

УДК 551.58:159.923.2(045)

DOI: 10.36550/2415-7988-2023-1-208-161-166

КРАСНОБОКИЙ Юрій Миколайович –

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання
природничих наук Уманського державного педагогічного
університету імені Павла Тичини
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2103-9978>
e-mail: y mk201113@gmail.com

ТКАЧЕНКО Ігор Анатолійович –

доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри фізики та інтегративних технологій навчання
природничих наук Уманського державного педагогічного
університету імені Павла Тичини
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1775-1110>
e-mail: tkachenko.igor1071@gmail.com

ІЛЬНИЦЬКА Катерина Сергіївна –

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики
та інтегративних технологій навчання природничих наук
Уманського державного педагогічного
університету імені Павла Тичини
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6179-5543>
e-mail: e-ilmnitskaja@udpu.edu.ua

САМООРГАНІЗАЦІЯ У ФОРМУВАННІ КЛІМАТУ НА ПЛАНЕТАХ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

У статті обґрунтовується синергетичний підхід до пояснення феномену формування клімату на ближніх до Землі планетах Сонячної системи. Спираючись на концептуальні положення синергетики, показано, що клімат планет змінювався в процесі їх еволюції, рушієм якої є явище самоорганізації природних систем, основними з яких, у відношенні формування клімату, виступають: наявність води (океанів), суходолу, атмосфери і біоти.

З точки зору синергетичних уявлень у природі (в цих системах) постійно відбуваються самоорганізовані макроскопічні процеси: упорядкований рух частинок речовини протиставляється процесу їх хаотичного теплового руху. Різноманітність спостережуваних у природі таких макроскопічних процесів являє собою різні види руйнування початкових упорядкованих станів систем і дисипації накопиченої в них енергії. З причини безперервних процесів розпаду і дисипації енергії упорядковані процеси можуть підтримуватися, якщо існує приплив енергії до системи від іншого упорядкованого процесу, наприклад, від зовнішнього середовища. Для планет Сонячної системи зовнішнім джерелом енергії є випромінювання Сонця. Клімат на поверхні планет Сонячної системи визначається середнім розподілом сонячної енергії по різних генерованих нею макроскопічних процесах з врахуванням видів і частоти всіх можливих флуктуацій, які є причиною деградації початкових станів природних систем на планетах.

У статті аналізуються причини виникнення і перебігу таких кліматичних процесів як потепління, похолодання (заледеніння), кругообіг водяної пари і вуглекислого газу, парниковий ефект.

Ключові слова: самоорганізація, клімат, погода, сонячна енергія, планети, парниковий ефект.

KRASNOBOKY Yuriy Mykolayovych –

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Physics and
Integrative Technologies of Natural Sciences
of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2103-9978>
e-mail: y mk201113@gmail.com

TKACHENKO Igor Anatoliyovych –

Doctor of Pedagogical Sciences,
Professor of the Department of Physics and Integrative
Technologies of Natural Sciences
of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1775-1110>
e-mail: tkachenko.igor1071@gmail.com

ILNITSKA Kateryna Serhiivna –

Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor of the Department of Physics
and Integrative Technologies of Natural Sciences
of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6179-5543>

SELF-ORGANIZATION IN CLIMATE FORMATION ON THE PLANETS OF THE SOLAR SYSTEM

The article substantiates a synergistic approach to explaining the phenomenon of climate formation on the planets of the solar system close to the Earth. Based on the conceptual provisions of synergy, it is shown that the climate of the planets changed in the process of their evolution, the driving force of which is the phenomenon of self-organization of natural systems, the main of which, in relation to the formation of the climate, are: the presence of water (oceans), land, atmosphere and biota.

From the point of view of synergistic ideas, self-organizing macroscopic processes constantly occur in nature (in these systems): the orderly movement of particles of matter is opposed to the process of their chaotic thermal movement. The diversity of such macroscopic processes observed in nature represents different types of destruction of the initial ordered states of systems and dissipation of energy accumulated in them. Due to the continuous processes of decay and dissipation of energy, ordered processes can be maintained if there is an influx of energy into the system from another ordered process, for example, from the external environment. For the planets of the Solar System, the external source of energy is radiation from the Sun. The climate on the surface of the planets of the Solar System is determined by the average distribution of solar energy on various macroscopic processes generated by it, taking into account the types and frequency of all possible fluctuations that are the cause of the degradation of the initial states of natural systems on the planets.

The Sun's radiation at the time of its formation was 30% weaker than it is today, and then the Sun's luminosity began to increase proportionally with time. This so-called paradox of the young Sun should have affected the climate of the planets: if the Earth's atmosphere 4 billion years ago was the same as it is now, it would have been in a frozen state 2 billion years ago. But data from the study of sedimentary rocks do not confirm this. At least 3.8 billion years ago, the Earth already had oceans, so the Earth's atmosphere had to change as well. The terrestrial planets possibly have once been similar to each other. They were composed of nearly identical rocks, had similar atmospheric compositions, and were large enough to hold water on the surface. The difference in climate on the planets arose due to the different circulation of carbon dioxide during its exchange between the crust and the atmosphere. Like water vapor, carbon dioxide is a greenhouse gas because it absorbs the planet's heat and re-radiates some of it back to the surface by letting sunlight through. Calculations show that the Earth's temperate climate owes its origin to the features of the gas exchange mechanism: as the planet cools, the amount of carbon dioxide in the atmosphere increases, and vice versa. Mars has lost the ability to return gas to the atmosphere, which is why it is "frozen", Venus, on the contrary, does not have a mechanism for removing carbon dioxide from the atmosphere, and Mercury is not able to retain an atmosphere at all, and the Sun completely determines the temperature of its surface.

The article analyzes the causes and course of such climatic processes as warming, cooling (freezing), the circulation of water vapor and carbon dioxide, the greenhouse effect.

Keywords: self-organization, climate, weather, solar energy, planets, greenhouse effect.

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Для людства залежність від клімату завжди була істотною. І хоча у ХХІ ст. є можливість долати наслідки деяких його аномалій, проте залежність від клімату не слабшає. Та й людська діяльність почала значно впливати на клімат.

Свідченням все зростаючої уваги і стурбованості світової спільноти до проблем клімату стало практикою проведення щорічних самітів ООН з питань зміни клімату COP (Conference of the Parties).

Що ж до України, то останні 20 років середня температура повітря в Україні б'є рекорди, вона постійно зростає. З 80-х років середня температура січня та лютого місяців в Україні зросла на 2 – 2,5 градуси.

Наука кліматологія, яка постійно збагачується методами та інструментарієм своїх досліджень, покликана використовувати знання про клімат і його зміни у процесах планування та управління господарською діяльністю, але поки що вона не здатна однозначно оцінити наслідки сумарного впливу на клімат факторів природного та антропогенного походження. Тому дослідження в цій царині постійно будуть **актуальними**.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Детальному дослідженню можливостей безпосередньо *синергетичного* підходу до пояснення умов формування і динаміки змін клімату на планетах Сонячної системи присвячено

порівняно мало робіт. Цю проблему можна аналізувати з точки зору термодинаміки відкритих нерівноважних систем – *водного покриву* (поверхні океанів), *суходолу*, *атмосфери* і *біоти* (за наявністю), – які в процесі взаємного впливу, взаємодії, і, як наслідок, самоупорядкування (самоорганізації) й визначають клімат на планетах. Процеси самоорганізації в подібних (відкритих, динамічних) системах детально досліджені і опубліковані в працях школи І. Пригожина, на одну з яких [15] є посилання у цій статті. Спроби пояснити стан кліматичних умов на поверхнях планет земної групи в залежності від їх відстані до Сонця, зроблені Дубніщевою Т.Я. в роботі [12, С. 572 – 579]. Значний за обсягом матеріалу аналіз впливу різних факторів на клімат, зокрема й на клімат Землі, представлено в низці робіт Горшкова В.Г., опублікованих з 1980 по 1995 роки і узагальнено в праці [10]. Різним природним циклам і ритмам, які мають те, чи те відношення до формування клімату на різних планетах, присвячені роботи авторів [1 – 6; 11; 13; 17; 18]. Дотичне відношення до проблеми клімату мають й авторські роботи [14; 16].

Об'єкт дослідження: клімат на поверхнях планетах Сонячної системи.

Предмет дослідження: термодинамічний аналіз впливу процесів самоорганізації природних систем: океану, суходолу, атмосфери, біоти (за її наявністю) на формування клімату.

Мета статті: продемонструвати можливості синергетичного підходу до пояснення факторів формування і причин зміни кліматичних умов на поверхнях планет Сонячної системи.

Методи дослідження: аналіз архівних метеорологічних матеріалів; узагальнення даних щорічних публікацій комісії ООН з проблем клімату.

Виклад основного матеріалу дослідження. Поняття клімату виникло ще в Стародавній Греції (від грец. klima – нахил). Термін було запроваджено давньогрецьким астрономом Гіппархом.

Погода – це сукупність значень метеорологічних параметрів у будь-який момент часу у даній точці простору. Існує межа передбачуваності погоди протягом 2-3-х тижнів.

Під кліматом розуміють усереднені в часі показники; зараз, зазвичай, за цей час беруть 100 років.

Для клімату найважливішим фактором є величина сонячної енергії [11], що припадає на одиницю площі поверхні планети за добу. Світлова потужність, що потрапляє на одиничну площадку, або освітленість, пропорційна косинусу кута між напрямком на джерело світла і нормаллю до площадки і обернено пропорційна квадрату відстані r : $E = I_c(a/r)^2 \cos \varphi$, де $I_c = 1360 \text{ Вт/м}^2$ – сонячна стала; a – середня відстань планети від Сонця. Для Землі відстань до Сонця протягом року змінюється в межах 3,3%, тобто різниця в освітленості Землі складає приблизно 7%. Кут нахилу площадки поверхні планети до Сонця змінюється щогодини, щодня, щороку і залежить від широти місцевості. Сонячна енергія, що надходить за добу, – є найважливішою характеристикою клімату цієї широти [17]. Теплові характеристики є важливими параметрами кліматичної системи. Відбивні властивості поверхні визначаються таким параметром, як *альbedo* поверхні; важливими також є теплообмін атмосфери з поверхнями суходолу і океану, рівень океану, положення і стан льодовиків тощо.

Астрофізичними методами аналізу різних непрямих кліматичних показників було виділено три періодичності коливальності клімату. Період у 100 тис. років пов'язують із таким самим періодом коливальності ексцентриситету орбіти Землі, період у 40 – 43 тис. років – із періодичними змінами нахилу екватора до площини орбіти, а період у 19 – 23 тис. років – із прецесією орбіти Землі. Таким чином, зазначена періодичність пов'язана зі змінами в кількості сонячної енергії, що надходить на Землю, які викликані коливаннями орбіти нашої планети [11].

Випромінювання Сонця в момент його утворення було на 30% слабше за нинішнє, а потім світність Сонця почала зростати пропорційно плину часу. Цей, так званий, *парадокс молодого Сонця* повинен був позначитися й на кліматі планет. Планети земної групи, мабуть, колись були

схожі одна на одну. Різниця в кліматі на планетах виникла через різний кругообіг вуглекислого газу при обміні ним між корою та атмосферою [1].

Клімат змінювався разом із еволюцією планет. Припускають, що у далекому минулому був значний *парниковий ефект*. За оцінками М.Хартра, зниження вмісту CO_2 в атмосфері відбувається зі швидкістю, яка компенсує зростання світності Сонця. Порівнюючи аналогічні розрахунки щодо різних відстаней Землі від Сонця, він отримав, що за відстані від Сонця меншій від 1 *a.o.* на 5% атмосфера нагрілася б настільки, що океани випарувалися б в результаті зростаючого парникового ефекту, а на відстанях, більших на 1%, – відбувалися б процеси наростаючого заledenіння, тобто лише у вузькій «смузці» відстаней між 0,95 і 1,01 *a.o.* Земля змогла уникнути цієї катастрофи клімату [12, С. 576].

Уповільнення процесу кругообігу CO_2 відбулося через механізм повернення газу в атмосферу, оскільки на Марсі, ймовірно, тектоніка плит не була настільки вираженою як на Землі. Вулканічна лава покривала карбонатні залишки, вони поринали в глибини, де під впливом тиску вивільнявся газоподібний CO_2 , і за оцінками, так могло тривати приблизно 1 млрд. років. Мабуть, Марс через менші розміри охолоджувався швидше, ніж Земля: у нього було менше внутрішньої теплоти, яку він через більше відношення площі поверхні до об'єму швидше втрачав, його надра охолоджувалися, втрачаючи здатність вивільняти вуглекислий газ із порід.

На Венері майже немає води, оскільки вона утворилася із надто гарячої частини туманності [4].

Концепцію наростаючого парникового ефекту на планетах запропонував Хойл (1955). Зараз вважається більш вірогідною теорія *вологого парника*, оскільки за тиску 10^5 Па і водяної пари, і вуглекислого газу, водяна пара зайняла б 50% об'єму, і більша частина її залишила б атмосферу [1]. Так до свого сухого та гарячого стану прийшла й атмосфера Венери. До неї надходить сонячного світла майже удвічі більше, ніж до Землі, але її кислотні хмари відбивають до 80% світла, і вона отримує теплоти та світла від Сонця менше, ніж Земля. За відсутності парникового ефекту Венера була б не набагато теплішою за Марс і холоднішою за Землю [12, С. 579].

У природі постійно спостерігаються самоорганізовані упорядковані макроскопічні процеси – вітер, утворення хмар, випадання опадів, течії річок і т. п. З точки зору синергетики щодо атомно-молекулярної будови матерії упорядкований рух молекул речовини завжди протиставляється хаотичному (нескорельованому) тепловому рухові молекул [15]. З причини безперервних процесів розпаду і дисипації енергії спостережуваний упорядкований процес підтримується, якщо існує приплив енергії від іншого упорядкованого процесу (наприклад, від зовнішнього середовища). Для планет Сонячної

системи таким зовнішнім джерелом енергії є випромінювання Сонця.

Вважається, що сонячне випромінювання близьке до рівноважного випромінювання «абсолютно чорного тіла», яке описується формулою (розподілом) М. Планка і має температуру $T_C \approx 5770 \text{ K}$. Середня температура поверхні Землі складає $T_3 \approx 288 \text{ K}$ (15°C). Завдяки великій різниці температур цих тіл сонячне випромінювання для Землі являє собою практично чисте джерело вільної енергії, яка може перетворюватися в упорядковані макроскопічні «рухи» систем.

Потужність сонячного випромінювання, яке падає на всю Землю за межами її атмосфери, дорівнює:

$$\pi R_3^2 I_C = 4\pi R_3^2 I = 1,7 \cdot 10^{17} \text{ Вт};$$

$$I_C = 4I = (1367 \pm 3) \text{ Вт/м}^2; I = 340 \text{ Вт/м}^2, (1)$$

де I_C – сонячна стала, природні зміни якої не перевищують 0,1%; R_3 – радіус Землі; I – середній потік випромінювання на одиницю площі земної поверхні.

Сонячна енергія, що падає на переріз Землі площею πR_3^2 , розподіляється потім по всій поверхні Землі площею $4\pi R_3^2$ за рахунок обертання Землі і енергетичних потоків у атмосфері і океані [7]. Величина I визначається орбітою планети за повного поглинання всієї падаючої сонячної енергії. У дійсності частина сонячної енергії відбивається від поверхні планети, в результаті чого планети стають видимими на фоні зоряного неба. Ця відбита частина сонячної енергії називається планетарним альбедо (A). Земне альбедо приблизно складає 30%, яке на 83% визначається відбиванням атмосфери і лише 17% – поверхнею Землі. Середній, поглинутий Землею (разом з атмосферою), потік сонячного випромінювання на одиницю площі земної поверхні складає:

$$I_{\text{ср}} = I(1 - A) = 240 \text{ Вт/м}^2. (2)$$

Атмосферою поглинається біля третини $I_{\text{ср}}$. В результаті середній потік сонячного випромінювання, який потрапляє на поверхню Землі, послаблюється порівняно з падаючим I (1) приблизно удвічі і складає біля:

$$I_0 \approx 150 \text{ Вт/м}^2. (3)$$

Ця величина практично вичерпує всю вільну енергію, яку земна поверхня отримує з космосу [17].

Абсолютна температура повітря Землі є величиною, пропорційною середній енергії руху його молекул. Абсолютна температура поверхні Сонця T_C пропорційна середній енергії фотонів сонячної радіації. Аналогічно абсолютна температура поверхні Землі T_3 пропорційна середній енергії фотонів теплового випромінювання Землі. У рівноважному стані, коли температура Землі не змінюється, енергія сонячного випромінювання, яке падає на Землю, співпадає з енергією зворотного випромінювання Землі. Це означає, що кожен

фотон сонячного випромінювання «розпадається» в середньому на $n_0 = T_C / T_3 \approx 20$ фотонів теплового випромінювання, яке випромінюється Землею назад у космічний простір. Вважається, що саме завдяки розпаду сонячних фотонів і відбувається генерація всіх спостережуваних упорядкованих процесів на земній поверхні, зокрема й змін клімату [9].

Абсолютна величина парникового ефекту для Землі складає $\sim 160 \text{ Вт/м}^2$. Біля 100 Вт/м^2 він створюється парною води, відносний вміст якої в атмосфері складає по об'єму 0,3%. Приблизно за 50 Вт/м^2 відповідає газ CO_2 , вміст якого $\sim 0,03\%$. Решту частини парникового ефекту визначають гази CH_4 , N_2O і O_3 , загальний вміст яких в атмосфері не перевищує $3 \cdot 10^{-4}\%$ [6].

Температура земної поверхні визначається спостережуваним градієнтом атмосферної температури $\text{grad}T \approx 5,5^\circ\text{C/км}$ і «ефективною» товщиною атмосфери $\sim 6 \text{ км}$. Практично до такої висоти градієнт атмосферної температури залишається сталим і відповідно спад температури складає $5,5^\circ\text{C/км} \times 6 \text{ км} = 33^\circ\text{C}$ [10, С. 67].

За відсутності атмосфери і за нульового альбедо температура планети визначається сонячною сталою, яка залежить лише від радіуса орбіти планети. Для Землі ця температура складає 278 K . Наявність альбедо Землі знижує температуру на 23°C (до -18°C), а парниковий ефект підвищує температуру на 33°C (до $+15^\circ\text{C}$). На Венері ці зміни досягають сотень градусів. Таким чином, приповерхнева температура планети, яка має атмосферу, практично цілком визначається не її орбітальним розташуванням, на яке біота планети не може вплинути [8], а величиною альбедо і парникового ефекту, які можуть цілком перебувати під контролем біоти [10, С. 69].

По-перше, якби стійкість оточуючого середовища на Землі пояснювалася лише фізичними причинами, то положення рівноваги повинне було б постійно зміщуватися під впливом спрямованих зовнішніх збурень. Цей зсув повинен був би обов'язково призвести до виходу за межі, придатні для існування життя. По-друге, не дивлячись на величезну змінність абсолютного вмісту водяної пари в атмосфері, відносна вологість варіює значно менше і за першого наближення може вважатися постійною [10, С. 73]. Тоді, в залежності від температури, концентрація пари води в атмосфері співпадає зі змінами її насичуючої концентрації. Така поведінка, як відомо, описується експонентою розподілу Больцмана:

$$n = n_0 \exp(-\Pi/kT), (4)$$

де в якості енергії Π необхідно підставити приховану енергію випаровування води $40,5 \text{ кДж/моль}$. Використавши це значення, отримаємо, що концентрація пари води зростає приблизно удвічі за зростання температури на кожні 10°C . Саме цей факт і призводить до посилення парникового ефекту [10, С. 73 – 74].

Висновки та перспективи подальших розвідок напруму. Таким чином, синергетичний підхід до пояснення стану клімату на планетах Сонячної системи з точки зору явища самоорганізації наявних на планетах природних систем дає можливість задовільно описати умови його формування і динаміку змін на поверхні Землі. Стейкий же стан обледеніння (типу Марса) або випаровування рідкої фази (типу Венери) на планетах, мабуть, невідмежовані від існуючого на них стаціонарного кліматичного стану жодними фізичними бар'єрами, і збереження наявного стану оточуючого середовища (без врахування біотичного контролю) залишається досі незрозумілим. Єдиним поясненням спостережуваної стійкості оточуючого середовища на Землі є функціонування природної біоти, сенс існування якої полягає у підтриманні оптимальних для життя умов.

На думку авторів, це припущення може представляти інтерес для подальших досліджень.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Братсерт У.Х. Испарение в атмосферу. Ленинград: Гидрометиздат, 1985. 351 с.
2. Бримхолл Дж. Образование руд. *В мире науки*, №7, 1991. С. 40 – 49.
3. Брокер У.С., Дентон Дж.Г. В чем причина обледенения? *В мире науки*, №3, 1990. С. 31 – 39.
4. Бронштейн В.А. Планеты и их наблюдение. Москва: Наука, 1984. 240 с.
5. Васильева Н.И. Циклы и ритмы в природе и обществе: моделирование природных периодических процессов. Таганрог: ТРТУ, 1995. 152 с.
6. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. Москва: Наука, 1995. 339 с.
7. Горшков В.Г. Энергетические потоки биосферы и их потребление человеком. Изв. ВГО, 1980. Т. 112, №5. С. 411 – 417.
8. Горшков В.Г., Кондратьев К.Я., Шерманс С.Г. Принцип Ле Шателье в реакции биоты на возмущение атмосферной двуокиси углерода. Изв. ВГО, 1989. Т. 121, в. 4. С. 284–293.
9. Горшков В.Г. Термическая устойчивость климата. Изв. РГО, 1994. Т. 216, в. 3. С. 26 – 35.
10. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. Москва: ВИНТИ, 1995. 470 с.
11. Дейвис Г.Р. Энергия для планеты Земля. *В мире науки*, №11, 1990. С. 7–16.
12. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания. Москва: ИЦ «Академия», 2003. 608 с.
13. Килинг Ч.Д. Циклы двуокиси углерода. В кн.: *Химия нижней атмосферы*. Москва: Мир, 1976. С. 311–359.
14. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А., Гребеніченко Д.І. Моделювання майбутнього Землі як планети за можливих змін її астрофізичних параметрів. Eurasian scientific congress. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain, 2020. Pp. 227 – 234.
15. Николіс Дж., Пригожин І. Самоорганізація в неравновесных системах. Москва: Мир, 1979. 512 с.
16. Ткаченко І.А., Краснобокий Ю.М. Про можливі наслідки змін деяких параметрів нашої планети. «Світ наукових досліджень. Випуск 12»: матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції, (м. Тернопіль, Україна – м. Переворськ, Польща, 29 – 30 вересня 2022 р.); ГО «Наукова спільнота»; WSSG w Przeworsku. Тернопіль: ФОП Шпак В.Б. С. 214–217.
17. Шелепин Л.А. Солнечная активность и Земля. Москва: Знание, 1980. 64 с.
18. Шнайдер С.Г. Меняющийся климат. *В мире науки*, 1989, №11. С. 26–36.

REFERENCES

1. Bratsert, U.H. (1985). Isparenie v atmosferu [Evaporation to the atmosphere], 351 [in Russian].
2. Brimholl, Dzh. (1991). Obrazovanie rud [Ore formation]. *V mire nauki*, №7, 40 – 49 [in Russian].
3. Broker, U.S., Denton, Dzh.G. (1990). V chem prichina obledeneniya? [What is the cause of icing?] *V mire nauki*, №3, 31–39 [in Russian].
4. Bronshtejn, V.A. (1984). Planety i ih nabljudenie [Planets and their observation], 240 [in Russian].
5. Vasil'eva, N.I. (1995). Cikly i ritmy v prirode i obshhestve [Cycles and rhythms in nature and society]. *Modelirovanie prirodnyh periodicheskikh processov*, 152 [in Russian].
6. Vernadskij, V.I. (1995). Himicheskoe stroenie biosfery Zemli i ee okruzenija [Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment], 339 [in Russian].
7. Gorshkov, V.G. (1980). Jenergeticheskie potoki biosfery i ih potreblenie chelovekom [Energy flows of the biosphere and their consumption by humans], vol. 112, n. 5, 411–417 [in Russian].
8. Gorshkov, V.G., Kondrat'ev, K.Ja., Shermans, S.G. (1989). Princip Le Shatel'e v reakcii bioty na vozmushhenie atmosfernoju dvuokisi ugljeroda [Le Chatelier's principle in the response of biota to a perturbation of atmospheric carbon dioxide], vol. 121, n. 4, 284–293 [in Russian].
9. Gorshkov, V.G. (1994). Termicheskaja ustojchivost' klimata [Thermal climate stability], vol. 216, n. 3, 26 – 35 [in Russian].
10. Gorshkov, V.G. (1995). Fizicheskie i biologicheskie osnovy ustojchivosti zhizni [Physical and biological foundations of life sustainability], 470 [in Russian].
11. Dejvis, G.R. (1990). Jenergija dlja planety Zemlja [Energy for planet Earth]. *V mire nauki*, №11, 7–16 [in Russian].
12. Dubnishheva, T.Ja. (2003). Konceptii sovremennogo estestvoznaniya [Concepts of modern natural science], 608 [in Russian].
13. Kiling, Ch.D. (1976). Cikly dvuokisi ugljeroda [Carbon dioxide cycles]. V kn.: *Himija nizhnej atmosfery*, 311–359 [in Russian].
14. Krasnobokiy, Yu.M., Tkachenko, I.A., Hrebenichenko, D.I. (2020). Modeliuvannia maibutnoho Zemli yak planety za mozhlyvykh zmin yii astrofizychnykh parametriv. [Modeling the future of the Earth as a planet under possible changes in its astrophysical parameters]. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference, 227–234 [in Ukrainian].
15. Nikolis, Dzh., Prigozhin, I. (1979). Samoorganizacija v neravnovesnyh sistemah [Self-organization in nonequilibrium systems], 512 [in Russian].

16. Tkachenko, I.A., Krasnoboky, Yu.M. (2020). Pro mozhlivi naslidky zmin deiakykh parametriv nashoi planety [About possible changes in current parameters of our planet]. «Svit naukovykh doslidzen. Vypusk 12»: materialy Mizhnarodnoi multydystryplinarnoi naukovoї internet-konferentsii, 316 [in Ukrainian].

17. Shelepin, L.A. (1980). Solnechnaja aktivnost' i Zemlja [Solar activity and the Earth], 64 [in Russian].

18. Shnajder, S.G. (1989). Menjajushhij klimat [Changing climate]. V mire nauki, №11, 26–36 [in Russian].

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

КРАСНОБОКИЙ Юрій Миколайович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини.

Наукові інтереси: теорія та методика навчання природничих наук.

ТКАЧЕНКО Ігор Анатолійович – доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини.

Наукові інтереси: теорія та методика навчання природничих наук.

ІЛЬНИЦЬКА Катерина Сергіївна – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук

Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини

Наукові інтереси: теорія та методика навчання природничих наук.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

KRASNOBOKY Yuriy Mykolayovych – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

Scientific interests: theory and methods of teaching natural sciences.

TKACHENKO Igor Anatoliyovych – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

Scientific interests: theory and methods of teaching natural sciences.

ILNITSKA Kateryna Serhiivna – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

Scientific interests: theory and methods of teaching natural sciences.

Стаття надійшла до редакції 15.12.2022 р.

УДК: 374, 378

DOI: 10.36550/2415-7988-2023-1-208-166-171

МАЛЬЧЕНКО Світлана Леонідівна –

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та методики її навчання Криворізького державного педагогічного університету

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8291-6642>

e-mail: Malchenko.svitlana@kdpu.edu.ua

СЛЮСАРЕНКО Микола Анатолійович –

кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри фізики та методики її навчання Криворізького державного педагогічного університету

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0288-5482>

e-mail: nick_slusarenko@yahoo.com

ЗАХОДИ ПОПУЛЯРИЗАЦІЇ АСТРОНОМІЇ

Гостра проблема природничо-математичної підготовки учнів сприяла зростанню популярності розважальних науково-популярних заходів. Для популяризації астрономії можна організувати інтерактивні лекторії, де підготовлений науковець розповість цікаву інформацію на доступній аудиторії мові, дасть відповіді на їх питання. Демонстрація об'єктів Всесвіту створить ілюзію залучення слухачів у наукові відкриття та спостереження. Ще один варіант активного сприймання інформації – це організація астрономічних локацій інтерактивного спрямування, таких як квести, вікторини, лабіринти, задачі-жарту, завдання на кмітливість, історичні відомості. Доречним буде залучення сучасних цифрових технологій. Наочності локаціям додадуть астрономічні макети та прилади. На масових науково-популярних заходах, можна також запропонувати відвідувачам самостійно виготовити власні прилади, намалювати ті чи інші сузір'я, зібрати моделі Сонячної системи чи зоряних сузір'їв, налаштувати астрономічні прилади, та навчитися визначати час за власноруч виготовленим годинником.

Ключові слова: Астрономія, науково-популярні заходи, астрономічна локація.

MALCHENKO Svitlana –

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Methods of its Teaching, Kryvyi Rih State Pedagogical University