник, в реєстр якого внесено об'єкт, що запуснений в космічний простір, зберігає юрисдикцію і контроль над ним та над екіпажем цього об'єкта протягом їх перебування в космічному просторі, в тому числі й на небесному тілі.

Принциповим є те, що право власності на космічні об'єкти, які запуснені в космос, включаючи об'єкти, що доставлені чи споруджені на небесному тілі, та їх складові зберігають стан недоторканності під час їх перебування в космічному просторі чи на небесному тілі, чи по поверненні на Землю. Такі об'єкти чи їх складові частини, а також знайдені за межами держави-учасника Договору, в реєстр якого вони занесені, повинні бути повернені цій державі. При тому така держава повинна на вимогу надати до їх повернення розпізнавальні дані. У цій частині краще було б вказати ідентифікаційні дані.

При встановленні режиму космічного простору та небесних тіл, накопичилось певне непорозуміння, яке спричинене відсутністю загальновизнаного визначення цих територій та розуміння категорії «правовий режим». Як вважається, основною причиною такої невизначеності є відсутність у праві чіткого розрізнення між космосом і повітряним простором, який визнається територією держави. Досі космос нерідко визначають як простір, що знаходиться за межами повітряної сфери Землі, режим якого визначає міжнародне право. В Юридичному підкомітеті Комітету ООН з використання космічного простору у мирних цілях питання про делімітацію космосу обговорюється з 1967 р. і залишається поки невирішеним. Існуючі

погляди на критерії делімітації іноді суттєво відрізняються, що не дозволяє говорити про наявність необхідного *opinio juris*.

Виділяють простори, що мають особливості з погляду їхнього використання: ближній космос, дальній космос, геостаціонарну орбіту. Правовий режим цих просторів ґрунтується на існуючому режимі всього космічного простору. Проте, одне коли космічне тіло перебуває, рухається, міняє траєкторію руху у ближньому космічному просторі, а інше – у дальньому. Наприклад, коли супутники із атомними енергетичними установками сходять з орбіт, то виникає проблема радіаційного зараження територій та відповідальності власників та шкоду довкіллю.

Основним міжнародно-правовим актом, що визначає режим дослідження та використання космічного простору та небесних тіл, є Договір про космос 1967 року, яким встановлено, що дослідження та використання космічного простору, включно з Місяцем та іншими небесними тілами, здійснюється на благо та в інтересах всіх країн, незалежно від ступеня їхнього економічного або наукового розвитку, та є надбанням всього людства. У його ст. 2 встановлено, що ніяка ділянка космічного простору, включно з небесними тілами, не підлягає національному привласненню ні шляхом проголошення на них суверенітету, ні шляхом використання або окупації, ні будь-якими іншими способами, а дослідження космічного простору слід проводити відповідно до міжнародного права, включно зі Статутом ООН.

Отже, комічні об'єкти природного походження не можуть бути об'єктами права власності, і всі зазіхання на це є нікчемними. Проте є право першовідкривача та першоосвоювача, і рано чи пізно воно дасть про себе знати, особливо з реалізацією проекту місячних та

марсіанських баз хоча б за правом справедливості витрат на освоєння комічного простору. До цього слід бути готовим вже і створювати володільські, сервітутні чи подібні їм інститути речового права на природні космічні об'єкти. Не виключені такі права і на штучні об'єкти, зокрема міжнародних космічних станцій. Якщо окремий їх модуль належить окремій державі чи приватній компанії, то в разі знищення чи пошкодження модулю персонал слід зберегти та надати можливість використати його ресурси для збереження життя.

Більше питань виникає стосовно штучних космічних об'єктів – штучних небесних тіл, засобів їх доставки, інших їх частин, які запуснені чи споруджені в космічному просторі, чи на небесних тілах для їх дослідження, чи використання з мирною метою. Стосовно таких об'єктів зрозуміла структура правовідносин: визначено коло суб'єктів (країна, яка вивела в космос такий об'єкт) – учасник, що здійснив, організував запуск, надав установки чи територію, в тому числі й держава, яка здійснила ці дії як член міжнародної організації, яка займається космічною діяльністю на умовах, які передбачені Договором про космос 1967 р. Особливе місце в цьому переліку відведене державі реєстрації космічного об'єкта, оскільки вона наділена юрисдикцією стосовно такого об'єкта.

Нагадаємо, що юрисдикція буває повна та обмежена. Повна юрисдикція означає владу держави наказувати поведінку і забезпечувати реалізацію своїх приписів всіма наявними в її розпорядженні законними засобами. Обмежена юрисдикція означає, що держава може наказувати поведінку, однак вона в більшій чи меншій мірі обмежена у використанні засобів, що забезпечують виконання приписів.

Встановлення прав на штучні космічні об'єкти здійснюється за певними процедурами: держава за узгодженням із іншими учасниками вносить номер об'єкта у свій національний реєстр, повідомляє його та інші необхідні дані Генеральному секретарю ООН для внесення в Реєстр, який ведеться з 1961 р. Надалі за номером й іншими даними Реєстру ведеться ідентифікація об'єкта чи його частин в разі знаходження їх за межами території держави реєстрації чи на міжнародній території і повертається державі реєстрації. У всякому разі це перешкоджає поширенню на космічні об'єкти режиму знахідки.

Юрисдикція держави реєстрації стосовно зареєстрованого об'єкта і його екіпажу зберігається на весь період перебування його в космосі, чи польоті. Тут йдеться про право власності на штучні космічні об'єкти, яке поширюється на космічний об'єкт, його частини, встановлену на ньому апаратуру, зразки, відкриття, цінності іншого характеру.

Право власності на штучний космічний об'єкт може належати одній чи декільком державам, чи міжнародній організації, навіть приватній компанії. Щодо останнього, то в міжнародних документах пряма вказівка на приналежність космічних об'єктів приватним компаніям не передбачена і законодавець у цій частині запізнюється, що не бажане і повинне бути надолужене. Тим більше, що наразі розробляються і близькі до реалізації відповідні космічні програми, зокрема космічного туризму, виведені телекомунікаційні супутники приватних компаній, під них видаються розвідувальні системи. Це потребує чіткого визначення і прирівнення прав публічних утворень на космічні штучні об'єкти з правами приватних осіб.

Держави вправі виводити космічні об'єкти на навколоземні та інші орбіти, здійснювати їх посадку на небесні тіла, запуск з них, розміщувати космічні апарати, обладнання, прилади, станції в будь-якому місці поверхні небесних тіл чи в їх надрах, переміщати їх. Проте вони повинні інформувати Генерального секретаря ООН про місце розташування штучних космічних об'єктів, їх консервацію чи діяльність; випадки знаходження космічних об'єктів і негайно повертати їх державі реєстрації. Водночас, частини комічних штучних об'єктів чи самі об'єкти, які не мають розпізнавальних знаків і не зареєстровані належно, не повертаються. Тож йдеться лише про індивідуально визначені штучні космічні об'єкти як умову їх легітимації та захисту прав власників. На окремі космічні об'єкти природного походження, зокрема метеорити, держави здебільшого оголошують свої виключні права. Серед космічних об'єктів виділяються аерокосмічні об'єкти чи «гібридні системи», які проходять через іноземні повітряні простори при приземленні, зміні орбіти, а також забезпечують транспортне сполучення пунктів на Землі та у космосі. Це пов'язане із забезпеченням національної та колективної безпеки цих країн та необхідністю їх інформувати про проходження такими об'єктами їх повітряного простору. Держави-учасники Договору повинні негайно інформувати інші держави-учасники Договору чи Генерального секретаря ООН про встановлені ними явища в космічному просторі, включаючи Місяць та інші небесні тіла, які можуть бути небезпечними для життя чи здоров'я космонавтів. Видається, що тут слід було б доповнити вимогою про небезпеку довкіллю та космічному сполученню, особливо щодо штучних космічних об'єктів, над якими втрачено контроль. Не менш важливим

елементом правового режиму штучних комічних об'єктів є врегулювання витрат, які понесені на виявлення і повернення космічного об'єкта чи його складових. Вони згідно із договором покриваються державами чи організаціями, які здійснили їх запуск. Вважаємо, що такий підхід повинен бути збережений і щодо відшкодування завданого збитку від запуску та приземлення штучних комічних об'єктів. Важливою є ст. 4 Договору про космос 1967 р. щодо заборони розміщення в космосі зброї масового знищення. Тим самим космічний простір і небесні тіла проголошені частково демілітаризованою зоною, включно з без'ядерним статусом.

Договором 1963 р. в космосі також заборонено проводити будь-які випробування ядерної зброї. Розміщення в космосі звичайних видів озброєння та збройних сил загальним міжнародним правом не заборонено, так само як не заборонено використання космосу для військових цілей. Деякі обмеження в цій галузі накладали лише двосторонні угоди. Водночас фахівці стверджують про мілітаризацію космосу.

Місяць та інші небесні тіла є демілітаризованими та нейтралізованими територіями, що забороняє будь-яке їх військове використання. Відповідно до Договору про космос 1967 р. вони можуть бути використані виключно в мирних цілях. Однак це не виключає права держави включати військовослужбовців у склад екіпажу космічного об'єкта та їхнього права робити посадку на небесні тіла. Так чи інакше спокуса використати ці об'єкти з військовою метою існує, і при нинішніх технологіях проконтролювати це і протистояти досить складно. Практика показує, що покладатися на чесне слово і завірення

щодо чесності намірів та дотримання режиму космічного об'єкта не варто.

Вивчення та дослідження небесних тіл має бути таким способом, щоб уникати їх шкідливого забруднення, а також несприятливих змін земного середовища, що є декларативним попри намагання тому слідувати внаслідок об'єктивності енергетичного та іншого забезпечення польотів в космос. Так, деякі види палива для ракетноносіїв шкідливо впливають на озоновий шар Землі. Навколоземний космічний простір наразі заповнено численними недіючими космічними об'єктами та їхніми частинами відходами діяльності людини (космічним сміттям).

Наразі з розвитком технологій та протистоянь заборонам та обмеженням як складової режиму космічних об'єктів приймаються обґрунтовані спроби розвинути й уточнити деякі положення Договору про космос 1967 р. та Угоди про діяльність держав на Місяці та інших небесних тілах 1979 р. Зокрема, угода поширює на Місяць і небесні тіла режим «загального надбання людства» та приписує, щоб розробка природних ресурсів була тут підпорядкована спеціальному міжнародно-правовому режиму. Однак ні Угода, ні інші міжнародно-правові акти такий режим не встановлюють, що свідчить про нестикування та протистояння.

Це підтверджує, що міжнародне космічне право в частині визначення режиму небесних тіл значною мірою перебуває у сфері бажаного, ніж суцього, і багато дійсного залишається поза межами досяжності людства.

З урахуванням наведеного, за правовим режимом космічних об'єктів можна припустити, що на них виникли особливі речові права,

як абсолютні. Вони забезпечують права власників, які є домінуючими при колізії речових прав, зокрема сервітутів, та права власності та забезпечені зобов'язаннями імперативного характеру щодо повернення штучних космічних об'єктів їх власникам.



ВИСНОВОК

Тісний зв'язок Землі з космосом, починаючи від формування планети і до теперішнього часу підтверджується рядом фактичних даних. Так, сучасними космічними факторами, які впливають на Землю, є:

- падіння великих метеоритів, вагою понад десятків тон, 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 випадання космічного пилу і спорадичне падіння метеоритів, які призводять до збільшення маси земної кори, стимулювання атмосферних опадів, а також впливають на екологічну обстановку на Землі, беручи участь у фізико-хімічних процесах, які визначають життєдіяльність біоти;

- постійне космічне опромінення, яке обумовлює радіаційний фон на земній поверхні і синтез радіонуклідів — тритію, радіовуглецю та ін;

- гравітаційний вплив Місяця, Сонця і проходять поблизу Землі інших космічних тіл, що обумовлює припливи і відливи в водного середовища та літосфері, а також циклічність процесів у біосфері;

- періодична сонячна активність, яка призводить до магнітних бурь на Землі.

Таким чином, ґрунтуючись на цих чинниках, завдання космічної екології повинні розглядатися в трьох аспектах: речовинному, енергетичному та ідеологічному. З ідеологічних позицій, освоєння

ближнього космосу є необхідною умовою зняття біосферних обмежень межі зростання народонаселення. Теоретичним фундаментом космічної екології є знання планетних закономірностей формування Землі, зміни її космохімічного фону в геологічний період і в результаті людської діяльності. Останнім часом все більш очевидними стають як обмеженість ресурсів Землі, так і згубність впливу діяльності людини в споживанні і переробки цих ресурсів на екологічну ситуацію на Землі. З цієї точки зору найбільш перспективним видається переорієнтація інтересів на вивчення ближнього космосу, як носія мінеральних і енергетичних ресурсів, здатного задовольнити потреби людства без безпосереднього руйнування навколишнього середовища. Достатньо відзначити, що в 1 т залізного метеорита міститься від 50 до 250 кг нікелю, запаси якого у земній корі різко обмежені, до 30 кг кобальту і близько 50 г платиноїдів. Пошуки і вивчення нового типу космічного речовини дозволяють отримати фундаментальні дані про процеси виникнення, перерозподілу і концентрації мінеральних ресурсів космосу, про роль цих ресурсів у формуванні техногенної сфери та її впливу на екологічну ситуацію на Землі. Аналіз сучасних космічних програм, які активно розробляються в найбільших наукових центрах і охоплюють широке коло науково-технічних проблем, свідчить про те, що можливість використання мінеральних ресурсів космосу стимулює вивчення наслідків їх привнесення в навколишнє середовище. Космічні програми пошуку, видобутку і переробки корисних копалин в космосі висувають жорсткі технологічні вимоги, які повинні забезпечити космічні тіла, в тому числі і планету Земля, від забруднень.

Успішне освоєння космічного простору буде залежати від здатності використання місцевих ресурсів для конструкційних

матеріалів, життєзабезпечення в космосі і забезпечення енергетичними ресурсами літальних апаратів і космічних лабораторій. Спорудження космічних станцій на навколоземній орбіті, а в майбутньому на поверхні космічних тіл вимагає глибокого дослідження енергетичного впливу космічного середовища (галактичних променів, сонячного вітру, різких перепадів температури) на конструкційні матеріали.

Одним з найважливіших наслідків вивчення космічних об'єктів є можливість одержання основних даних про умови зародження і еволюції органічних речовин космосу, а також їх вплив на формування біосфери і в цілому життя на Землі. Космічні програми, розраховані на найближчі десятиліття, охоплюють широке коло наукових, технічних, будівельних, економічних, політичних і юридичних проблем. Їх аналіз свідчить про те, що освоєння космічного простору дало потужний поштовх у розвитку мікроінструментів, що дозволяють працювати з мінімальною кількістю речовини, а також нових технологій у будівництві космічних баз, пошуку, видобутку, переробки корисних копалин та розробки нових матеріалів із заданими властивостями. В космічних дослідженнях настав новий етап, заснований на розробках і застосуванні невеликих, відносно дешевих космічних кораблів і приладів. Так передбачається, що прибулі на Марс мікросупутники будуть важити до 200 кг, а марсіанські прилади до 5 кг. Саме реалізація космічних програм демонструє перетворення гіпотез про природу оточуючого нас світу в науково доведені факти. Так, наприкінці минулого сторіччя планувалося провести іоносферні вимірювання, геологічні дослідження, здійснити пошук поблизу поверхневої ґрунтової рідкої води і вивчити прикордонний шар атмосфери і її глобальну циркуляцію. А вже сьогодні земляни отримали прямі

свідчення присутності води на Місяці і Марсі. Основні напрямки розвитку космічної екології та її проекти, реалізація яких дозволить отримати фундаментальні знання, направлені на те, щоб вже в недалекому майбутньому людство мало можливість використовувати матеріальні і енергетичні запаси космосу. Для освоєння Марса передбачається використовувати Місяць, поверхня якого є найбільш перспективною для розміщення на ньому астрономічні обсерваторії, обладнаних сучасними телескопами. Місячні обсерваторії дозволять отримати високоякісні астрономічні дані в широкому діапазоні електромагнітного спектру. На геонаукових станціях, які передбачається встановити на Марсі, будуть реалізовуватися геофізичні, геодезичні, метеорологічні та картографічні програми.

У космос стало вигідно вкладати гроші, оскільки майбутнє за його освоєнням військовими і комерцією. У той же час підкорювачі космосу розуміють, що без розробленої системи по зниженню рівня небезпеки зіткнення космічних апаратів з частинками сміття, без страхування ризиків і відшкодування витрат освоєння космосу безперспективно

Отже все ще попереду!

ЛІТЕРАТУРА

1. Володимир Ісаєнко, Григорій Франчук. Екологія, авіація і космос. К.: НАУ-друк. – 2010. – 456 с.
2. Глушко, А. А. Космическая экология [Текст]/ А.А. Глушко – М.: Изд-во "Инженерная экология", 2005. – 623 с.
2. Икеда, Д. Космос. Земля. Человек [Текст]: диалоги/Д. Икеда, А. Серебров –М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006 . – 309 с.
3. Минат, В. И. Капризы погоды, стихийные бедствия и энергетический принцип строения мира[Текст]/ В.И. Минат, Н.В. Коломеец –Владивосток: Дальнаука, 2006. –212 с.
4. Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности [Текст]: мат. Междунар. науч.-практ. конф., 18 мая 2011 г., г. Москва/ МГУ им. М.В. Ломоносова, Географический факультет – М.: МГУ, 2011. – 154 с.
5. Касимов Н.С. Экологический мониторинг ракетно-космической деятельности. Принципы и методы [Текст]/ Н.С. Касимов [и др.]; под ред. Н.С. Касимова, О.А. Шпигуна – М.: РЕСТАРТ, 2011. – 469 с.
6. Сверлова, Л. И. Охрана озонового слоя атмосферы –основа сохранения жизни на Земле [Текст]/ Л.И. Сверлова –Хабаровск: 2012. –219 с.
7. Колесников, Е. К. Чрезвычайные ситуации на Земле и в космосе [Текст]: учеб. пособие/ Е.К. Колесников, А.С. Майнулов, А.Г. Зеленский; С.-Петербург. гос. ун-т –Воскресенск: Позитив, 2016. – 217 с.
8. Воздействие ракетно-космической техники на окружающую среду [Текст]/ И.В. Агапов [и др.]; под общ. ред. В.В. Адушкина, С.И. Козлова, М.В. Сильникова –М.: ГЕОС, 2016. – 794 с.
9. Материалы III всероссийской научной конференции "Экология и космос" имени академика К.Я. Кондратьева [Текст]/ под общ. ред. Ю.В. Кулешова – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. – 404 с.

10. Брейн, М. Великие изобретения [Текст]: от катапульты до марсохода: 250 основных вех в истории техники и технологии/ М. Брейн; пер. с англ. О.С. Лобачевой – М.: Лаб. знаний, 2017. – 534 с.
11. Фадин, И. М. Экология космоса [Текст]: учеб. пособие/ И.М. Фадин, Б.И. Полетаев, В.Н. Сидоров; Под ред. И.М. Фадина – СПб.: 2005. (СПб.) – 279 с.
12. Сарапулов, В. Н. Угрозы экологической безопасности комплекса "Байконур" [Текст]/ В.Н. Сарапулов –Набережные Челны: Изд-во Кам. гос. инженер.-экон. акад., 2006. – 53 с.
13. Трушляков, В. И. Снижение техногенного воздействия токсичных компонентов ракетного топлива на окружающую среду [Текст]: монография/ В.И. Трушляков, В.В. Шалай, Я.Т. Шатров –Омск: Изд-во ОмГТУ, 2004. – 218 с.
14. О токсичности гептила [Текст]/ Междисциплинар. центр фундам. исслед.; под ред. Л.С. Ягужинского – М.: МФТИ, 2014. – 128 с.
15. Кондратьев А. Д. Экологическая безопасность ракетно-космической деятельности [Текст] / А. Д. Кондратьев [и др.]; МГУ им. М. В. Ломоносова, Геогр. фак. –М.: Спутник+, 2015. – 279 с.
16. Ягужинский Л.С. Экспериментальные исследования влияния низких концентраций гептила и продуктов его гидролиза на воду и биологические объекты [Текст]/ Л.С.Ягужинский [и др.]; под ред.Л.С.Ягужинского; Нац.исслед. ядер. ун-т "МИФИ", Междисциплинар. центр фундам. исслед. – М. :ИПХФ РАН, 2015. – 230 с.
17. Коломенцев А.И. Экологическое право в ракетно-космической деятельности [Текст]: учеб. пособие/ А.И. Коломенцев [и др.] – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2013. – 82 с. – Библиогр.: с. 82.
18. Тім Фернхольц. Новая космическая гонка. Как Илон Маск, Ричард Брэнсон и Джефф Безос соревнуются за первенство в космосе. – Изд-во: Альпіна Паблішер, 2019. – 371 с.

19. Рон Гаран. Из космоса границ не видно. – Изд-во: Манн, Иванов и Фербер, 2015. – 192 с.

20. Michael Begon, Colin R. Townsend, John L. Harper. Ecology: from individuals to ecosystems. – Wiley-Blackwell, 2006. – 738 с.

