

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2018.02.055>

УДК 58.084/.085:629.783

В. О. Бриков¹, **Є. Ю. Коваленко**², **Б. О. Іваницька**³

¹ Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного
Національної академії наук України, Київ, Україна

² Національний технічний центр України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», Київ, Україна

³ Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка
Національної академії наук України, Київ, Україна

МІКРОКОСМ — ПЕРСПЕКТИВНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ НА НАНОСУПУТНИКАХ

Запропоновано провести космічний експеримент з використанням наносупутника для реалізації довготривалого біологічного дослідження впливу факторів космічного польоту на екологічні взаємостосунки рослин. Даний проект зайняв третє місце у Молодіжному конкурсі перспективних космічних проєктів, проведеного Радою з космічних досліджень НАН України.

Ключові слова: мікрокосм, наносупутник, рослини, мікрогравітація, експеримент.

Рослини є безальтернативним компонентом біо-регенеративних систем життєзабезпечення (БСЖ) довготривалих космічних місій (тривалі перельоти та позаземні бази), оскільки рослини виступають як регенеранти кисню та води, джерело їжі та утилізації продуктів життєдіяльності. Іншими словами, освоєння людиною космосу неможливе без фактичної наявності рослин і тому спонукає до проведення широкого спектру біологічних експериментів на орбітальних платформах для з'ясування впливу факторів космічного польоту на функціонування рослинного організму. Узагальнюючи численні біологічні експерименти, проведені на різних космічних апаратах, можна зробити висновок, що мікрогравітація не є фактором, що лімітує ріст, розвиток і репродукцію рослин [5, 12].

© В. О. БРИКОВ, Є. Ю. КОВАЛЕНКО, Б. О. ІВАНИЦЬКА, 2018

Важливою умовою успішного вирощування рослин в космосі є використання елітного насіння та підтримання певних умов культивування рослин, а саме високого рівня штучного освітлення, системи примусового нагнітання води у субстрат, вентиляції повітряного середовища та субстрату, наявність в ростових камерах речовин, що поглинають етилен. Ростові камери складної будови та агротехнічні прийоми, що використовуються в експериментах з рослинами на борту пілотованих космічних апаратів, не можуть бути застосовані для створення майбутніх бортових оранжерей великого розміру, оскільки така система потребує значних енергетичних витрат, великої кількості технічних вузлів, технічного обслуговування та постійного моніторингу стану рослин та оранжереї [2, 4]. Крім того, потреба у обслуговуванні таких камер робить їх непридатними для використання на наносупутниках. В



Рис. 1. Стабільний стан рослин у мікрокосмах, створених в Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАН України: *а* — віком 1 рік, *б* — віком 12.5 років

умовах мікрогравітації було експоновано більше 20 видів рослин, з яких тільки *Arabidopsis thaliana* (L) Heynh. [7, 8], *Brassica rapa* L. [9], *Triticum aestivum* L. [6] та *Pisum sativum* L. [11] розвивалися від насіння до насіння, тобто здійснили повний життєвий цикл в умовах реального космічного польоту. Чотири покоління карликового гороху було отримано в умовах космічного польоту [11]. Використані рослинні об'єкти, що були вирощені на борту пілотованих космічних апаратів, є однорічними рослинами з коротким життєвим циклом.

Таким чином, беручи до уваги плани з освоєння Місяця та Марса, ми не вважаємо, що результати проведених експериментів є достатнім підґрунтям для створення стабільної і збалансованої бортової оранжереї в ланці БСЖ. На жаль, дослідження біології рослин у космосі на даний час можна провадити лише на борту МКС з лімітованою кількістю обладнання та ресурсів, що вкрай обмежує проведення необхідних біологічних експериментів для з'ясування адаптивного потенціалу, продуктивності та репродукції різних видів рослин, а також оптимізації та випробування нових культивацийних камер більшого розміру.

Відомо, що рослини здатні тривалий час перебувати у замкненому гермооб'ємі, тобто в ізолюваному від зовнішнього середовища стані (рис. 1, *а*). Така замкнена екологічна система отримала назву мікрокосм і є унікальним інструментом для дослідження фундаментальних процесів і взаємовідносин у екосистемі. Потенційно мікрокосми

можуть бути використані для створення систем життєзабезпечення для дослідження космосу та влаштування поселень поза межами земної біосфери [10]. У Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАН України було продемонстровано здатність орхідеї *Doritis* рости у мікрокосмі об'ємом 3 дм³ більше 12 років (рис 1, *б*). Таким чином, мікрокосм є вдалою моделлю для реалізації модельних експериментів на необслуговуваних космічних платформах.

Ми вперше пропонуємо застосувати наносупутник для дослідження стійкості вищих рослин в умовах мікрогравітації та продемонструвати фактичну можливість здійснення біологічних експериментів та отримання наукової інформації на альтернативній орбітальній платформі. Для цього пропонується провести космічний експеримент (КЕ) «Мікрокосм-М», метою якого є з'ясування впливу факторів космічного польоту на екологічні взаємостосунки рослин при довготривалій дії факторів космічного польоту методами візуального спостереження, визначення темпів росту рослин, дослідження стану фотосинтезу та дихання. Для цього планується створити та апробувати культивацийну камеру (гермоблок) на наносупутнику «PolyITAN-5-BioSat» в умовах космічного польоту. Наносупутники серії «PolyITAN» за стандартом «CubeSat» розроблено та створено в Національному технічному центрі України Київського політехнічного інституту ім. І. Сікорського. «PolyITAN-2-SAU» використовується у міжнародній місії з дослідження

термосфери Землі проекту QB50 [1]. Об'єктами дослідження будуть слугувати багаторічні рослини, зокрема орхідеї, оскільки відомо, що вони добре переносять умови мікрогравітації [3], а також здатні тривалий час рости в умовах гермооб'єму. Крім того, особливістю проведення експерименту на наносупутнику є те, що апарат не повертається на Землю, і всю інформацію про хід експерименту буде отримано лише з використанням телеметрії.

Ключовим завданням проекту є створення гермоблоку наносупутника — контрольованої культивативної камери для вирощування рослин (рис. 2). Розроблена циліндрична модель гермоблоку умовно розділяється на дві частини — субстратну та повітряну (25 та 75 % по об'єму). Як субстрат використовуються полівінільні волокна світлого відтінку. Функцією субстрату є закріплення коренів рослин та утримання води в зоні кореневої системи. Субстратна частина гермоблоку відділяється полімерною сіткою для фіксування субстрату і відповідно рослин у вихідному положенні. Рослини висаджуються у субстрат, їхня надземна частина направлена умовно вгору у напрямку до освітлення. З часом завдяки росту рослин їхня надземна частина почне заповнювати повітряну частину гермоблоку. Для оцінки темпів росту та стану рослин протягом КЕ пропонується використати дві RGB-камери на умовно боковій та верхній площинах гермоблоку, а також RGN-камеру для оцінки фотосинтезу рослин.

Важливим елементом повітряної частини гермоблоку є вентилятор, що повинен забезпечити циркуляцію повітря і запобігти перегріванню листків в умовах мікрогравітації. Всі ці елементи належать до системи підтримання життєзабезпечення та моніторингу рослин у гермоблоці. Окрім того, гермоблок повинен бути забезпечений системою моніторингу параметрів середовища всередині гермоблоку — датники вологості субстрату, освітлення, CO_2 , O_2 , радіації та температури.

Етапи проведення роботи:

1. «Рослинне угруповання» — підбір рослин для КЕ. Попередньо планується вирощувати у гермоблоці композиції з трьох рослин. Планується випробувати та оцінити стан різних ком-

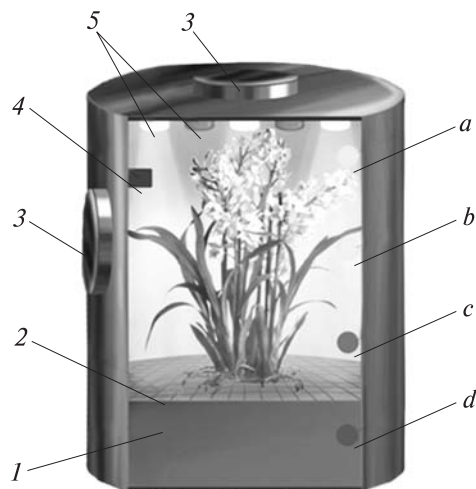


Рис. 2. Ескіз гермоблоку «Мікрокосм-М», що включає систему підтримання життєздатності рослин (1 — волокнистий субстрат, 2 — утримувальна сітка для субстрату, 3 — NIR-камера для зйомки, 4 — вентилятор із захистом, 5 — світлодіодне освітлення) та датники системи моніторингу середовища всередині гермоблоку (a — освітлення, b — CO_2 , c — температури, d — вологості субстрату)

позицій рослин, ростові характеристики, взаємостосунки між особинами різних видів у гермооб'ємі. Для цього будуть використані скляні герметично запаєні циліндри висотою 160 мм та діаметром 80 мм, що будуть відповідати розміру експериментального гермоблоку. Попередньо планується апробувати 10 рослинних композицій у трьох біологічних повторах. Умови освітлення та температури будуть близькими до тих, що плануються в КЕ.

Очікувані результати:

- буде підібрано оптимальну рослинну композицію з найкращими ростовими характеристиками у гермооб'ємі;
- буде підібрано значення мінімально достатнього рівня води з мінеральним компонентом для живлення рослин.

2. «Моделювання КЕ». Метою даного етапу є повне відтворення КЕ в лабораторних умовах. Для реалізації даного етапу необхідна наявність двох-трьох попередньо сконструйованих гермоблоків. В них буде висаджено обрану рослинну

композицію. Протягом етапу буде проведено моніторинг систем гермоблоку: візуальні зображення рослин з камери, температури, вологості субстрату, освітлення, рівня CO₂ всередині гермоблоку. Після остаточного доопрацювання гермоблоку потрібно переконатися, що рослини будуть перебувати у задовільному стані в гермоблоці протягом року.

Очікувані результати:

- буде з'ясовано кінцеву конструкцію гермоблоку;
- будуть уточнені необхідні параметри температури та освітлення для росту рослин;
- буде створено базу даних про показники росту та фотосинтезу рослин у гермоблоці, а також температури, вологості та освітлення як факторів навколишнього середовища;
- будуть сформовані уявлення про ріст рослин протягом року в гермоблоці, що є очікуваним результатом (контролем) у проведенні КЕ.

3. «КЕ» тривалістю до трьох років. Реалізація даного етапу потребує наявності трьох гермоблоків, один з яких буде експоновано на орбіті, інші два будуть використовуватися для лабораторного контролю. Старт лабораторного контролю повинен бути відтермінований на 3...7 діб з метою відтворення в лабораторії параметрів гермоблоку (температура, освітлення) польотного варіанту. Зміна параметрів гермоблоку наземного контролю буде здійснюватися на основі даних телеметрії польотного варіанту досліду. Це надасть можливість з'ясувати вплив саме факторів космічного польоту.

4. Аналіз результатів. Будуть порівнюватися ростові характеристики рослин в космічному експерименті та наземному контролі: приріст біомаси, фотосинтезу та дихання, орієнтації вегетативних органів.

Запропонований КЕ на даний час не має аналогів і буде першою спробою пристосувати наносупутники для проведення космічного експерименту з використанням технології мікрокосмів. В майбутньому наносупутники можуть стати потужним інструментом для реалізації програм з біології рослин у космосі. Технологія мікрокосмів, запропонована нами для космічного експерименту, за своєю суттю є замкненою штучною

біосферою, здатною до саморегуляції. Результати експонування мікрокосмів в умовах космічного польоту можуть сприяти становленню нових технологій у космічному рослинництві, а саме створенню стабільної позаземної екосистеми для підтримання рослинних угруповань на позаземних об'єктах в автономному режимі за відсутності людини.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Рассемакин Б. М., Ильченко М. Е., Байсков Н. Ф. и др.* Миссия наноспутника POLYTN-2-SAU в международном проекте QB50 // 17-а Укр. конф. з космічних досліджень. — Київ: ВД «Академперіодика», 2017. — С. 225.
2. *Brykov V. O.* Bioenergetics of plant cells in microgravity // *Kosm. nauka tehnol.* — 2015. — **21**, N 4. — P. 84—93.
3. *Cherevchenko T. M., Mayko T. K., Bogatir V. B., Kosakovskaya I. V.* Perspectives in the use of tropical orchids for space investigation // *Space Biol. Biotechnol.* — 1986. — P. 41—45.
4. *Heyenga A. G.* The utilization of passive water and nutrient support systems in space flight plant cultivation and research // 6-th Eur. Symp. Space Environ. Contr. Syst. — 1997. — P. 867—871.
5. *Kordyum E. L.* Plant cell gravisensitivity and adaptation to microgravity // *Plant biol.* 2014. — **16**, N 1. — P. 79—90.
6. *Levinskikh M. A., Sychev V. N., Derendiaeva T. A., et al.* The influence of space flight factors on the growth and development of super dwarf wheat cultivated in greenhouse Svet // *Aerospace and Environmental Med.* — 1999. — **33**, N 2. — P. 37—41.
7. *Link B. M., Durst S. J., Zhou W., Stankovič B.* Seed-to-seed growth of *Arabidopsis thaliana* on the International Space Station // *Adv. Space Res.* — 2003. — **31**, N 10. — P. 2237—2243.
8. *Merkys A. J., Laurinavičius R. S., Švegždienė D. V.* Plant growth, development and embryogenesis during Salyut-7 flight // *Adv. Space Res.* — 1984. — **4**, N 10. — P. 55—63.
9. *Musgrave M. E., Kuang A., Xiao Y., Stout S. C., et al.* Gravity independence of seed-to-seed cycling in *Brassica rapa* // *Planta.* — 2000. — **210**. — P. 400—406.
10. *Nelson M., Pechurkin N. S., Allen J. P. et al.* Closed ecological systems, space life support and biospherics. Environmental biotechnology. // *Handbook of environmental engineering* / Eds L. Wang, V. Ivanov, J. H. Tay. — Totowa, NJ.: Humana Press, 2010. — Vol. 10.
11. *Sychev V. N., Levinskikh M. A., Gostimsky S. A., et al.* Spaceflight effects on consecutive generations of peas grown onboard the Russian segment of the International Space Station // *Acta Astronaut.* — 2007. — **60**, N 4—7. — P. 426—432.

12. Wolff S. A., Coelho L. H., Zabrodina M., et al. Plant mineral nutrition, gas exchange and photosynthesis in space: A review // *Adv. Space Res.* — 2013. — **51**, N 3. — P. 465—475.

Стаття надійшла до редакції 12.12.17

REFERENCES

- Rassamakin B. M., Pichenko M. E., Baiskov H. F., et al. Mission of POLYTN-2-SAU nanosatellite on international project QB50. *17th Ukrainian conference on space research: Abstracts*, 225 (Odesa, 2017) [in Russian].
- Brykov V. O. Bioenergetics of plant cells in microgravity. *Kosm. nauka tehnol.*, **21** (4), 84—93 (2015). [in Ukrainian].
- Cherevchenko T. M., Майко Т. К., Bogatir V. B., et al. Perspectives in the use of tropical orchids for space investigation. *Space Biol. Biotechnol.* 41—45 (1986).
- Heyenga A. G. The utilization of passive water and nutrient support systems in space flight plant cultivation and research. *6-th Eur. Symp. Space Environ. Contr. Syst.*, 867—871 (1997).
- Kordyum E. L. Plant cell gravisensitivity and adaptation to microgravity. *Plant biol.*, **16** (1), 79—90 (2014).
- Levinskikh M. A., Sychev V. N., Derendiaeva T. A., et al. The influence of space flight factors on the growth and development of super dwarf wheat cultivated in greenhouse Svet. *Aerospace and Environmental Medicine*, **33** (2), 37—41 (1999).
- Link B. M., Durst S. J., Zhou W., Stankovic B. Seed-to-seed growth of *Arabidopsis thaliana* on the International Space Station. *Adv. Space Res.*, **31** (10), 2237—2243 (2003).
- Merkys A. J., Laurinavicius R. S., Svegzdiene D. V. Plant growth, development and embryogenesis during Salyut-7 flight. *Adv. Space Res.*, **4** (10), 55—63 (1984).
- Musgrave M. E., Kuang A., Xiao Y., et al. Gravity independence of seed-to-seed cycling in *Brassica rapa*. *Planta*, **210**, 400—406 (2000).
- Nelson M., Pechurkin N.S., Allen J. P., et al. Closed Ecological Systems, Space Life Support and Biospherics. *Environmental Biotechnology. Handbook of Environmental Engineering / Wang L., Ivanov V., Tay J. H. (eds)*. Humana Press, Totowa, NJ., vol. 10 (2010).
- Sychev V. N., Levinskikh M. A., Gostimsky S. A., et al. Spaceflight effects on consecutive generations of peas grown onboard the Russian segment of the International Space Station. *Acta Astronaut.*, **60** (4—7), 426—432 (2007).
- Wolff S.A., Coelho L.H., Zabrodina M., et al. Plant mineral nutrition, gas exchange and photosynthesis in space: A review. *Adv. Space Res.*, **51**(3), 465—475 (2013).

Received 12.12.17

В. А. Брыков¹, Е. Ю. Коваленко², Б. А. Иваницкая³

¹ Институт ботаники им. Н. Г. Холодного Национальной академии наук Украины, Киев, Украина

² Национальный технический центр Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского», Киев, Украина

³ Национальный ботанический сад им. М. М. Гришка Национальной академии наук Украины, Киев, Украина

МИКРОКОСМ — ПЕРСПЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА НАНОСПУТНИКАХ

Предлагается провести космический эксперимент с использованием наноспутника для реализации длительного биологического исследования влияния факторов космического полета на экологические межвидовые взаимоотношения растений в микрокосме. Данный проект занял третье место в Молодежном конкурсе перспективных космических проектов, проведенного Советом по космическим исследованиям НАН Украины.

Ключевые слова: микрокосм, наноспутник, растения, микрогравитация, эксперимент.

V. A. Brykov¹, E. Yu. Kovalenko², B. A. Ivanytska³

¹ M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² National Technical University “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

³ M. M. Gryshko National Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

MICROCOSM AS A PERSPECTIVE MODEL FOR BIOLOGICAL EXPERIMENTS ON NANOSATELLITES

The main proposal presented in the paper is to conduct a space experiment with use of a nanosatellite as a platform for the long-term biological experiment. The essence of the experiment is to study the influence of space flight factors on the ecological inter-species interaction between plants in the microcosm. This project won the third place in the Youth Competition of Advanced Space Projects organized by the Space Research Council of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2017.

Keywords: microcosm, nanosatellite, plants, microgravity.