

УДК 629.78; 591.044

П. І. Баранський¹, Є. Ф. Венгер¹, О. В. Гайдар²

¹Інститут фізики напівпровідників НАН України, Київ,

²Інститут фізики НАН України, Київ

Проблеми, пов'язані з довготривалим перебуванням космічних кораблів з астронавтами на борту в міжпланетному просторі (Довготривалі космічні подорожі: погляд у майбутнє)

Надійшла до редакції 15.11.01

Обговорено проблеми, пов'язані з плануванням і практичною реалізацією довготривалих космічних подорожей в міжпланетному просторі. Аналіз сучасного стану науки і техніки свідчить про те, що: — електромагнітний захист від радіації космічного корабля (КК), призначеного для довготривалих космічних подорожей, його екіпажу, засобів регенерації біомаси і кисню (у формі космічних оранжерей чи мікроорганізмів) і напівпровідникової елементної бази бортових ЕОМ, систем автоматики і радіотелекомунікації можна забезпечити лише за рахунок використання матеріалів майбутнього, які будуть характеризуватися «кімнатнотемпературною» надпровідністю, високими значеннями критичних магнітних полів, достатньою механічною надійністю і радіаційною стійкістю; — безпечне і прийнятне функціонування членів екіпажу та інших об'єктів живої природи, як і напівпровідникової елементної бази відповідальних технічних вузлів і засобів автоматики чисельних бортових систем, може бути забезпечене лише шляхом створення магнітного оточення на борту КК, наближеного до того, яке існує в земних умовах. Тобто, кабіна КК має бути сама надійно захищена від впливу сильного магнітного поля (кілька сотень мілітесла), яке одночасно буде захисним щитом для КК від космічної (переважно протонної) радіації.

ВСТУП

Не торкаючись надзвичайно важливих фізичних, медичних і психо-комунікаційних факторів ДКП, детально розглянутих фахівцями відповідних спеціальностей в монографії [31], проаналізуємо вплив на КК і його екіпаж лише тих змін в оточуючому середовищі, які для них стають на весь час довготривалої космічної подорожі (ДКП) неодмінними і характерними з моменту виходу КК на міжпланетну орбіту. Згадані зміни будуть пов'язані головним чином з трьома факторами: з мікрогравітацією (МГ), або невагомістю, з практичною відсутністю атмосфери і відсутністю геомагнітного поля (ГМП). Аналіз багатого фактичного мате-

ріалу, накопиченого протягом кількох десятиліть освоєння космосу, переконливо показує, що ДКП майбутнього, що триватимуть 3—5 років, будуть практично неможливими без створення наступних життєво важливих умов.

1. Забезпечення відносно комфортного перебування (життя і праці) людини в КК в умовах мікрогравітації. Уже під час 18-добового польоту космонавтів А. Г. Ніколаєва і В. І. Севастьянова на КК «Союз-9» зафіксовано (за даними монографії [31]) зменшення м'язової маси космонавтів, їхню слабкість і астенію, підвищену больову чутливість, підсилення рефлексів, головокружіння і нестійкість при вертикальному положенні тіла. Це стимулювало зусилля медичного персоналу на розробку ком-

пенсаторних профілактичних заходів для відвернення м'язової атрофії, зниження загального тону-су і порушень кровообігу за рахунок цілеспрямованої фізичної підготовки і додаткових м'язових навантажень з чітким режимом фізичних вправ як в попередніх приготуваннях до космічного польоту, так і в умовах мікрогравітації (МГ). Можна стверджувати, що ці зусилля космічної медицини не пройшли марно. За такої профілактики, як показав досвід, прийнятного рівня техніки безпеки перебування людини на навколосемних орбітах протягом одного року практично уже досягнуто, і отже, при деяких удосконаленнях фізичної підготовки і медично обгрунтованому фізичному навантаженні космонавтів в умовах МГ тривалість безпечного перебування людини в космосі, напевне, можна вже зараз суттєво розширити до прийнятного для ДКП.

2. Гарантоване збереження (на вказаний проміжок часу) механічної і радіаційної стійкості КК (конструкційних матеріалів зварних швів, усіх його механічних вузлів і систем автоматики). Накопичений у минулому досвід використання зварних вузлів КК різного призначення і космічної станції «Мир» з відповідальними конструкційними елементами (типу систем багаторазового розкриття і складання сонячних батарей протяжністю 15 м, яка після п'яти років експлуатації в космосі була складена, перенесена в друге місце і повторно розкрита [20]), висока механічна і радіаційна стійкість сучасних конструкційних матеріалів, перевірена протягом багатьох років в жорстких експлуатаційних умовах атомної енергетики і досягнуті успіхи в електронно-променевому електрозварюванні не тільки на Землі, а і в космосі [21, 22] вселяють сподівання на те, що надійність в механічному відношенні і радіаційну стійкість КК, розраховані на ДКП, напевне, можна уже зараз забезпечити на основі сучасного рівня науки і новітніх технологій.

3. Створення ефективних засобів регенерації кисню і біомаси, необхідних для життєзабезпечення астронавтів.

4. Забезпечення стійкого і надійного функціонування автономних джерел енергії елементної бази ЕОМ, напівпровідникових вузлів автоматики, систем наддалекого зв'язку і телекомунікації в умовах суттєво підвищеної радіаційної активності міжпланетного простору.

Мета нашої роботи — розглянути ступінь необхідності і рівень технологічних можливостей у забезпеченні третьої і четвертої з вище названих вимог, без виконання яких практична реалізація ДКП безсумнівно виявиться проблематичною.

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕБУВАННЯ КК З ЇХНІМИ ЕКІПАЖАМИ ЗА МЕЖАМИ ЗЕМНОЇ МАГНІТОСФЕРИ

Аналіз руху КК, а також ефективності функціонування живих і неживих систем на його борту з виходом на міжпланетну орбіту необхідно провадити з урахуванням відсутності земного тяжіння і ще двох надзвичайно важливих факторів: земної атмосфери і геомагнітного поля (ГМП) (рис. 1).

Оскільки вихідні (бортові) запаси кисню і біомаси для ДКП не можуть бути достатніми, необхідно створити і практично освоїти системи регенерації біомаси і кисню, щоб саме вони склали основу автономного життєзабезпечення астронавтів.

Однак, якщо методика відтворення кисню і біомаси і буде запропонована, то у зв'язку з досить значною тривалістю міжпланетних подорожей, а також відсутністю атмосфери і ГМП — на передній план впливає абсолютна необхідність заміни їхніх захисних функцій шляхом створення відповідних екранів, які могли б захищати «живі» системи регенерації біомаси (і кисню), самих астронавтів і досить уразливу (по відношенню до частинок високих енергій в спектрі первинних і вторинних космічних променів) напівпровідникову елементну базу ЕОМ, напівпровідникові засоби автоматики і наддалекого зв'язку і навіть автономні джерела електроенергії, якщо мова йде про тривалість мандрівок у декілька років. Адже склополімерні захисні засоби сонячних батарей, які зараз використовує космічна техніка, без відповідної модифікації теж можуть виявитися недостатніми.

Відомо, що Сонце щосекунди розсіює у простір 4 млн тонн своєї маси у вигляді електромагнітних випромінювань широкого діапазону, а також елек-

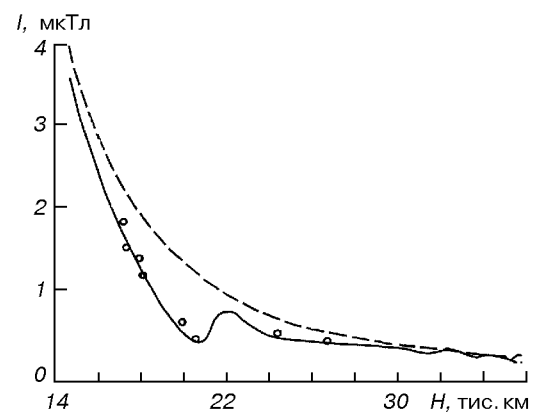


Рис. 1. Крива зміни напруженості магнітного поля Землі з висотою. Штрихова крива — модельні значення, суцільна крива — дані вимірювань [24]

трично заряджених і нейтральних частинок. До Землі доходить мала часточка цього енергетичного потоку. Але і вона була б згубною для всього живого на нашій планеті, якби не захисна дія двох постійно діючих факторів: товщі атмосфери і ГМП.

Саме атмосфера Землі масою $5 \cdot 10^{15}$ тонн ефективно поглинає або відбиває значну частину смертоносного потоку, а невелике магнітне поле (50—60 мкТл в середніх широтах), що пронизує всю товщу атмосфери, «закручує» і відхиляє від попадання на поверхню Землі потоки сонячних протонів і α -частинок відносно невеликої густини ($1\text{--}2 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$), але надзвичайно великих (білясвітлових) швидкостей [15].

Широкомасштабні дослідження останніх десятиліть показали, що в питаннях, пов'язаних з різними формами життя на нашій планеті, ГМП слід розглядати не тільки як фактор захисту життя на Землі від згубного впливу космічної радіації, а також як один із ефективних екологічно важливих факторів [7, 13, 16, 26, 28, 33].

На відстані 60—100 тис км від Землі геомагнітне поле надзвичайно мале і складає лише 2—3 нТл, або приблизно в 20 тисяч разів менше, ніж на середніх широтах [24]. Тому думка Д. Бейшера [36] про те, що «наявність ГМП під час всієї еволюції рослинного і тваринного світу на Землі призвела до того, що жоден живий організм не може бути вилученим з магнітного середовища без серйозних негативних наслідків» — спонукає на глибокі роздуми про рівень і гарантії безпечного перебування астронавтів в надслабкому магнітному полі (НМП) протягом кількох років. На користь такої думки свідчать результати досліджень [34]. Майбутні космонавти розміщувались на 10 діб в кімнаті з залишковим магнітним полем 0.001 мкТл (замість звичайного 50 мкТл. Суб'єктивне відчуття суцільності світлового потоку в них наступало при суттєво нижчих значеннях частоти модуляції світла, ніж в умовах некомпенсованого ГМП (яке слугувало для цих дослідів контролем). І хоча в обговорюваних дослідях зміни органів зору людей були оборотними, не можна бути байдужим до застереження, висловленого в роботі [40], а саме: «В то время как помещение подопытных мышей в гипомангнетное (надслабке — прим. наша) поле не оказывает никакого видимого воздействия, если опыт длится не более недели, тот же эксперимент приводит к тяжелым расстройствам обмена веществ, становясь причиной преждевременной смерти, когда он продолжается от четырех месяцев до одного года. В этих условиях можно задать себе вопрос относительно результатов, которые были бы получены, если бы опыты на людях, проведенные Бейшером, имели аналогичную продолжитель-

ность... С другой стороны, известно, что на протяжении тысячелетий магнитное поле неоднократно изменяло свою полярность; последнее изменение произошло 700000 лет назад. Можно утверждать, что с того времени ГМП в течение тысячи лет было равно нулю. Путем изучения ископаемых в осадочных слоях геофизикам удалось доказать, что многие виды радиолярий вымерли именно в этот период и связать это явление с отсутствием ГМП. Это утверждение, впрочем, было подтверждено существованием других изменений фауны и флоры в эту эпоху».

Штучно дуже ослаблене ГМП (введено шляхом екранування чи компенсації до значень 0.01—0.1 мкТл) негативно впливає на ріст і розвиток як рослин [16, 28] (див. рис. 2 і табл. 1), так і мікроорганізмів [27].

Приведені вище факти, а також обґрунтовані вказівки на те, що ритміка фізіологічних процесів у рослин виявляє чітку кореляцію зі змінами елементів ГМП у часі [11, 12], свідчать про те, що ГМП є екологічно важливим фактором. Без його відтворення на борту космічного корабля напевне не зможуть надійно і стійко функціонувати не тільки життєво важливі системи людського організму (центральна нервова, серцево-судинна та ін.), але також і життєво необхідна регенерація біомаси. Тому без штучного «аналога» ГМП на космічному кораблі довготривала подорож взагалі може виявитися нездійсненною, або недієздатною. У той же час поле, еквівалентне ГМП, навіть в досить значному об'ємі кабіни КК відносно легко можна відтворити за допомогою кілець Гельмголь-



Рис. 2. Коренева система тритижневих рослин ячменю: *a* — вирощених в ГМП; *б* — вирощених в МП 0.01 мкТл [16]

Таблиця 1. Вплив надслабкого МП (≈ 0.01 мкТл) на ріст ячменю (сорт — Носовський) [16]

Варіанти	Надземна маса				Корені				Кількість рослин, що мають третій листочок, %
	Сира вага		Суха вага		Сира вага		Суха вага		
	Однієї рослини, мг	%	Однієї рослини, мг	%	Однієї рослини, мг	%	Однієї рослини, мг	%	
ГМП	555.0	128.0	46.4	126.5	93.0	139.0	8.22	141.5	58.7
НМП	433.0	100.0	36.7	100.0	67.0	100.0	5.78	100.0	39.4
ГМП	465.5	112.5	35.7	119.5	49.9	135.1	7.2	148.5	87.0
НМП	414.0	100.0	29.8	100.0	36.9	100.0	4.8	100.0	50.0

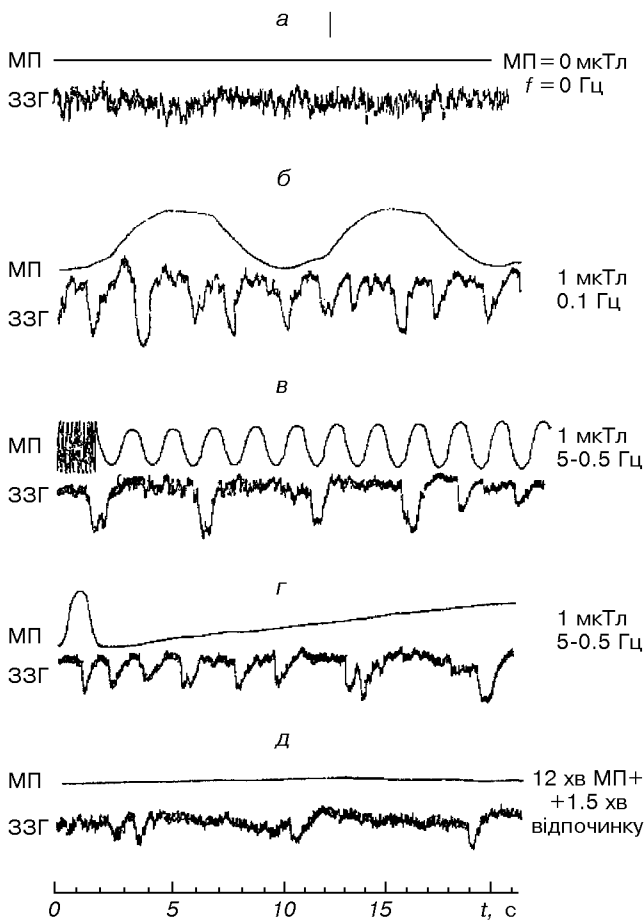


Рис. 3. 20-секундні відрізки електроенцефалограми (ЕЕГ) пацієнта Л.Г.: *a* — до включення МП; *b* — між 60 і 80 с дії МП ΔZ_1 1 мкТл і частотою $f_4 = 0.1$ Гц; *v* — між 200 і 240 с дії МП ΔZ_1 при переході від $f_8 = 5$ Гц до $f_9 = 0.5$ Гц; *г* — між 250 і 270 с дії МП ΔZ_1 при переході від f_9 до $f_3 = 0.01$ Гц; *д* — після 12 хв дії МП і 1.5 хв відпочинку [18]

ця, які достатньо буде жити відносно малим постійним струмом.

З іншого боку, не можна не враховувати наявності великої щільності електронної «начинки» КК (всі системи автоматики, засоби зв'язку і телеба-

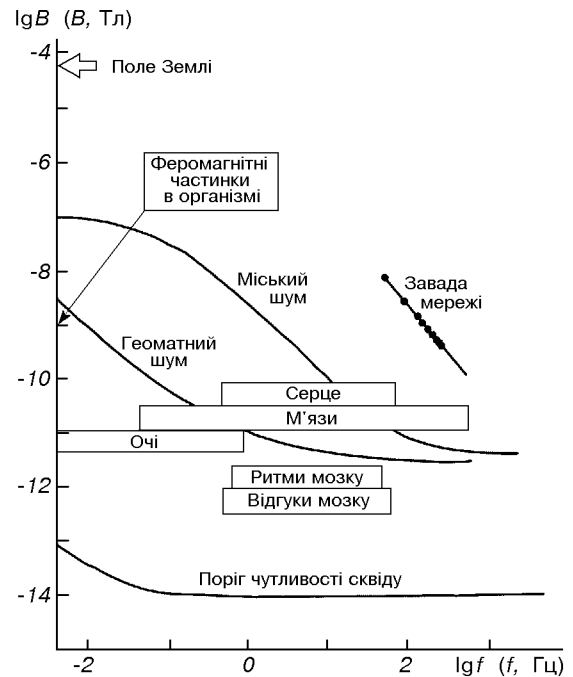


Рис. 4. Місце біомагнітних сигналів організму людини в шкалі магнітних полів. Показані характерні рівні перешкод (завад) і частотні діапазони сигналів [6]

чення, науковий інструментарій і, можливо, деякі системи життєзабезпечення астронавтів), в електричних колах яких циркулюють змінні струми різної сили і частоти. Саме ці струми будуть заповнювати об'єм КК розсіяними змінними магнітними полями, якщо не буде передбачено відповідного магнітного екранування.

Про необхідність такого екранування свідчить також надзвичайно висока чутливість ЦНС та інших життєво важливих систем людського організму до змінних магнітних полів низької напруженості і частоти. Про це можна судити із кардинальних змін вигляду електроенцефалограм під впливом змінного магнітного поля, у 50 разів слабших від ГМП (див. рис. 3) [18]. Магнітне екранування малогабаритних напівпровідникових електронних

систем феромагнітними екранами (і отже, ліквідація чи суттєве зниження шкідливого впливу на астронавтів магнітних полів розсіяння) має бути реалізованим. Адже ці змінні магнітні поля розсіяння можуть навіть безпосередньо взаємодіяти з власними магнітними полями різних органів людини, що добре видно з рис. 4. Ці ж магнітні екрани будуть заодно захищати напівпровідникову електроніку від шкідливого впливу на неї радіаційних космічних потоків.

При всьому цьому основні функції захисту КК, астронавтів, елементної бази ЕОМ і систем автоматики, «живого виробництва» (чи засобів регенерації біомаси) має на себе повністю взяти деякий «еквівалент» атмосфери, надійний щит, про який йтиметься нижче.

ПРОБЛЕМИ, ПОВ'ЯЗАНІ З ПОДОЛАННЯМ ЗГУБНОГО ВПЛИВУ КОСМІЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА ЕКІПАЖ І ЗАСОБИ З ВІДНОВЛЕННЯ БІОМАСИ В УМОВАХ ДКП

Обговорюючи результати досліджень біологічних процесів, що проходять в мікроорганізмах в умовах космічного польоту, автори монографії [28] звертають увагу на неадекватність (і навіть некоректність) трактовки результатів, яка ґрунтується на врахуванні впливу на них лише невагомості (МГ) та ігноруванні менш ймовірних відомих факторів (змінене МП, неоднорідність космічного випромінювання, радикальна зміна біоритміки та ін.). Якщо для навколосемних орбіт і недовготривалих космічних польотів зауваження такого змісту просто корисне, то для умов ДКП воно може скласти цілу наукову програму, без розв'язання якої не може бути і мови про успішну реалізацію виходу КК на далекі міжпланетні траси. Адже з повним виходом КК за межі земної атмосфери і магнітосфери його екіпаж, оранжерей бортових рослин, напівпровідникова елементна база ЕОМ, систем автоматики, наддалекого зв'язку, телеметрії і навіть джерел автономного електроживлення мають бути надійно захищеними від згубного впливу космічної радіації. Переконливим застереженням в цьому відношенні можуть бути спостереження американських астронавтів Д. Скотта, Дж. Ірвіна і А. Уордена, які на КК «Аполлон-15» здійснили (в 1971 р.) 12-добову мандрівку на Місяць. За даними [31], перебуваючи у захисних темних окулярах, вони протягом однієї години зареєстрували 61 космічний спалах. Вважають, що ці спалахи (про які повідомляли і інші астронавти) обумовлені впливом космічних частинок високих енергій на сітківку ока, зорові шляхи, чи відповідну ділянку кори

головного мозку. Детальнішу інформацію було отримано при дослідженні шоломів астронавтів КК «Аполлон-8» (який в 1969 р. 10 разів облетів навколо Місяця при загальній тривалості мандрівки 6 днів і 3 години), а також астронавтів КК «Аполлон-12» Ч. Конрада, А. Біна і Р. Гордона, які в листопаді 1969 р. на протязі 10 днів і 4.5 години подорожували на Місяць, причому Ч. Конрад і А. Бін здійснили висадку на його поверхню і перебували там 15.5 години. В матеріалі їхніх шоломів були теж виявлені і кількісно досліджені треки важких високоенергетичних космічних частинок [39].

Відмітимо, що тривалість згаданих вище космічних мандрівок до Місяця складала 6—10 днів. Екстраполяція їхніх результатів на тривалість у два роки привела експертів Комітету з наукових питань, пов'язаних з освоєнням космічного простору (під керівництвом американського психофізіолога професора Д. Ліндслі), до висновку, що «під час тривалих космічних польотів може виникнути пошкодження невеликої, але функціонально значимої кількості клітин сітківки та різних структур мозку. Таким чином, видається кінче необхідним подальше вивчення цих важких частинок і тієї шкоди, яку вони можуть нанести здоров'ю космонавта під час тривалого польоту, а також пошук ефективних засобів захисту» [31].

За допомогою штучних супутників Місяця і Марса, а також за допомогою радянського КА «Луноход-1» (1970—1971 рр.) були проведені тривалі і надійні вимірювання варіації складу та інтенсивності космічних променів за межами магнітосфери Землі.

Космічні промені, які досягають міжпланетних трас, приходять із світового простору (галактичні космічні промені) переважно у вигляді протонів з дуже високою енергією порядку 10^9 еВ (енергія окремих протонів може сягати 10^{21} еВ), а також від Сонця — у вигляді протонів (83 %), α -частинок (16 %) і ядер важких елементів: азоту, кисню і деяких металів (1 %). Середня швидкість сонячних протонів складає 500 км/с (а в періоди сонячної активності — 1500 км/с).

Бомбардування високоенергетичними потоками космічних частинок можуть стати нездоланною перешкодою реалізації ДКП, якщо не буде побудовано надійного захисту КК і його екіпажу.

Не маючи (з відомих причин) ніякої надії на створення металевого «антирадіаційного щита», еквівалентного за своїми захисними можливостями земній атмосфері (приблизно 1.25-м шар сталі), а також беручи до уваги, що космічні промені — це переважно заряджені частинки високих енергій,

дослідники та інженери нашого часу мріють створити такий щит на основі використання сильного магнітного поля напруженістю в декілька десятків долей тесла [31]. Саме воно має надійно захищати від радіаційних космічних потоків частинок високих енергій як КК, так і весь його вміст.

Проектувати живлення електромагніта, який би забезпечував таку напруженість поля навколо КК можна лише в розрахунку на використання надпровідних намоток, які до того ще й мають бути механічно і радіаційно стійкими. Напевне, тільки надпровідні при відносно високих температурах (ВТНП) матеріали недалекого майбутнього, які мають характеризуватися високими значеннями критичної температури $T_{кр}$ і критичного магнітного поля $H_{кр}$ (що руйнує в намотці надпровідність) зможуть розв'язати і іншу, не менш складну проблему, — щоб зовнішнє захисне поле само не могло попадати в об'єм КК, де буде створено аналог ГМП. Для цього, як уже зараз можна очікувати, необхідно буде подолати досить непрості технічні труднощі. Але і це в принципі можна буде реалізувати, якщо врахувати, що в матеріал (який знаходиться в докритичному стані надпровідності) магнітне поле практично не проникає (ефект Мейснера).

Оскільки далі мова буде йти про об'єкти живої природи, залишається з'ясувати, чому попадання в об'єм КК сильного магнітного поля не тільки небажане, але, можна думати, і недопустиме. Спершу декілька слів про об'єкти неживої природи в сильному МП. Тривожною в цьому відношенні є така обставина: під впливом сильного МП (сотні мілітесла) в технічних відсіках незаекранованого КК напівпровідникова елементна база ЕОМ, засоби зв'язку, автоматики та інших систем (з електричними струмами) зазнають деяких оборотних чи навіть необоротних змін, а можливо, і взагалі вийдуть за допустимі межі експлуатаційних режимів, що може призвести до зовсім не передбачуваних наслідків. Це ж в повній мірі стосується і об'єктів живої природи, адже корисні мікроорганізми, представники рослинного світу (відповідальні за відтворення біомаси), як і самі астронавти, вимушені були б жити і працювати в зовсім не властивому для них магнітному середовищі.

Залишаючи поки що без обговорення електротехнічний бік справи про шкідливий вплив сильних МП на електротехнічні системи, відносно яких можна здійснити необхідні оцінки, розглянемо вплив сильного МП (необхідного для ефективного екранування КК від заряджених космічних частинок високих енергій) на представників живої природи. На жаль, теоретично оцінити вплив сильних

МП на біологічні об'єкти різного рівня організації в умовах довготривалого перебування в міжпланетному просторі неможливо. Немає також відповідних експериментальних даних. Єдина можливість — це екстраполювати ту не надто багату інформацію, що була отримана в земних умовах.

Нагадаємо лише надійно встановлені факти про вплив короткочасної дії сильних МП на живі організми.

1. Поля 2—6 мТл викликають реакцію підсилення росту довжини стеблин і корінців бобових (рис. 5), але при напруженості 0.4 і 1.2 Тл спостерігається гальмівна дія поля [19]. Немонотонність реакції рослин на монотонну зміну напруженості МП засвідчують і результати робіт [2, 3, 5] (рис. 6 і 7). Видно, що: а) ГМП має велику екологічну значимість (досить порівняти між собою лише два верхні рядки на рис. 6); б) магнітобіологічний ефект не пропорційний МП, а є його складною функцією.

Відносно невеликі магнітні поля (4.5 мТл) стимулюють процес старіння (деградації) насіння, яке зазнає магнітної обробки в стані біологічного спокою. Крім того, така попередня магнітна обробка насіння озимої пшениці забезпечує активніше проростання як у відносно слабких полях (порядку ГМП), так і в достатньо сильних МП (300—465 мТл) незалежно від їхньої однорідності [4].

2. Вже в середині XIX і на початку XX ст. стало відомо, що циклічність багатьох процесів у біосфері збігається з циклічністю сонячної активності [25, 32], і найвірогіднішим посередником між сонячною активністю і біосферою є коливання ГМП (тобто наявність геомагнітних бур, які безпосередньо пов'язані зі змінами сонячної активності).

В роботі [23] вивчався вплив ПМП на репродуктивну функцію щурів, яких розміщували на весь період вагітності у полі 26.5 і 3 мТл). Було вико-

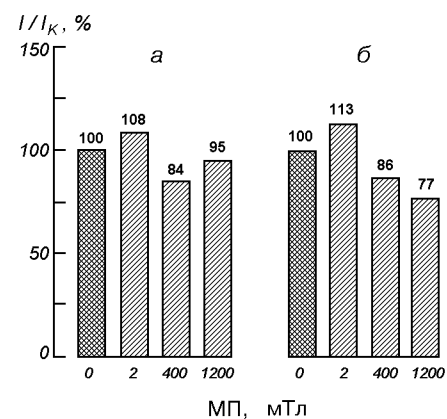


Рис. 5. Вплив магнітних полів різної напруженості на довжину стебел (а) і коренів (б) чотириденних проростків бобових [19]

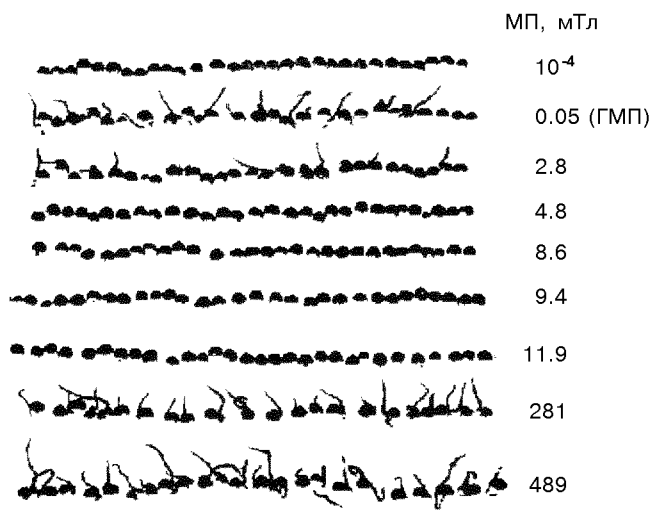


Рис. 6. Результати 4-добового проростання насіння гороху в магнітних полях різної напруженості за інших рівних умов

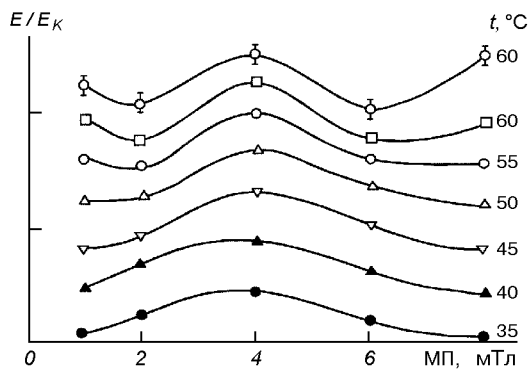


Рис. 7. Магнітопольові залежності енергії проростання не скарифікованого насіння люцерни при фіксованих значеннях температури [5]

ристано 60 самиць і 323 ембріонів. Вплив МП 26.5 мТл зумовив збільшення постімплантаційної загибелі плодів (22.22 ± 5.73 % в досліді проти 3.70 ± 2.77 % в контролі) і загальної ембріональної смертності (41.67 ± 5.93 % в досліді проти 14.05 ± 3.25 % в контролі).

При вивченні впливу полів 10.2 і 3.15 мТл на естральний цикл в 78 самиць використано 4-місячний вплив (по 1.5 год щоденно, крім вихідних). Досліди показали, що поле 10.21 мТл призводило до значного подовження еструсу; здатність тварин до запліднення зберігалася, але хід вагітності зазнавав помітних зрушень (пологи затримувалися до 24—31 діб проти 22—23 діб в контролі). Величина приплоду і вага потомків не відрізнялися у порів-

нюваних групах, але життєздатність піддослідних щурят була різко пониженою: постнатальна загибель приплоду, який піддавався впливу поля 10.21 мТл, досягла 64.0 % проти 19.34 % в контролі ($P < 0.05$). Самці, що зазнавали впливу поля 3.2 мТл в час вагітності, дали потомство, яке не відрізнялось від контрольного.

В роботі [10] проведено досліди в чотирьох серіях (1, 5, 10 і 20 мТл) при вивченні одноразового впливу поля (протягом 10, 20, 30 і 60 хв) на білих щурів. Встановлено появу неспецифічної реакції з боку організму, яка залежала від напруженості МП і протяжності його впливу (експозиції). В динаміці їхнього розвитку спостерігалися чіткі кількісні зрушення складу периферійної крові і поява деяких змін в органах ретикулоендотеліальної системи. Другий період (до 7 діб) характеризувався відносним зменшенням морфологічних проявів у досліджуваних органах протягом двох-трьох діб з їхньою стабілізацією на четверту — сьому добу. У третій період відбувався зворотний розвиток змін, які повністю зникали до 30-го дня після омагнічення. Відмічена періодичність чітко проявлялася при режимах, що відповідали 5 і 10 мТл, при їхній дії протягом 20–60 хв. Але загальне омагнічення щурів МП в 20 мТл з експозицією в 30–60 хв призводило до смерті тварин в перші години після впливу МП. Омагнічення проводилися в МП соленоїда.

При вивченні впливу ПМП на добові біоритми морських свинок в роботі [17] були використані такі тестові показники: потенціали кори головного мозку, потенціал шкіри, її опір постійному струмові, температура тіла і рухова активність. Джерелом ПМП був прилад медичного призначення «Полюс-4М». При шестигодній експозиції ПМП з напруженістю від 30 до 240 мТл в омагнічених тварин виникало добове підвищення рухової активності. В час дії МП (і особливо протягом перших шести годин після його виключення) змінювалися ритми електричних коливань в мозку, згладжувалися добові ритми потенціалу шкіри, знижувалися коливання температури тіла і опору шкіри. Найвищим рівнем збудження характеризувалися МП 60—120 мТл. Постійне МП з напруженістю 450 мТл приводило до гальмування рухової активності тварин і суттєвих змін в інших тестах. Вплив його протягом 24 год знижував рухову активність більш ніж у 5 разів. Температура тіла тварин знижувалася на 0.5—1 °С, і розвивався стан, близький до заціпеніння.

Детальне дослідження змін складу крові кроликів і мишей під впливом ПМП (70 і 30 мТл) проведені в роботі [1]. Показано, що: а) зміни показників крові залежать як від напруженості МП, так і від

Таблиця 2. Показники крові мишей в нормі при дії магнітного поля напруженістю 30 мТл [1]

Показник	Контроль	Через 4 год	Через 6 год	Через 10 год	Через 14 год	Через 18 год
Гемоглобін, гр	16.2±0.16	15.7±0.3	14.3±0.51	13.7±0.75	13.2±0.8	12.7±0.7
Еритроцити за хв	8.8±3.2	7.09±2.84	5.8±0.35	5.5±0.5	4.4±0.2	4.0±7.6
Лейкоцити	8400±160	9000±170	910±200	9300±120	9400±200	9400±180

часу його впливу на живий організм тварин; б) вплив ПМП приводить до зменшення кількості еритроцитів і гемоглобіну, в той час як кількість лейкоцитів, тромбоцитів і ретикулоцитів при цьому збільшується, що засвідчують і дані табл. 2. Показано також, що ПМП знижує реакцію осідання еритроцитів, підвищує в'язкість крові і скорочує час її звертання.

Такі ж висновки зроблено і в роботі [14], де досліджувався час звертання (і інші характеристики) крові в робітників-електролізників з різним стажем роботи (від 1 до 15 років) в алюмінієвій промисловості, яким доводилося весь час працювати в магнітних полях розсіяння дуже сильних електричних струмів.

Згідно з даними огляду [29] нервова система може реагувати на вплив магнітного поля як безпосередньо, так і рефлекторним шляхом. Там же стверджується [8], що дія МП вище певного рівня напруженості може несприятливо впливати на організм людини в умовах виробництва, але гранично допустимі рівні напруженості мають бути науково обгрунтованими.

На записах електроенцефалограм білочкоподібних мавп, яких розміщували в ПМП напруженістю до 9.2 Тл [38] відмічалось підвищення частоти (від 8—12 до 14—50 Гц) і амплітуди (від 25—50 до 50—400 мкВ), а після одноденного перебування таких тварин в ПМП 10 Тл в них помітно знижувалася частота серцевих скорочень і підвищувався ступінь синусової аритмії [35, 37]. До цього лише слід додати, що відмічені досліди були поки що проведені лише в умовах земної гравітації. І отже, наслідки комбінованого впливу ПМП такої високої напруженості в умовах МГ поки що повністю невизначені.

Підводячи деякі підсумки, можна стверджувати таке.

1. Накопичена до кінця ХХ ст. наукова інформація в області магнітобіології [12, 13, 16, 27, 36] є переконливим свідченням того, що задачу регенерації біомаси і запасів кисню під час ДКП можна буде успішно розв'язати лише за умови, що на борту КК буде штучно відтворюватися магнітна обстановка, близька до земної. Як було виявлено останнім часом, геомагнітне поле є для живої

природи одним із важливих екологічних факторів навколишнього середовища. Жоден живий організм не може бути усунутим з геомагнітного середовища без серйозних наслідків для нього.

2. Підвищені вимоги до економії електроенергії на борту орієнтують розробку електромагнітного антирадіаційного захисту КК (призначеного для реалізації ДКП) на основі високотемпературної (кімнатнотемпературної) надпровідності. Її розробка і практичне освоєння, за думкою академіка В. Л. Гінзбурга [9], є однією з важливих наукових проблем початку ХХІ ст., яка в запропонованому ним переліку 30 актуальних наукових проблем посідає друге місце після керованого ядерного синтезу.

Таким чином, у зв'язку з проектуванням ДКП майбутнього науковій спільноті світу потрібно буде, на наш погляд, акцентувати особливу увагу на розробці антирадіаційного захисту КК і його екіпажу за допомогою своєрідного «магнітного щита», а також зосередити особливу увагу на вивченні взаємодії магнітних полів (а можливо, магнітних полів у сукупності з високоенергетичною складовою космічних променів) з біологічними об'єктами різного рівня організації. Ці ділянки в загальній проблемі освоєння космічного простору, як найбільш наукоємні, характеризуються поки що і найнижчим рівнем своєї готовності до практичного використання.

Констатуючи практичну неможливість розробки антирадіаційного електромагнітного захисту КК на основі використання надпровідності металів при температурі рідкого гелію (4.2 К), ставку на розв'язання цієї проблеми можна пов'язувати лише з розробкою механічно і радіаційно стійких матеріалів, які будуть характеризуватися кімнатнотемпературною надпровідністю і високими значеннями критичних магнітних полів. Лише розв'язання цієї задачі відкриє шлях до впровадження в космічну техніку легких і надійних в експлуатації засобів електромагнітного захисту КК від згубного впливу космічної радіації під час ДКП.

Можна надіятися, що розробка матеріалів з кімнатнотемпературною надпровідністю особливо не забариться, адже на такі матеріали уже зараз існує соціальне замовлення (як у свій час воно існувало

на розробку атомної зброї). Від прогресу в цій галузі науки безпосередньо залежить не тільки реалізація ДКП, але також і вся енергетика майбутнього, а отже, добробут і комфорт в житті людської спільноти.

Автори вдячні академіку НАН України Л. М. Лобанову і члену-кореспонденту НАН України Є. Л. Кордюм за виявлений інтерес до розглянутих в огляді матеріалів і корисне їхнє обговорення.

1. Абдуллина З. М. Биологическое действие магнитных полей на живой организм. — Фрунзе: Кыргызстан, 1975.—148 с.
2. А. с. 913993 СССР, МКИ Способ предпосевной обработки семян (магнитным полем) / П. И. Баранский, Л. Т. Мищенко. — Оpubл. 23.03.82, Бюл. № 11.
3. Баранский П. И., Мищенко Л. Т. Изменение спектров ЭПР в покоящихся семенах некоторых сельскохозяйственных растений, возникающих под влиянием постоянных внешних магнитных полей // Докл. АН УССР. Сер. Б.—1979.— № 10.—С. 843—845.
4. Баранский П. И., Мищенко Л. Т. Экспериментальное доказательство влияния магнитных полей на семена зерновых культур в состоянии биологического покоя и в процессе их прорастания // Электронная обработка материалов.—1986.—№ 1 (127).—С. 69—72.
5. Баранский П. И., Мищенко Л. Т., Паша П. Н. Температурные и полевые зависимости энергии прорастания семян люцерны от их обработки в постоянном магнитном поле перед посевом // Электронная обработка материалов.—1982.—№ 3.—С. 75—77.
6. Введенский В. Л., Ожогин В. Й. Сверхчувствительная магнитометрия и биомагнетизм. — М.: Наука, 1986.—200 с.
7. Виленчик М. М. Магнитные эффекты в биологии // Успехи современной биологии.—1967.—63, № 1.—С. 54—72.
8. Вялов А. М. Клинико-гигиенические и экспериментальные данные о действии магнитных полей в условиях производства // Влияние магнитных полей на биологические объекты. — М.: Наука, 1971.—С. 165—177.
9. Гинзбург В. Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными (тридцать лет спустя, причем уже на пороге XXI в.)? // Успехи физ. наук.—1999.—169, № 4.—С. 419—441.
10. Демецкий А. М., Розвадовский В. Д., Сурганова С. Ф. и др. // Матер. III Всесоюз. симп. «Влияние магнитных полей на биологические объекты»: Тез. — Калининград: КГУ, 1975.—С. 154—155.
11. Дубров А. П. Влияние гелиогеофизических факторов на проницаемость мембран и суточную ритмичность выделения органических веществ корнями растений // Докл. АН СССР.—1969.—187, № 6.—С. 1429—1431.
12. Дубров А. П. Влияние геомагнитного поля на физиологические процессы у растений // Физиология растений.—1970.—17, № 4.—С. 836—842.
13. Дубров А. П. Геомагнитное поле и жизнь. — Л.: Гидрометеоизд, 1974.—175 с.
14. Забродина Л. В. Состояние свертывающей системы крови у электролизников с различным стажем работы в алюминиевой промышленности // Матер. III Всесоюз. симп. «Влияние магнитных полей на биологические объекты»: Тез. — Калининград, КГУ, 1975.—С. 161.
15. Казимировский Э. С. Мы живем в короне Солнца. — М.: Наука, 1983.—134 с.
16. Лебедев С. И., Баранский П. И., Литвиненко Л. Г. и др. Рост ячменя в сверхслабом магнитном поле // Электронная обработка материалов.—1977.—№ 3 (75).—С. 71—73.
17. Мешеряков Ф. А., Лапин В. И. Влияние постоянных магнитных полей на суточные биоритмы морских свинок // Матер. III Всесоюз. симп. «Влияние магнитных полей на биологические объекты»: Тез. — Калининград: КГУ, 1975.—С. 200—201.
18. Михайловский В. Н., Красногорский Н. Н., Войчишин К. С. та ін. Про сприймання людьми слабких магнітних полів // Доп. АН УРСР. Сер. Б.—1969.—№ 10.—С. 929—933.
19. Новицкий Ю. И., Стрекова В. Ю., Тараканова Г. А. Действие постоянного магнитного поля на рост растений // Влияние магнитных полей на биологические объекты. — М.: Наука, 1971.—С. 69—88.
20. Патон Б. Е. Проблемы сварки на рубеже веков. Сварка и родственные технологии — в XXI век // Сб. тр. междунар. конф. 1998 г. Киев. — С. 5—12.
21. Патон Б. Е., Гавриш С. С., Шулым В. Ф. и др. Ручные электронно-лучевые технологические работы в космосе // Автомат. сварка.—1999.—№ 10. (559).—С. 7—22.
22. Патон Б. Е., Лапчинский В. Ф. Сварка и родственные технологии в космосе. — Киев: Наук. думка, 1998.—184 с.
23. Перепечин Е. А. Влияние ПМП на репродуктивную функцию животных // Матер. III Всесоюз. симп. «Влияние магнитных полей на биологические объекты»: Тез. — Калининград: КГУ, 1975.—С. 99.
24. Почтарев В. М. Магнетизм Земли и космического пространства. — М.: Наука, 1966.—184 с.
25. Пресман А. С. Электрические поля и живая природа. — М.: Наука, 1968.—288 с.
26. Сагдеев Р. З., Салихов К. М., Молин Ю. Н. Влияние магнитного поля на процессы с участием радикалов и триплетных молекул в растворах // Успехи химии.—1977.—16, № 4.—С. 569—601.
27. Сытник К. М., Кордюм В. А., Кордюм Е. Л. и др. Микроорганизмы в космическом полете. — Киев: Наук. думка, 1983.—156 с.
28. Сытник К. М., Кордюм Е. Л., Недуха Е. М. и др. Растительная клетка при изменении геофизических факторов. — Киев: Наук. думка, 1984.—136 с.
29. Холодов Ю. А. Влияние магнитного поля на нервную систему // Влияние магнитных полей на биологические объекты. — М.: Наука, 1971.—216 с.
30. Холодов Ю. А. Реакция организма животных и человека на магнитные поля // Проблемы космической биологии. — М.: Наука, 1973.—Т. 18.—С. 143—163.
31. Человек в длительном космическом полете: Пер. с англ. под ред. и с предисловием О. Г. Газенко. — М.: Мир, 1974.—360 с.
32. Чижевский А. Л., Шишина Ю. Г. В ритме Солнца. — М.: Наука, 1969.—112 с.
33. Aceto H., Tobias C. A., Silver I. L. Some studies on the biological effects of magnetic fields // IEEE Transact on magnetics.—1970.—V. MAG.—6, N 2.—P. 368—373.
34. Beischer D. E. Biomagnetics // N. Y. State J. Med.—1965.—134.—P. 939.
35. Beischer D. E. US Naval Aerospace Medical Institute, Pensacola, Fla., NASA CR 94966.
36. Beischer D. E. Do Earth and Lunar magnetic fields have an effect or man and does man himself exert magnetic force? // 37-th Annual Scientific Meeting of Aerospace Medicine Association. Los Vegas, Nevada. 1966 / Conley C. C. Effects of nearzero magnetic fields upon biological systems // Biological Effects of Magnetic fields. — New York: Plenum, 1969.—Vol. 1.—P. 29—52.
37. Beischer D. E., Knepton J. C // Aerospace Med.—1964.—

- 35.—P. 939—944.
38. Beischer D. E., Кнептон J. C. The electroencephalogram of the squirrel monkey (*saimiri scuireus*) in a very high magnetic field. — 1966.—MAMI-972.
39. Comstock G. M., Fleischer R. L., Giard, et al. Cosmic-ray tracks in plastics: The Apollo helmet dosimetry experiment // *Science*.—1971.—172.—P. 154—157.
40. Miro et al. Биологическое действие гипомангнитных сред // *Presse therm. et clim.*—1970.—107, N 1.—P. 32—34.

PROBLEMS CONNECTED WITH THE PROLONGED STAYING OF SPACECRAFT WITH ASTRONAUTS ON BOARD IN THE INTERPLANETARY SPACE

P. I. Baranskii, E. F. Venger, O. V. Gaidar

Some problems connected with planning and practical realization of prolonged travels in the interplanetary space are discussed in detail.

The analysis of the present-day state of science and technique attests that:

— The electromagnetic protection against irradiation of the spacecraft (intended for prolonged space travel), its crew, necessary facilities for the reactivation of abiomass and oxygen (in the form of space greenhouses or of practically useful microorganisms), semiconductor elemental base of onboard computers, systems of automatics and radiotelecommunications should be provided by using materials of the future only. These materials should be characterized by high-temperature superconductivity with high values of critical magnetic fields, and they should also possess mechanical reliability and radiation hardness.

— Normal functioning of crew members and other living objects as well as the operation of semiconductor elemental base of technical units and automatic facilities of the onboard systems can be provided only by creating such magnetic conditions on board the spacecraft which are close to the terrestrial condition. That is, the cabin of the spacecraft itself will be carefully shielded from the strong magnetic field (of an order of few kOe) which serves as an electromagnetic shield of the spacecraft from the cosmic (predominantly proton) radiation.