

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ПРОЖИВАННЯ ЛЮДЕЙ ЗА МЕЖАМИ ЗЕМЛІ

ОСОБЛИВОСТІ ПОЛЬОТУ ДО МАРСА

Анатолій Відьмаченко – д-р фіз.-мат. наук, професор

Олександр Мозговий – канд. техн. наук, доцент

Олексій Стеклов – канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співробітник

Для захисту людства від можливого самознищення, чи від падіння астероїда необхідно колонізувати певні космічні об'єкти. У цьому сенсі одним з найкращих є Марс. Результати попередніх експериментів мають показати можливості добування там кисню, корисних копалин, палива, енергії, води і продуктів харчування. Дуже важливим є створення систем захисту астронавтів від радіації. Адже на орбіті Місяця і Марса захист астронавтів від радіації відсутній. Тому потрібно розробити спеціальні системи для підтримання життєдіяльності людей протягом тривалого часу. Для забезпечення максимально безпечного перельоту до Марса, необхідно виконати комплекс спеціальних дій. Подорож до Марса суттєво впливатиме на стан здоров'я астронавтів.

Ключові слова: Марс, колонізація, міжпланетна радіація, захист від радіації, освоєння планети.

Для захисту людства від можливого вимирання на Землі чи в результаті самознищення, або ж від падіння гігантського астероїда необхідно колонізувати певні космічні об'єкти. І одним з найкращих у цьому сенсі є Марс [20]. Після значної попередньої підготовки на орбіті Землі, потім на орбіті Місяця і на його поверхні [10, 11], та/або під нею [12, 13], людина має вирушити до Марса. Результати таких попередніх експериментів мають показати, перш за все, можливості добування кисню на тій планеті. Адже саме це питання є дуже важливим для підготовки до майбутньої колонізації Марса [4]. Тому необхідно на автоматичних станціях виконати збір, сортування та подальшу відправку до Землі зразків марсіанського ґрунту з різними породами [3, 17]. І вже у звичних, найкраще – в земних умовах виконати його ретельне дослідження.

Як відомо, подорожі до Марса найкраще здійснювати у моменти близькі до так званих протистоянь, приблизно через кожні 26 місяців, коли планета вирівнюється з Землею на своїй орбіті. Особливості умов на поверхневі Марса, присутність там води, хоч якоїсь атмосфери та порівняно значна гравітація – роблять його, мабуть, найбільш пристосованим об'єктом у Сонячній системі, окрім Землі, для проживання людини. Особливості фізичних характеристик цієї планети [2, 8], її атмосфери [1, 7], рельєфу поверхні [6] та місця присутності водних [5, 9, 18] та інших ресурсів ми розглянемо у наступних роботах. А зараз основну увагу приділимо особливостям підготовки до відправлення першої пілотованої місії до Марса. Адже, на відміну від зондів-роботів, саме людина зможе найкраще провести довгострокові наукові дослідження, відповісти на основні питання щодо умов колонізації космосу, включаючи економічні інтереси тощо.

Зрозуміло, що перед відправкою людини на Марс потрібно запустити туди декілька безпілотних місій. Їх завданнями має бути доставка на поверхню планети кількох дослідницьких посадкових модулів для цілеспрямованого і детального вивчення атмосфери, умов на поверхні, внутрішньої будови планети тощо. Плани цих польотів, із врахуванням черговості запусків через кожні 26 місяців, потрібно розбити на декілька пунктів. На початку, потрібно відправляти спеціалізовані дослідницькі системи та роботів-будівельників. І тільки після завершення підготовчих місій можна запустити першу пілотовану місію. Але, на нашу думку, перед нею має бути поставлена задача не висадки на Марс, а лише обліт довкола планети і успішне повернення на Землю.

Основним має стати вивчення умов для людини при такому тривалому перебуванні у невагомості. І особливо, при цьому польоті, слід звернути увагу на захист людського організму від впливу міжпланетного радіаційного впливу.

У рамках підготовки навіть першої пілотованої місії до Марса, потрібно, наприклад, на орбіті Місяця створити спеціалізовану орбітальну станцію для відпрацювання систем захисту астронавтів від радіації. Адже, якщо на Міжнародній космічній станції (МКС) астронавти перебувають під захистом магнітного поля Землі, то на орбіті Місяця такий захист вже відсутній. І для такої нової космічної орбітальної станції на місячній орбіті потрібно розробити спеціальні системи для підтримання життєдіяльності людського організму протягом тривалого часу (до півтора року) і для захисту від радіації при відсутності потужної магнітосфери Землі. Тобто, на орбіті Місяця необхідно перевірити працездатність всіх систем майбутнього пілотованого міжпланетного корабля.

Ця пілотована космічна місія до Марса займе дещо більше 26 місяців із короткотривалим перебування поблизу Марса. І лише після такої місії, та після розробки і підготовки спеціальних місій з роботами для доставки на поверхню Марса потрібного обладнання, розробок інфраструктурних частин майбутніх поселень та необхідної кількості провізії, має настати час і для перших пілотованих місій із висадкою людей на Марс.

На сьогодні найдовший космічний політ протягом 438 днів виконав космонавт Валерій Поляков. А найтриваліше перебування у космосі за кілька польотів протягом 878 днів здійснив Геннадій Падалка. Тоді як найдовше провели поза захистом радіаційних поясів, майже 12 діб, астронавти з пілотованого космічного апарата (КА) «Аполлон-17» при висадці на Місяць. Зрозуміло, що перебування на міжпланетній станції, як і в колоніях на поверхні Марса, також не захищатиме від міжпланетної радіації. Тому таке оточення може дуже негативно вплинути на значну кількість різноманітних біологічних функцій. А через високі рівні міжпланетної радіації існує велика кількість побічних ефектів, вплив котрих потрібно суттєво пом'якшити. Наприклад, відсутність гравітації негативно позначається на людському організмі, ослаблюючи кісткову і м'язову масу.

На поверхні Марса, як і при міжпланетній подорожі, також присутні серйозні радіаційні проблеми. І вони суттєво погіршують стан серцево-судинної системи, пригнічують процеси розмноження, викликають інші важкі захворювання. Такі обставини потребують дуже ретельного моніторингу отримуваної організмом астронавта радіації. Також зрозуміло, що для зменшення кількості радіації, яка поглинається астронавтами, необхідно розробити спеціальні захисні системи. За нинішніх технологій політ до Марса триватиме до 360 днів, астронавти можуть отримати близько 600 мілізівертів випромінювання. Астронавти, які проводять шість місяців на борту МКС, отримують приблизно 100 мілізівертів. Тому, наприклад, необхідно змінити устрій реактивних двигунів, які прискорять політ до Марса, а також продумати додатковий захист космічних апаратів.

Радіація у космосі це іонізуюче випромінювання, яке випромінюється під час процесів на Сонці, вибухах наднових, від акреції на диски чорних дірок, при викидах із квазарів тощо. За фізичними властивостями радіацію розділяють на фотонне (рентгенівські і гамма-промені) та корпускулярне випромінювання (електрони, протони, альфа-частинки, важкі заряджені частинки, вторинні нейтрони). За джерелом космічне випромінювання ділять на сонячне і галактичне (включаючи і позагалактичне). Поділ на типи випромінювання є важливим для розуміння специфіки конкретних міжпланетних польотів. Наприклад, у космосі вплив гама променів є незначним; потоки нейтронів виникають лише при взаємодії космічних променів із атмосферою, із ґрунтом чи з корпусом космічного корабля. У відкритому космосі найбільш небезпечними частинками виявилися протони (тобто, ядра атомів водню), альфа частинки (ядра атомів гелію) і ядра атомів дещо важчих хімічних елементів.

Навколо Землі існують так звані радіаційні пояси невеликої протяжності. Космічний корабель, який відправляється у міжпланетний простір, перетинає найбезпечнішу їх частину за час менше від півгодини.

Оцінюючи радіаційний вплив оперують такими одиницями: у греях вимірюють енергію поглинутого випромінювання, а в зівертах – так званий біологічний еквівалент для цього ж випромінювання. Відмінності між ними визначаються фактором, який називають «коефіцієнт якості». Він якраз і вказує на ступінь згубності для організму впливу радіації. Наприклад, однакова доза від впливів гамма і нейтронного випромінювання у греях, у зівертах – для потоків нейтронів – буде майже у 20 разів небезпечніша для організму людини.

У космонавтиці застосовували різні методи реєстрації радіаційного впливу. Один із них показував існуючий радіаційний фон у реальному часі; ще один – накопичував радіаційний вплив і дозволяв оцінювати сумарно отримувану дозу. Скоріше всього, на борту кожного корабля потрібно мати можливості оцінювати дозу, накопичену усередині житлового відсіку корабля, а також кожен астронавт має бути забезпечений обома типами дозиметрів. Наприклад астронавти КА «Apollo» мали на собі активні дозиметри та пасивні детектори. А на МКС та на місячних апаратах присутні напівпровідникові кремнієві детектори.

Радіаційний вплив на орбіті навколо Місяця та на самому Місяці розпочали вивчати ще до початку запусків пілотованих польотів. Наприклад, першою на поверхню сіла станція «Луна-9». Вона мала на борту лише лічильник Гейгера. Наступною буда орбітальна станція «Луна-10». На ній було вже декілька детекторів, розрахованих на різні типи випромінювання. На всіх п'яти апаратах «Lunar Orbiter» астронавтами у 1966-67 рр. ретельно реєструвалися радіаційні умови як на шляху до Місяця, біля Місяця, так і на його поверхні. Також на всіх орбітальних апаратах велися дозиметричні дослідження (Рис. 1).

По дорозі до Марсу та навколо нього космічну радіацію вивчали за допомогою американського приладу RAD, який був установлений на марсоході «Curiosity» [19, 21], та спеціальним приладом на європейському орбітальному зонді «ExoMars» [14-16]; а міжпланетна автоматична станція «Rosetta» пролетіла поряд з Марсом, облетіла навколо Юпітера, та підлетіла до комети 67P Чурюмова-Герасименко. Дослідження показали, що усереднена доза у міжпланетному просторі становила до 0.5 мілігрей за добу. У перерахунку на біологічний еквівалент це становило майже 2 мілізіверти. Стільки ж на рівні моря людина отримує за півроку; на борту Міжнародної космічної станції така ж доза набирається майже за 4 дні.

Порівняння сонячного та галактичного типів радіації дозволило отримати висновок про те, що хоча склад обох типів променів майже однаковий (протони, альфа-частинки та важкі ядра), але вони суттєво відрізняються кількісно та своєю енергією. Так, заряджених частинок від Сонця значно більше; проте їх енергія суттєво менша. Такі особливості і визначають відмінності у можливих засобах захисту.

Вважали, що головна радіаційна небезпека у космічному просторі йде від сонячних спалахів. Але вимірювання на КА «Curiosity», «LRO» та «Rosetta» за межами магнітосфери Землі виявили, що вклад сонячних спалахів у сумарній накопиченій дозі цими космічними апаратами є меншим від 25%. Разом ці три апарати набрали відповідну сумарну статистику протягом більше 15 років. Але жоден із апаратів не потрапив під потужний сонячний спалах.

Хоча модельні розрахунки показують, що кожен спалах здатний надати кожному члену екіпажу до 4 зівертів всього за декілька днів. Така доза може викликати променевою хворобу з ризиком смертельного результату. Тому головне – це не потрапити під пряме бомбардування від сонячного спалаху, який є досить направленим. Проте, хоча сонячні спалахи є небезпечними, але від них є можливість спробувати захиститися. Адже

дослідження показують, що відмінності у вимірах доз радіації від потужного сонячного спалаху між дозиметром, розташованим на сонячному боці космічного апарату і в його тіні – є суттєвими.

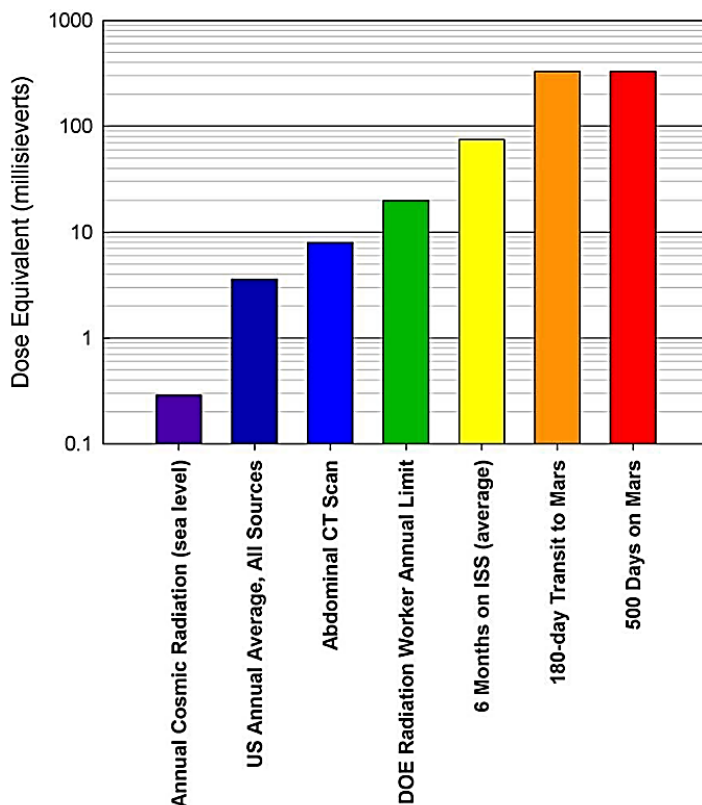


Рис. 1. Порівняння доз опромінення астронавта при його перебуванні у різних частинах Сонячної системи (<https://opik.fyysika.ee/media/img/exp/id-229554.v-f5ubn.w-1400.jpg>)

Деякі оцінки дозволяють припустити, що незважаючи на дуже серйозну небезпеку потужних сонячних спалахів, при міжпланетних польотах, вони все ж мають малу ймовірність «поцілити» в пілотований апарат. Тому основна радіаційна шкода при польотах до Марса походить від значно потужніших галактичних космічних променів. Підібрати штучний захист від них – є мало можливим. Адже галактичні космічні промені майже безперешкодно проходять навіть через 0.5 м алюмінію. Та й надходять вони до космічного апарату зі всіх боків.

Спеціально поставлені дослідження показали, що при рєстрації потоків різного типу заряджених частинок в земній атмосфері, їхня інтенсивність у періоди підвищеної сонячної активності зменшується у два-три. Було виявлено, що викиди заряджених сонячних частинок та відповідні викиди сонячних магнітних полів – суттєво гальмують і розсіюють галактичні космічні промені. Таке явище назвали сонячною модуляцією галактичних променів. А короточасне зменшення інтенсивності галактичного космічного випромінювання при сонячних спалахах – названо «Форбуш-ефектом».

Таким чином, для забезпечення максимально радіаційно безпечного перельоту до Марса, необхідно дотримуватися наступних умов: якомога зменшити тривалість перельотів, летіти у періоди максимумів сонячної активності, при польоті потрібно розвертатися паливними відсіками до Сонця, житлові відсіки необхідно максимально обкласти допоміжним обладнанням, запасами води, продуктів тощо.

Та все ж, при подорожі до Марса за пів року, астронавт отримає до 60% від рекомендованої дози радіації; і ще стільки ж – на зворотному шляху. Зрозуміло, що

накопичені астронавтами в міжпланетному просторі радіаційні дози, будуть у кілька сотень разів більшими від доз, накопичених людиною за той же час у земних умовах на рівні моря. Також, це у кілька разів більше, від доз отримуваних астронавтами, що працюють на Міжнародній космічній станції.

Сказане вище говорить про те, що сама подорож до Марса дуже суттєво впливатиме на стан здоров'я астронавтів з боку радіації.

Список використаних джерел:

1. Clancy R.T., Nair H. (1996) Annual (perihelion-aphelion) cycles in the photochemical behavior of the global Mars atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 101(E5), p. 12785-12790.
2. Hoffman N. (2000) White Mars: A New Model for Mars' Surface and Atmosphere Based on CO₂. *Icarus*. 146(2), p. 326-342.
3. Morozhenko A.V., Vidmachenko A.P. (2017) Optical parameters of Martian dust and its influence on the exploration of Mars. *Dust in the Atmosphere of Mars and Its Impact on Human Exploration, Proceedings of the conference held 13-15 June, Houston, Texas. LPI Contribution No. 1966, 2017, id.6010.*
4. Morozhenko A.V., Vidmachenko A.P. (2017) What and how can affect the exploration of Mars. 19 ISCo AS YS. May 24-25, 2017. Bila Tserkva, Ukraine, 67-69.
5. Pollack J.B., Kasting J.F., Richardson S.M., Poliakov K. (1987) The case for a wet, warm climate on early Mars. *Icarus*. 71(2), p. 203-224.
6. Vid'machenko A.P., Morozhenko A.V. (2005) Mapping of the physical characteristics and mineral composition of a superficial layer of the Moon or Mars and ultra-violet polarimetry from the orbital station. 36th LPSC, March 14-18, League City, Texas, abstract #1015.
7. Vidmachenko A.P. (2009) Planetary atmospheres. *Astronomical School's Report*. 6(1), p. 56-68.
8. Vidmachenko A.P. (2009) Research of the Mars by space vehicles. 11 ISCo AS YS, May 26-29, 2009, Kherson, Ukraine. P. 11-12.
9. Vidmachenko A.P. (2009) Water on Mars. *Astronomical almanac*. 56, p. 225-249.
10. Vidmachenko A.P. (2016) Activity of processes on the visible surfaces of Solar System bodies. *Astronomical School's Report* 12 (1), p. 14-26.
11. Vidmachenko A.P. (2016) Activity of processes on the visible surface of planets of Solar system. 18 ISCo AS YS. Kyiv, Ukraine. May 26-27, 2016, p. 23-27.
12. Vidmachenko A.P. (2016) Is there life on Mars and where necessary to search for its traces. *Astronomy and present: materials of 5 ISCo, April 12, 2016, Vinnytsia, Ukraine. / Science editor A.V. Mozhovyi. - Vinnytsia: FOP "NP Kostyuk". - 241 p. P. 43-48.*
13. Vidmachenko A.P. (2016) Processes on the "young" Mars: possible developments of events. 18 ISCo AS YS, NAU, Kyiv, Ukraine, May 26-27, p. 16-17.
14. Vidmachenko A.P. (2016) Traces of life on Mars must be sought around the valley Hellas in areas where the water coming out from under the planet's surface. 18 ISCo AS YS. Kyiv, Ukraine, May 26-27, p. 14-16.
15. Vidmachenko A.P. (2016) Where is Necessary to Search Traces of Life on Mars? *Biosignature Preservation and Detection in Mars Analog Environments, Proceedings of a conference held May 16-18, 2016, in Lake Tahoe, Nevada. LPI Contribution No. 1912, id.2002.*
16. Vidmachenko A.P. (2017) Where Should Search Traces of Life, Which Could Appear on Mars in the First 300 Million Years. *Fourth International Conference on Early Mars: Geologic, Hydrologic, and Climatic Evolution and the Implications for Life. 2014. 3005.*
17. Vidmachenko A.P. (2018) Comparative features of volcanoes on Solar system bodies. XX International scientific conference "Astronomical School of Young Scientists". Uman, Ukraine, p. 9-12.
18. Vidmachenko A.P. (2018) Water in Solar system. 20 International scientific conference *Astronomical School of Young Scientists. May 23-24 2018. The program and abstracts. Uman, Ukraine, p. 91-93.*
19. Vidmachenko A.P., Morozhenko A.V. (2014) The study Earth-like planets using spacecraft. *Astronomical School's Report* 10 (1), 6-19.
20. Vidmachenko A.P., Morozhenko O.V. (2019) Physical parameters of terrestrial planets and their satellites. Kyiv, Editorial and Publishing Department of NULES of Ukraine. -468 p.

21. Vidmachenko A.P., Steklov A.F. (2020) Mineral resources can be mined on different bodies of the Solar System. 22 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. December 11-12, 2020. Kyiv, Ukraine, p. 89-92.

FEATURES OF THE FLIGHT TO MARS

Anatoliy Vidmachenko – Doctor of Science, Professor

Oleksandr Mozghovyi – PhD, Associate Professor

Oleksii Steklov – PhD, Senior Research Fellow

To protect humanity from possible self-destruction or from the fall of an asteroid, it is necessary to colonize certain space objects. In this sense, one of the best is Mars. The results of previous experiments should show the possibilities of extracting oxygen, minerals, fuel, energy, water and food there. It is very important to create systems to protect astronauts from radiation. After all, there is no radiation protection for astronauts in the orbit of the Moon and Mars. Therefore, it is necessary to develop special systems for maintaining people's vital activities for a long time. To ensure the safest possible flight to Mars, it is necessary to perform a set of special actions. A trip to Mars will significantly affect the health of astronauts.

Key words: Mars, colonization, interplanetary radiation, radiation protection, development of the planet.

ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ ЗМІН КЛІМАТУ НА МАРСІ

Анатолій Відьмаченко – д-р фіз.-мат. наук, професор

Олександр Мозговий – канд. техн. наук, доцент

Олексій Стеклов – канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співробітник

Марс – четверта від Сонця після Землі планета. При наземних спостереженнях на поверхні Марса спостерігалися світлі (материка) і темні (моря) деталі. Обертання Марса є прямим. Вважають, що раніше на Марсі була вода, й по його поверхні текли ріки. Марс колись міг мати практично земну кисневу атмосферу і запаси води у вигляді морів і річок. Атмосфера й вода були втрачені після потужного бомбардування метеоритами великих розмірів. Грунтуючись на даних, зібраних марсоходами й орбітальними апаратами, вдалося відновити етапи змін клімату Марса.

Ключові слова: Марс, атмосфера, зміни клімату на Марсі, вода на планеті.

Марс – наступна від Сонця після Землі планета. Мінімальна відстань між планетами не завжди співпадає з моментом протистояння. Через значний ексцентриситет орбіти (0.093) найменша відстань між Землею і Марсом у протистояння через кожні 26 місяців змінюється від 55 до 101 млн км [29]. Інтервал часу між двома найближчими великими протистояннями, коли відстань між планетами менша 60 млн км, коливається в межах від 15 до 17 земних років. Тому умови спостереження з поверхні Землі залежать від того, наскільки близький він до перигелію, чи афелію [10].

Оскільки орбіта Марса знаходиться зовні земної, то під час наземних спостережень інтервал зміни фазового кута обмежений ($\alpha \leq 47^\circ$) [5, 6, 27]. Але в періоди протистоянь Марс можна спостерігати упродовж усієї ночі [30]. Форму Марса з високою точністю було визначено за даними радіозатемнень космічного апарату (КА) “Марінер-9”, який обертася навколо планети по нахиленій на майже 64° до площини екватора орбіти. Статистичний аналіз даних цих експериментів дав можливість визначити середній радіус Марса 3396.2 км. При наземних спостереженнях на поверхні Марса спостерігалися світлі і темні деталі. За ними було визначено період його обертання навколо осі ($24^{\text{h}}37^{\text{m}}22.6679^{\text{s}}$). Обертання Марса є прямим. Крім материків і морів у полярних районах спостерігаються дуже світлі плями, потужність яких сезонно змінюється в часі [14] та які називають *полярні шапки*.