

<https://doi.org/10.15407/knit2022.06.052>

УДК 523.3-36:523.43-36:577.112.384.4:577.175.82:612.815.1

А. О. ПАСТУХОВ, наук. співроб., канд. біол. наук

ORCID: 0000-0001-5837-6412

Н. В. КРИСАНОВА, старш. наук. співроб., канд. біол. наук

Н. Г. ПОЗДНЯКОВА, старш. наук. співроб., канд. біол. наук

ORCID: 0000-0001-9922-5389

А. А. БОРИСОВ, пров. інж.

Р. В. СІВКО, наук. співроб., канд. біол. наук

А. Г. НАЗАРОВА, пров. інж.

Л. М. КАЛИНОВСЬКА, аспірант

ORCID: 0000-0002-3741-7040

Т. О. БОРИСОВА, зав. відділу нейрохімії, д-р біол. наук, проф.

ORCID: 0000-0002-6533-1420

E-mail: tborisov@biochem.kiev.ua

Інститут біохімії ім. О. В. Палладіна Національної академії наук України
вул. Леонтовича 9, Київ, Україна, 01054

РОЗРОБЛЕННЯ ПІДХОДІВ НЕЙРОПРОТЕКЦІЇ ПРИ ДОВГОТРИВАЛИХ КОСМІЧНИХ МІСІЯХ

Мета роботи — розробка стратегії та методології нейропротекції при довготривалих космічних місіях, яка базується на комплексному дослідженні впливу терапевтичної гіпотермії, поєднаної з дією нейроактивних препаратів, на ключові характеристики синаптичної передачі у нервових терміналях головного мозку, що змінюються під дією планетарного пилу та в умовах зміненої гравітації. Розвиток нейротоксичності в умовах зміненої гравітації може бути зумовлений надлишковим позаклітинним глутаматом, що виникає як результат реверсного функціонування глутаматних транспортерів. За умов зміни гіпотермії від помірної до глибокої, було продемонстровано поступове зменшення транспортер-опосередкованого вивільнення L-[¹⁴C]глутамату, стимульованого деполяризацією плазматичної мембрани KCl та дисипацією протонного градієнта синаптичних везикул протонофором FCCP. Цей факт свідчить про нейропротекторний ефект, який збільшується в умовах зміни гіпотермії від помірної до глибокої. Визначено можливі ризики використання гіпотермії у космічній медицині. Гіпотермія не здатна знизити позаклітинний рівень L-[¹⁴C]глутамату та [³H]ГАМК, що збільшуються під впливом карбонвмісного планетарного пилу. Гіпотермія може призвести до подальшого зменшення швидкості накопичення нейромедіаторів при наявності карбонвмісного планетарного пилу та сприяти розвитку нейротоксичності, що є можливим ризиком для використання гіпотермії у космічній медицині. У цьому контексті важливим є вибір оптимального індивідуального температурного режиму для кожного астронавта.

Ключові слова: гіпотермія, планетарний пил, L-[¹⁴C]глутамат, [³H]γ-аміноасляна кислота, синаптосоми, нервові терміналі головного мозку.

Цитування: Пастухов А. О., Крисанова Н. В., Позднякова Н. Г., Борисов А. А., Сівко Р. В., Назарова А. Г., Калиновська Л. М., Борисова Т. О. Розроблення підходів нейропротекції при довготривалих космічних місіях. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6 (139). С. 52—62. <https://doi.org/10.15407/knit2022.06.052>

ВСТУП

Мікрогравітація та інші фактори суттєво впливають на функціонування центральної нервової системи (ЦНС) астронавтів під час космічного польоту [15], тому без спеціальних нейропротекторних підходів довготривалі позаземні пілотовані місії не є можливими. На сьогодні розроблення стратегії нейропротекції є найбільш актуальним завданням, виконання якого зробить успішними довготривалі пілотовані космічні місії.

У ЦНС глутамат та γ -аміномасляна кислота (ГАМК) є ключовими нейротрансмітерами збудження та гальмування відповідно, порушення транспортування яких у нервових клітинах є характерною рисою етіології та патогенезу нейрологічних та нейродегенеративних захворювань.

У дослідженнях, виконаних у межах Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень 2007—2011 рр., ми виявили зміни функціонування ЦНС, а саме глутаматергічної та ГАМКергічної нейропередачі, та розвиток нейротоксичності в умовах гіпергравітації [4—7]. У 2012—2016 рр. у рамках Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень нашу увагу було зосереджено на аналізі впливу симулянтів місячного та марсіанського пилу (JSC-1/JSC-1a Orbital Technologies Corporation, Madison, USA) та виявлено розвиток нейротоксичності внаслідок дії карбонвмісного аналогу марсіанського пилу [17, 35]. Тому дані дослідження є логічним продовженням роботи наукового колективу та базуються на результатах попередніх досліджень. Нами був визначений параметр синаптичної передачі у мозку, якій є найбільш чутливим до дії зміненої гравітації, а саме показано суттєве збільшення патологічного транспортер-опосередкованого вивільнення глутамату з нервових закінчень головного мозку [5, 19]. Також були визначені характеристики синаптичної передачі у мозку, які змінюються під впливом карбонвмісного аналогу марсіанського пилу, а саме показано суттєве збільшення позаклітинного рівня глутамату та ГАМК, а також зменшення швидкості накопичення цих нейротрансмітерів у нервових терміналях [17, 35].

Мета даної роботи полягає у розробленні стратегії та методології нейропротекції для нормалізації вищезазначених показників, що змінюються під дією зміненої гравітації та карбонвмісного аналогу марсіанського пилу.

На сьогодні в аерокосмічній спільноті розглядають медичну гіпотермію не тільки як потужний нейропротекторний підхід, що запобігає розвитку нейропатологій в умовах космічної радіації, але і як засіб заощадження місця та маси космічного корабля [13, 24]. Помірна та глибока гіпотермія сьогодні успішно використовується для попередження ускладнень ішемічного інсульту та під час кардіохірургічних операцій зі зменшенням церебрального кровотоку. Терапевтична гіпотермія давно відома як неспецифічний та потужний нейропротектор. На тваринних моделях було показано, що гіпотермія вдвічі зменшує розмір ділянки ураження церебральним інсультом, і цей факт став основою для подальших клінічних випробувань терапевтичної гіпотермії у пацієнтів з ішемічним інсультом [23]. Клінічні застосування терапевтичної гіпотермії продемонстрували зменшення смертності у перший тиждень після інсульту та відновлення неврологічних функцій, а також зменшення ушкоджень мозку, які виявляються комп'ютерною томографією [16]. Обґрунтовані стандартні параметри терапевтичної гіпотермії на сьогодні відсутні. Залишається нез'ясованою низка питань щодо застосування терапевтичної гіпотермії, найбільш важливим з яких є обґрунтування оптимальних температурних режимів.

Таким чином, виявлення процесів, особливо чутливих до змін температур, та вивчення механізмів нейропротекторної дії низьких температур сприятиме широкому застосуванню цього підходу у космічній медицині та є надзвичайно актуальним питанням.

Базуючись на власних попередніх даних, ми розробляли нейропротекторний підхід для попередження розвитку нейротоксичності, викликаной впливом гіпергравітації та дією карбонвмісного аналогу марсіанського пилу. Нами було використано терапевтичну гіпотермію, поєднану з дією нейроактивного препарату. Така стра-

тегія нейропротекції для попередження розвитку ексайтотоксичності базується на комбінації таргетних та неспецифічних підходів модуляції транспорту нейромедіаторів у нервових терміналях головного мозку.

У рамках роботи було проведено:

1) аналіз впливу помірної (27 °С) та глибокої (17 °С) терапевтичної гіпотермії як потенційного нейропротектора при космічних місіях на процеси, що лежать в основі синаптичної передачі у нервових терміналях головного мозку та змінюються за дії зміненої гравітації та впливу карбонвмісного аналога марсіанського пилу;

2) визначення ефектів нейроактивного препарату на процеси глутаматергічної та ГАМКергічної нейропередачі з метою отримання комбінованого нейропротекторного ефекту разом з гіпотермією;

3) оцінку можливих ризиків використання гіпотермії у космічній медицині.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріали. В роботі були використані такі матеріали та реактиви: NERES, (N-2-hydroxyethyl-piperazine-n-2-ethanesulfonic acid), «Fluka» (Швейцарія); EDTA, «Calbiochem» (США); фіколл-400, додецилсульфат натрію, амінооксидова кислота; скловолоконні фільтри Whatman GF/C «Sigma» (США); L-[¹⁴C]глутамат, сцинтиляційні рідини ACS та OSC, «Amersham», (Велика Британія); [³H]ГАМК, «Perkin Elmer» (США).

Етичні норми. Всі експерименти були виконані відповідно до «Правил проведення робіт з використанням експериментальних тварин», затверджених Комісією з догляду, утримання й використання експериментальних тварин Інституту біохімії ім. О. В. Палладіна НАН України (Протокол № 1 від 19.09.2018). Дослідження проводили на білих щурах-самцях лінії Wistar. Щурів утримували на стандартному раціоні віварію.

Виділення синапсом з головного мозку щурів. Синапсоми виділяли за методом Котмана [12] із незначними модифікаціями. Концентрацію протеїну визначали за методом Ларсона [21].

Визначення накопичення L-[¹⁴C]глутамату синапсомами. Накопичення L-[¹⁴C]глутамату

синапсомами визначали так: зразки суспензії з концентрацією протеїну 250 мкг/мл преінкубували 10 хв, при 37 °С, потім інкубували 5 хв. Реакцію ініціювали додаванням суміші L-глутамату та L-[¹⁴C]глутамату (0.1 мкКі/мл 251 мКі/ммоль) та інкубували при 37 °С. Аліквоти відбирали через 1 хв і швидко осаджували у мікроцентрифузі «Eppendorf» (20 с при 10 000 g). Накопичення визначали в аліквотах надосаду (100 мкл) та солюбілізованого в SDS осаду за допомогою сцинтиляційного лічильника Delta 300 («Tracor Analytic», США) у сцинтиляційній рідині ACS (aqueous counting scintillate — сцинтиляційна рідина для водних зразків) (1.5 мл) [37].

Визначення вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з синапсомом. Суспензія синапсомом розводилася стандартним сольовим розчином до концентрації 1 мг протеїну/мл, і після 10 хв преінкубації при 37 °С навантажувалася L-[¹⁴C]глутаматом (500 нМ, 238 мКі/ммоль) в кальцієвому стандартному сольовому розчині упродовж 10 хв. Після цього суспензія синапсомом відмивалася 10 об'ємами стандартного сольового розчину, розводилася до концентрації 1 мг протеїну/мл і відразу використовувалася для визначення вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з синапсомом [18]. Аліквоти (120 мкл; 25...30 мкг навантажених L-[¹⁴C]глутаматом синапсомом), преінкубували 10 хв при температурі 37 °С, потім інкубували 5 хв. Нестимульоване вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з синапсомом у безкальцієвому середовищі визначали за 6 хв. Суспензію синапсомом швидко осаджували в мікроцентрифузі, та центрифугували при 10000 g протягом 20 с. Аліквоти надосаду (90 мкл) та солюбілізованого додецилсульфатом натрію осаду (90 мкл) змішували з сцинтиляційною рідиною ACS (1.5 мл) та визначали радіоактивність за допомогою сцинтиляційного лічильника Delta 300 («Tracor Analytic», США). Загальний вміст радіоактивності визначали як суму радіоактивності у аліквоті надосаду та у аліквоті солюбілізованого осаду.

Визначення накопичення [³H]ГАМК синапсомами. В досліді з акумуляції [³H]ГАМК синапсомами стандартний сольовий розчин містив 100 мкМ амінооксидової кислоти, інгібітора ГАМК-трансамінази, для запобігання утворення

метаболітів ГАМК. Концентрація протеїну синапсом у пробі дорівнювала 200 мкг/мл, об'єм проби дорівнював 0.6 мл. Синапсоми преінкубували 5 хв при 37 °С, після чого ініціювали процес акумуляції внесенням суміші ГАМК (1 мкМ ГАМК та 50 нМ — 0.2 мкКі/мл [³H]ГАМК). Через 1 хв аліквоти (0.5 мл) фільтрували через GF/C-фільтри. Фільтри двічі промивали охолодженим стандартним сольовим розчином, висушували та вимірювали рівень радіоактивності у сцинтиляційній рідині OCS в лічильнику Delta 300 («Tracor Analytic», США) [9].

Визначення вивільнення [³H]ГАМК з синапсом.

Синапсоми (2 мг протеїну/мл) в оксигенованому стандартному сольовому розчині, який містив 10 мкМ амінооксиоцтової кислоти, інкубували 5 хв при 37 °С при наявності $5 \cdot 10^{-7}$ М (0.1 Кі/мл) [³H]ГАМК. Після охолодження на льоду, суспензію втричі розводили охолодженим сольовим розчином і центрифугували 5 хв при 4000 g. Осад суспендували при температурі 4 °С і концентрації протеїну 1 мг/мл в сольовому розчині, який містив 10 мкМ амінооксиоцтової кислоти. Синапсоми, що акумулювали [³H]ГАМК (1 мг протеїну/мл), негайно використовували для вивчення процесів вивільнення ГАМК. Синапсоми (120 мкл суспензії) преінкубували 10 хв при температурі 37 °С, потім інкубували 5 хв. Зразки інкубували ще 5 хв, після чого центрифугували у мікроцентрифугі Eppendorf (10000 g, 20 с). Рівень радіоактивності вивільненої [³H]ГАМК в аліквотах супернатанту (90 мкл) вимірювали в лічильнику Delta 300 («Tracor Analytic», США) з використанням сцинтиляційної рідини ACS (1 мл на 1 аліквоту). Вміст міченої ГАМК у супернатантах був виражений у відсотках від загального вмісту [³H]ГАМК в синапсомах.

Статистична обробка результатів. Результати представлені як середнє \pm SEM в *n* незалежних експериментах. Різницю між двома групами порівнювали за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (One-way ANOVA). Різниця вважалася значущою при $p < 0.05$. Статистична обробка даних, побудова графіків і розрахунки функцій проводили з використанням програми Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Принциповий підхід для швидкого аналізу токсичності частинок планетарного пилу за умов довготривалих космічних місій. Пілотовані позаземні місії та плани освоєння нових планет вимагають оцінки ризику токсичності планетарного пилу. Підготовка перспективних місій (особливо найближчі плани створення навколomisячної станції) вимагають якнайшвидшого розроблення методології експрес-аналізу токсичних компонентів навколишнього середовища.

Літературні дані свідчать, що частинки місячного пилу сорбуються на скафандрах і потрапляють всередину космічних кораблів [14]. В результаті прямого контакту з частинками місячного пилу протягом декількох місій Apollo спостерігалось подразнення очей, дихальних шляхів та шкіри. Формування, склад і фізичні властивості місячного, марсіанського та іншого планетарного пилу та його вплив на здоров'я людини недостатньо охарактеризовані [20, 22, 36]. В організмі ссавців, ультрадисперсні частинки можуть тривалий час зберігатись в носовій порожнині, бронхах та альвеолах, і окрім перерозподілу між різними органами, транспортуються вздовж сенсорних аксонів нюхового нерва до центральної нервової системи [25, 26]. *In vitro* поглинання ультрадисперсних частинок у клітинах відбувається шляхом дифузії або адгезії. Ці частинки проникають крізь клітинні мембрани без фагоцитозу в легенях і в культурі клітин. У клітинах вони знаходяться у незв'язаній з мембраною формі і можуть безпосередньо взаємодіяти з внутрішньоклітинними білками, органелами і ДНК, що може значно підвищити їхній токсичний потенціал.

У наших роботах було показано, що зміни позаклітинного рівня нейромедіаторів, швидкості накопичення нейромедіаторів та мембранного потенціалу нервових терміналей є ключовими характеристиками, що визначають нейротоксичність частинок планетарного пилу. З використанням електрофізіологічного обладнання пласка бішарова ліпідна мембрана запропоновано та доведено принципову можливість швидкої оцінки токсичності частинок планетарного пилу без використання біологічних об'єктів, таке обладнання потрібно адаптувати для використання

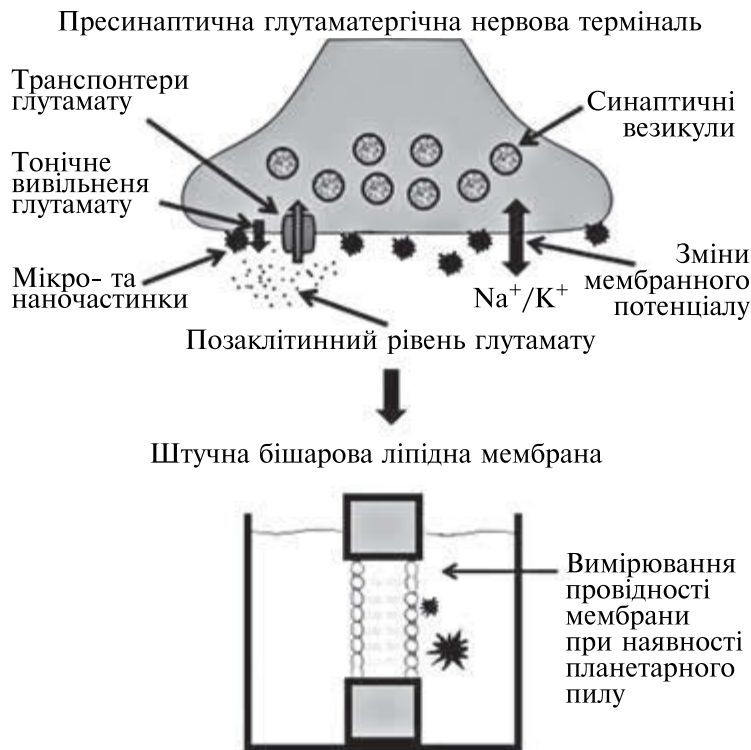


Рис. 1. Запропонований підхід щодо принципової можливості аналізу токсичності частинок планетарного пилу в умовах довготривалих космічних місій

в умовах космічних місій (рис. 1). Цей запропонований нами підхід пройшов рецензування закордонними експертами та був опублікований [2].

Вплив гіпотермії на ключові характеристики синаптичної передачі у нервових терміналях головного мозку, що змінюються за дії карбонвмісного марсіанського пилу та зміненої гравітації. Ми дослідили вплив помірної та глибокої гіпотермії на транспортер-залежне накопичення L-[^{14}C]глутамату та [^3H]ГАМК у нервових терміналях головного мозку щурів. Показано, що як помірною, так і глибока гіпотермія призводять до суттєвого зменшення початкової швидкості накопичення та акумуляції L-[^{14}C]глутамату нервовими терміналями (табл. 1).

Зміни динаміки накопичення синаптосомами L-[^{14}C]глутамату доводять, що помірною та глибокою гіпотермією суттєво гальмують зазначений процес. Також було досліджено вплив помірної та глибокої гіпотермії на транспортер-залежне накопичення та позаклітинний рівень [^3H]ГАМК в

нервових терміналях головного мозку щурів. Показано, що як і в експериментах з L-[^{14}C]глутаматом, початкова швидкість накопичення синаптосомами [^3H]ГАМК зменшувалась на 15 % при зменшенні температури до 27 °C та ще на 15 % при подальшому зниженні температури до 17 °C.

Карбонвмісний аналог марсіанського пилу (КЧ-МП — суміш карбонних наночастинок, синтезованих з β -аланіну та аналогу марсіанського пилу JSC-1a) викликав зменшення на 37 % транспортер-залежного накопичення L-[^{14}C]глутамату та на 84 % [^3H]ГАМК в нервових терміналях головного мозку щурів (табл. 2).

Таким чином, гіпотермія може призвести до подальшого зменшення швидкості накопичення нейромедіаторів при наявності карбонвмісного планетарного пилу та сприяти розвитку нейротоксичності, що є можливим ризиком використання гіпотермії у космічній медицині.

Певна концентрація позаклітинного глутамату та ГАМК в нервових терміналях є ключовою

характеристикою, що відображає функціональний стан нервових терміналей. Цей рівень підтримується протилежно спрямованими процесами накопичення та вивільнення нейромедіаторів. Збільшення рівня позаклітинного глутамату, яке відбувається за умов гіпоксії, ішемії, інсульту, при травмах мозку, гіпоглікемії, а також при наявності карбонвмісного планетарного пилу, викликає нейротоксичність і загибель нейронів. Позаклітинний рівень L-[¹⁴C]глутамату змінювався у незначній мірі в умовах зменшення температури. Так, у контролі (37 °C) позаклітинний рівень L-[¹⁴C]глутамату становив 18.66 ± 1.87 % від загальної акумуляованої синапсосомами радіоактивної мітки, при температурі 27 °C він дорівнював 14.13 ± 1.93 %, а при температурі 17 °C ($n = 15$) — 16.07 ± 1.54 %.

Карбонвмісний аналог марсіанського пилу (КЧ-МП) викликав значне збільшення позаклітинного рівня L-[¹⁴C]глутамату та [³H]ГАМК в нервових терміналях головного мозку щурів (табл. 3).

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що у порівнянні з суттєвим інгібуванням накопичення та тонічного вивільнення L-[¹⁴C]глутамату позаклітинний рівень L-[¹⁴C]глутамату змінювався незначно в умовах помірної та глибокої гіпотермії. Єдине можливе пояснення цього факту полягає в тому, що тонічне вивільнення зменшувалося з тією ж ефективністю, як і накопичення L-[¹⁴C]глутамату в синапсосомах. При дослідженні позаклітинного рівня [³H]ГАМК також було продемонстровано, що цей рівень не є чутливим до дії гіпотермії.

Таблиця 1. Початкова швидкість транспортер-залежного накопичення та акумуляція L-[¹⁴C]глутамату за 10 хв у нервових терміналях під дією помірної та глибокої гіпотермії (середнє значення \pm SEM)

	Початкова швидкість накопичення L-[¹⁴ C]глутамату, нмоль/хв/мг протеїну	Накопичення L-[¹⁴ C]глутамату за 10 хв, нмоль/ мг протеїну
Контроль (37 °C)	2.63 ± 0.08	9.83 ± 0.35
Помірна гіпотермія (27 °C)	$2.09 \pm 0.20^*$	$7.42 \pm 0.27^*$
Глибока гіпотермія (17 °C)	$1.48 \pm 0.12^*$	$5.75 \pm 0.52^*$

Примітка: * — $p < 0.05$, $n = 6$

Таблиця 2. Транспортер-залежне накопичення L-[¹⁴C]глутамату та [³H]ГАМК у нервових терміналях за дії карбонвмісного аналогу марсіанського пилу (КЧ-МП). Дані представлені як середнє значення \pm SEM

	Накопичення L-[¹⁴ C]глутамату за 10 хв, нмоль/ мг протеїну	Накопичення [³ H]ГАМК за 5 хв, пмоль/мг протеїну
Контроль	10.12 ± 0.50	460.55 ± 23.25
КЧ-МП	$6.36 \pm 0.40^*$	$74.94 \pm 10.02^{**}$

Примітка: * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.001$, $n = 6$.

Таблиця 3. Позаклітинний рівень L-[¹⁴C]глутамату та [³H]ГАМК у нервових терміналях під дією карбонвмісного аналогу марсіанського пилу (КЧ-МП)

	Позаклітинний рівень L-[¹⁴ C]глутамату у нервових терміналях, % від загальної акумуляованої синапсосомами радіоактивної мітки	Позаклітинний рівень [³ H]ГАМК у нервових терміналях, % від загальної акумуляованої синапсосомами радіоактивної мітки
Контроль	19.18 ± 0.56	18.67 ± 0.61
КЧ-МП	$64.75 \pm 1.15^{**}$	$34.01 \pm 3.20^*$

Примітка: * — $p < 0.01$, ** — $p < 0.001$, $n = 6$

Таким чином, гіпотермія, ймовірно, не здатна знизити позаклітинний рівень L-[¹⁴C]глутамату та [³H]ГАМК, що збільшуються під впливом карбонвмісного планетарного пилу.

У наступній серії експериментів проаналізовано вплив гіпотермії на патологічні процеси, що розвиваються під час впливу зміненої гравітації на нервову систему та визначено можливі ризики використання гіпотермії у космічній медицині.

Транспортер-опосередковане вивільнення глутамату з нервових терміналей головного мозку підвищувалося на 30 % в умовах зміненої гравітації. Головним механізмом, який пізніше може призвести до збільшення концентрації позаклітинного глутамату в умовах зміненої гравітації та зробити астронавта більш чутливим до умов гіпоксії та ішемії, є підвищене патологічне транспортер-опосередковане вивільнення глутамату з нервових терміналей головного мозку (табл. 4).

Деполаризація плазматичної мембрани нервових терміналей КСІ у безкальцієвому середовищі зумовлює реверсну роботу транспортерів глутамату та транспортер-опосередковане вивільнення глутамату з цитозолу. Зменшення транспортер-опосередкованого вивільнення є однією з основних стратегій нейропротекції. В цьому сенсі терапевтична гіпотермія — сильний неспецифічний нейропротектант, який може моделювати активність глутаматних транспортерів та значно зменшувати патологічне транспортер-опосередковане вивільнення глутамату з нервових терміналей. Доведено, що вивільнення L-[¹⁴C]глутамату, стимульоване 30 мМ КСІ у безкальцієвому середовищі, зменшувалося в

умовах помірної та глибокої гіпотермії. Вивільнення L-[¹⁴C]глутамату в контролі (37 °С) становило 12.0 ± 1.0 % від загальної кількості акумульованої синапсосомами радіоактивної мітки, 10.0 ± 0.5 % — при температурі 27 °С та 6.0 ± 0.5 % при температурі 17 °С ($p < 0.05$, $n = 6$).

Таким чином, вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з цитозольного пулу синапсосом поступово зменшувалося в умовах помірної та глибокої гіпотермії.

У серії експериментів ми проаналізували вплив помірної та глибокої гіпотермії на транспортер-опосередковане вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з синапсосом при застосуванні протонифору FCCP. FCCP-стимульоване вивільнення L-[¹⁴C]глутамату в контролі (37 °С) складало 15.50 ± 1.0 % від загальної кількості акумульованої синапсосомами радіоактивної мітки, 9.50 ± 1.0 % при 27 °С та 6.30 ± 0.50 % при 17 °С ($p < 0.05$, $n = 6$).

Розвиток нейротоксичності під дією зміненої гравітації зумовлений надлишковим позаклітинним глутаматом, що виникає, головним чином, як результат реверсного функціонування глутаматних транспортерів. У проведених дослідах в умовах зміни гіпотермії від помірної до глибокої, було продемонстровано поступове зменшення транспортер-опосередкованого вивільнення L-[¹⁴C]глутамату, стимульованого деполаризацією плазматичної мембрани 30 мМ КСІ та дисипацією протонного градієнта синаптичних везикул протонифором FCCP. Цей факт свідчить про поступовий нейропротекторний ефект, який збільшується при зміні гіпотермії від помірної до глибокої. Нейропротекторний ефект гіпотермії можемо спостерігати, коли нервові клітини все ще в змозі вивільняти глутамат за рахунок реверсу транспортерів. У значно пошкоджених нервових клітинах вищезгаданий механізм не працює через зменшення градієнта глутамату (глутамат всередині/глутамат ззовні) через плазматичну мембрану. У цьому контексті важливим є вибір оптимального індивідуального температурного режиму для кожного астронавта.

Беручи до уваги вищезазначені факти, ми вважаємо, що стратегія успішної терапевтичної гіпотермії при довготривалих космічних місіях, з

Таблиця 4. Транспортер-опосередковане вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з нервових терміналей в умовах зміненої гравітації

	Транспортер-опосередковане вивільнення L-[¹⁴ C]глутамату з нервових терміналей, % від загальної акумульованої синапсосомами радіоактивної мітки
Контроль	27.0 ± 2.2
Гіпергравітація	35.0 ± 2.3*

Примітка: * — $p < 0.05$, $n = 10$.

одного боку, полягає у зменшенні її можливого шкідливого впливу на нервові клітини, вражені дією зміненої гравітації, шляхом стабілізації концентрації позаклітинного глутамату через компоненти, що призводять до рівноваги процеси вивільнення/накопичення, а з іншого — у посиленні її прямого нейропротекторного ефекту за рахунок значного зменшення реверсу глутаматних транспортерів. Ця стратегія може бути підсилена шляхом комбінування та поєднання неспецифічних ефектів гіпотермії з дією специфічних нейропротекторних сполук.

Наступні дослідження стосувалися попередження розвитку ексайтотоксичності, яке базується на комбінації таргетних та неспецифічних підходів модуляції транспорту нейромедіаторів у нервових терміналях головного мозку, та проведення скринінг-ефектів нейроактивних сполук на процес глутаматергічної та ГАМКергічної нейропередачі з метою отримання синергічного нейропротекторного ефекту разом з гіпотермією. У цьому аспекті нами була показана можливість комбінованого застосування гіпотермії та антиепілептичного препарату леветирацетаму. Була з'ясована можливість впливу леветирацетаму на NMDA-стимульоване вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з нервових терміналей за умов гіпотермії. Леветирацетам у концентрації 100 мкМ індукував збільшення вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з нервових терміналей, викликаних активацією пресинаптичних NMDA-рецепторів. Цей ефект зберігався і в умовах гіпотермії. Рівень NMDA-стимульованого вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з нервових терміналей при 27 °C становив $3.75 \pm 0.22 \%$ у контролі та $5.1 \pm 0.5 \%$ від загального вмісту міченого глутамату на 15-й хвилині після попередньої інкубації з 100 мкМ леветирацетамом ($p < 0.05$, $n = 6$). При 17 °C на 6-й хвилині у контролі він дорівнював $3.09 \pm 0.23 \%$ від загального вмісту міченого глутамату та $4.32 \pm 0.51 \%$ від загального вмісту міченого глутамату на 15-й хвилині після попередньої інкубації з 100 мкМ леветирацетамом ($p < 0.05$, $n = 6$). Водночас леветирацетам у концентрації 100 мкМ мав незначний вплив на AMPA- та кайнат-стимульоване вивільнення L-[¹⁴C]глутамату за нормальних умов та за умов гіпотермії.

Таким чином, ми довели, що леветирацетам змінює відповідь при активації пресинаптичних NMDA-рецепторів. Цей препарат у концентрації 100 мкМ збільшує NMDA-стимульоване вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з нервових терміналей та істотно не змінює AMPA- та кайнат-стимульоване вивільнення.

Особливо важливим фактом, доведеним нашими експериментами, є можливість коригування (пом'якшення) леветирацетамом зменшення NMDA-індукованого вивільнення L-[¹⁴C]глутамату в умовах гіпотермії. Корекція відповіді NMDA-рецепторів може зменшити побічні ефекти терапевтичної гіпотермії за умов довготривалих космічних місій та може стати у нагоді для забезпечення належного функціонування NMDA-рецепторів при відновленні після гіпотермії. Запропонований підхід є актуальним у випадках, коли гіпотермія застосовується не для запобігання гострої ексайтотоксичності глутамату. Це відбувається тому, що підвищення NMDA-відповіді за цих патологій може ускладнити ексайтотоксичні наслідки. Динаміка зменшення в умовах гіпотермії синаптосомального вивільнення L-[¹⁴C]глутамату під впливом агоністів рецепторів, показана у наших експериментах, може бути корисною для обґрунтування оптимальних режимів терапевтичної гіпотермії за умов довготривалих космічних місій. Леветирацетам значно пом'якшує стимульоване гіпотермією зменшення позаклітинного глутамату через NMDA-рецептори на пресинаптичному рівні, і отже, комбіноване застосування гіпотермії та леветирацетаму в умовах довготривалих космічних місій коригує та наближає до норми NMDA-стимульоване вивільнення L-[¹⁴C]глутамату з нервових терміналей. Використання специфічних сполук, модуляторів транспорту нейромедіаторів, спільно з потужним неспецифічним нейропротектантом, таким як гіпотермія, є, на наш погляд, найбільш ефективним підходом для попередження розвитку ексайтотоксичності в умовах довготривалого космічного польоту.

У цілому отримані експериментальні дані імплементовані у світовий науково-інформаційний простір [1, 2, 31–34, 3, 8, 10, 11, 27–30]. Розроблені нейропротекторні підходи будуть ко-

рисними для подальшої практичної реалізації у межах міжнародних проєктів довгострокових космічних місій. Програми НАСА, такі як «Проєкт дослідження людини», зосереджуються на використанні трансляційних методів та розумінні основних механізмів, що лежать в основі нейротоксичного потенціалу навколишнього середовища, і є необхідним першим кроком у захисті здоров'я екіпажу та прогнозування ризиків у процесі дослідження космосу. Науковий

напрямок щодо дослідження нейротоксичності планетарного пилу зазначений офіційному листі Європейського Космічного Агентства (ЄКА) до Державного космічного агентства України (серпень 2022 р.) як пріоритетний напрям для спільних досліджень.

Робота виконана за підтримки Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2017—2022 рр.

REFERENCES

1. Borisova T. (2018). Nervous system injury in response to contact with environmental, engineered and planetary micro- and nano-sized particles. *Front. Physiol.*, **9**, 728. DOI: 10.3389/fphys.2018.00728.
2. Borisova T. (2019). Express assessment of neurotoxicity of particles of planetary and interstellar dust. *npj Microgravity*, **5**, № 1, 2. DOI: 10.1038/s41526-019-0062-7.
3. Borisova T. (2022). Environmental nanoparticles: Focus on multipollutant strategy for environmental quality and health risk estimations. *Biomed. Nanomater.*, 305—321. DOI: 10.1007/978-3-030-76235-3_11.
4. Borisova T. A., Himmelreich N. H. (2005). Centrifuge-induced hypergravity: [³H]GABA and L-[¹⁴C]glutamate uptake, exocytosis and efflux mediated by high-affinity, sodium-dependent transporters. *Adv. Space Res.*, **36**, № 7, 1340—1345. DOI: 10.1016/j.asr.2005.10.007.
5. Borisova T. A., Krisanova N. V. (2008). Presynaptic transporter-mediated release of glutamate evoked by the protonophore FCCP increases under altered gravity conditions. *Adv. Space Res.*, **42**, № 12, 1971—1979. DOI: 10.1016/j.asr.2008.04.012.
6. Borisova T., Krisanova N., Himmelreich N. (2004). Exposure of animals to artificial gravity conditions leads to the alteration of the glutamate release from rat cerebral hemispheres nerve terminals. *Adv. Space Res.*, **33**, № 8, 1362—1367. DOI: 10.1016/j.asr.2003.09.039.
7. Borisova T., Krisanova N., Sivko R., et al. (2010). Cholesterol depletion attenuates tonic release but increases the ambient level of glutamate in rat brain synaptosomes. *Neurochem. Int.*, **56**, № 3, 466—478. DOI: 10.1016/j.neuint.2009.12.006.
8. Borisova T., Pozdnyakova N., Dudarenko M., et al. (2021). GABAA receptor agonist cinazepam and its active metabolite 3-hydroxyphenazepam act differently at the presynaptic site. *Eur. Neuropharmacol.*, **45**, 39—51. DOI: 10.1016/j.euroneuro.2021.03.013.
9. Borisova T., Pozdnyakova N., Krisanova N., et al. (2021). Unique features of brain metastases-targeted AGuIX nanoparticles vs their constituents: A focus on glutamate-/GABA-ergic neurotransmission in cortex nerve terminals. *Food Chem. Toxicol.*, **149**, 112004. DOI: 10.1016/j.fct.2021.112004.
10. Borysov A., Pozdnyakova N., Pastukhov A., et al. (2018). Comparative analysis of neurotoxic potential of synthesized, native, and physiological nanoparticles. *Neuromethods*, **135**, 203—227. DOI: 10.1007/978-1-4939-7584-6_13/COVER.
11. Borysov A., Tarasenko A., Krisanova N., et al. (2020). Plastic smoke aerosol: Nano-sized particle distribution, absorption/fluorescent properties, dysregulation of oxidative processes and synaptic transmission in rat brain nerve terminals. *Environ. Pollut.*, **263**, 114502. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114502.
12. Cotman C. W. (1974). Isolation of synaptosomal and synaptic plasma membrane fractions. *Methods Enzymol.*, **31**, 445—452.
13. Fukunaga H. (2020). The effect of low temperatures on environmental radiation damage in living systems: Does hypothermia show promise for space travel? *Int. J. Mol. Sci.*, **21**, № 17, 6349. DOI: 10.3390/ijms21176349.
14. Gaier J. R. (2005). *The effects of lunar dust on EVA systems during the Apollo missions*. Cleveland, Ohio: NASA Glenn Research Center, NASA/TM-2005-213610.
15. Hupfeld K. E., McGregor H. R., Reuter-Lorenz P. A., et al. (2021). Microgravity effects on the human brain and behavior: Dysfunction and adaptive plasticity. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **122**, 176—189. DOI: 10.1016/J.NEUBIOREV.2020.11.017.
16. Kammersgaard L. P., Jørgensen H. S., Rungby J. A., et al. (2002). Admission body temperature predicts long-term mortality after acute stroke: the Copenhagen Stroke Study. *Stroke*, **33**, № 7, 1759—62.
17. Krisanova N., Kasatkina L., Sivko R., et al. (2013). Neurotoxic potential of Lunar and Martian dust: Influence on Em, proton gradient, active transport, and binding of glutamate in rat brain nerve terminals. *Astrobiology*, **13**, № 8, 679—692. DOI: 10.1089/ast.2012.0950.

18. Krisanova N., Pozdnyakova N., Pastukhov A., et al. (2019). Vitamin D3 deficiency in puberty rats causes presynaptic malfunctioning through alterations in exocytotic release and uptake of glutamate/GABA and expression of EAAC-1/GAT-3 transporters. *Food Chem. Toxicol.*, **123**, DOI: 10.1016/j.fct.2018.10.054.
19. Krisanova N. V., Triakash I. O., Borisova T. A. (2009). Synaptopathy under conditions of altered gravity: changes in synaptic vesicle fusion and glutamate release. *Neurochem. Int.*, **55**, № 8, 724–731. DOI: 10.1016/J.NEUINT.2009.07.003.
20. Lam C. W., Scully R. R., Zhang Y., et al. (2013). Toxicity of lunar dust assessed in inhalation-exposed rats. *Inhal. Toxicol.*, **25**, № 12, 661–678. DOI: 10.3109/08958378.2013.833660.
21. Larson E., Howlett B., Jagendorf A. (1986). Artificial reductant enhancement of the Lowry method for protein determination. *Anal. Biochem.*, **155**, № 2, 243–248. DOI: 10.1016/0003-2697(86)90432-X.
22. Latch J. N., Hamilton R. F., Holian A., et al. (2008). Toxicity of lunar and martian dust simulants to alveolar macrophages isolated from human volunteers. *Inhal. Toxicol.*, **20**, № 2, 157–165. DOI: 10.1080/08958370701821219.
23. Mrozek S., Vardon F., Geeraerts T. (2012). Brain temperature: Physiology and pathophysiology after brain injury. *Anesthesiol. Res. Pract.*, **2012**, 989487. DOI: 10.1155/2012/989487.
24. Nordeen C. A., Martin S. L. (2019). Engineering Human Stasis for Long-Duration Spaceflight. *Physiology*, **34**, № 2, 101–111. DOI: 10.1152/physiol.00046.2018.
25. Oberdörster G., Elder A., Rinderknecht A. (2009). Nanoparticles and the brain: cause for concern? *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **9**, № 8, 4996–5007. DOI: 10.1166/JNN.2009.GR02.
26. Oberdörster G., Oberdörster E., Oberdörster J. (2005). Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ. Health Perspect.*, **113**, № 7, 823–39. DOI: 10.1289/ehp.7339.
27. Paliienko K., Pastukhov A., Babič M., et al. (2020). Transient coating of γ -Fe₂O₃ nanoparticles with glutamate for its delivery to and removal from brain nerve terminals. *Beilstein J. Nanotechnol.*, **11**, № 1, 1381–1393. DOI: 10.3762/bjnano.11.122.
28. Pastukhov A., Borisova T. (2018). Levetiracetam-mediated improvement of decreased NMDA-induced glutamate release from nerve terminals during hypothermia. *Brain Res.*, **1699**, DOI: 10.1016/j.brainres.2018.06.032.
29. Pastukhov A., Borisova T. (2018). Combined application of glutamate transporter inhibitors and hypothermia discriminates principal constituent processes involved in glutamate homo- and heteroexchange in brain nerve terminals. *Ther. Hypothermia Temp. Manag.*, **8**, № 3, 143–149. DOI: 10.1089/ther.2017.0047.
30. Pastukhov A., Krisanova N., Pyshev K., et al. (2020). Dual benefit of combined neuroprotection: Cholesterol depletion restores membrane microviscosity but not lipid order and enhances neuroprotective action of hypothermia in rat cortex nerve terminals. *Biochim. Biophys. Acta - Biomembr.*, **1862**, № 9, 183362. DOI: 10.1016/J.BBAMEM.2020.183362.
31. Patsula V., Borisova T., Kostiv U., et al. (2019). Effect of Fe₃O₄@SiO₂ Nanoparticle Diameter on Glutamate Transport in Brain Nerve Terminals. *Nanosci. Nanotechnol. Lett.*, **11**, № 1, 61–69. DOI: 10.1166/NNL.2019.2853.
32. Pozdnyakova N., Borisova T. (2018). Evaluation of the neurotoxicity of the inorganic analogue of Martian dust enriched with the new carbon nanoparticles. *Sp. Res. Ukr. 2016–2018*, 62–65.
33. Pozdnyakova N., Dudarenko M., Borisova T. (2019). Age-Dependency of Levetiracetam Effects on Exocytotic GABA Release from Nerve Terminals in the Hippocampus and Cortex in Norm and After Perinatal Hypoxia. *Cell. Mol. Neurobiol.*, **39**, № 5, 701–714. DOI: 10.1007/S10571-019-00676-6.
34. Pozdnyakova N. G., Pastukhov A. O., Dudarenko M. V., et al. (2018). Enrichment of the inorganic analogue of martian dust with the novel carbon nanoparticles obtained during combustion of carbohydrates and assesment of its neurotoxicity. *Sp. Sci. Technol.*, **24**, № 2, 60–71. DOI: 10.15407/knit2018.02.060.
35. Pozdnyakova N., Pastukhov A., Dudarenko M., et al. (2017). Enrichment of inorganic Martian dust simulant with Carbon component can provoke neurotoxicity. *Microgravity Sci. Technol.*, **29**, № 1-2, 133–144. DOI: 10.1007/s12217-016-9533-6.
36. Scully R. R., Lam C. W., James J. T. (2013). Estimating safe human exposure levels for lunar dust using benchmark dose modeling of data from inhalation studies in rats. *Inhal. Toxicol.*, **25**, № 14, 785–793. DOI: 10.3109/08958378.2013.849315.
37. Tarasenko A. S., Sivko R. V., Krisanova N. V., et al. (2010). Cholesterol depletion from the plasma membrane impairs proton and glutamate storage in synaptic vesicles of nerve terminals. *J. Mol. Neurosci.*, **41**, № 3, 358–367. DOI: 10.1007/S12031-010-9351-Z.

Стаття надійшла до редакції 26.08.2022

Після доопрацювання 26.08.2022

Прийнято до друку 02.09.2022

Received 26.08.2022

Revised 26.08.2022

Accepted 02.09.2022

A. O. Pastukhov, Researcher, Ph.D. in Biology

ORCID: 0000-0001-5837-6412

N. V. Krisanova, Senior Researcher, Ph.D. in Biology

N. G. Pozdnyakova, Senior Researcher, Ph.D. in Biology

ORCID: 0000-0001-9922-5389

A. A. Borysov, Leading Engineer

R. V. Sivko, Researcher, Ph.D. in Biology

A. G. Nazarova, Leading Engineer

L. M. Kalinovska, Postgraduate

ORCID: 0000-0002-3741-7040

T. O. Borisova, Prof., Dr. Sci. In Biology, Head of the Department of Neurochemistry

ORCID: 0000-0002-6533-1420

E-mail: tborisov@biochem.kiev.ua

Palladin Institute of Biochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine

9 Leontovicha Str., Kyiv, 01054 Ukraine

DEVELOPMENT OF NEUROPROTECTION APPROACHES FOR LONG-TERM SPACE MISSIONS

The study aimed to develop a strategy and methodology for neuroprotection during long-term space missions, which is based on a comprehensive study of the impact of therapeutic hypothermia combined with the action of neuroactive drugs on the key characteristics of synaptic transmission in brain nerve terminals, which change under the influence of planetary dust and conditions of altered gravity. Development of neurotoxicity under conditions of altered gravity may result from excess extracellular glutamate caused by the reverse functioning of glutamate transporters. Under conditions of moderate and deep hypothermia, a gradual decrease in the transporter-mediated release of L-[¹⁴C]glutamate from nerve terminals was demonstrated, which is stimulated by plasma membrane depolarization with KCl and dissipation of the proton gradient of synaptic vesicles by the protonophore FCCP. This fact indicates a neuroprotective effect, which increases when hypothermia changes from moderate to deep. The possible risks of using hypothermia in space medicine have been determined. Hypothermia is not able to reduce the extracellular level of L-[¹⁴C]glutamate and [³H]GABA, which increases under the conditions of exposure to carbon-containing planetary dust. Hypothermia can lead to a further decrease in the rate of accumulation of neurotransmitters in the presence of carbon-containing planetary dust and to contribute to the development of neurotoxicity, which is a possible risk of using hypothermia in space medicine. In this context, it is important to choose the optimal individual temperature regime for each astronaut.

Keywords: hypothermia, planetary dust, L-[¹⁴C]glutamate, [³H]GABA, synaptosomes, brain nerve terminals.

<https://doi.org/10.15407/knit2022.06.063>
УДК 349.6, 346.3

Н. Р. МАЛИШЕВА, зав. відділу, заст. дир. Міжнародного центру космічного права,
д-р юрид. наук, проф., акад. Нац. акад. прав. наук України
ORCID: 0000-0001-6630-227X
E-mail: nataliia_malysheva@ukr.net
А. М. ГУРОВА, наук. співроб., канд. юрид. наук
E-mail: a.m.hurova@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4134-761X

Інститут держави і права імені В. М. Корецького Національної академії наук України
вул. Трьохсвятительська 4, Київ, Україна, 01601

ДОВГОСТРОКОВА СТАЛІСТЬ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ: НОВІ ВИКЛИКИ ПЕРЕД МІЖНАРОДНИМ І НАЦІОНАЛЬНИМ КОСМІЧНИМ ПРАВОМ

Висвітлено результати дослідження правових проблем, які є актуальними для забезпечення довгострокової сталості космічної діяльності, курс на яку як дороговказний проголошено ООН. Виокремлено правовідносини, які з одного боку дозволяють поштовхнути комерційну складову космічної галузі вітчизняної економіки, а з іншого — сприяють утвердженню відповідальної сталості поведінки усіх суб'єктів космічної діяльності в загальнопланетарному масштабі. Під таким кутом зору розглянуто специфічні проблеми державно-приватного партнерства в космічній галузі, висунуто пропозиції щодо правової моделі регулювання дистанційного зондування Землі, наголошено на викликах перед міжнародним і національним правом у зв'язку з кіберзагрозами космічній діяльності, зокрема й за допомогою використання блокчейн-технології, проаналізовано міжнародно-правові проблеми регулювання видобування ресурсів космосу під кутом зору забезпечення сталості цієї діяльності, наголошено на необхідності напрацювання правових механізмів, вироблення норм та принципів відповідальної поведінки людини в космосі.

В результаті дослідження було запропоновано: 1) правові засоби лібералізації участі державних підприємств як суб'єктів, а не об'єктів відносин державно-приватного партнерства, 2) модель врегулювання відносин із забезпечення України даними ДЗЗ, зокрема шляхом публічних закупівель Центром управління і випробування космічних засобів, 3) міжнародно-правові та національно-правові механізми боротьби із кіберзагрозами космічній діяльності, 4) правові інститути, які слід розвивати для унормування діяльності із видобування космічних ресурсів, 5) правила забезпечення відповідальної космічної діяльності.

Ключові слова: довгострокова сталість космічної діяльності, державно-приватне партнерство, дистанційне зондування Землі, кібербезпека космічної діяльності, блокчейн-технологія, видобування космічних ресурсів, відповідальна поведінка в космосі.

Сучасна космічна діяльність характеризується диверсифікацією в геометричній прогресії форм дослідження та використання космічного простору. Зростання комерційної привабливості та

лібералізація регулювання призвела до експонентного розширення кола суб'єктів, особливо приватних, які щороку виводять сотні, а то й тисячі супутників на орбіту навколо Землі. Це

Цитування: Малишева Н. Р., Гурова А. М. Довгострокова сталість космічної діяльності: нові виклики перед міжнародним і національним космічним правом. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6 (139). С. 63—73. <https://doi.org/10.15407/knit2022.06.063>

своєю чергою породжує питання пошуку балансу між економічно вигідним використанням цього ресурсу сьогодні та його збереженням для майбутнього. Виходячи з цього, на міжнародному рівні виникла ідея поширення концепції сталого розвитку на діяльність людства в такій просторовій частині навколишнього середовища, як космос.

На 62-й сесії Комітету ООН з використання космічного простору у мирних цілях (2019 р.) було презентовано Керівні принципи забезпечення довгострокової сталості космічної діяльності [9], де останню визначено як здатність підтримувати здійснення космічної діяльності у подальшому до нескінченності таким чином, щоб забезпечити досягнення цілей справедливого доступу до вигід від дослідження та використання космічного простору у мирних цілях задля забезпечення потреб теперішнього покоління, але при збереженні при цьому космічного середовища для майбутніх поколінь. А вже на 76-й сесії Генеральної асамблеї ООН 25 жовтня 2021 р. було прийнято Резолюцію 76/3 «Порядок денний «Космос-2030»: космос як двигун сталого розвитку», яка розглядається як перспективна стратегія, спрямована на посилення ролі космічних технологій в реалізації глобальних програм та у вирішенні питань забезпечення довгострокової сталості космічної діяльності [4].

З огляду на вказане, в Інституті держави і права імені В. М. Корецького НАН України було здійснено дослідження правових проблем, які охоплюються сферою довгострокової сталості космічної діяльності. Визначаючи сферу та предмет дослідження, наріжним каменем вирішено було покласти такі правовідносини, які дозволили б одночасно забезпечити пошук балансу комерційного аспекту космічної галузі вітчизняної економіки та відповідальну сталу поведінку усіх суб'єктів космічної діяльності в загальнопланетарному контексті. Виходячи з цього, а також зважаючи на правові проблеми, актуальні саме для України, виокремлено п'ять ключових сегментів відповідної проблематики, серед яких перші два були спрямовані на формулювання пропозицій щодо активізації ринку космічних послуг в Україні, а три інших — на формування

позиції України в системі ООН щодо співпраці з міжнародними партнерами з ключових аспектів забезпечення довгострокової сталості космічної діяльності.

Метою дослідження є виокремлення кола першочергових проблем забезпечення довгострокової сталості космічної діяльності в Україні і світі та надання рекомендацій щодо їхнього вирішення.

Для досягнення цієї мети визначено такі завдання:

- виявити причини гальмування впровадження одного з найбільш перспективних інструментів комерціалізації космічної діяльності в Україні — державно-приватного партнерства та сформулювати пропозиції задля його реальної реалізації;

- проаналізувати зарубіжні моделі правового регулювання однієї з найбільш комерційно розвинених галузей космічної діяльності у світі та Україні, а саме дистанційного зондування Землі з космосу та запропонувати заходи вдосконалення вітчизняного законодавства з урахуванням позитивного зарубіжного досвіду;

- розробити правові механізми боротьби з кіберзагрозами космічній діяльності за допомогою стимулювання розвитку новітніх засобів, зокрема таких, як блокчейн;

- прослідкувати за ключовими тенденціями правового регулювання видобування космічних ресурсів задля належної підготовки України до участі у відповідній царині космічної діяльності на засадах довгострокової сталості;

- сформулювати пропозиції щодо відповідальної поведінки як в космосі, так і у зв'язку з його використанням.

Всі ці завдання виконувались поетапно.

Для виконання першого етапу дослідження було проаналізовано сучасні наукові підходи до змісту поняття «*державно-приватне партнерство*» (надалі — ДПП) — правового механізму, який дозволяє поєднувати виконання традиційних державних функцій з можливостями приватного бізнесу. Виявлено загальні та специфічні для космічної галузі ознаки його договірних форм, а саме концесії, управління майном, спільної діяльності та змішаних договорів.

Окреслено основні проблемні аспекти кожного з них для розвитку окремих видів космічної діяльності, вказано на наявні законодавчі перепони на шляху реалізації відповідного правового інституту. Значну частину результатів виконання першого етапу дослідження було викладено у нашій роботі [16].

Разом з тим додатково до результатів, поданих у вказаній публікації, аналіз зарубіжного законодавства у сфері ДПП та практики його застосування в космічній галузі господарювання дають підстави зробити два висновки: а) платформовий механізм ініціювання ДПП створює умови для активного діалогу під час узгодження форм перспективного співробітництва, провідну роль в якому відіграють приватні суб'єкти; б) набір договірних форм ДПП, передбачених вітчизняним законодавством, суттєво не відрізняється від зарубіжних інструментів, а їхнє невикористання космічним сектором України зумовлюється цілою низкою процедурних перепон, створюваних як чинним космічним, так і договірним правом України. Так, перешкодою для участі вітчизняних приватних суб'єктів господарювання в концесійних договорах до набрання чинності у січні 2021 р. змін до Закону «Про космічну діяльність» вважалось положення ст. 4 Закону України «Про підприємництво», згідно з яким будь-яка діяльність, пов'язана з розробленням, випробуванням, виробництвом та експлуатацією ракетно-космічних, як і їхні космічні запуски із будь-якою метою, могла здійснюватися тільки державними підприємствами та організаціями. Разом з тим і після скасування цієї норми у космічній галузі не з'явилися договори про ДПП. Вказане свідчить про те, що це положення було не єдиним, що потребувало змін. Весь порядок укладення договорів у цій сфері потрібно переглянути.

По-перше, якщо держава в особі ДКА України бажає зберегти свою участь у акціонерних товариствах, які належать до сфери космічної діяльності, вона повинна діяти за ринковими «правилами гри» та пропонувати гарантії, які діють у межах ДПП на тристоронній основі (держава — товариство — інвестор). При цьому, оскільки одним з основних критеріїв створення сприятливого інвестиційного клімату є перед-

бачуваність, держава має гарантувати у межах ДПП умови, базовані на її участі в такому товаристві, які були б стабільними протягом усього строку дії договору щодо ДПП. Вказане, на нашу думку, сприятиме економічному зростанню змішаного за формою власності товариства, буде вигідним для приватного партнера (інвестора), а також сприятиме більш ефективній реалізації космічних програм держави. До того ж вважаємо положення ст. 1 Закону України «Про ДПП» [1] про те, що державні підприємства можуть брати участь в уже укладеному у межах ДПП договорі, таким, що не відповідає правовому статусу відповідних суб'єктів, оскільки такі підприємства (а також державні установи) краще володіють інформацією про внутрішньогосподарську специфіку діяльності, а отже здатні запропонувати більш соціально ефективний та економічно рентабельний проєкт ДПП. З цих підстав вбачається необхідним для стимулювання розвитку відносин з ДПП в космічній сфері надати державним підприємствам правомочності вступати у відносини ДПП на етапі ініціювання, а не розглядати їх лише як цілісний майновий комплекс, який є об'єктом укладеного договору без відома його керівництва та колективу. Зазначене не усуває з цих відносин суб'єкта управління, але сприяє підвищенню врахування ним внутрішньогосподарських інтересів підприємств, що перебувають у його управлінні. Таким чином, всі організаційно-правові форми, з огляду на відносну економічну самостійність, а також глибоку поінформованість про техніко-економічний потенціал свого устаткування, доцільно перевести з розряду об'єкта до категорії суб'єкта відповідних відносин, надавши їм певної автономності у процесі ініціювання відносин ДПП та участі в них.

По-друге, ДПП слід чітко відділяти від публічних закупівель та аутсорсингу (залучення зовнішніх виконавців до здійснення деяких неосновних завдань бізнес-проєктів на підрядних засадах), не зважаючи на деяку схожість цих інститутів. З усіх визначених в законодавстві форм ДПП договір про спільну діяльність є однією з найперспективніших форм залучення приватних партнерів до діяльності державних підприємств задля здійснення конкретних проєктів,

адже дозволяє вносити будь-які вклади, про які домовляться сторони, або виконувати окремих сегмент спільного проєкту за допомогою власних ресурсів. Разом з тим ця договірна форма передбачає необхідність врахування положення про те, що основні фонди державних підприємств, які не підлягають приватизації, не можуть бути внесками за договором про спільну діяльність. Використання договору про трансфер технологій для ДПП також має ряд переваг для розвитку космічної діяльності за рахунок об'єктів інтелектуальної власності, створених за бюджетні кошти, проте орієнтування вітчизняного законодавства в основному на іноземного інвестора може негативно позначитися на внутрішньодержавному трансфері, який має бути пріоритетним для розвитку національної космічної діяльності. Для зміни цієї ситуації необхідно переглянути в цій частині Закони України «Про трансфер технологій» та «Про космічну діяльність» і прийняти на їхній основі нормативно-правові акти для забезпечення сприятливих умов трансферу технологій, зокрема встановлення умов конкурсної передачі таких технологій, чітке визначення ціни об'єкта інтелектуальної власності, що передається, тощо.

Зазначені та деякі інші пропозиції були викладені у науковій записці «Щодо правового забезпечення державно-приватного партнерства для розвитку вітчизняної космічної галузі господарювання», направленої для можливого впровадження Державному космічному агентству ще у 2020 році, проте з огляду на те, що в космічній галузі з того часу не було ініційовано жодного договору про ДПП*, можна зробити висновки щодо врахування відповідних пропозицій.

Здійснивши дослідження другого з виділених завдань, а саме проаналізувавши більше десяти різноманітних моделей правового регулювання відносин з дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з метою рецепції вітчизняним законодав-

* В цілому по Україні, за даними центральних органів виконавчої влади, станом на 2021 р. на умовах ДПП було укладено 192 договори (жодного в космічній галузі), з яких виконуються лише 39 договорів; 118 не виконуються, а 35 розірвані, або строк їхнього виконання завершився.

ством позитивного світового досвіду в цій сфері, було зроблено висновки про те, що оцінка можливостей врахування зарубіжного досвіду з регулювання ДЗЗ має брати до уваги державну чи приватну правову природу, ступінь розвитку відповідного ринку послуг в країні, а також враховувати організаційно-інституційну структуру забезпечення відповідних відносин; політику поширення даних; дозвільне регулювання діяльності із ДЗЗ та низку інших аспектів. Крім цього, було проведено детальне дослідження особливостей укладення договорів публічних закупівель саме даних ДЗЗ, на основі чого запропоновано модель проведення публічних закупівель Національним центром управління і випробування космічних засобів як центральної закупівельної організації та поєднання цього статусу з виконанням послуг із безпосереднього прийняття та обробки даних ДЗЗ. Основні результати виконання цієї частини дослідження були стисло викладені у наших публікаціях [12, 17].

Крім стимулювання економічного розвитку та соціального забезпечення космічними послугами, не менш важливим зрізом довгострокової сталості космічної діяльності є забезпечення від екологічних та інших загроз, серед яких ключову роль набувають кіберзагрози, дослідженню правових засобів боротьби з якими був присвячений третій етап дослідження. Наразі немає міжнародних документів, здатних комплексно врегулювати цю проблему. Натомість набуває розвитку поширене тлумачення відповідних норм національного космічного права, розроблення на їхній основі міжнародних рекомендацій та збірок кращих практик.

У цьому контексті в дослідженні було зроблено акцент на питанні, чи можна застосовувати до правовідносин із забезпечення кібербезпеки Конвенцію про міжнародну відповідальність за шкоду, завдану космічними об'єктами (надалі — Конвенція про відповідальність). З часу прийняття цієї Конвенції космічні об'єкти та механізми управління ними значно змінилися, тому вважаємо, що програмне забезпечення можна віднести до складових частин космічного об'єкта, які охоплюються поняттям «космічний об'єкт» і є його невід'ємною частиною. Кібе-

ратаки на програмне забезпечення космічного об'єкта можуть призвести до втрати контролю над ним або спровокувати зіткнення з іншим космічним об'єктом. І в цьому контексті посягання на програмне забезпечення космічного об'єкта підлягає захисту Конвенцією про відповідальність. Однак об'єктом кібератак можуть стати не тільки космічні об'єкти (спутники), але й сигнали між супутниками та наземною станцією управління, станцією ретрансляції даних, сегментом користування космічної системи, терміналами або пристроями, що використовуються для прийому або обробки супутникового сигналу. Вважаємо, що такі цільові об'єкти не можуть бути захищені Конвенцією про відповідальність, оскільки вона передбачає відповідальність за пошкодження саме космічних об'єктів. Та й у цьому випадку застосування Конвенції про відповідальність проблема доведення вини за шкідливі наслідки є справою не простою.

На основі аналізу концепції відповідальності за вини в космічному праві було запропоновано визначати в національному законодавстві космічних держав заходи із запобігання кібератакам, спрямовані як на збереження ресурсів суб'єктів космічної діяльності, насамперед приватних, від небезпек кібератак, так і на мінімізацію міжнародної відповідальності за національну космічну діяльність, що покладається на державу. Взірцевим у цьому контексті є законодавство США, в якому, крім розгалуженої системи норм щодо кібербезпеки, відповідні питання регулюються й Директивою з космічної політики № 5 від 04.09.2020, в якій вперше визначено, що принципи та практики кібербезпеки мають застосовуватись також до космічних систем. В Україні базове законодавство про кібербезпеку перебуває на стадії формування, тому розроблення спеціального правового забезпечення цих відносин для космічної сфери може зіштовхнутися зі значними проблемами. Внаслідок дублювань та прогалин в розмежуванні повноважень між Мінекономіки, а згодом Мінстратегпромом, з одного боку, та ДКА України — з іншого, незрозуміло, який із цих органів має бути відповідальним у сфері космічної діяльності за вказаний

сектор критичної інфраструктури. На нашу думку, вказану функцію мало б взяти на себе ДКА України. З часу проведеного нами дослідження було прийнято Закон України «Про критичну інфраструктуру», в ч. 4 ст. 9 якого космічна діяльність, космічні технології та послуги було віднесено до життєво важливих функцій та/або послуг, порушення яких призводить до негативних наслідків для національної безпеки України. Проте поки що незрозуміло, як саме діятиме механізм віднесення до об'єктів критичної інфраструктури та визначення категорії їхньої критичності в космічній галузі в контексті ймовірного повторного входження цієї галузі господарювання до сфери відання Міністерства економіки України та майбутньої діяльності нещодавно створеної Державної служби захисту критичної інфраструктури та забезпечення національної системи стійкості України [22]. Крім того, в оновленому законодавстві так і не знайшлося відповідей на висловлені в нашому дослідженні запитання: 1) який режим кіберзахисту буде забезпечено для приватних суб'єктів космічної діяльності, яких після внесення змін до Закону України «Про космічну діяльність», що набули чинності у січні 2020 року, стає дедалі більше; 2) як буде здійснюватись кіберзахист підприємств з різними видами космічної діяльності, кожен з яких вимагає своїх специфічних засобів захисту.

Окремої уваги в дослідженні правових засад кіберзахисту в сфері космічної діяльності застосовують юридичні аспекти блокчейн-технології, яка має багатофункціональний потенціал забезпечення довгострокової сталості космічної діяльності. Технологія блокчейн, інтегруючись в галузі господарювання, якісно її перетворює. Так само і нові відносини, які складаються на цьому ґрунті, потребують нового комплексного правового регулювання, що має охопити такі правові інститути: договірних права стосовно дотримання умов, за яких смарт-контракт визнається укладеним та чинним; електронного цифрового підпису, включаючи криптографічні ключі; захисту прав споживачів, які укладають смарт-контракти та мають добре розуміти сутність взятих на себе зобов'язань; захисту персональних даних, які в мережі блокчейн можуть

бути відкритими для всіх та не видаляються протягом функціонування мережі; цінних паперів та фінансового регулювання, зокрема відповідно до правил про запобігання відмиванню доходів; оподаткування та адміністрування (ліцензування, надання дозволів на діяльність, пов'язану із використанням технології блокчейн, зокрема хмарних послуг).

Таким чином, для якісного правового забезпечення використання технології блокчейн у різних галузях господарювання, прийняття так званого рамкового Закону, який визначав би відповідну термінологію та основні питання, пов'язані з блокчейн, є лише першим мінімально необхідним кроком, що має супроводжуватися подальшим перетворенням означених вище правових інститутів.

Вивчаючи питання довгострокової сталості космічної діяльності та використання новітніх технологій для її забезпечення, неможливо було не приділити увагу питанню видобування космічних ресурсів, яке відкриває двері до повного переформатування світової економіки, буквально розширюючи її до космічних масштабів; зміни у підходах до міжнародно-правового регулювання, але водночас несе й суттєві ризики безпеці в космосі та на Землі у зв'язку з космічною діяльністю. Саме тому, а також зважаючи на підписання Україною Домовленостей у рамках космічної програми «Артеміда», було обрано для дослідження **правові аспекти видобування космічних ресурсів на засадах сталості**.

Вивчення наявних правових, етичних, політичних рамок показує, що підхід до регулювання забезпечення сталого розвитку відображається через запобіжні заходи, встановлення вимог щодо раціонального використання ресурсів тощо. Міжнародним правом сьогодні здійснюється пошук інструментів регулювання відносин, які складаються у сфері дослідження, розвідки та розробки ресурсів небесних тіл. Чинні міжнародні договори з питань космічної діяльності лише частково можна застосувати до нових відносин, які складаються. Здійснюється пошук нових форм і засобів регулювання відповідних відносин [15]. Проблемою напрацювання узгодженого механізму міжнародно-правового ре-

гулювання видобування ресурсів космосу стала біполяризація правотворчого процесу, пов'язана з паралельним започаткуванням двох міжнародних програм: «Артеміда», засновником якої стало НАСА [20] і до якої, зокрема, приєдналась Україна, і Міжнародна наукова місячна станція, до реалізації якої приступили Роскосмос та Китайська Національна космічна адміністрація [13]. Основним завданням майбутньої діяльності Робочих груп з космічних ресурсів Юридичного підкомітету COPUOS буде пошук шляхів подолання нових викликів для міжнародного права, прийнятних для обох коаліцій, з таких проблем, як критерії встановлення зон безпеки; інституціоналізація визнання прав власності усіма учасниками; модель розподілу вигод (на основі ресурсів або полегшення доступу до них); взаємосумісність внутрішніх процедур авторизації та технічних стандартів, що забезпечуватимуть безпечну та сталу діяльність з видобування космічних ресурсів; авторитетні процедури вирішення суперечок.

Вбачаємо при цьому за необхідне проведення інвентаризації можливостей України щодо участі у цьому проекті, поширивши знання про Програму, її особливості, пріоритети та умови участі серед високотехнологічних підприємств та організацій космічної галузі. У цьому процесі непересічну роль має відіграти Національна академія наук України, чимало інститутів якої орієнтовані на космічну діяльність і в змозі здійснити аналіз наукових і технологічних перспектив участі України в дослідженні та використанні ресурсів Місяця, а також Українська асоціація високотехнологічних підприємств і організацій «Космос», що об'єднує кілька десятків суб'єктів, здатних взяти участь в програмі «Артеміда».

Наростання міжнародної геополітичної напруги, яка вже вилилась в неспровоковану збройну агресію російської федерації проти України, разом із кібератаками на супутникові дані та супутники зв'язку, що набуває все більшого поширення, зокрема у космічному просторі, зумовило необхідність дослідити питання **відповідальної поведінки в космосі**, від якої значною мірою залежить довгострокова сталість космічної діяльності.

Так, Куан Вей Чен, науковий співробітник Університету МакГіл, наголошує в своєму дослідженні, що уряди та приватні оператори в своїй діяльності мають виходити з ключової максими про те, що космос є спільним надбанням, а тому діяльність однієї держави чи компанії неодмінно впливатиме на діяльність всіх інших [14]. З огляду на вказане, космічна діяльність все більше стала досліджуватись в контексті концепції «трагедії загального надбання», запропонованої екологом Гаретом Хардіном. Сутність цієї концепції полягає в тому, що порядок, який визначає свободу використання обмеженого ресурсу, приречений на руйнування. Визначена ст. 1 Договору про принципи діяльності держав з дослідження і використання космічного простору, включаючи Місяць та інші небесні тіла, відкритість для дослідження і використання та вільність доступу до всіх районів небесних тіл [28] уже створює тло для проявів такої трагедії. Так, протисупутниковий тест 15.11.2021, в межах якого РФ знищила свій супутник «Космос 1408» вагою 2200 кг, призвів до утворення на робочій висоті МКС та великої кількості діючих супутників (480 км) 1500 шматків небезпечного космічного сміття [24]. Нещодавній обмін вербальними нотами між США та Китаєм щодо ризику зіткнення угруповання «Старлінк» та космічної станції Китаю наприкінці 2021 р. [11] також свідчить про те, що космічний простір сьогодні не є виключеним зі сфер військового та економічного зіткнення, що безумовно є серйозною реальною небезпекою довгостроковій сталості космічної діяльності. Виходом з трагедії спільного надбання, на думку Г. Хардіна, є фундаментальне розширення моральності, тобто визнання необхідності [10]. І в цьому контексті необхідно знову «повернутись обличчям» до екологічних концепцій, серед яких найбільш актуальними для відповідної сфери є концепції екологічного боргу «la dette écologique» [19, с. 9] та принцип солідарності «le principe de la solidarité» [5, с. 694], побудовані на визнанні індивідуальної та колективної взаємозалежності людини і навколишнього середовища, що призводить до реконструкції відносин із ринкових до більш соціальних.

У науковій літературі в основному сходяться на тому, що процес створення всезагальних норм відповідальної поведінки в космосі формуватиметься із маленьких кооперацій між державами та приватними суб'єктами. Так, пропонується державам укладати угоди щодо управління територіями загального користування, уточнюючи свої зобов'язання ставитися до космосу як до спільного надбання та дотримуючись механізмів управління, які відображають це зобов'язання, для кращого досягнення національних цілей [25], політико-правова рамка для чого частково відображена в Домовленостях програми «Артеміда». При цьому робиться акцент на тому, що наявні та майбутні нові передові практики, рекомендації та стандарти повинні включати метод вимірювання відповідності, який приносить переваги суб'єктам, які їх дотримуються, і певні витрати для тих, хто їх не виконує [18].

Першим кроком у цьому напрямку є визначене Резолюцією ГА ООН від 24 грудня 2021 р. створення Робочої групи відкритого складу щодо зменшення космічних небезпек, до мандату якої входить винесення рекомендацій щодо можливих норм, правил та принципів відповідальної поведінки у зв'язку з загрозами для космічних систем з боку держав, включаючи, за обставинами, питання про те, як вони сприятимуть проведенню переговорів щодо юридично обов'язкових документів, зокрема щодо запобігання гонці озброєнь у космічному просторі [3]. Діяльність робочої групи передбачена на період 2022—2023 роки, та вже цього року свої позиції представили США, Китай, Франція, ФРН [23], Італія [21], РФ, УНІДІР, Міжнародний комітет Червоного Хреста та інші. Спільною позицією держав є джерельна база, з якої слід черпати норми відповідальної космічної діяльності. Так, всі погоджуються щодо доцільності застосування Статуту ООН, договорів про космос, а також рекомендаційних норм щодо транспарентності та зміцнення довіри, довгострокової сталості космічної діяльності, мінімізації космічного сміття, норм гуманітарного права. УНІДІР додає до цього переліку норми Договорів про часткову заборону ядерних випробувань та про заборону ядерної зброї, Конвенцію про заборону військового

чи будь-якого іншого ворожого використання засобів впливу на природне середовище, Режимів контролю за різними видами озброєння, Конвенції про біологічну та хімічну види зброї, концепцію «належного врахування» з норм повітряного права та концепцію «суверенітету» морського права. При цьому дивно, що серед джерел екологічного права чомусь було виділено лише Стокгольмську декларацію щодо навколишнього середовища і розвитку (1992 р.), що, на нашу думку, є вкрай недостатнім [8]. Міжнародний комітет Червоного Хреста також виділив ряд норм, які можуть бути застосовані задля забезпечення відповідальної поведінки в космосі, серед яких заборона прямої атаки на цивільні космічні об'єкти, так само як і невибіркові атаки та атаки на засоби забезпечення життєдіяльності [6].

Разом з тим підходи держав, як і при розробленні космічних договорів у часи холодної війни, розбились на два протилежних табори, по суті з тих самих підстав. Китай та РФ наполягають на прийнятті загальнообов'язкових норм щодо нерозміщення жодних видів озброєння в космосі, пропагуючи високу ефективність запропонованого ними проекту договору про запобігання розміщення зброї в космічному просторі, застосування сили чи погрози силою, а також ініційоване РФ уже без Китаю політичне зобов'язання щодо нерозміщення зброї в космосі першими, яке підтримали 30 держав, які не мають технічної можливості таку зброю розміщувати [7]. Таким чином, на цьому полюсі увага сконцентрована в основному на військових загрозах та небезпеках, що штовхає наприклад ту саму РФ цинічно вимагати не використовувати космічні засоби для протиракетної оборони, проти цілей на Землі або у повітрі, а також для ліквідації таких систем, вже наявних у держав. Крім цього, Китай непокоїть участь приватних підприємств у військовій космічній діяльності, у зв'язку з чим він закликає держави до більш пильного нагляду за їхньою діяльністю, зокрема щоб останні належним чином використовували телекомунікаційний спектр і орбітальні ресурси в космічному просторі, щоб не підривати права держав, що розвиваються, на мирне використання космічного простору [26], що вочевидь є відголоском декількох небез-

печних зближень між угрупованням «Старлінк» та Китайською космічною станцією. З іншого боку, США, ФРН, Франція, Італія та ряд інших держав наполягають на необхідності розроблення юридично обов'язкових норм, які відповідали б динаміці змін кращих практик космічної діяльності. Примітно, що ці держави більшу увагу приділяють саме подвійному використанню космічних систем, поділяючи небезпечну діяльність за окремими видами, які потребують специфічного регулювання, зокрема на радіоперешкоди, протисупутникові тести, кібератаки, різного роду атаки на космічну інфраструктуру на Землі тощо [29]. Крім того, держави цього блоку наголошують на необхідності неухильного дотримання всіх заходів транспарентності та зміцнення довіри, при цьому фокусуючи значну увагу на проблемі космічного сміття. Франція, зокрема, запропонувала розробити норму, яка б забороняла будь-які дії, які могли б призвести до утворення довготривалого та численного сміття в космосі [27].

Таким чином, ми можемо спостерігати черговий виток протистояння в космосі, який не надихає перспективою взаємного розуміння чи поваги до правових норм, незалежно від їхнього договірної чи добровільного характеру. Іронічно, що держава-агресор намагається максимально запевнити світ щодо свого наміру в необхідності розроблення певних загальнообов'язкових норм. При цьому вже сьогодні весь світ пересвідчився в тому, що ці норми ця держава виконуватиме виключно на свій розсуд. Однією із численних ілюстрацій цієї тези є ігнорування рішення про запровадження тимчасових заходів у Міжнародному суді ООН у справі «Україна проти Росії щодо геноциду» від 16.03.2022 [2]. З іншого боку, відчайдушне бажання запобігти розгортанню воєнних дій в космосі штовхає інші держави до вжиття заходів забезпечення транспарентності та зміцнення довіри в кооперації з тими, хто розуміє ці заходи... дуже своєрідно.

Україна, зазнавши нападу за самостійне обрання свого місця між цими двома таборами у відносинах на Землі, має практичний матеріал щодо формулювання пропозицій відповідальних дій і в космосі, ключову позицію в якому

повинні зайняти гарантії безпеки, що базуються на алгоритмі дій щодо недопущення невідповідальної поведінки, чи вжиття заходів, якщо таку поведінку таки було реалізовано. Поки в світі з обмеженим рівнем підґрунтя реалізації моральних норм окремими учасниками не досягнуто здатності забезпечити довгострокову сталість космічної діяльності, найбільш ефективним механізмом є стримування. Саме тому наші наукові зусилля в цій частині спрямовані на вироблення пропозицій, які від імені України могли б бути спрямовані Робочій групі відкритого складу щодо зменшення космічних небезпек, а також Комітету ООН з використання космічного про-

стору у мирних цілях для їхнього врахування при розробленні міжнародних документів щодо зменшення космічних загроз шляхом прийняття норм, правил і принципів відповідальної поведінки.

Підводячи підсумки, вбачаємо за необхідне висловити подяку НАН України за впровадження Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2018—2022 рр., яка надала нам можливість провести дослідження у межах узагальнюючої проблематики правового забезпечення довгострокової сталості космічної діяльності.

REFERENCES

1. About public-private partnership. Law of Ukraine dated 1.07.2010 (as amended). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2404-17#Text> (Last accessed: 09.09.2022).
2. Allégations de Génocide au Titre de la Convention pour la Prévention et la Répression du Crime de Génocide (Ukraine c. fédération de russie). 16 mars 2022, Ordonnance. URL: <https://www.icj-cij.org/public/files/case-related/182/182-20220316-ORD-01-00-EN.pdf> (Last accessed: 09.09.2022).
3. A/RES/76/231 30. Prevention of an arms race in outer space: reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours. Resolution adopted by the General Assembly on 24 December 2021. URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N21/417/21/PDF/N2141721.pdf?OpenElement> (Last accessed: 09.09.2022).
4. A/RES/76/3. The «Space2030» Agenda: space as a driver of sustainable development. URL: https://www.unoosa.org/oosa/ooasdoc/data/resolutions/2021/general_assembly_76th_session/ares763.html (Last accessed: 09.09.2022).
5. Camproux Duffrène M.-P. (2020). Les communs naturels comme expression de la solidarité écologique. *Revue Juridique de l'Environnement*, 4, 689—713.
6. Constraints under International Law on Military Operations in, or in Relation to, Outer Space during Armed Conflicts. Working paper submitted by the International Committee of the Red Cross to the open-ended working group on reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours, as convened under United Nations General Assembly Resolution 76/231, and to the Secretary-General of the United Nations in reply to General Assembly Resolution 76/230 on “Further practical measures for the prevention of an arms race in outer space”. 3 May 2022. URL: https://documents.unoda.org/wp-content/uploads/2022/05/ICRC-working-paper-on-the-constraints-under-international-law-on-military-space-operations_final_en.pdf (Last accessed: 09.09.2022).
7. Document prepared by the Russian Federation in connection with the open-ended working group established pursuant to General Assembly resolution 76/231 on reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours. Submitted by the Russian Federation. URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G22/329/81/PDF/G2232981.pdf?OpenElement> (Last accessed: 09.09.2022).
8. Existing Legal and Regulatory Frameworks concerning threats arising from State behaviours with respect to outer space. Submitted by the United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR). Open-ended working group on reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours. Geneva, 9—13 May 2022. URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G22/248/57/PDF/G2224857.pdf?OpenElement> (Last accessed: 09.09.2022).
9. Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities. A/AC.105/2018/CRP.20. URL: https://www.unoosa.org/res/ooasdoc/data/documents/2018/aac_1052018crp/aac_1052018crp_20_0_html/AC105_2018_CRP20E.pdf (Last accessed: 09.09.2022).
10. Hardin G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science, New Ser.*, **162**, № 3859, 1243—1248. URL: <http://www.jstor.org/stable/1724745> (Last accessed: 09.09.2022).
11. Hitchens T. (2022). US Rejects Charge that Starlink satellites endangered Chinas Space Space. URL: <https://breakingdefense.com/2022/02/us-rejects-charge-that-starlink-satellites-endangered-chinas-space-station/> (Last accessed: 09.09.2022).

12. Hurova A. M., Malolitneva V. K. (2021). Institutional and legal model for public procurement of products of Earth observation in Ukraine. *Space Sci. and Technology*, **27**, № 3, 93—107. URL: <http://knit.mao.kiev.ua/en/archive/2021/3/09>.
13. International Lunar Research Station. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Lunar_Research_Station (Last accessed: 09.09.2022).
14. Kuan-Wei Chen. Outer space is not the Wild West: There are clear rules for peace and war. URL: <https://www.space.com/outer-space-clear-rules-peace-and-war> (Last accessed: 09.09.2022).
15. Malysheva N. R. (2021). International legal principles governing exploration of Moon, Mars and other celestial bodies' resources. *Space Sci. and Technology*, **27**, № 4, 74—82. URL: <http://knit.mao.kiev.ua/en/archive/2021/4/08>.
16. Malysheva N. R., Hurova A. M. (2019). Legal forms of public-private partnership for the space activity of Ukraine and its distinction from related forms of contractual cooperation. *Space Sci. and Technology*, **25**, № 1, 73—84. URL: <http://knit.mao.kiev.ua/en/archive/2019/1/0>.
17. Malysheva N. R., Hurova A. M. (2020). Models of legal regulation of the remote sensing activities in the world: experience for Ukraine. *Space Sci. and Technology*, **25**, № 4, 86—110. URL: <http://knit.mao.kiev.ua/en/archive/2020/4/08>.
18. McClintock B., Feistel K., Ligor D. C., Oconnor K. Responsible Space Behavior for the New Space Era. Preserving the Province of Humanity. URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/perspectives/PEA800/PEA887-2/RAND_PEA887-2.pdf (Last accessed: 09.09.2022).
19. Michelot A. La dette écologique en question : propos introductifs. La dette écologique: définition, enjeux et perspectives. Montréal, Québec, 218 p.
20. NASA Artemis. URL: <https://www.nasa.gov/specials/artemis/> (Last accessed: 09.09.2022).
21. National contribution to the work of the Open-Ended Working Group on reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours. Submitted by Italy. Geneva, 9—13 May 2022. URL: <https://documents.unoda.org/wp-content/uploads/2022/03/Italy-Contribution-to-the-OEWG.pdf> (Last accessed: 09.09.2022).
22. On the formation of the State Service for the Protection of Critical Infrastructure and Ensuring the National System of Ukraine's Stability. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 787 of July 12, 2022 URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-utvorennia-derzhavnoi-sluzhby-zakhystu-krytychnoi-infrastruktury-ta-zabezpechennia-natsionalnoi-systemy-stiikosti-ukrainy-787-120722> (Last accessed: 09.09.2022).
23. Responsible behaviours as a practical contribution to the prevention of an arms race in outer space and to strengthening the international frameworks on space security. Submitted by Germany. Open-ended working group on reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours Geneva, 9—13 May 2022. URL: https://documents.unoda.org/wp-content/uploads/2022/05/A_AC294_2022_WP6_E_Germany.pdf (Last accessed: 09.09.2022).
24. Russian ASAT Test Creates Massive Debris. Arms Control Association. December 2021, By Shannon Bugos. URL: <https://www.armscontrol.org/act/2021-12/news/russian-asat-test-creates-massive-debris> (Last accessed: 09.09.2022).
25. Silverstain B., Panda A. (2021). Space is the great common. Its time to treat it as such. Carnegie endowment for international peace. URL: <https://carnegieendowment.org/2021/03/09/space-is-great-commons-it-s-time-to-treat-it-as-such-pub-84018> (Last accessed: 09.09.2022).
26. Submission of China Pursuant to United Nations General Assembly Resolution 76/230. Open-ended working group on reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours. Geneva, 9—13 May 2022. URL: https://documents.unoda.org/wp-content/uploads/2022/05/A_AC294_2022_WP10_E_China.pdf (Last accessed: 09.09.2022).
27. The importance of space capabilities for our lives and our societies. Current context and benefits of establishing norms of responsible behaviour. Submitted by France. Open-ended working group on reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours. Geneva, 9—13 May 2022. URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G22/339/25/PDF/G2233925.pdf?OpenElement> (Last accessed: 09.09.2022).
28. Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies. URL: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/introouterspacetreaty.html> (Last accessed: 09.09.2022).
29. United States of America National Submission to the United Nations Secretary General Pursuant to UN General Assembly Resolution 75/36 Reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours. Geneva, 9—13 May 2022. URL: <https://documents.unoda.org/wp-content/uploads/2022/05/04292021-US-National-Submission-for-UN-GA-Resolution-75.36.pdf> (Last accessed: 09.09.2022).

Стаття надійшла до редакції 09.09.2022

Після доопрацювання 16.09.2022

Прийнято до друку 17.09.2022

Received 09.09.2022

Revised 16.09.2022

Accepted 17.09.2022

N. R. Malysheva, Head of the Department of Agrarian Law, Land Law, Environmental Law and Space Law, of the Koretsky Institute of State and Law National Academy of Sciences of Ukraine, Deputy Director of the International Center for Space Law at the V. M. Koretsky Institute of State and Law, Doctor of Law, Professor, Academician of the National Academy of Legal Sciences, Corresponding Member of International Academy of Astronautics, IAA, Honored Lawyer of Ukraine, the Winner of State Awards in Science and Technology of Ukraine

ORCID: 0000-0001-6630-227X

E-mail: nataliia_malysheva@ukr.net

A. M. Hurova, Research Fellow of the Department of Agrarian Law, Land Law, Environmental Law and Space Law, of the Koretsky Institute of State and Law National Academy of Sciences of Ukraine, Ph.D. in Law.

ORCID: 0000-0003-4134-761X

E-mail: a.m.hurova@gmail.com

V. M. Koretsky Institute of State and Law National Academy of Sciences of Ukraine

4 Triokhsviatytska Str., Kyiv, 01601 Ukraine

LONG-TERM SUSTAINABILITY OF SPACE ACTIVITIES: NEW CHALLENGES FOR INTERNATIONAL AND NATIONAL SPACE LAW

The results of the study of legal problems, which are relevant for ensuring the long-term sustainability of space activities, the course of which has been declared by the UN as a guide, are highlighted. Legal relations are singled out, which on the one hand, allow revitalizing of the commercial component of the space industry of the domestic economy, and on the other — contribute to the establishment of responsible, sustainable behaviour of all subjects of space activity on a global scale. From this point of view, the specific problems of public-private partnership in the space industry are considered, proposals are put forward regarding the legal model for the regulation of remote sensing of the Earth, challenges to international and national law in connection with cyber threats to space activities, including the use of blockchain technology, are emphasized, the international legal problems of regulating the extraction of space resources from the point of view of ensuring the sustainability of this activity and the need to develop legal mechanisms, norms, and principles of responsible human behaviour in space are accentuated.

As a result of the study, the following were proposed: 1) legal means of liberalizing the participation of state-owned enterprises as subjects and not objects of public-private partnerships, 2) a model for the regulation of relations to provide Ukraine with EO data, including through public procurement by the National Space Facilities Control and Test Center, 3) international legal and national legal mechanisms for combating cyber threats to space activities, 4) rules that should be developed to regulate activities for the extraction of space resources, as well as 5) rules for ensuring responsible behaviour in space.

Keywords: long-term sustainability of space activities, public-private partnership, remote sensing of the Earth, cyber security of space activities, Blockchain technology; extraction of space resources, responsible behaviour in space.

<https://doi.org/10.15407/knit2022.06.074>
УДК 001(091).620

О. Я. ПИЛИПЧУК, зав. кафедри, д-р біол. наук, проф.

E-mail: olegpilipchuk47@gmail.com

О. Г. СТРЕЛКО, д-р іст. наук, проф.

E-mail: olehstrelko@gmail.com

О. О. ПИЛИПЧУК, д-р іст. наук, доцент

E-mail: oksanapilipchuk78@gmail.com

Державний університет інфраструктури та технологій
вул. Кирилівська 9, Київ, Україна, 04071

С. А. ПОДОЛИНСЬКИЙ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ТРАКТУВАННІ ЕВОЛЮЦІЇ ПРИРОДИ І СУСПІЛЬСТВА

Сергій Андрійович Подолинський (1850—1891) — дослідник природи, натурфілософ, лікар, громадський діяч і публіцист, прожив коротке життя. До цього часу з основними працями С. А. Подолинського наукове співтовариство майже не знайоме. Великий український науковець В. І. Вернадський надихався науковими роботами та ідеями С. А. Подолинського. А характеристика С. А. Подолинського як «забутого наукового новатора», яку дав йому В. І. Вернадський ще на початку ХХ ст., залишається в основному справедливою і в наші дні.

Стаття присвячена історії його роботи «Праця та її стосунок до розподілу енергії» (1880 р.). Висвітлено низку питань щодо ідеї С. А. Подолинського про «розподіл сонячної енергії у Всесвіті» та енергетичного трактування розвитку природи і суспільства. Здійснено аналіз кожного розділу статті С. А. Подолинського в контексті впливу праці на перерозподіл сонячної енергії на земній поверхні.

Ідеї С. А. Подолинського, викладені в його роботі «Праця людини та її стосунок до розподілу енергії» свідчать не тільки про пріоритет вітчизняної науки з багатьох питань природознавства, актуальність яких усвідомлюється тільки в наш час, а й зберігають методологічну цінність у світовому контексті. У праці С. А. Подолинського читач знайде приклад постановки і підходу до вирішення цікавої і потрібної проблеми в науковій сфері, який характерний для видатних і оригінальних вчених.

Найбільш важливим є відкриття С. А. Подолинським про те, що розвиток живих організмів на земній поверхні відбувається під впливом сонячної енергії. Ось чому ім'я С. А. Подолинського заслужено згадується серед попередників В. І. Вернадського, який займався вивченням енергетики живої речовини і становленням вчення про біосферу і ноосферу. Розглядається значення праці С. А. Подолинського та її подальші перспективи в розвитку наукових досліджень з використання енергії.

Ключові слова: С. А. Подолинський, сонячна енергія, розподіл енергії.

Сергій Андрійович Подолинський (1850—1891) — дослідник природи, натурфілософ, лікар, громадський діяч і публіцист, прожив коротке життя. Досі з основними працями С. А. Подолинського наукове співтовариство майже не знайоме. Великий український науковець В. І. Вер-

надський надихався науковими працями та ідеями С. А. Подолинського [6]. А характеристика С. А. Подолинського як «забутого наукового новатора», яку дав йому В. І. Вернадський ще на початку ХХ ст. [1], залишається в основному справедливою і в наші дні. Ім'я С. А. Подолин-

Цитування: Пилипчук О. Я., Стрелко О. Г., Пилипчук О. О. С. А. Подолинський в енергетичному трактуванні еволюції природи і суспільства. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6 (139). С. 74—84. <https://doi.org/10.15407/knit2022.06.074>

ського згадується не часто, а поширена оцінка його особистості як революційного демократа, що розвивав економічні ідеї, є дуже однобічною і збідненою. Поряд з цим ідеї С. А. Подолинського, викладені вперше у 1880 р. у великій статті «Праця людини та її стосунок до розподілу енергії», заклали основи принципово нової теорії праці, не тільки як суто економічної, а й природничо-історичної і моральної категорії, так званої *енергетичної концепції*. Розвиток його ідей — справа майбутнього.

С. А. Подолинському властивий широкий, систематичний погляд на природничу історію. Він зробив суттєвий внесок у природознавство і суспільствознавство, а також мав значний вплив на формування вчення про біосферу В. І. Вернадського. З цього приводу В. І. Вернадський у своїй праці «Матеріали з історії науки в Росії» так писав: «Людство не тільки відкриває нове, невідоме, незрозуміле в навколишній природі — воно одночасно відкриває у своїй історії численні забуті проблески розуміння окремими особистостями довгої, непомітної і неусвідомленої роботи поколінь. Досягнувши нового і невідомого, ми завжди із здивуванням знаходимо у минулому попередників» [2, С. 56]. Одним з таких попередників В. І. Вернадського і був Сергій Андрійович Подолинський.

Безперечно, вершиною природничо-наукової творчості С. А. Подолинського вважається його стаття «Праця людини та її стосунок до розподілу енергії», яка була опублікована в журналі «Слово» [7]. Стаття відразу викликала широкий резонанс, і за короткий час її було перекладено декількома мовами світу. Дуже важливою стала концепція С. А. Подолинського про те, що розвиток живих організмів на земній поверхні відбувається під впливом сонячної енергії. Ім'я С. А. Подолинського має заслужено зайняти гідне місце серед імен попередників В. І. Вернадського, які займалися вивченням енергетики живої речовини і становленням вчення про біосферу і ноосферу [9]. Економічна теорія, соціологія, екологія, географія, краєзнавство, медицина і гігієна, космологія — такими були сфери його наукових інтересів [3]. Мова і термінологія С. А. Подолинського своєрідні, але не слід за-



бувати, що перед нами роздуми зовсім молодого талановитого натураліста, спрямовані на постановку проблеми, а не на її остаточне вирішення. Зауважмо, що його новаторські ідеї були висловлені в часи, коли ще не сформувалися такі наукові дисципліни, як фізика Сонця, геофізика, астрофізика і біофізика з їхнім сучасним потужним арсеналом теоретичних методів і засобів обробки спостережних даних, а терміни «Всесвіт» і «розподіл енергії у Всесвіті» вживалися для опису нашої Сонячної системи і зоряного населення нашої Галактики як «острівного Всесвіту», оскільки існування інших галактик ще не було встановлено.

Мета статті С. А. Подолинського розкрита вже у першому її абзаці: «Праця людини і тих тварин, до дій яких підходить поняття про працю, є одним з численних видів прояву загальної світової енергії. Якими б різноманітними та плутаними не були сьогодні поняття про працю, ми маємо надію, що в такому загальному вигляді наше визначення не матиме заперечень. Метою нашою була спроба, виходячи із цього загального положення, з'ясувати значення умов, які супроводжують походження праці, подати головні прояви її в житті організмів і вказати на наслідки споживання праці, тобто на наслідки впливу працюючих людей і тварин на навколишнє середовище» [7, С. 135].

У *першому розділі* своєї статті С. А. Подолинський зазначає, що необхідно «визнавати усі

види енергії кінетичними», тобто такими, що є рухомими. Що поділ енергії на кінетичну і потенційну обумовлено лише тим, що перша є рухом, який «доступний нашому відчуттю», тоді як друга — також рух, але «не доступний нашому відчуттю». Приклад потенційної енергії — лавина, яка нависла над прірвою, заряджена гармата, або їжа людини, ще не перетворена на м'язове скорочення при роботі. І далі С. А. Подолинський наголошує, що «Сонце посилає у світовий простір енергію у вигляді «теплових, світлових, хімічних променів, магнетизму», і таке постійне передавання енергії з часом повинно призвести до повсюдного вирівнювання енергії. Енергія Всесвіту постійно переходить з легко перетворюваних форм до більш стійких, і внаслідок цього можливість перетворення енергії постійно зменшується, — з таким висновком С. А. Подолинського погоджувався і В. І. Вернадський [5]. Цю властивість енергії до перерозподілу і повсюдного вирівнювання називають, згідно з Р. Клаузіусом, — ентропією. Основні положення теорії Р. Клаузіуса: енергія Всесвіту постійна, і ентропія Всесвіту прямує до максимуму. Сонце продовжує забезпечувати нас величезною кількістю неперетвореної енергії, і запасання її ще дуже значне. Проте, як зазначає С. А. Подолинський, з цього не випливає, що розподіл перетвореної енергії на земній кулі є найбільш вигідним для людського життя. А можливість більш вигідного розподілу цієї енергії перебуває в руках самої людини.

У *другому розділі* статті С. А. Подолинський розглядає види перетвореної енергії, що є на Землі. І налічує таких видів аж сім.

1. На першому місці за величиною є енергія обертання Землі навколо Сонця і навколо своєї осі. Автор статті наводить приклад, згідно з яким, якби Земля раптово зупинилася у своєму обертанні навколо Сонця, то звільнилася б така кількість тепла, яка дорівнювала б кількості тепла, отриманого від спалювання вугільного шару, який перевищує Землю у 14 разів. Енергія обертання Землі навколо своєї осі частково перетворюється на теплоту за допомогою тертя об «масу води, яка залишається під дією припливів від руху Землі» (у системі Земля + Місяць, як ми

розуміємо це зараз). Користуючись силою припливу, пише С. А. Подолинський, для приведення у дію машин, наприклад млинів, ми запасемося цією силою у період підйому або набігання приливної хвилі. Ми утримуємо частину води на відомій висоті, вичікуємо час відпливу і відтак маємо користь з її падіння. Поки що обертання Землі навколо своєї осі майже не застосовується як джерело рушійної сили.

2. Внутрішня теплота Землі. Вона виявляється під час землетрусів і виверження вулканів, тривалість яких у більшості має випадковий і неправильний характер, щоб слугувати джерелом енергії для промислового і іншого застосування. Земний магнетизм відіграє практичну роль у мореплаванні, при виготовленні наукових приладів тощо. Гарячі ресурси можуть слугувати для технічних цілей, опалення житла і теплиць.

3. Ненасичена хімічна спорідненість, за винятком вільного кисню атмосфери, якої майже немає на земній поверхні.

4. Рух повітря, або вітер.

5. Сила падаючої води.

6. Вільна хімічна спорідненість, яка перебуває у паливі органічного походження.

7. Перетворювана енергія в живих рослинах, тваринах і людях.

У *третьому розділі* статті С. А. Подолинський аналізує проблему збереження енергії до появи органічного життя на поверхні Землі. Енергія ненасиченої спорідненості на той час була дуже малою. Земля тоді, мабуть, отримувала сонячних променів дещо більше, ніж у теперішній час, однак і розсіювала свою енергію значно швидше, ніж тепер, — розмірковує С. А. Подолинський. Велика кількість променевої енергії, отримуваної від Сонця, дуже мало збільшувала кількість перетвореної енергії на Землі. Промені Сонця не знаходили на поверхні таких тіл, на які вони могли діяти, як діють тепер за допомогою рослин, тобто розкладати насичені сполуки. Вони в той же час відбивалися в атмосферний простір. За винятком руху нагрітого повітря і води, піднятої випаровуванням, «променева сонячна енергія» майже не перетворювалася тоді на Землі в енергію. В той час ще не було життя на земній поверхні, коли вуглець теперішнього кам'яного

вугілля з киснем теперішньої атмосфери складало разом насичену, тобто позбавлену перетворюваної енергії сполуку (CO_2), загальний бюджет перетворюваної енергії був меншим, ніж тепер. Для того щоб при вичерпних джерелах енергії на земній поверхні могло відбутися накопичення перетвореної енергії, необхідний процес перетворення енергії (теплоти) на вищу форму, яка досить легко перетворюється на механічний рух, — вважав С. А. Подолинський.

Далі С. А. Подолинський перелічує основні способи, якими сонячна енергія може перетворитися на механічний рух. Це надання руху повітря за допомогою зміни його пружності, підняття води шляхом випаровування, хімічна дисоціація за допомогою рослин, м'язова робота тварин і людини, винайдення і облаштування штучних двигунів, які могли працювати за допомогою психічної і м'язової роботи людини і вищих тварин.

Четвертий розділ статті С. А. Подолинського присвячений появі рослин на земній поверхні та їхній ролі у перерозподілі енергії. Поява органічного життя на суші докорінно змінила не тільки вигляд і властивості поверхні Землі, а й також кількість і спосіб розподілу вищих видів енергії. С. А. Подолинський не цікавився питаннями про першу появу організмів. Він вважав, що значно важливішим слід вважати проблему їхнього розмноження і поширення. Організми поширюються тому, що з успіхом витримують боротьбу за існування з неорганічною природою, бо володіють більшим запасом перетвореної енергії. Володіючи цим запасом, а також здатністю до механічного руху, наприклад росту кореня донизу, а стебла доверху, і маючи майже монополію на збереження сонячної енергії, що містить у собі значну її частину, здатну до перетворення на вищі форми, рослини з успіхом здійснювали і продовжують здійснювати досі це перетворення.

С. А. Подолинський вважав, що дуже важливою особливістю рослин є їхня здатність за допомогою «хімічних променів Сонця» розкласти у звичайних умовах такі стійкі сполуки, як вуглекислий газ і воду. Згідно з С. А. Подолинським, рослини є дуже злими ворогами перерозподілу енергії світла. Вони зберігають сонячну енергію,

перетворюючи її на земній поверхні, не нагріваючи її, не підвищуючи її температуру, не збільшуючи її втрати. Рослини накопичують енергію, здатну до подальших перетворень. Іншими словами, в них здійснюється робота з підйому частини сонячної енергії з нижчого ступеня на вищий ступінь (як зазначав В. Томсон відбувалося «підняття енергії в ступені»). С. А. Подолинський вважав, що оскільки рослина зберігає сонячну енергію, протягом року, вирахувати її ще дуже важко. Для цього слід було б знати кількість тепла, отриманого усіма рослинами на Землі, та кількість спорідненості, яка зберігається протягом року через розкладання вугільної кислоти, аміаку та інших насичених або близьких до насичених сполук. Оскільки в деяких країнах Європи вже були зроблені розрахунки необхідної кількості тепла, потрібного для того, щоб довести до зрілості різні сорти хлібів та інших оброблюваних рослин (оскільки середні врожаї цих рослин були відомі, а склад ґрунту завжди може бути визначеним), то можна надіятися, — робив висновок С. А. Подолинський, — що скоро вдасться визначити, який процент отримуваної від Сонця енергії може зберегти у вищій формі живильні речовини і кількість палива десятини пшениці або у матеріалі для одягу десятини коноплі і т. п. Сьогодні найбільшою перешкодою для такого визначення енергії полягає не у обчисленні збереженої енергії, а у перерозподілі енергії отримуваної. Без сумніву, на життя рослин мають вплив, окрім теплоти сонячних променів, ще й світло, і хімічна дія їх, а для них еквіваленти в теплоті або механічній роботі ще не можуть бути знайдені з достатньою точністю [1, С. 154—155].

Таким чином, рослини зупиняються на половині шляху. Вони тільки накопичують енергію, і лише тоді накопичена рослинами енергія витрачається на піднесення нової її кількості на вищий ступінь, коли цей запас входить до складу їжі людини або тварини, або слугує паливом для машин, побудованих і керованих працею людини.

У *п'ятому розділі* статті С. А. Подолинський переходить до розгляду ролі тварин і людини в розподілі енергії і вводить поняття про працю.

Він відзначає, що у всі часи існування тварин на Землі частина рослин йде їм у їжу, і в тому випадку збережена ними (рослинами) сонячна енергія починає відігравати зовсім іншу роль. Тварини перетворюють частину збереженої енергії у вищу її форму — механічну роботу, але потім розсіюють її невимушено, тобто не використовують витрату її на нове перетворення сонячної енергії на вищі форми.

Автор статті наголошує, що ми тут маємо два процеси, які складають життєвий кругообіг. Рослини зберігають відому кількість енергії, але тварини, поїдаючи рослини, перетворюють при цьому частину збереженої енергії в механічну роботу і розсіюють перетворювану енергію, яка міститься у споживаних ними рослинах. Якщо кількість збереженої рослинами енергії перевершує її кількість, розсіювану тваринами, то відбувається накопичення енергії, наприклад у вигляді шарів кам'яного вугілля. Але оскільки ця запасена енергія перебувала під землею, то первісні люди не могли нею скористатися, і вона не входила у щорічний бюджет органічного життя. С. А. Подолинський відзначав, що якби тваринне життя переважало над рослинним, то, втрапивши запаси поживних речовин рослин, тваринне життя скоротилося б відповідно до кількості енергії, яка зберігається рослинами. Це був би свого роду застій, не дивлячись на наявність життя. Причина такого застою незрозуміла, — розмірковує С. А. Подолинський. Вона полягає в тому, що вищі форми енергії, здобуті рослинами і тваринами, безкорисно розсіюються у просторі, а не спрямовуються на єдино корисну в плані збільшення енергії на Землі роботу, тобто на нове перетворення нижчих форм енергії на вищі.

С. А. Подолинський каже, що поглянувши навколо себе, ми переконуємося в тому, що в даний час такого застою не спостерігається. Кількість сонячної енергії, яка набуває на земній поверхні вигляду енергії більш перетворюваної, без сумніву, поступово збільшується. Кількість свійських тварин і людей постійно зростає. Вони разом представляють собою більше живої речовини і споживають більшу частину поживного матеріалу, який накопичується рослинами, ніж

дикі тварини. Автор статті наводить приклад, що є «країни, які колись були багатими, і сьогодні перетворені ледве не на пустелі, але такі метаморфози дуже часто залежать від помилок в господарстві». Загалом, каже С. А. Подолинський, потрібно визнати, що з часу появи людства значно збільшилась продуктивність поживного матеріалу, який поглинає запас перетворюваної енергії на земній поверхні.

Узагальнюючи викладене, ми бачимо, що С. А. Подолинський аналізує розподіл енергії на земній поверхні згідно з головними етапами її еволюції: при відсутності на ній життя; відтак при його появі і розвитку; і нарешті, зростаючий вплив праці людини на цей розподіл енергії. Французький вчений Е. Леруа (1870—1854) зазначив, що домінантними двома факторами у минулій історії Землі були: оживлення матерії і олюднення життя [4, С. 22].

Єдиною причиною фіксації додаткової кількості сонячної енергії, вважав С. А. Подолинський, є споживання праці людини. Звідси вчений визначає поняття «праця». Він писав: «Праця є таке споживання механічної і психічної роботи, накопиченої в організмі, яке має результатом збільшення кількості перетворюваної енергії на земній поверхні» [1, С. 160]. Невдовзі С. А. Подолинський сформулював «Закон С. А. Подолинського»: «Праця людини є процесом природи, який підсилює потужність і розкриває фізичну природу додаткової вартості». Німецький історик Ф. Енгельс назвав цей закон (стосовно сільськогосподарського виробництва) «справжнім відкриттям».

У своїй статті С. А. Подолинський зазначає, що людина певними вольовими діями здатна збільшувати долю енергії, яка накопичується на земній поверхні і зменшити кількість енергії, яка перерозподіляється у просторі. Культивує рослини на нових землях, або розширюючи використання старих земель, осушуючи болота або зрошуючи посушливі місцевості, застосовуючи покращення сорту і сільськогосподарської машини, захищаючи рослини від природних ворогів, людина досягає першої мети. Виганяючи або винищуючи шкідників рослин і тварин, використовуючи працю ремісників, винахідників ма-

шин, процеси виховання і освіти підростаючого покоління, люди досягають другої мети.

С. А. Подолинський відзначає, що вже на найбільш ранній стадії розвитку людини енергія харчування частково переходить в механічну і психічну роботу (наприклад у виготовлення знарядь праці або зброї, будівництво житла або приручення тварин), яку слід віднести до корисної праці, тобто до діяльності, яка збільшує кількість енергії, що зберігається. Однак не тільки у первісної людини, а й деяких тварин ми повинні визнати наявність здатності до праці, і при цьому не тільки у свійських тварин, окрім втручання людини. Сюди можуть бути віднесені і мурахи, у яких є розподіл праці; птахи, які удосконалюють конструкції своїх гнізд; бобри з їхніми будівничими здібностями і т. п. Без сумніву, такі дії мають результати збереження частини енергії тварини, що перетворюється у процесі перерозподілу. В цьому плані будівництво житла у тварин переслідує ті ж цілі і сягає тих же результатів, що і в людини.

С. А. Подолинський вважав, що у первісної діяльності людини праця ще не була важливим елементом. М'язову роботу далеких прашурів не слід порівнювати з корисною працею. Вони працювали багато, однак у результаті дуже небагато збільшувався запас перетворюваної енергії на земній поверхні. Навпаки, зазначає С. А. Подолинський, сучасний робітник, що керує машиною, дуже мало напружує свої м'язи у порівнянні з корисним результатом своєї праці у плані збільшення загального запасу енергії. Значно меншою стає доля корисної праці у первісної людини при виготовленні різних знарядь. Таким шляхом зберігається частина енергії, яка перерозподіляється людиною при будівництві житла, шитті одягу або взуття, полюванні, рибній ловлі тощо. Завдяки цьому переконав у людини з'являється вільний час і запас сил, які були використані на різні удосконалення. В результаті зростання продуктивності праці збільшувалося накопичення і зберігання енергії від перерозподілу. Першою працею такого роду було приручення тварин, розведення і охорона стад, систематичне знищення хижаків і т. п. Надлишок свійських тварин обмежив людей на дея-

кий час від крайньої потреби, дав їм відпочинок, покликавши до життя підприємство і розумовий розвиток. Успішне проведення чисельних і різноманітних спостережень і досліджень передувало всезагальному поширенню землеробства.

Тільки тут вперше, відзначає С. А. Подолинський, ми зустрічаємося з працею такого роду, де справедливості нашого визначення праці вже не ховається за різними побічними обставинами, а чітко виступає на перший план. Автор статті наводить такий приклад. Десятина дикого степу або лісу без втручання людини надає щорічно велику кількість корисного матеріалу; людина прикладає до неї свою працю, і відразу продуктивність десятини зростає у 10, 20 і більше разів. Звичайно, людина не створює матерію, не створює вона енергію. Матеріал вже знаходиться у нашій десятині землі, у засіяному зерні і в атмосфері, а вся енергія отримується від Сонця. Але завдяки прикладеній людській праці десятина землі зберігає в рослинності додаткову кількість енергії. Землеробство виснажує ґрунт тільки тоді, робить висновок С. А. Подолинський, коли воно ведеться нерозумно, хижачьким способом. Навпаки, в удосконаленому господарстві земля дає найбільші врожаї тільки там, де землеробство є вже давно, наприклад в Англії, Франції, Єгипті, Китаї, Японії. Значить, правильне землеробство є найкращим представником корисної праці, тобто роботи, яка збільшує збереження сонячної енергії на земній поверхні.

У шостому розділі статті С. А. Подолинський досліджує походження здатності до роботи в організмі людини. Він зазначає, що уся механічна робота в організмі тварин і людини залежить від енергії їжі, яка, насичуючись хімічною спорідненістю кисню, що вдихається, переходить в теплоту, а частина останньої перетворюється у механічну роботу. Теплота, яка виробляється в організмі людини, крім зовнішньої механічної роботи, йде ще на внутрішній кругообіг, рух кишківника, на підтримку постійної температури, на випаровування води і т. д. Тому тільки невелика частина теплоти може перетворюватися у зовнішню механічну роботу, або у працю, якщо ця зовнішня робота буде мати результатом збільшення енергії на земній поверхні.

У сьомому розділі статті С. А. Подолинський розглядає біологічні основи походження здатності до механічної роботи в тілі людини. Під термічною машиною він розуміє усіяку машину, що має здатність перетворювати частину нижчої, менш перетворюваної енергії у вищу, найбільш перетворювану, тобто у механічну роботу. Звичайно, при порівнянні працюючої людини з термічною машиною проявляється більша складність людського організму. Ще важливіша відмінність між людиною і будь-якою термічною машиною полягає у багатоманітності дій людини. Не кажучи про психічні функції, механічні рухи людини за своєю чисельністю не можуть бути перевершені будь-яким механізмом. Ця різноманітність і численність рухів людського організму і його рук дають при застосуванні праці можливість одночасно здійснювати в предметах усі ті перестановки, якими зумовлюється збереження зайвих кількостей енергії, наприклад здійснювати всю тривалу серію землеробських та інших робіт. Як показує практика, руки виразніші за органи мови, тому що виявляють у виробництві своєї праці те, що ховають слова. Разом з тим працюючі руки разом із знаряддям праці змушують до розвитку і розумову діяльність.

С. А. Подолинський розглядає людство як «удосконалену машину». Така машина володіє здатністю здійснювати поряд з прямим і оборотний цикл, подаючи самій собі необхідну теплову енергію в пічку і перетворюючи тепло у роботу. Такою здатністю не володіють ні рослини, ні тварини, ні техніка, побудована руками людини. Вони не можуть бути названі «удосконаленими машинами». Тільки людське товариство разом з усім своїм господарством (нивами, стадами, машинами тощо) можна назвати «удосконаленою машиною», яка сама себе конструює, ремонтує, створює нові машини, забезпечуючи врожаєм, годує молодняк великої свійської худоби, виховує і навчає підростаюче покоління. Людська праця повертає суспільству у вигляді їжі, одяжі, житла, задоволення духовних потреб, усю ту суму енергії, яка була витрачена під час їхнього виробництва. Таким чином, тільки людське суспільство здатне перетворювати свою працю

на накопичення енергії, необхідної для задоволення своїх майбутніх духовних потреб, усю ту суму енергії, яка була витрачена під час їхнього виробництва. Таким чином, тільки людське суспільство здатне застосовувати свою працю на накопичення енергії, необхідної для задоволення своїх майбутніх потреб.

У наступному *восьмому розділі* статті С. А. Подолинський розглядає працю як засіб, який слугує для задоволення потреб. Ступінь задоволення потреб наявною кількістю збереженої енергії перебуває у залежності від декількох факторів. Головним з них є: запас перетворюваної енергії в рослинах у початковому періоді дуже полегшив людині перемогу у боротьбі за перемогу за існування з дикими тваринами. Цим запасом людина скористалася не тільки як їжею, а й як матеріалом для будівництва житла, для виготовлення знарядь праці і зброї, як паливом. Уміння користуватися вогнем, тобто сонячною енергією, збереженою рослинами, допомогло людині отримати перші і найважливіші перемоги. Тварини могли протиставити людині в боротьбі з нею тільки енергію свого тіла, яка підтримувалася їжею, здобутою немалою працею. І в умовах всезагальної конкуренції. Людина, слабша від природи, використовувала проти них цілий набір ще досить примітивних знарядь, але навіть вони мали більший запас живої сили, ніж могутні м'язи печерного ведмеда або гострі кігті королівського тигра. Перші ступені людської винахідливості зводились до концентрації певного запасу енергії в найменшому просторі. Цей процес все зростаючої концентрації енергії характеризує собою і подальший хід науково-технічного прогресу (поява вибухових речовин, двигунів внутрішнього згоряння тощо). Сконцентрована в малому обсязі енергія, звільняючись, дає могутчі ефекти, і з цим процесом свідомої концентрації енергії людиною починає діяти інший — боротьба за економію часу.

Достеменно відомо, що чисельність людей перебуває у прямій залежності від величини наявної енергії. Мисливські і скотарські племена ніколи не були достатньо багаточисельними. Тільки після початку землеробства починається і швидке зростання населення, відзначає

С. А. Подолинський. Щоб зрозуміти вплив корисної праці на збільшення енергії і на зростання чисельності населення, необхідно з'ясувати сутність праці і її здатність задовольняти потребам. Звичайно, праця не створює речовину. Її продуктивність полягає тільки у приєднанні до речовини чогось, також не створеного працею. Це щось, робить висновок С. А. Подолинський, і є перетворювана енергія, споживання якої з допомогою праці задовольняє наші потреби.

Окрім праці, на земній поверхні накопичуються відомі кількості енергії, які можуть задовольняти деякі потреби людини. Але давно стало зрозумілим, що ці запаси незначні у порівнянні з тими, які дістаються працею. Відомий англійський економіст Дж. Стюарт писав, що звичайні виробництва Землі, будучи надані Землею лише в невеликій кількості і абсолютно незалежно від людини, нагадують собою невелику суму грошей, яка дається молодій людині з тим, щоб сприяти її становленню на життєвому шляху і дати їй можливість почати будь-яке промислове підприємство, за допомогою якої вона повинна постаратися створити самою своє власне щастя. Таким чином, звичайні виробництва не в змозі задовольнити повністю усі потреби людей, чисельність яких постійно зростає на обмеженій розмірами і ресурсами планеті. Для того щоб задовольнити їх, потрібно збільшити кількість цих виробництв. Засобом для цього служить тільки корисна праця, вважає С. А. Подолинський.

Ми сьогодні можемо вважати, що з розвитком людини ускладнюється її моральне і розумове життя, зростає і кількість праці, яка задовольняє ці потреби. Наприклад, така моральна потреба, як співчуття, у перші періоди існування людини майже не впливала на кількість праці. Сьогодні, не кажучи про організацію благодійності, співчуття відіграє дуже важливу роль в деяких соціально-політичних рухах.

Кількість праці, спрямована на благодійність, постійно зростає. Те ж саме ми можемо сказати про потреби в науковому знанні. Забезпечення цієї сторони людського життя, яка не зумовила жодної праці у первісної людини, веде сьогодні у багатьох країнах до побудови університетів з їхніми лабораторіями, до організації наукових

експедицій і взагалі до значного зростання споживання праці. Звідси слід зробити висновок, що з розвитком людства зростає роль праці в задоволенні потреб.

У дев'ятому розділі своєї статті С. А. Подолинський аналізує різні види праці та їхній стосунок до перерозподілу енергії. Він починає з розгляду рибної ловлі і відзначає, що ці види праці тільки змінюють напрям обміну енергії, але не збільшують його кількісно. Однак тут необхідно враховувати ту обставину, що психічна робота, яка здійснюється в голові людини під впливом гарного харчування, відрізняється від психічної роботи, яка здійснюється у тварин, які є їжею для людини. Працюючий мозок людини забезпечує напрям його практичної діяльності, внаслідок якого додаткова кількість сонячної енергії залучається до обміну на земній поверхні. Власне ця обставина і зумовила перемогу людини над дикими тваринами.

Далі С. А. Подолинський наводить приклади щодо стосунку різних видів праці до перерозподілу енергії. Ці приклади дозволили вченому дійти висновку, що усі виробництва добувної і переробної промисловості споживають відому кількість перетворюваної енергії. Усі вони прямо або опосередковано повертають це споживання з надлишком, шляхом збільшення обміну енергії і використовувати її з більшою вигодою на різних виробництвах. Такий звичайний процес праці. Людська праця утримує на земній поверхні і використовує перетворену сонячну енергію більш тривалий час, ніж це було б без неї.

Десятий розділ статті С. А. Подолинського присвячений аналізу праці, спрямованої на виробництво механічної роботи. Сюди автор відносить роботу свійських тварин і машин. Робота свійських тварин є частиною енергії тієї їжі, яку споживають ці тварини. Тут С. А. Подолинський наводить приклади з виготовлення звичайних знарядь і вказує на збереження енергії з їхньою допомогою. Він розглядає приклади створення складних машин. Автор робить висновок, що вся праця, витрачена на облаштування для уловлювання і використання потоку енергії вітру або води, є корисною працею, яка безпосередньо залучає до бюджету людства нові кількості пе-

ретворюваної енергії. А для свого споживання вона залучає до обміну нові кількості сонячної енергії.

Необхідно сказати ще про один момент, який підкреслює С. А. Подолинський у статті. Він зазначає, що досі задоволення потреб було і є головним стимулом для удосконалення і винаходів. При досить-таки високому загальному рівні задоволення потреб, якого легко досягнути навіть не при збільшенні населення, цей стимул значною мірою перестає діяти, і таким чином звичайне обмеження зростання населення стане однією з головних причин затримки в накопиченні сонячної енергії. Різні види енергії не з однаковою легкістю перетворюються одні в інші, а саме нижчі на вищі. Тому удосконалення людського життя має відбуватися шляхом кількісного збільшення енергетичного бюджету кожної людини, а не тільки шляхом якісного перетворення нижчих форм енергії на вищі. Останнє можливе тільки в дуже обмеженій мірі, значно меншій, ніж кількісне накопичення.

С. А. Подолинський робить висновок, що тільки суспільство з бажанням до швидкого накопичення енергії може швидко йти вперед. Застій в даному випадку майже рівнозначний перерозподілу накопиченої енергії, адже суспільне життя без розвитку втрачає усіляку цінність і всякий зміст існування. Ось чому будь-яке бажання до обмеження населення ми повинні вважати рівнозначним небажаному перерозподілу енергії.

Стаття С. А. Подолинського завершується «Загальними висновками» (*дванадцятий розділ*), в якому підкреслюються підсумки при подальшому дослідженні зв'язків між працею людини і перерозподілом енергії на земній поверхні.

Завершити нашу статтю ми прагнемо висловлюванням В. С. Чеснокова, біографа С. А. Подолинського, який найкраще відзначив роль С. А. Подолинського в енергетичному трактуванні еволюції природи і суспільства. Він пише: «Необхідно нагадати читачеві, що свою основну природничо-наукову працю «Праця людини та її стосунок до розподілу енергії» С. А. Подолинський опублікував у 1880 р. Тоді йому ще не було навіть 30 років. Ось чому в статті ще не зустрі-

чаються такі поняття, як хлорофіл і фотосинтез, екологія і біосфера, автотрофи і гетеротрофи, біоценоз і біогеоценоз, біогеохімічні цикли. Ці поняття перебували в стадії свого становлення. Однак принцип всеєдності С. А. Подолинського став загальнометодичною передумовою сучасних понять біоценозу, біогеоценозу і біогеохімічних циклів, що набули свого значення не тільки як орієнтири наукового пізнання, а й як нормативні принципи, які зобов'язують поважати крик цілісність світобудови. На жаль, доля дозволила молодому вченому С. А. Подолинському творчо попрацювати всього лише пару років, і він не встигнув повернутися, як планував, до розглядуваних у статті проблем і, мабуть, подарувати світові нові, новаторські ідеї, які розвивали вчення про біосферу» [8, С. 100].

І далі: «У широкій літературі про енергетичну роль живої речовини і енергетичному підході ім'я С. А. Подолинського поступово стало виходити з небуття тільки після опублікування робіт В. І. Вернадського — і це незважаючи на пряме надихання його ідеями. Сьогодні стало зрозумілим, що С. А. Подолинський був одним з видатних і наймолодшим представником вітчизняної традиції у природознавстві, яку сьогодні пов'язують з іменем В. І. Вернадського. С. А. Подолинському характерний широкий системний погляд на природничу історію. Він зробив суттєвий внесок у природознавство і суспільствознавство та здійснив значний вплив на формування вчення про біосферу В. І. Вернадського.

Ідеї С. А. Подолинського, викладені в його статті «Праця людини та її стосунок до розподілу енергії» свідчать не тільки про пріоритет вітчизняної науки з багатьох питань природознавства, актуальність яких усвідомлюється тільки в наш час, а й зберігають методологічну цінність у світовому контексті [10—13]. У праці С. А. Подолинського читач знайде приклад постановки і підходу до вирішення цікавої і потрібної проблеми в науковій сфері, які характерні для видатних і оригінальних вчених.

Найбільш важливим є відкриття С. А. Подолинським про те, що розвиток живих організмів на земній поверхні відбувається під впливом сонячної енергії. Ось чому ім'я С. А. Подолин-

ського заслужено згадується серед попередників В. І. Вернадського, який займався вивченням енергетики живої речовини і становленням вчення про біосферу і ноосферу.

Автори висловлюють подяку доктору фіз.-мат. наук В. А. Шендеровському і доктору фіз.-мат. наук І. Б. Вавиловій за корисні зауваження і поради у підготовці до друку нашої статті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. *Очерки геохимии*. Москва: Наука, 1983. 422 с.
2. Вернадский В. И. *Труды по истории науки в России*. Москва: Наука, 1988. 467 с.
3. Злупко С. М. *Сергій Андрійович Подолінський — вчений, мислитель, революціонер*. Львів: Каменяр. 1990. 192 с.
4. Мирзоян Э. Н. Из истории научных понятий. *Бюл. Комиссии по разработке научного наследия академика В. И. Вернадского*. 2003. № 17. С. 22—44.
5. Пилипчук О. Я., Стрелко О. Г., Коробченко А. А., Пилипчук О. О. Альфред Рассел Уоллес про гармонію у Всесвіті (До 120-річчя його праці «Місце людини у Всесвіті»). *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 2. С. 61—68. doi:10.15407/knit2022.02.061
6. Пилипчук О. Я., Стрелко О. Г., Пилипчук О. О. Академік В. І. Вернадський про споконвічність життя в космосі (До 100-річчя його праці «Початок і вічність життя»). *Космічна наука і технологія*. 2021. **27**, № 2. С. 85—92. doi:10.15407/knit2021.02.085
7. Подолінський М. А. Труд человека и его отношение к распределению энергии. *Слово*. 1880. № 4/5. С. 135—211.
8. Чесноков В. С. *Сергей Андреевич Подолінський: 1850—1891*. Отв. ред. И. И. Мочалов. Изд. 2-е, доп. Москва: Наука, 2006. 316 с.
9. Duplenko Y., Gamaliia K. Ukrainian naturalist and economist Serhii Podolinsky and his role in the formation of the noosphere concept. *Acta Baltica Historiae Et Philosophiae Scientiarum*. 2014. **2**, № 2. P. 43—54. doi:10.11590/abhps.2014.2.03
10. Foster J. B., Burkett P. Ecological economics and classical marxism: The «Podolinsky business» reconsidered. *Organization and Environment*. 2004. **17**, № 1. P. 32—60. doi:10.1177/1086026603262091
11. Nasution M. K. The birth of a science. *History of Science and Technology*. 2020. **10**, № 2. P. 315—338. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2020-10-2-315-338>
12. Oh J.-Y., Han H. Understanding mathematical abstraction in the formularization of Galileo's law. *History of Science and Technology*. 2022, **12**, № 1. P. 55—68. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2022-12-1-55-68>
13. Parys W. Labour values and energy values: Some developments on the common substance of value since 1867. *Eur. J. History of Economic Thought*. 2018. **25**, № 5. P. 1052—1080. doi:10.1080/09672567.2018.1523939

REFERENCES

1. Vernadskyi V. Y. (1983). *Essays of geochemistry*. Moscow: Nauka (Science), 422 p. [in Russian].
2. Vernadskyi V. Y. (1988). *Papers on the history of science in Russia*. Moscow: Nauka, 467 p. [in Russian].
3. Zlupko S. M. (1990). *Serhii Andriyovych Podolynskiy is a scientist, thinker, revolutionary*. Lviv: Kamenyar, 192 p. [in Ukrainian].
4. Myrzoian E. N. (2003). From the history of scientific concepts. *Bull. Commission for the Development of the Scientific Heritage of Academician V. I. Vernadsky*, № 17, 22—44 [in Russian].
5. Pylypchuk O. Ya., Strelko O. H., Korobchenko A.A., Pylypchuk O. O. (2022). Alfred Russel Wallace about harmony in the Universe (To the 120th anniversary of his work “Man’s Place in the Universe”). *Space Science and Technology*, **28**, № 2, 61—68. doi:10.15407/knit2022.02.061 [in Ukrainian].
6. Pylypchuk O. Ya., Strelko O. H., Pylypchuk O. O. (2021). Academician V. I. Vernadsky about the originality of life in space (To the 100th anniversary of his work “The Beginning and Eternity of Life”). *Space Science and Technology*, **27**, № 2, 85—92. doi:10.15407/knit2021.02.085 [in Ukrainian].
7. Podolynskiy M. A. (1880). Human labor and its relation to the distribution of energy. *Word*, № 4/5, 135—211 [in Russian].
8. Chesnokov V. S. (2006). *Sergey Andreevich Podolinsky: 1850—1891*. Moscow: Nauka, 316 p. [in Russian].
9. Duplenko Y., Gamaliia K. (2014). Ukrainian naturalist and economist Serhii Podolinsky and his role in the formation of the noosphere concept. *Acta Baltica Historiae Et Philosophiae Scientiarum*, **2**, № 2, 43—54. doi:10.11590/abhps.2014.2.03
10. Foster J. B., Burkett P. (2004). Ecological economics and classical marxism: The “Podolinsky business” reconsidered. *Organization and Environment*. **17**, № 1, 32—60. doi:10.1177/1086026603262091

11. Nasution M. K. (2020). The birth of a science. *History of Science and Technology*, **10**, № 2, 315—338. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2020-10-2-315-338>
12. Oh J.-Y., Han H. (2022). Understanding mathematical abstraction in the formularization of Galileo's law. *History of Science and Technology*, **12**, № 1, 55—68. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2022-12-1-55-68>
13. Parys W. (2018). Labour values and energy values: Some developments on the common substance of value since 1867. *Eur. J. History of Economic Thought*, **25**, № 5, 1052—1080. doi:10.1080/09672567.2018.1523939

Стаття надійшла до редакції 27.09.2022

Після доопрацювання 08.11.2022

Прийнято до друку 17.11.2022

Received 27.09.2022

Revised 08.11.2022

Accepted 17.11.2022

О. Я. Пилипчук, Dr. Sci. in Biology, Professor, Head of the Department

E-mail: olegpilipchuk47@gmail.com

О. Г. Стрелко, Dr. Sci. in History, Professor

E-mail: olegstrelko@gmail.com

О. О. Пилипчук, Dr. Sci. in History, assistant professor

E-mail: oksanapilipchuk78@gmail.com

State University of Infrastructure and Technologies 9 Kyrylivska St., Kyiv, 04071, Ukraine

S. A. PODOLINSKYI IN THE ENERGETIC INTERPRETATION OF THE EVOLUTION OF NATURE AND SOCIETY

Serhii Andriyovych Podolynskyi (1850—1891) — a researcher of nature, natural philosopher, doctor, public figure and publicist, lived a short life. Still with the main works of S. A. Podolynskyi is almost unknown to the scientific community. Great Ukrainian scientist V. I. Vernadskyi was inspired by the scientific works and ideas of S. A. Podolynskyi. And the characteristics of S. A. Podolynskyi as a “forgotten scientific innovator”, which was given to him by V. I. Vernadskyi at the beginning of the 20th century, remains largely fair even today.

The article was prepared for the 150th anniversary of the “energy concept” of S. A. Podolynskyi and dedicated to the history of his work “Work and its relationship to the distribution of energy” (1880). A number of issues of the distribution of solar energy in the universe are covered. The data on the value of S. A. Podolynskyi in the energetic interpretation of the development of nature and society. Analysis of each section of the article by S. A. Podolynskyi in the context of the impact of work on the distribution of solar energy on the Earth's surface.

Ideas of S. A. Podolynskyi, presented in his work “Man's work and its attitude to the distribution of energy” testify not only to the priority of domestic science on many issues of natural science, the relevance of which is realized only in our time, but also retain methodological value in the world context. In the work of S. A. Podolynskyi's reader will find an example of the formulation and approach to solving an interesting and necessary problem in the scientific field, which are characteristic of outstanding and original scientists.

The most important is the opening of S. A. Podolynskyi that the development of living organisms on the Earth's surface occurs under the influence of solar energy. That is why the name S. A. Podolynskyi is deservedly mentioned among the predecessors of V. I. Vernadskyi, who studied the energetics of living matter and the formation of the doctrine of the biosphere and noosphere. The importance of the work of S. A. Podolynskyi is considered and its further prospects in the development of scientific research on the use of energy.

Keywords: S. A. Podolynskyi, solar energy, Universe, distribution of energy, work.



«Дослідження Землі з космосу було сутністю його наукового життя» — слово пам'яті про професора Вадима Івановича Лялька, академіка НАН України

24 вересня 2022 року вітчизняна наука зазнала непоправної втрати — пішов з життя відомий вчений в галузі аерокосмічних досліджень Землі, геології, гідрогеології, геотермії, геоecології, лауреат Державних премій України в галузі науки і техніки, премії ім. В. І. Вернадського АН України, Заслужений діяч науки і техніки України, почесний директор Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, академік НАН України **Вадим Іванович ЛЯЛЬКО**.

Вадим Іванович зробив суттєвий внесок у світову геологічну науку. Діапазон його наукових інтересів охоплює широкий спектр напрямків дослідження Землі: від гідрогеології, геоecології, геотермії до вивчення Землі дистанційними методами. У фундаментальних наукових працях Вадим Іванович обґрунтував новий напрям у науках про Землю — енергомасообмін у геосисте-

мах, який розвивається у форматі оригінальної наукової школи. Вона розглядає енергомасообмін у геосистемах, його вплив на дуже чутливі до дії різних природних й антропогенних факторів фізико-хімічні і біологічні механізми, які відповідають за формування спектрального відгуку природних об'єктів.

Після закінчення у 1955 р. з відзнакою навчання на геологічному факультеті Київського державного університету ім. Т. Г. Шевченка він пов'язав усе своє життя з Академією наук. До 1992 р. працював в Інституті геологічних наук АН УРСР, де пройшов шлях від інженера відділу гідрогеології до завідувача відділу тепломасопереносу в земній корі.

У 1986 році Вадим Іванович, як завідувач відділу тепломасопереносу в земній корі Інституту геологічних наук, був ініціатором створення На-

укової ради АН УРСР з дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

З 1992 року розпочався новий етап у житті Вадима Івановича. Він очолив Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, створений з ініціативи Президента НАН України академіка НАН України Б. Є. Патона. Центр поступово став авторитетною, зноюю за кордонами нашої держави організацією у галузі аерокосмічних досліджень Землі. Вийшло друком чимало книг. Фахівці Центру брали участь у спільних проектах із зарубіжними науковцями у рамках програми «Інтеркосмос», працювали над реалізацією завдань Національних космічних програм України, успішно виборювали наукові гранти від міжнародних організацій.

Вадим Іванович досяг значних успіхів у теоретико-методичному обґрунтуванні і випробуванні у виробничих умовах нових методів аерокосмічного землезнавства. Це сприяло реалізації найважливіших і актуальних завдань, що можуть ефективно й економічно вирішуватися для України із застосуванням інформації ДЗЗ, а саме: забезпечення роботи космічного блоку системи екологічного моніторингу країни й окремих регіонів, прогнозування врожайності сільськогосподарських культур і пожежонебезпечності лісів, пошуки нафтогазових покладів, періодична оцінка стану міських агломерацій (зсуви, підтоплення тощо) та якості земель (у процесі земельної реформи); вивчення сучасних геодинамічних процесів під час реструктуризації вугільних шахт, оцінка стану та прогнозування заходів щодо охорони рослинних екосистем з метою мінімізації негативного впливу змін клімату тощо.

Вадим Іванович підготував і опублікував за своє життя понад 600 наукових праць, з них 30 монографій. Серед його учнів багато кандидатів і докторів наук.

В. І. Лялька був видатним організатором і педагогом. З 1986 року він — голова Наукової ради НАН України з вивчення природних ресурсів

дистанційними методами. З 1996 року до останнього часу був головою спеціалізованої вченої ради при ЦАКДЗ ІГН НАН України з захисту докторських та кандидатських дисертацій. Він був головним редактором електронного періодичного видання «Український журнал дистанційного зондування Землі», членом редколегій журналів «Космічна наука і технологія» та «Геологічного журналу»; науковим керівником проекту дослідження природних ресурсів аерокосмічними засобами у межах Національної космічної програми України. Вадим Іванович був координатором Відділення наук про Землю у вітчизняному проекті — частині Міжнародної програми «Глобальна система систем обстеження Землі» (GEOSS), у Європейській програмі «Глобальний моніторинг для навколишнього середовища та безпеки» (GMES). В. І. Лялька брав активну участь у міжнародних наукових конференціях, був обраний до складу Міжнародної академії астронавтики (2001 р.).

Заслуги Вадима Івановича перед вітчизняною наукою і виробництвом були відзначені Державними нагородами. Він є лауреатом Державних премій України в галузі науки і техніки (1989, 2004 рр.), премії ім. В. І. Вернадського АН України (1986 р.), Заслуженим діячем науки і техніки України (1997 р.). Його удостоєно орденом «За заслуги» II та III ступеня, Почесною Грамотою Верховної Ради України, почесними відзнаками «За наукові досягнення» НАН України, «За заслуги в розвідці надр» Геологічної служби України, «Почесний працівник та ветеран космічної галузі України» Національного космічного агентства України, «Золотий знак» Спілки геологів України та ін.

З великим смутком і болем ми, члени редколегії та редакції журналу «Космічна наука і технологія», зустріли звістку про смерть Вадима Івановича Лялька, світла пам'ять про якого назавжди залишиться в наших серцях.

Ангельський О. В. — див. Клецонок В. В.
Андрєєв О. А. — див. Голубаєв О. В.

Беспалко І. А., Греков Л. Д., Пекарєв Д. В., Федорчук Д. Л. Концепція інформаційної системи для забезпечення моніторингу космічного простору з метою підвищення воєнної безпеки. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 4. С. 3—17.

Білінський А. І. — див. Вовчик Є. Б.
Білоусов К. Г., Нечипорук М. В., Хорошилов В. С., Свиначенко Д. М., Мозговий Д. К., Попель В. М. Метод автоматизованої корекції приладових спотворень на багато-спектральних супутникових знімках «Ландсат-7». *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 3. С. 17—28.

Борисов А. А. — див. Пастухов А. О.
Борисова Т. О. — див. Пастухов А. О.
Булашенко А. В. — див. Пільтяй С. І.
Булашенко О. В. — див. Пільтяй С. І.
Буромський М. І. — див. Клецонок В. В.
Бушуєв Ф. І. — див. Голубаєв О. В.

Відьмаченко А. П. — див. Голубаєв О. В.
Вірун Н. В. — див. Вовчик Є. Б.
Вовчик Є. Б., Білінський А. І., Мартинюк-Лотоцький К. П., Вірун Н. В., Підстригач І. Я., Ногац Р. Т. Оптичні спостереження штучних космічних об'єктів у Львівській астрономічній обсерваторії. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 2. С. 54—60.

Гайдачук О. В., Кондратьєв А. В., Набокїна Т. П. Оптимізація тиску і часу формування композитних виробів при температурі мінімальної в'язкості сполучного. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 2. С. 3—13.

Голубаєв О. В., Горбаньов Ю. М., Шульга О. В., Андрєєв О. А., Бушуєв Ф. І., Відьмаченко А. П., Грудинін Б. О., Жилєєв Б. Є., Калюжний М. П., Козак П. М., Куліченко М. О., Малиновський Є. В., Мозгова А. М., Савчук С. Г., Стеклов О. Ф., Сумарук Ю. П., Янків-Вітковська Л. М. Створення Української метеорної спостережної мережі: інструменти, методи обробки, спостережні можливості. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 4. С. 39—70.

Горбаньов Ю. М. — див. Голубаєв О. В.
Горбаньов Ю. М. — див. Клецонок В. В.
Горєлов Б. М. — див. Гусарова І. О.
Греков Л. Д. — див. Беспалко І. А.
Грудинін Б. О. — див. Голубаєв О. В.

Гусарова І. О., Потапов О. М., Горєлов Б. М., Манько Т. А., Фролов Г. О. Композиційні термостійкі матеріали для багатofункціонального покриття. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 1. С. 43—50.

Гурова А. М. — див. Малишева Н. Р.
До 70-річчя О. П. Федорова, доктора фізико-математичних наук, члена-кореспондента НАН України. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 5. С. 81—82.

Дорофєєв А. В. — див. Ниркова Л. І.
«Дослідження Землі з космосу було сутністю його наукового життя» — слово пам'яті про проф. Вадима Івановича Лялька, академіка НАН України. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6. С. 85—86.

Ємельянов М. О., Шелестов А. Ю., Яїлімова Г. О., Шуміло Л. Л. Вплив зміни клімату на площі основних сільськогосподарських культур. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 2. С. 30—38.

Єпішев В. П., Кудак В. І., Мотрунич І. І., Періг В. М., Найбауєр І. Ф., Присяжний В. І. Визначення орієнтації штучного супутника Землі у випадку дифузного розсіювання світла його поверхнею. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 1. С. 61—69.

Жданко Є. Г. — див. Luo Y.
Жилєєв Б. Є. — див. Голубаєв О. В.
Жук І. Т. — див. Федоренко А. К.

Зазуляк П. М. — див. Согор А. Р.
Зазуляк П. М. — див. Фис М. М.
Захаров І. Г., Чорногор Л. Ф. Глобальні та локальні ефекти сейсмічної активності в іоносфері. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6. С. 12—24.

Ісмаїлов М. Б. — див. Мейірбеков М. Н.

Калиновська Л. М. — див. Пастухов А. О.
Калюжний М. П. — див. Голубаєв О. В.
Карбовський В. Л. — див. Клецонок В. В.
Кашуба В. І. — див. Клецонок В. В.
Кімаковський С. Р. — див. Клецонок В. В.
Клецонок В. В., Карбовський В. Л., Буромський М. І., Лашко М. В., Горбаньов Ю. М., Кашуба В. І., Кімаковський С. Р., Шавловський В. І., Ангельський О. В., Цехмейстренко В. С., Мишевський М. М., Ревун А. В. Покриття зір малими планетами Сонячної системи: стан спостере-

- режних програм в Україні. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 5. С. 56—66.
- Козак П. М. — див. Голубаєв О. В.
- Козіс К. В. — див. Мейірбеков М. Н.
- Кондратьєв А. В. — див. Гайдачук О. В.
- Корепанов В. Є. — див. Лізунов Г. В.
- Коробченко А. А. — див. Пилипчук О. Я. (а)
- Крисанова Н. В. — див. Пастухов А. О.
- Крючков Є. І. — див. Федоренко А. К.
- Кудак В. І. — див. Єпішев В. П.
- Куліченко М. О. — див. Голубаєв О. В.
- Лабур Т. М. — див. Ниркова Л. І.
- Лашко М. В. — див. Клецонок В. В.
- Лізунов Г. В., Корепанов В. Є., Лукенюк А. А., П'янкoва О. В., Федоров О. П. Космічний проєкт «Іоносат-Мікро»: готовність до реалізації. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6. С. 3—11.
- Лукенюк А. А. — див. Лізунов Г. В.
- Лялько В. І., Попов М. О., Седлєрова О. В., Хижняк А. В. Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України: шлях довжиною 30 років. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 3. С. 29—42.
- Малиновський Є. В. — див. Голубаєв О. В.
- Малишева Н. Р., Гурова А. М. Довгострокова сталість космічної діяльності: нові виклики перед міжнародним і національним космічним правом. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6. С. 63—73.
- Мамрай С. А. — див. Сухов П. П.
- Манько Т. А. — див. Гусарова І. О.
- Манько Т. А. — див. Мейірбеков М. Н.
- Мартинюк-Лотоцький К. П. — див. Вовчик Є. Б.
- Мейірбеков М. Н., Ісмаїлов М. Б., Манько Т. А., Козіс К. В. Дослідження впливу каучуків на міцнісні властивості вуглепластику. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 5. С. 67—74.
- Мишевський М. М. — див. Клецонок В. В.
- Мозгова А. М. — див. Голубаєв О. В.
- Мозговий Д. К. — див. Білоусов К. Г.
- Мотрунич І. І. — див. Єпішев В. П.
- Набокiна Т. П. — див. Гайдачук О. В.
- Назаренко О. П. — див. Ниркова Л. І.
- Назарова А. Г. — див. Пастухов А. О.
- Найбауер І. Ф. — див. Єпішев В. П.
- Нечипорук М. В. — див. Білоусов К. Г.
- Ниркова Л. І., Лабур Т. М., Шевцов Є. І., Назаренко О. П., Дорофєєв А. В., Осадчук С. О., Яворська М. Р., Поляцький А. Г., Федорчук В. Є. Комплекс властивостей зварного з'єднання сплаву 2219 у стані Т62 в умовах моделювання експлуатації. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 2. С. 14—29.
- Нігрєєва О. О. Міжнародно-правовий режим космічного простору: між *res communis* та *res nullius*. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 1. С. 23—42.
- Ногач Р. Т. — див. Вовчик Є. Б.
- Осадчук С. О. — див. Ниркова Л. І.
- Павловський О. Л. — див. Сухов П. П.
- Пастухов А. О., Крисанова Н. В., Позднякова Н. Г., Борисов А. А., Сівко Р. В., Назарова А. Г., Калиновська Л. М., Борисова Т. О. Розроблення підходів нейропротекції при довготривалих космічних місіях. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6. С. 52—62.
- Пекареєв Д. В. — див. Беспалко І. А.
- Періг В. М. — див. Єпішев В. П.
- Петрик І. А. — див. Ющенко К. А.
- Пилипчук О. О. — див. Пилипчук О. Я. (а)
- Пилипчук О. О. — див. Пилипчук О. Я. (б)
- Пилипчук О. Я., Стрелко О. Г., Коробченко А. А., Пилипчук О. О. Альфред Рассел Уоллес про гармонію у Всесвіті (До 120-річчя його праці «Місце людини у Всесвіті»). *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 2. С. 61—68. (а)
- Пилипчук О. Я., Стрелко О. Г., Пилипчук О. О. С. А. Подолінський в енергетичному трактуванні еволюції природи і суспільства. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6. С. 74—84. (б)
- Підстригач І. Я. — див. Вовчик Є. Б.
- Пільтяй С. І., Булашенко А. В., Поліщук А. В., Булашенко О. В. Хвилевідний НВЧ-поляризатор для антен супутникового зв'язку з коловою поляризацією. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 3. С. 43—61.
- Позднякова Н. Г. — див. Пастухов А. О.
- Покляцький А. Г. — див. Ниркова Л. І.
- Поліщук А. В. — див. Пільтяй С. І.
- Попель В. М. — див. Білоусов К. Г.
- Попов М. О. — див. Лялько В. І.
- Потапов О. М. — див. Гусарова І. О.
- Поштаренко Ю. А., Рассамакін Б. М., Рогачов В. А., Хомініч В. І., Шевченко М. Д. Засоби вимірювання теплових потоків при термовакuumних дослідженнях та випробуваннях виробів космічної техніки. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 1. С. 51—60.
- Присяжний В. І. — див. Єпішев В. П.
- П'янкoва О. В. — див. Лізунов Г. В.
- Рассамакін Б. М. — див. Поштаренко Ю. А.
- Ревун А. В. — див. Клецонок В. В.
- Рогачов В. А. — див. Поштаренко Ю. А.
- Савчук С. Г. — див. Голубаєв О. В.
- Свинаренко Д. М. — див. Білоусов К. Г.
- Седлєрова О. В. — див. Лялько В. І.
- Сівко Р. В. — див. Пастухов А. О.

Согор А. Р., Зазуляк П. М. Картографування екологічного забруднення повітря міста Львів. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 3. С. 86—91.

Согор А. Р. — див. Фис М. М.

Стеклов О. Ф. — див. Голубаєв О. В.

Стрелко О. Г. — див. Пилипчук О. Я. (а)

Стрелко О. Г. — див. Пилипчук О. Я. (б)

Сумарук Ю. П. — див. Голубаєв О. В.

Сухов К. П. — див. Сухов П. П.

Сухов П. П., Сухов К. П., Павловский О. Л., Мамрай С. А. Фотометричний спосіб визначення деградації поверхні геостационарного об'єкта. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 5. С. 75—80.

Федоренко А. К., Крючков Є. І., Черемних О. К., Жук І. Т. Хвильові збурення атмосфери у просторово неоднорідній течії. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6. С. 25—33.

Федоров О. П. — див. Лізунов Г. В.

Федорчук В. Є. — див. Ниркова Л. І.

Федорчук Д. Л. — див. Беспалко І. А.

Фис М. М., Зазуляк П. М., Согор А. Р. Потенціал сили тяжіння та його складова відцентрової сили всередині еліпсоїдальної планети. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 4. С. 71—77.

Фролов Г. О. — див. Гусарова І. О.

Хижняк А. В. — див. Лялько В. І.

Хомініч В. І. — див. Поштаренко Ю. А.

Хорошилов В. С. — див. Білоусов К. Г.

Хрущов Г. Д. — див. Ющенко К. А.

Цехмейстренко В. С. — див. Клецонок В. В.

Чигилейчик С. Л. — див. Ющенко К. А.

Черемних О. К. — див. Федоренко А. К.

Чорногор Л. Ф. — див. Захаров І. Г.

Чорногор Л. Ф. — див. Луо Ю.

Шавловський В. І. — див. Клецонок В. В.

Шевченко М. Д. — див. Поштаренко Ю. А.

Шевцов Є. І. — див. Ниркова Л. І.

Шелестов А. Ю. — див. Ємельянов М. О.

Шульга О. В. — див. Голубаєв О. В.

Шуміло Л. Л. — див. Ємельянов М. О.

Ющенко К. А., Яровицин О. В., Хрущов Г. Д., Петрик І. А., Чигилейчик С. Л. Дослідження і оптимізація процесу серійного ремонту робочих лопаток авіаційного газотурбінного двигуна Д-18Т мікроплазмовим порошковим наплавленням. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 3. С. 3—16.

Яворська М. Р. — див. Ниркова Л. І.

Яйлимова Г. О. — див. Ємельянов М. О.

Янків-Вітковська Л. М. — див. Голубаєв О. В.

Яровицин О. В. — див. Ющенко К. А.

Яцків Я. С. З історії космічних досліджень в Україні. 1. Виконання космічних досліджень станом на 1991 р. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 4. С. 78—88.

Akhmetov V. S. — see Khramtsov V.

Azevedo V. — see Orlovska I.

Baburov V. V. — see Gristchak V. Z.

Barh D. — see Orlovska I.

Bashliy I. D. — see Pylypenko O. V.

Ben Bahri O. Impact of Didactic Satellite in Space Maturity Improvement: A Review Paper. 2022. **28**, № 2. С. 39—47.

Bezrukovs V. — see Bushuev F. I.

Bryukhovetsky O. B. — see Bushuev F. I.

Bushuev F. I., Kaliuzhnyi M. P., Kriuchkovskiy V. F., Kulichenko M. O., Shulga O. V., Zhang Z., Bezrukovs V., Malynovskiy Ye. V., Reznichenko O. M., Bryukhovetsky O. B., Tuccari G. Observations of GEO and LEO Satellites: Radio Engineering Means of the Mykolaiv Astronomical Observatory. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 2. С. 48—53.

de Vera J.-P. — see Orlovska I.

di Cesare A. — see Orlovska I.

Dmytrenko A. M. — see Khramtsov V.

Dobrycheva D. V. — see Khramtsov V.

Dobrycheva D. V. — see Vavilova I. B.

Dyachenko N. M. — see Gristchak V. Z.

Elyiv A. A. — see Khramtsov V.

Elyiv A. A. — see Vavilova I. B.

Göes-Neto A. — see Orlovska I.

Gristchak V. Z., Hryshchak D. V., Dyachenko N. M., Baburov V. V. The influence of the Gaussian curvature sign of the compound shell structure's middle surface on local and overall buckling under combined loading. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 4. С. 31—38.

Gutnyk M. V. — see Zhurilo D. Yu.

Hryshchak D. V. — see Gristchak V. Z.

Kaliuzhnyi M. P. — see Bushuev F. I.

Khoroshlyov S. V. — see Redka M. O.

Khramtsov V., Vavilova I. B., Dobrycheva D. V., Vasylenko M. Yu., Melnyk O. V., Elyiv A. A., Akhmetov V. S., Dmytrenko A. M. Machine learning technique for morphological classification of galaxies from the SDSS. III. The CNN image-based inference of detailed features. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 5. С. 27—55.

Khramtsov V. — see Vavilova I. B.

Kozyrovskaya N. — see Orlovska I.

Kriuchkovskiy V. F. — see Bushuev F. I.

Kukharenko O. — see Orlovska I.

Kulichenko M. O. — see Bushuev F. I.

Luó Y., Чорногор Л. Ф., Жданко Є. Г. Іоносферні ефекти ракет, що стартують на фоні геокосмічних бур. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 3. С. 62—85.

- Malynovskiy Ye. V.* — see Bushuev F. I.
Maslova A. I. — see Pirozhenko A. V.
Melnyk O. V. — see Khramtsov V.
Melnyk O. V. — see Vavilova I. B.
Nikolayev O. D. — see Pylypenko O. V.
Orlovska I., Podolich O., Kukhareno O., Zubova G., Reva O., di Cesare A., Góes-Neto A., Azevedo V., Barh D., de Vera J.-P., Kozynovska N. The conceptual approach to the use of post-biotics based on bacterial membrane nanovesicles for prophylaxis of astronauts' health disorders. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 6. С. 34—51.
Pirozhenko A. V., Maslova A. I., Vasyliov V. V. Analytical model of satellite motion in almost circular orbits under the influence of zonal harmonics of geopotential. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 4. С. 18—30.
Podolich O. — see Orlovska I.
Pylypenko O. V., Smolensky D. E., Nikolayev O. D., Bashliy I. D. The approach to numerical simulation of the spatial movement of fluid with the formation of free gas inclusions in propellant tank under space flight conditions. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 5. С. 3—14.
Redka M. O., Khoroshylov S. V. Determination of the force impact of an ion thruster plume on an orbital object via deep learning. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 5. С. 15—26.
Reva O. — see Orlovska I.
Reznichenko O. M. — see Bushuev F. I.
Shulga O. V. — see Bushuev F. I.
Smolensky D. E. — see Pylypenko O. V.
Tuccari G. — see Bushuev F. I.
Vasylenko M. Yu. — see Khramtsov V.
Vasylenko M. Yu. — see Vavilova I. B.
Vasyliov V. V. — see Pirozhenko A. V.
Vavilova I. B., Khramtsov V., Dobrycheva D. V., Vasylenko M. Yu., Elyiv A. A., Melnyk O. V. Machine learning technique for morphological classification of galaxies from SDSS. II. The image-based morphological catalogs of galaxies at $0.02 < z < 0.1$. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 1. С. 3—22.
Vavilova I. B. — see Khramtsov V.
Zhang Z. — see Bushuev F. I.
Zhurilo A. G. — see Zhurilo D. Yu.
Zhurilo D. Yu., Gutnyk M. V., Zhurilo A. G. George Bothezat and his contribution into the world aviation and astronautics. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 1. С. 70—80.
Zubova G. — see Orlovska I.