

THE HUMAN BEING AS A BOUNDARY SYSTEM
IN THE INTERACTION BETWEEN
THE BIOLOGICAL AND THE TECHNOGENIC

ЛЮДИНА ЯК МЕЖОВА СИСТЕМА
ПРИ ВЗАЄМОДІЇ БІОЛОГІЧНОГО І ТЕХНОГЕННОГО

Vyacheslav Voloshyn¹
Oleg Klenin²

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-673-7-2>

Abstract. The subject of this study is the human being, considered as an integral element of the Earth's ecosystem, combining both creative and destructive functions and participating in global energy, thermodynamic, and metabolic processes. It is methodologically substantiated that this role is determined by simultaneous belonging to two interrelated domains – the biological (carbon–protein) and the inorganic (notably artificial silicon–metallic). The aim of the study is to identify the fundamental regularities governing the interaction between biological and artificial inorganic systems, in order to understand possible trajectories in the evolution of intelligence and the conditions for their coherent coexistence. It is demonstrated that human activity forms a boundary zone between these domains, within which new forms of the organisation of matter emerge, including artificial intelligent information systems and intelligences potentially capable of autonomous functioning under conditions of non-equilibrium thermodynamics. The research methodology is based on the application of entropy change as a universal efficiency indicator for comparing biological and inorganic systems, enabling an assessment of their competitiveness, resource potential, and capacity for coexistence. The findings indicate that the informational component of entropy plays a decisive role in the development of human

¹ Doctor of Technical Science, Professor,
Professor of the Department Thermal Power Generation,
Priazovsky State Technical University, Ukraine

² Doctor of Economical Science, Professor,
Professor of the Department Economic Engineering
Priazovsky State Technical University, Ukraine

society and its created systems, opening prospects for surpassing the level of organisation characteristic of biological structures. At the same time, the limitations of contemporary artificial systems are associated with the insufficient realisation of the cognitive component, which constrains their full development. The existence of thermodynamic limits governing interactions between biological and inorganic forms is substantiated, within which both antagonistic and convergent developmental scenarios are possible. In conclusion, the study advances a hypothesis concerning the probable evolutionary transformation of intelligence towards inorganic forms of matter, with the human being acting as an intermediate yet necessary link. The shift in the motivational paradigm of human existence – from physical survival to intellectual comfort – is accompanied by biological transformations and reinforces the role of artificially created systems. As a practical implication, it is shown that the future of the planet will be determined by the balance between competition and coexistence of these two modes of the organisation of matter.

Вступ

Людина як біологічний вид, що сформувався протягом еволюційного розвитку, за відносно короткий історичний період, завдяки когнітивній складовій свого розуму (когнітивна революція) [1, с. 28], перетворилася на домінуючий фактор впливу на екосистему Землі. Завдяки високому рівню інтелектуальної організації вона не лише інтегрувалася в біологічні процеси планети (аграрна революція), а й активно трансформує неорганічне середовище, залучаючи та перерозподіляючи значні обсяги енергетичних та матеріальних ресурсів (науково-технічна революція) [2, с. 122]. У цьому контексті людина постає як універсальний енергетичний перетворювач, що поєднує природні біологічні механізми засвоєння енергії з техногенними способами її генерації, перетворення та використання.

Особливістю людської діяльності є здатність до створення складних технічних та інфраструктурних систем, які характеризуються високим ступенем організованості. Такі системи, включаючи широкий спектр машин, промислові комплекси, енергетичні мережі, цифрові інформаційні структури та ін., формують локальні області зниженої ентропії на планеті [3, с. 54; 4, с. 334; 5, с. 246]. Їх існування забезпечується за

рахунок зростання ентропії у навколишньому середовищі, що узгоджується з фундаментальними законами термодинаміки [6, с. 327]. Отже, людська діяльність може бути інтерпретована як процес анти-ентропійної організації, спрямований на підтримання нерівноважних станів у складних відкритих системах та збереження сонячної енергії на Землі.

Паралельно з розвитком техногенних структур відбувається формування нового типу систем – штучних інтелектуальних комплексів, які дедалі більше набувають властивостей, притаманних біологічному інтелекту. Їх інтеграція, у вигляді енергетичних, механічних та інформаційних підсистем, створює передумови для виникнення автономних неорганічних середовищ функціонування, потенційно здатних до саморегуляції та адаптації [7, с. 173]. У зв'язку з цим виникає необхідність попереджувального переосмислення ролі людини як єдиного носія інтелекту, оскільки створені нею системи поступово виходять за межі суто інструментального використання.

Разом із цим інтенсивний розвиток техногенних систем супроводжується зростанням соціальних, екологічних та інших ризиків [2, с. 369]. Використання висококонцентрованих джерел енергії, створення штучних хімічних і біологічних агентів, масштабна трансформація природних ландшафтів та ін. призводять до порушення глобальних екологічних балансів. Це актуалізує проблему визначення меж допустимого впливу людини, як на природне середовище, так і на штучну техносферу, та необхідність формування принципів збалансованого співіснування біологічних і неорганічних систем усіх видів та призначення.

Актуальність дослідження зумовлена сукупністю взаємопов'язаних факторів: прискореним розвитком інформаційних систем і штучного інтелекту, зростанням антропогенного навантаження на екосистеми та потребою у формуванні цілісного наукового підходу до аналізу взаємодії живої та неживої матерії. **Мета дослідження.** Встановлення універсальних термодинамічних і інформаційних закономірностей взаємодії біологічних і неорганічних систем для обґрунтування можливих сценаріїв еволюції розуму та визначення оптимальних умов їхнього коеволюційного співіснування в межах екосистеми Землі. **Наукова новизна** полягає у застосуванні інтегрованого підходу,

в межах якого людина потенційно може розглядатися як перехідна ланка між біологічними, з одного боку, та більш стійкими та довгоживучими неорганічними формами організації матерії, з другого боку, а ентропія використовується як універсальний критерій оцінки їх ефективності та напрямів розвитку. **Проблематика дослідження** пов'язана з відсутністю універсальних критеріїв оцінювання ефективності функціонування різномірних систем – біологічних популяцій і техногенних утворень. Традиційні показники, такі як тривалість існування або темпи розвитку, повинні доповнюватися енергетичними та термодинамічними характеристиками, що дозволяє здійснювати порівняльний аналіз на єдиній методологічній основі. Зокрема, використання ентропійних показників відкриває можливість кількісного опису процесів самоорганізації, адаптації та конкуренції в різних середовищах.

Теоретичне та **методологічне підґрунтя** дослідження спирається на низку фундаментальних концепцій. Теорія дисипативних структур [6, с. 434] обґрунтовує здатність відкритих систем формувати впорядковані стани в умовах нерівноваги за рахунок обміну енергією з довкіллям. Концепції самоорганізації живих систем Х. Матурана, Ф. Варела [8, с. 33] підкреслюють їхню здатність до автономного відтворення та підтримання структури, тоді як неорганічні системи, як правило, потребують зовнішнього керування. Водночас підходи, пов'язані з аналізом енергетичних потоків і ефективності їх використання, дозволяють розглядати біологічні та техногенні системи в єдиному термодинамічному полі. Концепція ексергії від І. Дінцер [9, с. 56] відображає однофункціональне перетворення енергії, з такою різницею, що жива система оптимізує ексергію для зростання, а неорганічна система – для рівноваги (мозок vs AI). Теорія симбіогенезу Л. Маргуліса [10, с. 371] опосередковано пов'язана з темою прикордоння органічної та неорганічної матерії, підкреслюючи, що його властивості та синергія (наприклад, біомінералізація) виникають із співпраці органічних і неорганічних речовин.

Таким чином, сучасний етап розвитку цивілізації характеризується формуванням складної системи взаємодії між біологічними та неорганічними формами організації матерії, в якій людина відіграє ключову, але не виключну роль. Це зумовлює необхідність глибокого наукового

аналізу закономірностей такої взаємодії з метою визначення можливих сценаріїв подальшого розвитку як людства, так і глобальної екосистеми Землі.

1. Термодинамічні межі контактів взаємодії людини з іншими екосистемами на планеті

Враховуючи, що людина є не лише соціальною та інтелектуальною істотою на планеті, а й її активною енергетичною складовою з функціями творення, руйнування та активної зміни природних систем, пропонується розглядати її діяльність відповідно до законів термодинаміки, які за своєю об'єктивністю в науковому світі майже не мають конкуренції. Такі термодинамічні параметри, як ентропія та негентропія, допомагають зрозуміти процеси, відповідальні за організацію та впорядкованість найскладніших систем, включаючи людину, а також корисність енергії, яка визнає штучних перетворень різними способами. Поняття ексергії дозволяє зовсім інакше вивчати енергетичну активність таких систем і їхній вплив на енергетичні механізми планет. Енергетичні баланси показують місце будь-якої з цих систем у природних циклах, а умови для мінімізації ентропії демонструють взаємодію і, найголовніше, взаємне співіснування великих і малих складних систем, що дуже важливо для розуміння ролі сучасного розуму в цьому світі.

В роботах [11 с. 112; 12 с. 78], стверджується, що людина активно бере участь у перерозподілі термодинамічного дисбалансу і конкурує тут із природними системами на рівні можливостей для виживання. Людину можна розглядати як природний механізм збереження та акумулювання певної частини цінної сонячної енергії на планеті [11, с. 118]. Людина все ще має власну екологічну нішу на Землі [2, с. 294], але як питання, виникає дилема: чи вона здатна «вистрибнути» з цієї ніші, якщо не здобуде певних обмежень свого впливу на природу і на себе.

Вивчення меж інтеграції біологічних «**Org**» і штучних неорганічних «**InOrg**» систем, енергетичної ефективності штучних технологій та їхнього впливу на глобальні екосистеми дозволяє надавати інформацію про ті перехідні процеси, які виникають між людиною і іншим природним світом. Для пошуку відповіді, розглянемо термоди-

намічний стан особливої прикордонної області співіснування людини і природи, органіки «**Org**» та неорганіки «**InOrg**», своєрідне *Edge System* – «**ES**». Ця межева область характеризується власними закономірностями, відмінними від закономірностей самих цільних областей, тому що вплив на цю область зсередини кожної системи відрізняється від впливу на неї від сусідньої системи. Областей перетину дуже багато, але для простоти дослідження ми розглянемо такі очевидні та наявні приклади системи «**Org-InOrg**» як урбосистема та навколишнє середовище, мозок і штучний інтелект (*AI*), імпланти в живу тканину, фотосинтез і неорганічні джерела енергії; біомінералізація, ензими та катализатори тощо. Деякі узагальнені характеристики якості таких систем наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Деякі узагальнені властивості
вуглецево-білкового та неорганічного світів [11, с. 114]**

Якісна характеристика системи	Вуглецево-білковий світ	Неорганічний світ
Структура	Самоорганізована, ієрархічна	Кристалічна або аморфна, статична
Енергія	Хімічна (АТФ, глюкоза)	Електрична, механічна, теплова
Ентропія	Зниження локальної за рахунок зовнішньої	Зростання загальної за причинами дисипації
Адаптація	Висока (еволюція, навчання)	Низька (фіксована конструкція)
Швидкість процесів	Повільна, біологічна	Швидка, фізична
Довговічність	Обмежена (старіння)	Висока (стійкість матеріалів)

Підсистеми «*Org*» та «*InOrg*», що цікавлять, мають властивості як антагоністичного, так і неантагоністичного характеру. Перші включають:

- ентропійні властивості, коли живі системи чинять опір зростанню ентропії, а неорганічні системи її збільшують;
- адаптивні властивості, гнучкі для органіки і жорсткі для неорганіки;

– відносно високі швидкості для фізичних процесів у неорганічному світі та низькі швидкості, наприклад, у біопроесах в органічному світі.

Неантагоністичні властивості включають функціональність і схожість виконаних завдань, що, власне, є предметом наших досліджень, здатність до порівнянних енергетичних перетворень; стійкість у підтримці системи.

У роботі [13, с. 127] показано, як властивості ентропії досліджуваних систем змінюються на межі їхньої взаємодії залежно від ступеня взаємного проникнення μ . Розрахована динаміка зміни ентропії для таких об'єктів, як *ES-системи*, є дуже специфічною і потребує певного аналізу через низьку уніфікацію об'єктів аналізу. Результати дослідження деяких термодинамічних параметрів, що пов'язують області *ES-системи* з її синергетичними властивостями, представлені на рис. 1.

Перехідний характер зміни ентропії в таких *ES-системах* очевидний, і сама прерхідна функція може бути не лише гладкою, а й бінарною, що відображає невизначеність *ES-системи* з таким транзитним процесом. Слід зазначити, що процедури вивчення ентропії для *ES-системи* досить складні і в кожному варіанті досліджуваної *ES-системи* потребують власного особистого підходу. Проте такі розрахунки можна привести до зручного результату, який дозволить ефективно аналізувати ці дані.

Ми маємо справу з деякою новою якістю *ES-систем*, яка не описана в наявній літературі. Ентропійні перехідні процеси в певній межі розділу живого та неживого можуть свідчити про зміни в стійкості *ES-системи*, її відношення до термодинамічної рівноважності, напрямку деяких процесів у цій області. Вони можуть бути пов'язані з якісними змінами співвідношення «*Org*» та «*InOrg*» в області фізичного або інформаційного розділу. Можливо ця якість має системний характер.

У цьому випадку особливості або закономірності *ES-системи* можуть стати джерелом нових знань про природу людської діяльності, яка, будучи біологічною похідною, створила власний специфічний неорганічний світ, здатний і вже конкуруючий з біологічним світом, зможе співіснувати з ним залежно від таких унікальних властивостей, на кордоні цих двох світів.

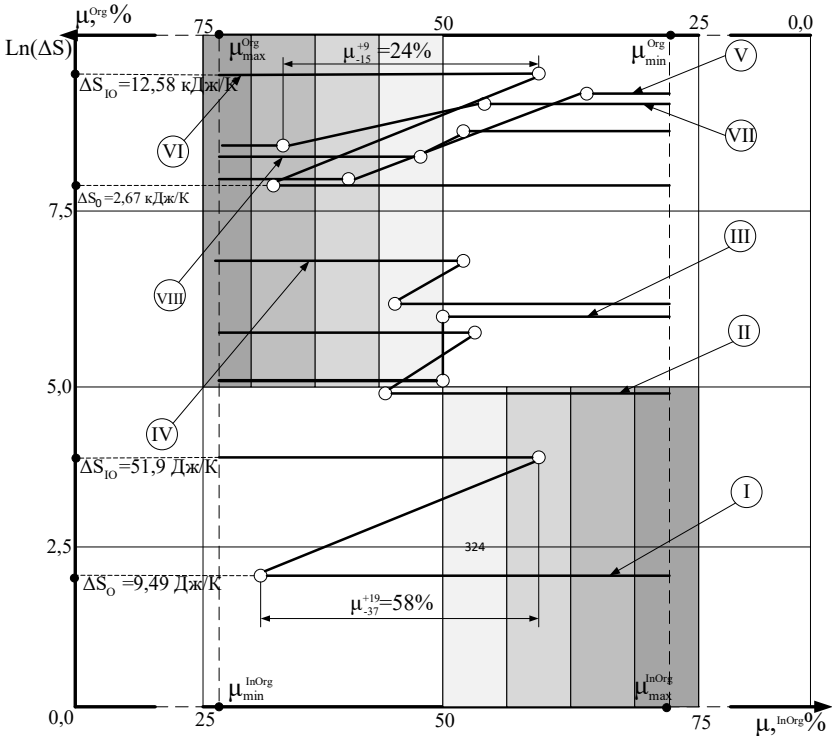


Рис. 1. Межі зміни ентропії в деяких *ES*-системах залежно від параметра μ . (Тут ентропія, що вимірюється у Дж/К, записана через натуральний логарифм, а римські літери позначають конкретні види *ES*-системи, згідно таблиці 2)

Дослідженнями [13, с. 129] встановлено, що на межі двох середовищ – органічного та неорганічного, як двох граничних підсистем, у штучних *ES*-системах виникає термодинамічний потенціал у вигляді діапазону змінної ентропії (див. рис. 1). Як правило, такі перехідні процеси дають уявлення про нові цікаві властивості систем, що їх створюють, а саме про можливість виникнення синергетичних явищ в області стійкості цих співіснуючих і конкуруючих систем як признак їх найбільшої різноманітності. Мінімальна термодинамічна невпоряд-

Section «State Administration»

кованість між "InOrg" і "Org" лежить в основі функціональної координованої взаємодії в ES-системах і їх системних властивостях.

Таблиця 2

Перехідні процеси в змінах ентропії на межі органічних і неорганічних систем. Тут «Org» та «InOrg» відповідно позначають органічні та неорганічні системи

№ п/п	ES-система: «Org» «InOrg» («O», «IO»)	Діапазон зміни ентропії, Дж/(кгК)	Діапазон зміни коефіцієнта μ , %	Вектор напрямку зміни ентропії	
				Зростання ентропії ES-системи	Зменшення зростання ES-системи
I	«O» - мозок; «IO» - штучн. інтелект	9,49 ÷ 51,9	$\mu_{-37}^{+19} = 56$	-	+
II	«O» -біолог. тканина «IO» - імпланти	141,2 ÷ 361,4	$\mu_{-5,5}^{+3} = 8,5$	-	+
III	Біомінералізація «O» - біолог. тканина «IO» - мінерали	165,7 ÷ 518,0	$\mu_{-0}^{+0} \approx 0$	+	-
IV	«O» - ензими «IO» - каталізатори	601,8 ÷ 1043,1	$\mu_{-5,2}^{+3,0} = 8,2$	-	+
V	«O» - біоенергія «IO» - штучна енергія	3294 ÷ 8955	$\mu_{-9}^{+13,5} = 22,5$	+	-
VI	«O» - навк.прир. серед. «IO» - урбосистема	2670 ÷ 12580	$\mu_{-15}^{+9} = 24$	-	+
VII	«O» - біомембрана «IO» - фільтр	4023 ÷ 9996	$\mu_{-14}^{+4} = 18$	+	-
VIII	Нановироби «O» - орган. компон. «IO» - неорг. компон.	3133 ÷ 4675	$\mu_{-2,5}^{+2,1} = 4,6$	+	-

У прикладному сенсі до таких якостей у вже відомих *ES*-системах належать, зокрема, підвищена механічна міцність і висока каталітична активність на межі органіки і неорганіки, висока селективність органічних напівпровідників і органічних світлодіодів, здатність модифікувати поверхні неорганічної речовини за допомогою органічних молекул, що розпиляються та ін.

Питання термодинамічних меж взаємодії людини з екосистемами підкреслює, що будь-яка діяльність супроводжується розсіюванням енергії та зростанням ентропії. Водночас саме в цих межах визначається простір відповідальності людини за раціональне використання природних ресурсів. Усвідомлення цих обмежень змінює погляд на роль людини – не лише як споживача, а як активного учасника енергетичних процесів планети. У цьому контексті людина постає як суб'єкт збереження та трансформації сонячної енергії на Землі.

2. Людина як суб'єкт збереження сонячної енергії

Іншим ключовим моментом у взаємодії людини та природи є припущення про запрограмовану еволюцією унікальну місію людини, що пов'язана з її впливом на енергетичні обміни та засвоєння сонячної енергії на планеті Земля [14, с. 25]. Природа розпорядилася таким чином, що людина поступово ставала таким же, але своєрідним і унікальним для самої природи, накопичувачем сонячної енергії, на рівні з вуглеводнями, флорою та рештою тваринного світу. Посилаючись на місію людини на Землі, її унікальні особливості і здібності, що різко відрізняються від усього іншого живого світу планети, необхідно виділити історично обґрунтовані можливості цієї людини щодо участі в енергообміні між планетою і навколишнім космічним простором [2, с. 399].

За 4,5 млрд років на Землю загалом прийшло близько $17,3 \cdot 10^{33}$ кДж сонячної енергії (табл. 3). Ця енергія, в основному тепло і світло, в цілому, практично не володіє природним потенціалом для поліпшення своєї якості. В результаті тільки 16% сонячної енергії що надходить щорічно, поглинається відомими системами на землі (атмосфера всіх шарів, океани, поверхня планети, надра, загальна біологічна маса), синтезується рослинами та фітопланктоном, але більше 80% залишає Землю, вилучається в космічний простір, і не бере участі в організаційних процесах на планеті.

**Оціночні данні щодо обміну сонячною енергією
(тепловою та світловою) на планеті Земля**

№ п/п	Характеристика,	Абсолютна величина, кДж	Відносна величина, %
1	Кількість сонячної енергії, що досягла поверхні Землі за всю історію її існування	$17,3 \cdot 10^{33}$	-
2	Кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі за рік.	$3,85 \cdot 10^{24}$	-
3	Сумарні втрати сонячної енергії планетою Земля за всю її історію	$13,86 \cdot 10^{33}$	-
4	Сонячна енергія, що залишається на планеті протягом року	$6,2 \cdot 10^{23}$	16
5	Те ж саме за весь час існування Землі	$2,8 \cdot 10^{33}$	-
6	Теплова і світлова енергія Сонця, що втрачається планетою протягом року	$3,08 \cdot 10^{24}$	84
7	Енергія Сонця, освоєна рослинами за допомогою фотосинтезу протягом одного року	$1,8 \cdot 10^{21}$	0,29
8	Енергія Сонця, освоєна на планеті фітопланктоном протягом одного року	$9,3 \cdot 10^{21}$	1,5
9	Сонячна енергія, зосереджена у вуглеводнях (розвідані дані)*	$7,5 \cdot 10^{22}$	12,1
10	Енергія Сонця, яка використовується людиною на планеті протягом року	$4,8 \cdot 10^{21}$	0,77

*- за весь період накопичення (цифра наводиться з урахуванням розрізень у періодах накопичення вуглеводнів у Природі і термінах її використання людиною.

В розвиток цього в роботі [15, с. 26] робиться припущення, що загальна мисляча субстанція людини, унікальна в середовищі всіх інших живих істот на планеті, має свою унікальну ж місію, пов'язану з енергетичними обмінами на нашій планеті. Місія, яка не може бути реалізована жодною іншою з існуючих екосистем на Землі. Основні вектори цього процесу показані на рис. 2.

Навіть простий розрахунок показує [15, с. 26], що людина наділена занадто надлишковим внутрішнім енергетичним потенціалом в порівнянні з його витратами на метаболізм і гомеостатично рівноважний стан організму, включаючи витрати на роботу мозку і всієї нервової

системи. У своїй активній діяльності людина використовує 0,77% всієї енергії Сонця, яку освоєює планета Земля. В сукупності з усім її акумулюванням, в тому числі, ядерними, електричними та ін. накопиченнями, цей відсоток збільшується в десятки і сотні разів, роблячи діяльність людини порівнянною з сукупними природними технологіями фотосинтезу рослин на Землі і навіть перевищуючи їх.

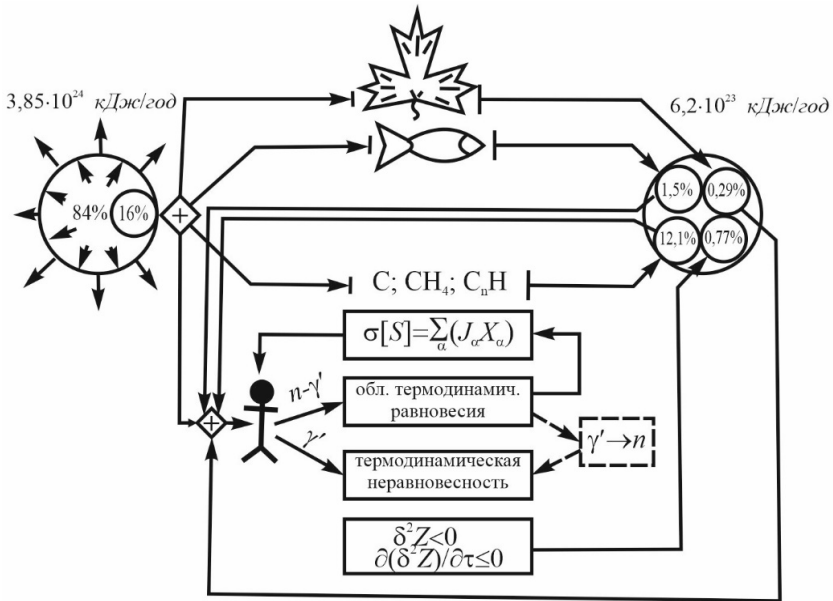


Рис. 2. Спрощена модель реалізації сонячної енергії на планеті Земля та участь у ній людини (цифра вуглеводню оціночна, стосується їх розвіданих сумарних об'ємів)

Створивши істоту у вигляді людини, що має організовану, заради процесів мислення, субстанцію, Природа протягом тисячоліть витримувала послідовні етапи її розвитку людини, починаючи від спрямування на збирання і полювання, поступово відкриваючи перед нею свої енергетичні багатства і поки ще не розраховуючи на майбутню енергоентропійну місію свого творіння. І тільки після того, як людина,

освоївши вогонь в вогнищі як поза біологічну енергію, придбала потребу в більшій кількості їжі, ніж йому давали традиційні для того часу методи, коли людина стала переходити до обробки земель, прирученню тварин з метою сезонного і більш тривалого накопичення їжі, Природа стала отримувати від людини те, заради чого, можливо, вона була створена як мисляча істота – *Homo Sapience*. А саме, використовувати опосередковану енергію Сонця, перш за все, у вигляді природної рослинної і тваринної їжі, отриманої з її допомогою, а потім, у вигляді культурних злаків і приручених трав'янистих спочатку для себе, а потім і для інших представників свого роду, що призвело до появи торгівлі, грошей, промисловості, економічного розвитку, розвитку штучної техносфери та ін. Звичайно, все це, з позицій самої людини, вона робила, перш за все, для задоволення своїх потреб, використовуючи свої почуття. Але Природа поступово отримувала більше... .

Втім Природа послідовно відкривала для людини, яка мислить, свої запаси корисних копалин у вигляді металевих та ін. руд, а пізніше і запаси енергії у вигляді падаючої води і вітру, від теплоти водяної пари, до енергії, накопиченої у вигляді підземних вуглеводнів та ядерного палива. Все це так, чи інакше, є приховані запаси сонячної енергії. Людина, в певний час, навчилася перетворювати її, послідовно, в нагріті тіла, в поступальні і обертальні механічні рухи. Вона створювала машини, яких раніше в природі не існувало. З мінеральних речовин створювалися об'єкти, які просто не могли б з'явитися без участі людини – від пірамід абсолютно правильної форми до гармонійних і стійких будівель, машин, заводів, посівних полів, штучних пасовищ і літаків. Поступово, кожна з цих штучних речовин, предметів, матеріалів стає володарем в собі зовсім іншого, більш високоорганізованого енергетичного потенціалу, отриманого в результаті мінімізації ентропії, в тому числі і за рахунок людської праці. Як приклад можна привести вуглеводневі матеріали, поліетилен, пластмаси тощо. Це те, що за допомогою людини зосередило в собі певну організовану енергію, і не вивільняє цю енергію протягом багатьох сотень або навіть тисяч років, опираючись власному постексплуатаційному (як відхід) розкладанню. Без властивого тільки людині розуму і навичок такі речовини на Землі навряд чи з'явилися. Людина навчилася за допомогою цих, вже штучних, предметів і машин створювати більш складні системи організації

матерії і речовин, поступово залучаючи в свою діяльність все більшу кількість енергії від Сонця, перетворюючи її в нові енергонакопичувальні системи, що, в свою чергу, сприяло новим скупченням сонячної енергії, що надходить з небес, не даючи їй відійти до космічного простору і, таким чином, працювати на стан і розвиток самої планети.

Таким чином, в розпорядженні Природи і людини, завдяки її знанням, досвіду, розуму, зосереджений величезний енергетичний потенціал, в основі якого лежить енергія Сонця, яка будь коли потрапляла на Землю. В тому числі, за рахунок таких видів енергії, як реорганізовані людиною: електрична, інерційна, ядерна та ін., видів, яких, в організованому вигляді, до того на планеті не існувало.

Таким чином, людина представляється як двоєдина термодинамічна система, яка на рівні термодинамічної нерівноважності за рахунок зовнішньої енергії виконує дії, а на рівні, близькому до термодинамічного рівноваги, за рахунок внутрішньої енергії, використовує виникаючі суб'єктивні відчуття (див. рис. 1). В роботі [15, с. 24] наведено, що у всьому, що створено людиною, було локалізовано розрахункових 59,6% чистої енергії Сонця, з тої, яка потрапила до неї і використовувалася в тому чи іншому вигляді. Ця енергія акумульована в кінцевому продукті, як признак мінімізації ентропії, тобто використалися нові форми енергії збережені на Землі як фактор її організованості, як результат діяльності людини нарівні з іншими механізмами: створенням ландшафтів, орних земель та інших геологічних процесів, поряд з фотосинтезом і харчовими ланцюгами в біологічному світі та ін. Ще 19, 9% сонячної енергії, яка так чи інакше потрапила у володіння людини, було витрачено даремно або було втрачено з плином часу і не може бути віднесена до синергізму. Решта енергії, що сприймається людиною (трохи більше 20%), як похідна від сонячної енергії, відноситься до внутрішнього енергоспоживання самого організму, за рахунок чого, у тому числі, центральна нервова система людини забезпечує цю синергію. Такий підхід може пояснити унікальність екосистеми «*Homo Sapience*» на нашій планеті [2, с. 314].

Розглядаючи людину як суб'єкт збереження сонячної енергії на Землі, треба ще раз підкреслити її здатність впорядковувати та ефективно використовувати енергетичні потоки. Проте така діяльність відбувається в межах загальних законів термодинаміки, які накладають жорсткі обмеження на будь-які процеси впорядкування. Зі зростанням

масштабів втручання людини посилюється дисбаланс між природними і антропогенними потоками енергії та речовини. У цьому контексті стосунки людини і Природи постають як термодинамічне середовище конкуренції, у якому людина поступово втрачає свої позиції.

3. Термодинамічні стосунки людини і Природи

В розвиток вищезначеного розглянемо, як термодинамічний стан екосистем типу «*Org-InOrg*» змінюється за умов активного втручання людини.

В цілому, співвідношення систем у стані термодинамічної нерівноважності можна розглядати як цілісний індикатор розвитку Природи на Землі. Чим більше локальних світів у таких станах, тим різноманітніша Природа, тим більше перспектив її подальшого розвитку.

У роботі [16, с. 104] показано, що з енергетичного аспекту екосистема поверхні нашої планети, традиційно поділена на неорганічний метало-металоїдний світ і світ біологічного вуглецево-білкового різноманіття, включаючи саму людину та все, що пов'язано з її існуванням. Таку систему слід розглядати як нестационарну, термодинамічно нерівноважну, яка має два джерела енергії – сонячне випромінювання та внутрішнє тепло планети. Обидва цих енергетичних потоки J_1 і J_2 для нашої системи ми прийматимемо вже як зустрічні і не рівні нулю.

Термодинамічні сили, які є джерелами цих потоків, у цьому випадку – це енергетичний потенціал випромінювання Стефана-Больцмана $X_1 \sim \left(\frac{0,01}{T^4}\right)$ від Сонця і тепловий градієнт Фур'є $X_2 \sim \left(\frac{1}{T}\right)$ від ядра планети, є спряжені таким чином, що виконується умова Л. Онсагера для виробництва ентропії у слабо нерівноважних системах $\sigma = \sum \gamma_\gamma J_\gamma$. При цьому кожний γ – збуджуючий потік є функцією, що викликає його динамічні сили завдяки феноменологічним коефіцієнтів $L_{j\gamma}$ таким чином, що $J_\gamma = \sum L_{j\gamma} X_j$, де j – об'єкт прикладання дії потоку J_γ . Пошлемося на те, що для умов дійсності лінійних феноменологічних відношень загальне виробництво ентропії у лінійно слабо-нерівноважній системі визначається як $\sigma = \sum_{j\gamma} L_{j\gamma} X_j X_\gamma > 0$. Такий порядок аналізу застосовується, коли система переживає спонтанний перехід від стану сильної нерівноважності до її рівноважного стану.

І далі звернемося до відомої теореми І. Пригожина про мінімальну дисипацію у відношенні до відкритих екосистем [17, с. 374]. З неї випливає, що в системах поза термодинамічної рівноваги, при достатньому надходженні енергії та матерії, можуть виникати нові впорядковані структури, які називаються дисипативними. Ці структури зменшують локальну ентропію системи, хоча глобальна ентропія продовжує зростати. Джерелом зовнішньої енергії та матерії тут є Сонце та об'єкти космічної системи. А стан систем, що адаптуються під такі синергії, це саме термодинамічна нерівноважність.

Такий аналіз застосовний, коли система переживає спонтанний перехід від стану сильної нерівноваги до рівноважного стану, або близькому до нього нерівноважного стану.

Щодо глобальних геологічних, гідро- та атмосферних впливів, а також пов'язаних з ними біологічних систем, включно з їхніми штучними механічними та глобальними інформаційними компонентами, то основні параметри аналізу впливу термодинамічних умов дисбалансу отримуються шляхом розрахунку на основі даних робіт [18, с. 122-124; 19, с. 10-44, 120-160; 20, с. 114-115; 21, с. 5-7; 22, с. 328, 377; 23, с. 411, 503; 24, с. 244, 287; 25, с. 504-505; 26, с. 159; 27, с. 511; 28, с. 140, 256; 29, с. 124-125; 30, с. 55, 215; 31, с. 3-10; 32, с. 1435; 33, с. 52-53; 34, с. 140-141; 35, с. 624; 36, с. 430-431; 37, с. 1955; 38, с. 6506-6508; 39, с. 64, 144]. Підсумкові дані для аналізу наведені у таблиці 4.

Висновки [16, с. 104] досить переконливо показують, що людина давно почала поступово втрачати конкуренцію за термодинамічну нерівноважність у природі через низку факторів, пов'язаних із антропогенним впливом, а саме: за рахунок зростання ентропії в техногенних системах, повільний темп відновлення природних екосистем, виснаження невідновлюваних ресурсів і зниження біорізноманіття. З другого боку, виникнення глобального інформаційного простору вимагало перегляду ролі та функції людини в таких системах, коли пріоритети в управлінні передаються від людини до суб'єктів із умовно невичерпною інформацією, обсяг якої робить їх непорівнянними з людським мозком, навіть з урахуванням органів чуття та когніції останньої. Людина починає здавати позиції об'єктивності та швидкості обробки інформації перед обличчям методів перебору варіантів, характерних для штучних носіїв інформації – комп'ютерних мереж і

Таблиця 4
Зведені дані показників для розрахунку зміни ентропії в нерівноважних системах на поверхні планети

Параметр	Значення	Параметр	Значення
1	2	3	4
Сукупні енергетичні витрати на будівництво будівель та підтримку промислової та сільськогосподарської інфраструктури.	$5 \cdot 10^{23}$ Дж	Втрати енергії з оксидів в атмосферу*.	$1,26 \cdot 10^{23}$ Дж/год
Енерговитрати для будівництва доріг та інших транспортних систем	$10^{12} \div 10^{14}$ Дж/км	Втрати енергії внаслідок техногенної діяльності людини	$4,2 \cdot 10^{20}$ Дж/год
Загальні витрати енергії при створенні інфраструктури з початку XX століття	$10^{21} \div 10^{22}$ Дж	Розрахункове значення енергії, що випромінюється Землею у космос	$2,39 \cdot 10^{17}$ Дж/год
Втрати енергії для підтримки глобальних комп'ютерних дата-центрів	$2 \cdot 10^{18}$ Дж/год	Загальна енергія біомаси у вуглецевих виразах*	$9,35 \cdot 10^{21}$ Дж.
Сукупні енерговитрати для створення глобального інформаційного простору	$3,3 \cdot 10^{20}$ Дж*	Середньорічна температура та її діапазон на поверхні Землі	288К (185 ±331К)
Енерговитрати для підтримки всього інтернету, включаючи обробку, зберігання та передачу даних	$1,4 \cdot 10^{19}$ Дж/год	Середньорічна температура та її діапазон по всьому океану	276,5К (275 ±303К)

Продовження Таблиці 4

1	2	3	4
Енергоспоживання для обслуговування всіх інженерних мереж, які використовуює компанія.	$6 \cdot 10^{20}$ Дж/год	Середньорічна температура за об'ємом атмосфери та її діапазон	288K (213 ÷ +329K)
Сукупне енергоспоживання для створення всього шлучного середовища на Землі – від давніх індустріальних епох до сьогодення.	$1,6 \cdot 10^{24}$ Дж*	Оцінка поверхня планети, покрита стільниковою мережею**	$1,4 \cdot 10^{17}$ м ²
Витрати на енергію для переробки всіх накопичених промислових і побутових відходів.	$(6 \div 8) \cdot 10^{20}$ Дж	Оцінюва площа поверхні планети з доступом до Інтернету	$3,7 \cdot 10^{16}$ м ²
Енергія, що виділяється під час землетрусу на суші та на воді.*	$6 \cdot 10^{19}$ Дж/год	Загальна площа розміщення міст і поселень на планеті	$3,5 \cdot 10^{15}$ м ²
Енергія, що виділяється внаслідок вулканічних вивержень.*	$1,5 \cdot (10^{18} \div 10^{19})$ Дж/год	Площі орних земель	$5 \cdot 10^{16}$ м ²
Енергія, що виділяється від найбільших цунами.*	$7,7 \cdot (10^{15} \div 10^{16})$ Дж/год	Територія, зайнята відкритими кар'єрами та кар'єрами	$5 \cdot 10^{14}$ м ²
Енергія, що виділяється атмосферними явищами (грозами, торнадо, циклонами, ураганамі).*	$2,5 \cdot 10^{21}$ Дж/год	Площа території промислових і побутових техногенних накопичень	$2 \cdot 10^{14}$ м ²
Втрати енергії з суші в атмосферу землі.*	$3,3 \cdot 10^{21}$ Дж/год	Площа суші на поверхні Землі	$1,48 \cdot 10^{17}$ м ²

* - інтеграція множини даних; ** - експертні оцінки

штучного інтелекту. Відповідно, нові системи становляться здатними незалежно трансформувати стани термодинамічної нерівноваги у напрямку від людини до власних метало-металоїдних систем із низьким рівнем ентропії, мінімізуючи відомі дисипативні процеси в системах «людини-машина» (або «*Ch-M*»).

Таким чином, у термодинамічному середовищі планети, де людина частково, але поступово програє конкуренцію природним процесам, стає очевидною обмеженість її індивідуальних можливостей впливу. Це підштовхує до пошуку нових форм взаємодії з довкіллям, здатних компенсувати енергетичні та організаційні втрати. Одним із таких шляхів є інтеграція технічних засобів у процеси управління природними системами. Саме тому зростає значення людино-машинних систем як чинника розвитку та стабілізації екосистеми планети.

4. Роль людино-машинних систем у розвитку екосистем

Якщо розглядати екосистему планети за участю людини, не можна оминати питання штучної неорганічної її частини (умовно – «*InOrg* → *TC*»), що створена саме людиною, і більш відома як система «*ch-M*». Це машини, урбосистеми, енергетичні полігони різної спрямованості, комп'ютери, оцифрований інформаційний простір, все те, що створює для людини безприродний штучний світ існування та його вплив на самого творця.

Систематизовані дані щодо порівняння «людини» і «*InOrg-TC*» за умовними співставними параметрами (табл. 5) показують [40, с. 156], що за енергетичними та інтелектуальними показниками світ існуючих «*InOrg-TC*» вже зараз має деякі, а часом і дуже значні, переваги перед «людиною». Переваги, які з часом будуть тільки збільшуватися. Але поки що людина не залежить від процесів відтворення як собі подібних, так і будь-якого з існуючих «*InOrg-TC*». Її безпека на сьогодні гарантується соціумом, ознак якого поки немає у відомому світі «*InOrg-TC*», де мотивація існування ще не визначена, тоді як у людини вона давно сформувалася як даність [41, с. 525]. Та й цінність перетвореної інформації в людському суспільстві є більш актуальною, оскільки вона є основою для подальшого розвитку як науки, так і суспільства. Цінність інформації в світі «*InOrg-TC*» як і раніше утилітарна, підпорядкована людині і не залежить від потреб цієї системи.

Таблиця 5
 Порівняльна характеристика для сучасних вуглецевих та неуглецевих екосистем
 (Затінені клітинки вказують на переваги певної екосистеми)

Параметр	Вуглецевісні форми життя		Кремній-металоїдні форми	
	Факт	Екстраполяція	Факт	Екстраполяція
I	2	3	4	5
Загальна маса*	$0,6 \cdot 10^{12}$ тонн	$(0,7-0,8) \cdot 10^{12}$ тонн	$1,0 \cdot 10^{12}$ тонн** машин 1900 ліс.;	$1,5 \cdot 10^{12}$ тонн
Енергетична потужність	мозоку-30 Вт людини-160Вт		ГЕС-22,5 КВт; ядерний реактор-1,5 ГВт.	100 ГВт
Розвиток сили	м'язи людини $5-10$ кГ/см ²		Вимірюється тонами $n \cdot 10^3$ кГ	
Обсяг інформації, що зберігається	мозок-3 Тбайта; все подство- $24 \cdot 10^{21}$ Тбайт		інтернет $90 \cdot 10^{21}$ Тбайт	інтернет до 2030 року – $1 \cdot 10^{24}$ Тбайт
Швидкість обробки інформації	підсвідомість – $4 \cdot 10^9$ біт/сек; свідомість – $2 \cdot 10^3$ біт/сек. В середньому $11 \cdot 10^6$ біт/сек	$1 \cdot 10^{16}$ флорс/сек	комп'ютер $1 \cdot 10^8$ операцій/с. швидкість передачі даних $1 \cdot 10^8$ біт/с.	комп'ютер MDGrave (Японія) – $2 \cdot 10^{15}$ флорс/с.
Пропускна спроможність інтерфейсу	10 Мбіт/с*** усвідомлений потік інформації <16 біт/с		50 Гбайт/с	
Спосіб обробки інформації	Послідовний та масивно-паралельний		Послідовний 4-ядерний Паралельний	багатоядерний парамельні; штучний інтелект
Спосіб поведінки	Адаптивний	Адаптивний	Програмуємий	Адаптивний
Область Переваг	інтуїтивно зрозумілі рішення,	інтуїтивно зрозумілі рішення,	формалізовані за-вдання с жорсткими правилами	Системний перебір варіантів, можливість ШІ

Section «State Administration»

Продовження Таблиці 5

1	2	3	4	5
Накопичення знань	послідовно, у міру їх появи	послідовне генерування знань у міру їх накопичення	знання завантажуються за короткий час	генерування нових знань, системи шпунтового інтелекту в міру їх появи.
Спосіб аналізу	Вибіркова Логіка		механічне перерахування варіантів	необмежене збільшення швидкості перебору
Цінність нової інформації	зростає з часом		падає з часом,	збільшується з часом
Причини появи та розвитку	природний добір,	доцільність,	потреба людини в комфорті (енергія) та інформації (машини)	конкуренція з вуглцевими формами та навколишнім середовищем
Основа життя	органічна, вуглець	вуглецево-металоїдні форми	неорганічна – метало-металоїди	Змішана – металоїдно-вуглецеві форми
Відтворення	парне розмноження; розмноження поділом клітин	штучне і внутрішньо-клітинне запліднення	вдтворення за рахунок будівництва нових машин і в залежності від потреб людини	подібних шляхом будівництва незалежно від людини
Джерело Енергії	білкова їжа, вуглець, кисень, вода	біологічно збалансована їжа	захист від поломок, енергії	живлення від поновлюваних джерел, Сонце
Безпека	самозахист, житло, протекція соціуму	очікування протекції від ТС мільтарського рівня	захист від поломок, надійність ТС, залежність від людини	відсутність залежності від людини
Мотивація до існування	розмноження, продовження роду		потребіність залежить від людини	потребіність, що не залежить від людини
Термін активного життя	Збільшується від 80 до 90 років за рахунок підвищення її якості	Збільшується від 90 до 120 років за рахунок підвищення її якості	Залежить від потреб людини та від розвитку нових ТС	Залежить від розвитку більш сучасних ТС

* - на суші, у перерахунку на вуглець;

** - штучно створені людиною специфічні неорганічні форми (міста, дороги, супутники, електростанції тощо);

*** - опосередковані данні.

Як впливає з даних таблиці 5, виграш для людини ще зберігається і він здатний до вибіркової логіки. Це вміння інтуїтивно і відразу знаходити «оптимальне рішення» без ретельного перебору варіантів. Але «InOrg-TC», взявши за основу методику перебору варіантів, знаходить оптимальне рішення швидше, ніж людина – це підтверджують шахи, гра в Го, системи типу ChatGPT та ін. Те, що без сучасних комп'ютерних технологій комунікативні навички людини різко впадуть, говорить саме за себе.

Слід бути впевненими, що на наших очах формується конкурентне середовище між двома системами, що досліджуються, кожна з яких має свої переваги та недоліки (див. табл. 5), і дозволяють судити про те, що така конкуренція буде не простою для людини.

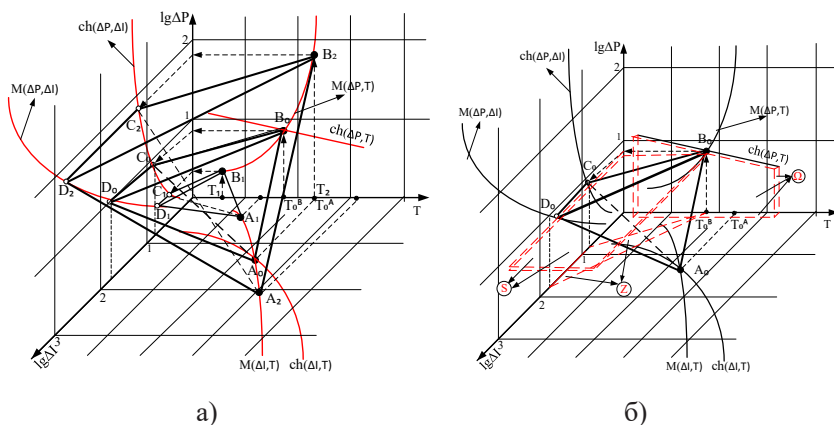


Рис. 3. Масштабовані співвідношення порівняльних параметрів елементів екосистеми «Org-InOrg» у вигляді системи «ch-M»:
а) – зони комфортного стану людини ($A_0B_0C_0D_0$);
б) – вибіркові області переваг специфічних неорганічних екосистем над білковими (позначення в тексті)

Ми можемо уявити собі певну сукупну поверхню управління сучасними системами «ch-M» у логарифмічних координатах ($lg\Delta P, lg\Delta I, T$) (рис. 3, а). Тут T – час виміру; ΔP – питома міцність, приведена до одиниці ваги кожного елементу системи; ΔI – інтелектуальний рівень,

залежить від об'єма пам'яті L , швидкості її обробки ω_L , та ще й від способу вибору рішення $S: \Delta I = f(L, \omega_L, S)$. Для людини в масштабі задіяної пам'яті S – це вибіркова логіка в необхідному обсязі пам'яті, для машини – це перебір усіх варіантів, також в необхідному обсязі пам'яті. Ентропія другого вище, ніж першого, а значить, «машині» потрібно більше енергії для досягнення того ж інтелектуального результату, ніж людині. З іншого боку можливості людського мозку в використанні енергії обмежені (не більш 20% всієї енергії що виробляється організмом).

Представляють інтерес поверхні управління в цих координатах для кожного з елементів системи: для людини (ch) і для «InOrg-TC» – (M).

На графіках (див. рис. 3) відмічені дві точки «B» і «A», які за часовою шкалою можна датувати приблизно 700-800 роками до РХ і кінцем ХХ століття від РХ, відповідно. Це точки, розташовані на перетині кривих двох залежностей, що відображають розвиток «людини» і «машини» в часі по їх енергетиці «B» і умовному інтелекту «A», відповідно. Візьмемо ці дві точки за основу для нашого аналізу.

Знайдемо ще дві точки «C» і «D» в тривимірному просторі на площині ($lg\Delta P, lg\Delta I$) в координатній сітці ($lg\Delta P, lg\Delta I, T$) і об'єднаємо ці чотири точки (див. рис. 3). Отримана фігура являє собою перевернуту трикутну піраміду (фігура $A_0B_0C_0D_0$), основа якої розташована паралельно горизонтальній площині в системі координат, а її вершина лежить у цій же площині. Така піраміда розподіляє координатний простір управління на дві нерівні частини – внутрішню та поза цією фігурою.

Якщо уважно придивитися до функціонального наповнення цих просторів, то можна побачити, що внутрішній простір такої піраміди відноситься до параметрів, відповідних процесам розвитку людини. А саме точка " B_0 " відповідає певному часовому етапу T_0^B , коли з'явилися перші "машини" більшої потужності, ніж сама людина (важіль, млини, вогонь у вогнищі тощо). А точка " A_0 " і відповідний їй час T_0^A – це час створення пристроїв пам'яті з ємністю, близькою до пам'яті людського мозку і навіть такого, що це перевищує її, це час коріння штучного інтелекту. Тобто це прогрес в тому сенсі, в якому ми звикли про нього говорити. Але простір за межами перевернутої

піраміди – це невідомий стан не тільки для людини, але і для біологічних систем в цілому: тут сумарна маса, потужність і інтелект конкретних неорганічних систем в межах обраних координат зможуть почати поступово витіснити білкові системи (див. табл. 5). Очевидна обмеженість координатного простору, де людина є лідером в системі «*ch-M*», і необмеженість простору, де людина може або повинна поступитися своїми лідерськими правами не тільки в управлінні енергетичними можливостями неорганічного світу, але і його інтелектом. Перевернута піраміда (див. рис. 2, а) могла існувати в минулому (фігура $A_1B_1C_1D_1$), може мати місце в майбутньому (фігура $A_2B_2C_2D_2$), і кожне своє призначення уявляється в параметричному поділі області переваг «людини» і переваг «машини» відповідно.

Для нас цікавим є стан такої системи в заданих параметрах, за межами об'єму перевернутої піраміди. Він може стати поясненням, як і чому певний спеціалізований неорганічний «світ» вже зараз близький до здатності перехопити у людини ініціативу в розвитку розуму, зробити процеси пізнання і розвитку більш динамічними і ефективними. Результатом таких досліджень є кілька гіпотетичних тез.

1. Запрограмований відхід людини з природного білково-вуглецевого середовища існування в обмежені рамки неприродного спеціалізованого неорганічного світу або здається еволюційно помилковим, або пов'язаний з іншими, ще не сформованими, формами еволюції розуму.

2. Залишається емпіричним фактом те, що еволюційний розвиток розуму на нашій планеті може продовжуватися в бік спеціалізованих форм неорганічної (в супереч біологічній) матерії, і людина, в історичному зрізі, може бути лише проміжною ланкою в цьому процесі.

3. Біологічне життя в її різноманітті було потрібне Природі як передумова для її більш надійних і стійких форм – кремнію, водню або інших, але за посередництва людини, як історично проміжної ланки.

4. Зміна мотивації самого життя людини: від парадигми фізичного виживання до парадигми інтелектуального комфорту, сприяє фізичній зміні людського організму – антропометричним змінам, ослабленню кісткового скелета, зміні видів навантаження на окремі м'язи, зменшенню м'язової маси, зниженню витривалості, та ін.

5. Логіка підказує, що, можливо, людина не є самим ідеальним еволюційним (але проміжним) творінням в природі, адже вже стає ясно,

що крім вуглецю, але з його допомогою, можливі і інші форми інтелекту і свідомості навіть на самій Землі.

6. До переваг специфічних форм неорганічного світу, як альтернативи людському розуму, нас підштовхує і екологія, стан якої на планеті залежить від розвитку спеціалізованих неорганічних систем, створених людиною, і має системні погіршення, мало сумісні з біологічним життям.

І ще одна теза поза моделі. *Найцінніше в людині – це її розум. Найслабша його ланка – короткий період життєвого циклу і здатність до самоусунення. Специфічні форми неорганічного світу вже недалеко від володіння першим і надійно захищені від другого.* І це найголовніше в конкуренції між цими двома екосистемами. Нам буде складно погодитися з гіпотезою про те, що білкове життя і найяскравіший її представник – людина, наділена унікальним інтелектом і феноменальною пристосованістю до природи, в перспективі може залишитися лише проміжною, хоча, мабуть, послідовно обов'язковою, ланкою в еволюції розуму, і не тільки на Землі.

5. Можливості співіснування людини в світі «Org-InOrg»

Незважаючи на антагонізми, людина має альтернативні можливості для подальшої конкуренції і співіснування з різноманітним природним середовищем. Ці можливості закладені самою Природою, включаючи ті штучні системи, які вже створені самою людиною. У роботі [11, с. 113], з цих позицій, розглядаються деякі популяції «Org» і «InOrg», як порівняння: представники біологічної системи – мурашині колонії, окремо – людське суспільство, а також створені ним неорганічні системи штучного інтелекту (AI).

Відомо, що час є одним з основних факторів еволюційного розвитку в природі. На рисунку 4 показані в порівнянні основні часові інтервали, протягом яких розвивалися досліджувані системи.

Людський мозок, як самоорганізована система пізнавальної діяльності, оволодів дещо іншим механізмом прискореної еволюції, ніж інші біологічні системи. Це дозволило людині досягти дивовижних результатів за набагато коротший еволюційний період, яких ніколи не досягали інші біологічні популяції на планеті.

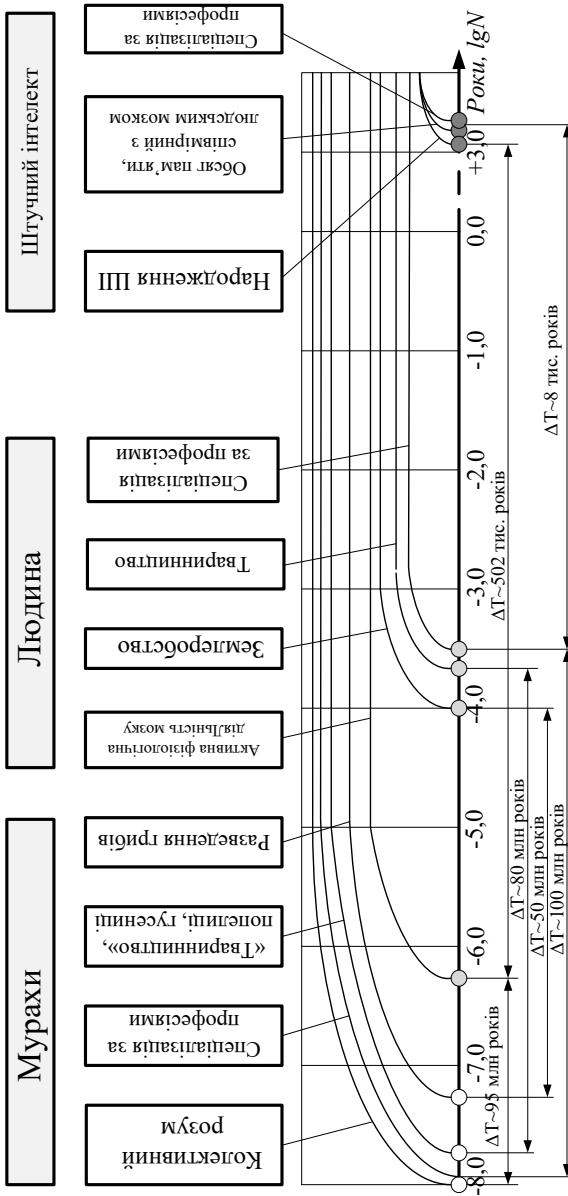


Рис. 4. Позначення на часовій шкалі основних порівнянних еволюційних етапів у розвитку популяцій мурах, людини та штучного інтелекту [11, с. 117]

Формування «колективного розуму» у мурах було пов'язане зі засвоєнням засобів феромонної інформації в ранньому крейдяному періоді, а спеціалізація за «професіями» – з початком так званої еусоціальності. Професійні спеціалізації в мурашиній колонії є способом децентралізованого життєзабезпечення. До такого результату (*децентралізованого управління*) людина, з досвідом тільки централізованого управління, дійшла лише через 2 мільйони років свого існування в XXI столітті, створивши так звані технології «*blockchain*» з розподіленими ресстрами і, об'єктивно, без централізованого управління, тай то, як механізм, що тільки зароджується.

У людини подібні етапи зародження розуму пов'язані зі збільшенням обсягу мозкової речовини і розвитком когнітивізму, а досягнення в спеціалізації прийшли мало не з появою перших міських цивілізацій, надлишком продовольства, що пов'язано з аграрною революцією: землеробством і тваринництвом. Однак факт залишається фактом: ще за 100 мільйонів років до появи людини на поверхні нашої планети у мурах з'явилися професійні зачатки землеробства і тваринництва (тля, яка доїлася, а також вирощування плісневої та грибової культур). Це були мурашині колонії, які знаходили способи існування не тільки в збиранні, але і в штучних біотехнологіях.

У свою чергу, дуже короткий, але інтенсивний період розвитку штучного інтелекту дозволяє виділити в своїх часових інтервалах, за порівнянням, лише дві його співставні складові: порівняння ємності генеративної пам'яті машини і людини, і виникнення замісних (для людини) спеціалізацій. Якщо потужність активних нейронів мозку людини дорівнює $2,5 \cdot 10^{15}$ байт, то порівняння потужність суперкомп'ютера Frontier (США) – $1,1 \cdot 10^{15}$ байт. Ази виробничої спеціалізації людина отримала близько 4,5 тисяч років тому (всього 10-15 тисяч професій), а AI – лише пару десятиліть тому (дані класифікації O*NEET, США), але вже в кількості 470 видів професій, і це не межа. Кількість професій, що опанує AI впевнено зростає.

Як узагальнюючий показник для характеристики двох розглянутих популяцій, а також штучного інтелекту (AI), використаємо зміну ентропії – зокрема її зростання в досліджуваних системах. Цей показник відображає ступінь їхнього розвитку або деградації та дозволяє порівнювати рівень організації різних систем. Порівняння двох біологіч-

них систем, а особливо їх зіставлення з неорганічною системою (AI), що стрімко розвивається, може дати цінні висновки. Термодинамічна складова ентропії характеризує можливий розподіл енергії в системі, тоді як інформаційна – оцінює невизначеність або обсяг інформації, пов'язаної зі станами мурашиних суперколоній.

За початкову точку відліку приймемо термодинамічний стан колективної системи – суперколонії аргентинських мурах, розташованої на європейському узбережжі Середземного моря (Італія, Франція, Іспанія) – 10^{11} – 10^{12} особин, мільйони гнезд, які фактично утворюють єдиний організм. Термодинамічні характеристики такої мурашиної колонії можна розрахувати двома способами. Якщо розглядати мурашину колонію як систему теплообміну, де джерелами тепла є нескінченна кількість самих мурах, а також сонячне світло, вентиляційні та утеплювальні системи, то зміна ентропії розраховується відповідно до другого закону термодинаміки $\Delta S = \Delta E / T$, где $\Delta E = 5 \cdot 10^{-28}$ Дж/особину [11, с. 116]; $T = 291K$ – температура в колонії. Тоді зміна термодинамічної ентропії в суперколонії з 10^{11} особин за часовий інтервал в одну секунду складе $\Delta S = \frac{5 \cdot 10^{-28} \cdot 10^{11}}{291} = 1,695 \cdot 10^{-19}$ Дж / (K · c).

Існує і другий, альтернативний, метод розрахунку, який передбачає взяття за основу хаотичні механізми руху кожного індивіда в повному обсязі. У класичному випадку для термодинамічної ентропії використовується наступний вираз: $\Delta S = k_b \ln(\Omega)$, де Ω – кількість можливих мікростанів в залежності від чисельності мурах, їх розподілу по території і їх взаємодій (наприклад, форми контактів, генерація феромонів), типу взаємодії (по «професіям»); $k_b = 1.38 \times 10^{-23}$ Дж/К – константа Больцмана.

Порівняння **термодинамічної ентропії** людського мозку ($6,4 \cdot 10^{-2}$ Дж/(K · c), розрахованої на основі [14, с. 25] і особливої популяції з $3,44 \cdot 10^5$ мурах, сумарний нейронний мозок яких за кількістю нейронів приблизно відповідає мозку однієї людини, за умовою, що в даній популяції зберігається незмінна ступінь спеціалізації, покаже для мурах цифру розрахункового приросту ентропії в розмірі $\Delta S = 0,92 \cdot 10^{-21}$ Дж / (K · c), що на порядки нижче, ніж для аналогізованого таким чином людського мозку.

Мурашині поселення характеризуються дуже дбайливим ставленням до наявного тепла. Його зберігають для підтримки оптимальної температури (18°C) заради личинок, попелиці, одомашненим гусеницям, грибок. Зокрема, тепловтрати в суперколонії мурах чисельністю $1 \cdot 10^{11}$ особин за рахунок вентиляційних каналів в кількості 120 од/га і з середнім діаметром $\sim 0,06\text{ м}$ складають $1,27 \cdot 10^{-12}$ Дж/добу, що відповідає зміні ентропії $\Delta S \approx 4,35 \cdot 10^{-20}$ Дж / ($K \cdot c$). Для порівняння, втрати тепла від розподілу енергії для потреб міста з населенням 1 млн осіб і площею 700 км^2 (без урахування промислової складової) перевищують $5,18 \cdot 10^5$ Дж/добу, що відповідає зростанню ентропії $\Delta S \approx 0,0198$ Дж / ($K \cdot c$). Різниця в термодинамічній ефективності вимірюється десятками порядків.

Мозок людини – це компактна нейронна система з відносно низьким енергоспоживанням (20 Вт), відрізняється від розподіленого «колективного мозку» мурахів, тим, що кожна умовна клітина останнього потребує на порядки менше енергії внаслідок синергетичних ефектів, але поступається людському мозку за функціональністю, зокрема, когнітивністю.

У свою чергу, штучна нейронна мережа AI, заданої розмірності і в залежності від обсягу параметрів, а також структури даних і використовуваних алгоритмів, як носії штучного інтелекту, у вигляді неорганічної системи, вимагає величезних, в порівнянні з мозком людини або мурашки, енергетичних витрат (умовно більш 1,0 кВт). І, як будь-яка штучна неорганічна система, створена людиною, вона запрограмована на значні великі втрати енергії і зростання ентропії в опосередкованих розмірах $\Delta S \approx 9,2$ Дж / ($K \cdot c$). Зведені дані цього та аналогічних розрахунків наведені в таблиці 6, де можна оцінити ефективність такого показника, як ентропія системи в якості критерія організації та можливості розвитку розглянутих біологічних і неорганічних систем.

Таким чином, індекс термодинамічної ентропії в ретроспективі розвитку показує значні відмінності між тим, що людина створила за останні ~ 40 тисяч років свого існування на основі неорганічних систем (міста, машини, підприємства, комунікації, мережі) і організованим біологічним світом, який був створений і вдосконалений нашими двійниками – мурашиними колоніями – протягом 100 мільйонів років.

Тією мірою, якою їх некогнітивний «колективний розум» дозволяє їм це робити.

Інформаційна ентропія – це друга частина системи оцінки взаємодій, яка відповідає за впорядкованість і ступінь її організації. Для мурашиної колонії розрахунок зводиться до обчислення зміни ентропії на мурашку за одиницю часу: $H \approx 1,999$ біт/с. або $\approx 0,019 \cdot 10^{-21}$ Дж/(К·с). Для заявленої популяції в один мільярд мурах інтегральна інформаційна ентропія може становити $H_{total} = 1,9 \cdot 10^{-14}$ Дж / (К · с).

Таблиця 6

Порівняльні розрахункові дані про зміну ентропії для деяких органічних і неорганічних систем [14, с. 28-29]

№ п/п	Назва системи		Зміна ентропії, Дж/(К·с)	
			Термодинамічної	Інформаційної
1	Мурашина популяція	$N = 10^9$	$1,202 \cdot 10^{-21}$	$1,9 \cdot 10^{-14}$
		$N = 3,44 \cdot 10^5$	$0,92 \cdot 10^{-21}$	$1,9 \cdot 10^{-14}$
2	Людський мозок		$6,4 \cdot 10^{-3}$	$6,91 \cdot 10^{-20}$
3	Урбосистема с $N = 1 \cdot 10^6$ мешканців		$1,98 \cdot 10^{-2}$	$1,44 \cdot 10^{-17}$
4	Система штучного інтелекту		9,2	$3,5 \cdot 10^{-18}$

Таким чином, в термодинамічному плані, і в ретроспективі 100 мільйонів років існування, колонії мурах термодинамічно набагато більш організовані, ніж більшість з того, що створила людина, включаючи її саму за всі 2 мільйони років існування. Зростання термодинамічної ентропії у відомих суперколоніях мурах на кілька порядків нижче, ніж зростання цієї ж ентропії в системах, створених людиною, включаючи її мозок (див. табл. 6).

Інші результати є в області інформаційної ентропії. Тут переваги людини і всього доступного, що вона створила, на кілька порядків вище, ніж у мурашиних популяцій з їх стомільйонною історією, що очевидно. Це пов'язано з тим, що людський мозок в силу своєї когнітивності створює величезну палітру потреб і одягає їх у все зростаючі

інформаційні потоки (потреби в якості життя, способи досягнення, результати, втрати, запрограмована відповідність і т. д.), які до недавнього минулого оброблялися сумірними можливостями самого людського мозку і паперових носіїв, а пізніше і за допомогою комп'ютерної техніки, величезних за швидкістю обробки можливостей. А остання є штучно створена людиною неорганічна система. В результаті більш ефективним стає умовний «мозок» людини, який сам по собі є унікальним інформаційним інструментарієм, ефективність якого на багато порядків перевищує все, що існує в біологічному світі. Це підтверджується мінімізацією зміни інформаційної ентропії для таких систем (див. таблицю 6).

Мурашині колонії зі своїм «колективним мозком», на відміну від людей і систем штучного інтелекту, мають набагато менший набір інформаційних інструментів. Це:

- тактильні органи чуття, на них приходится не більше $6,5 \cdot 10^{-15}$ Дж/((К·с) інформаційних ентропійних витрат;
- феромонні залози, з їх $3,1 \cdot 10^{-14}$ Дж/((К·с) інформаційних ентропійних витрат;
- мінімальний набір потреб – харчування і біологічна підтримка, розмноження, безпека, що корелює з $1,8 \cdot 10^{-14}$ Дж/((К·с) інформаційного ентропійного навантаження. нагрзуки.

Подібний мінімум споживаної інформації для мурашиних колоній робить їх персоніфіковано більш уразливими за багатьма показниками життєздатності, на відміну від людини.

Можна зробити висновок, що інформаційна складова на рівнях організації людського суспільства, в тому числі і тих штучних інформаційних систем, які вже створена людиною, є можливим напрямком, в якому людина спроможна послідовно перевершити найбільш організовані біологічні системи, навіть незважаючи на те, що багатомільйонний досвід еволюції деяких з цих систем дозволяє розглядати їх ближче до оптимальних, у порівнянні з творіннями рук людських. У розвитку інформаційної складової людського буття вбачається перспектива її розвитку як симбіозу органічної та неорганічної речовини.

Повертаючись тепер до рис. 4, можна сформулювати логічне припущення, що якщо штучний інтелект завдяки своєму необмеженому кількісному інформаційному ресурсу досягне здатності оволодівати

однією і тією ж унікальною властивістю – когнітивними взаємодіями, то швидкість його розвитку, в сумі з необмеженими енергетичними можливостями штучних машин («М»), буде непорівнянною навіть у порівнянні з темпами розвитку людства. І наслідки такого еволюційного руху в значно коротші проміжки часу матимуть уже не характер еволюційного, а більш динамічного розвитку, відкриваючи нові можливості для неорганічного світу, якщо продовжувати порівнювати його зі світом біологічного життя.

Відкритим залишається питання: чи зможуть системи штучного інтелекту, що володіють необмеженим інформаційним і енергетичним ресурсами і здатністю здійснювати найпростішу логічну екстраполяцію, оволодіти когнітивними механізмами пізнання і оцінки природної сутності, як це робить людина.

Висновки

1. Запропонований ентропійний підхід дозволяє уніфіковано аналізувати біологічні та неорганічні системи, оцінюючи їх ефективність, адаптивність, конкуренцію та потенціал до розвитку.

2. Людина здатна функціонувати як перехідна узгоджувальна система між двома типами матерії, одночасно виступаючи споживачем, творцем і деструктивним фактором в обох середовищах.

3. Інформаційна складова розвитку поступово стає визначальною і забезпечує потенційну перевагу штучних систем над біологічними формами організації.

4. Темпи розвитку штучних енергетичних і інтелектуальних систем перевищують результати біологічної еволюції, а їх головним обмеженням наразі є недостатня когнітивна автономність і відсутність соціальності, притаманній людині.

5. Людство поступово втрачає монополію на інтелектуальну перевагу, зберігаючи при цьому ключову роль у визначенні напрямів розвитку штучних систем за умовами розвитку їх термодинамічної нерівноважності.

6. Існують об'єктивні термодинамічні межі взаємодії між людиною і навколишнім середовищем, які визначають два базові сценарії: конфліктний (антагоністичний) і коеволуційний (конвергентний).

7. Екологічний стан планети, що демонструє системну деградацію,

опосередковано стимулює необхідність переходу до термодинамічно збалансованого співіснування двох основних типів систем на планеті, незважаючи на зростаючу роль штучних неорганічних структур у впливі на стан довкілля.

8. Показана обмеженість певного координатного простору, в межах якого людина є лідером в системі «*ch-M*», і необмеженість простору, де людина може, або повинна, поступитися своїми лідерськими правами не тільки в управлінні енергетичними можливостями неорганічного світу, але і її інтелектом.

9. Біологічні зміни людини та сучасні трансформації її мотивації здатні свідчити про адаптацію до нової техногенно-інформаційної реальності.

10. Запропоновані гіпотетичні шляхи продовження еволюції розуму в більш стабільних неорганічних формах матерії де людина буде спроможною виступати, як довгострокова проміжна ланка глобального еволюційного процесу. Це шляхи, які людина має попереджувально обминути в своєму майбутньому розвитку.

Список літератури:

1. Harari Y.N., *Sapiens: A Brief History of Humankind*. Harper, 2015, New York, 498 p.
2. Harari Y.N., *Homo Deus*. Harper, 2016, New York, 450 p.
3. Schrödinger E., *What is Life?* Cambridge University Press, 1944, Cambridge, pp. 1–91.
4. Harari Y.N., *Nexus: A Brief History of Information Networks from the Stone Age to AI*. Harper, 2024, New York, 432 p.
5. Smil V., *Energy and Civilization: A History*, MIT Press, 2017, Cambridge, 568 p.
6. Prigogine I., Stengers I. *Order Out of Chaos*, Bantam Books, 1984, New York, 349 p.
7. Wiener N., *Cybernetics*, MIT Press, 1948, Cambridge, 212 p.
8. Maturana H. R., Varela F. J. *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*. Dordrecht: D. Reidel Publishing, 1980. 141 p.
9. Dincer I. Rosen M. A. *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*. 2nd ed. 2013. Amsterdam: Elsevier, 576 p.
10. Margulis L. *Symbiosis in Cell Evolution*. 2nd ed. 1993. New York: W.H. Freeman, 452 p.
11. Волошин В. С., Азархов О. Ю. Конкуренція та перспективи білково-вуглецевих та специфічних неорганічних екосистем на Землі. *Вісник*

Приазовського державного технічного університету. Вип. 48. Сер. Технічні науки. 2024. С. 111-120.

12. Волошин В. С., Азархов О. Ю. Людина чи машина: інтелект та міцність, перспективи та конкуренція. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Т. 14. № 1, 2024. С. 64-73.

13. Волошин В. С., Азархов О. Ю. Перехідні ентропійні процеси на межі властивостей у деяких екосистемах. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. Зб. наук. статей УкрНДІЕП*, Харків, 2025. С. 126-134.

14. Волошин В. С. Данилова Т. Г. Про один порівняльний критерій по відношенню до конкурентоспроможності деяких природних та штучних екосистем. *Екологічні науки*, № 59. Київ, 2025. С. 24-32.

15. Волошин В. С. Щодо питання про роль людини в екосистемі «Земля». *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. 7-ома міжнародна науково-практична конф.* Харьков-Алушта. 2011. С. 23-27.

16. Волошин В. С., Азархов О. Ю. Чому людина починає програвати конкуренцію за термодинамічну нерівноважність, як фактор розвитку в навколишньому техногенному середовищі. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2024. Вип. 49. Т. 2. С. 93-105.

17. Prigogine I., Kondepudi D. *Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures*. John Wiley & Sons, 1998, Chichester, 508 p.

18. Корчин В. О. Зони низьких сейсмічних швидкостей в земній корі і їх петрофізичні особливості. *Геодинаміка*. 2011. № 2(11). С. 122-124.

19. Атлас «Геологія і корисні копалини». 1:5 000 000. Голов. ред. Л. С. Галецький. Київ: Вид. НАН України, Міністерства екології та природ. ресурсів України, 2001. 168 с.

20. Peixoto J. P., Oort A. H. *Physics of Climate*. American Institute of Physics. 1992. New York. 520 p.

21. *Advancing Volcanic Activity Monitoring: A Near-Real-Time Approach with Remote Sensing Data Fusion for Radiative Power Estimation*, (MDPI). 2023.

22. Holton J. R., Hakim G. J. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press. Elsevier. 2004. 446 p.

23. Salby M. L. *Physics of the Atmosphere and Climate*. Cambridge University Press. 2012. Cambridge, 717 p.

24. Knauss J. A., Garfield N. *Introduction to Physical Oceanography*. Third Edition. Waveland Press. 2005. 305 p.

25. Wunsch C., Kirk J., Henry J., Yager L. *Inverse Problems, Inverse Methods, and Inverse Models*. Elsevier. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 3rd Edition. 2019. vol. 5, pp. 502-512.

26. Emery W. J., Thomson R. E. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Elsevier. New York. 2001. 638 p.

27. Morowitz H. J. *Energy Flow in Biology: Biological Organization as a Problem in Thermal Physics*. *The Journal of Applied Ecology*, 1969. vol. 6, is. 3, pp. 517.

28. Kauffman, S. A. *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press. 1993. Oxford, 577 p.

Section «State Administration»

29. Lineweaver C. H., Davies P. C., Ruse M. Complexity and the Arrow of Time. Cambridge University Press. 2013. New York. 352 p.
30. International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2022. Paris: OECD/IEA. 256 p.
31. Shehabi A., Smith S. J., Masanet E. *Data Center Energy Use in 2021. Environmental Research Letters*, 2022.
32. Kanamori H., Brodsky E.E. The physics of earthquakes. *Reports on Progress in Physics*, 2004. 67(8), pp. 1429-1496.
33. McGuire W. J. Volcanic Risk and Energy Release Mechanisms. Academic Press. 2002. 431 p.
34. Emanuel K. A. (2005). Divine Wind: The History and Science of Hurricanes. Oxford University Press. 2005. 279 p.
35. Pielke R. A. Jr., & Landsea C. W. (1998). Normalized Hurricane Damages in the United States: 1925–1995. *Weather and Forecasting*, 13(3), pp. 621-631.
36. Lucarini V., Fraedrich K., Ragone F. (). New approaches to the entropy production in the Earth system. *Reviews of Geophysics*, 2011. 49(4). pp. 423-461.
37. Goody R. M. Sources and sinks of climate entropy. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2000. 126(569), pp. 1953-1970.
38. Bar-On Y. M., Phillips R., Milo R. The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018. 115(25), pp. 6506-6511.
39. Hoornweg D., Bhada-Tata P. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. World Bank. 2012. 439 p.
40. Smil V. Making the Modern World: Materials and Dematerialization. John Wiley & Sons, 2013, Chichester, 256 p.
41. 10. Agar J. The Government Machine: A Revolutionary History of the Computer, 2003. 564 p.

References:

1. Harari Y.N., Sapiens: A Brief History of Humankind. (2015) Harper, New York, 498 p. URL: <https://www.harpercollins.com>
2. Harari Y.N., Homo Deus. (2016) Harper, New York, 450 p. URL: <https://www.harpercollins.com>
3. Schrödinger E., What is Life? (1944) Cambridge University Press, Cambridge, P. 1–91 URL: <https://www.cambridge.org>
4. Harari Y.N., Nexus: A Brief History of Information Networks from the Stone Age to AI. (2024). Harper, New York, 432 p. URL: <https://www.harpercollins.com>
URL: <https://www.harpercollins.com>
5. Smil V., Energy and Civilization: A History. (2017) MIT Press, Cambridge, 568 p. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262035774.001.0001>
6. Prigogine I., Stengers I. Order Out of Chaos. (1984) Bantam Books, New York, 349 p. URL: <https://www.penguinrandomhouse.com>
7. Wiener N., Cybernetics. (1948) MIT Press, Cambridge, 212 p. URL: <https://mitpress.mit.edu>

8. Maturana H. R., Varela F. J. *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*. (1980) Dordrecht: D. Reidel Publishing, 141 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-009-8947-4>

9. Dincer I. Rosen M. A. *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*. (2013) 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 576 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2010-0-67053-3>

10. Margulis L. *Symbiosis in Cell Evolution*. (1993) 2nd ed. New York: W.H. Freeman, 452 p. <https://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctt7ztc5p>

11. Волошин В. С., Азархов О. Ю. (2024) Concurensia ta perspektivy bilcovovugletsevyh ta spetsifichnyh neorganichnyh ecosystem na Zemli. [Competition and prospects of protein-carbon and specific inorganic ecosystems on Earth]. *Visnyk Pryazovskogo derzhavnogo tehnicznego universitetu – Bulletin of Pryazovsky State Technical University*. Vol. 48. Tehnichni nauky – Technical Sciences, pp. 111-120. <https://journals.pstu.edu/>

12. Voloshyn V.S., Azarhov O.Ur. (2024) Liudina chi machyna: intellect ta mitsnist, perspektivy ta concurensia. [Man or machine: intelligence and strength, prospects and competition]. *Naukovy visnyk Tavriyskogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universitetu. – Scientific Bulletin of Taurida State Agrotechnological University*, t. 14, no. 1, pp. 64-73. <http://nv.tsatu.edu.ua/>

13. Voloshyn V.S., Azarhov O.Ur. (2025) Perekidni entropiyni protsesy na mezhi vlastivostey u deyakih ecosystemah. [Transient entropy processes at the property boundary in some ecosystems]. *Ecologichna bespeaka: problemy ta shlyahy vyrishennya. Zb. nauk. statey UkrNDIEP – Environmental Safety: Problems and Solutions. Collection of Scientific Articles of UkrNDIEP*, Kharkiv, pp. 126-134. <http://www.niiep.kharkov.ua/>

14. Voloshyn V.S., Danilova T. G. (2025) Pro odyh porivnialny kriteriyy po vidnoshenniyy do konkurentospromozhnosti deyakih prirodnyh ta stuchnyh ecosystem. [On one comparative criterion in relation to the competitiveness of some natural and artificial ecosystems]. *Ecologichni nauky – Environmental Sciences*, no. 59. Kyiv, pp. 24-32. <https://ecoj.dea.kiev.ua/>

15. Voloshyn V.S. (2011) Sho do pytan pro rol liudyny v ecosystemi “Zemlia” [Regarding the question of the role of man in the ecosystem "Earth".] *Ecologichna bespeaka: problemy ta shlyahy vyrishennya. Zb. nauk. statey UkrNDIEP – Environmental Safety: Problems and Solutions. Collection of Scientific Articles of UkrNDIEP, Kharkov-Alishta*. pp. 23-27. <http://www.niiep.kharkov.ua/>

16. Voloshyn V.S., Azarhov O.Ur. (2024) Thsomu liudina pothinae progravaty konkultentsiu za termodynamichnu nerivnovazhnist, yak factor rozviku v navkolushnemu seredovyshi. [Why a person begins to lose competition for thermodynamic disequilibrium as a factor of development in the man-made environment]. *Earth*. *Visnyk Pryazovskogo derzhavnogo tehnicznego universitetu – Bulletin of Pryazovsky State Technical University*. Vol. 49. t. 2, Tehnichni nauky [Technical Sciences], pp. 93-105. <https://journals.pstu.edu/>

17. Prigogine I., Kondepudi D. (1998) *Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures*. John Wiley & Sons, Chichester, 508 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118698723>

18. Korthin V. O. (2007) Zony niskykh seysmichnykh shvydcostey v zemnyi kori I yih petrofizychni osoblivosti. [Zones of low seismic velocities in the earth's crust and their petrophysical features]. *Geodynamic – Geodynamics*. no. 2(11), pp. 122-124. <https://journals.urau.ua/geodynamics>

19. Atlas “Geologia I korysni kopalyny”. 1:5000000 [Atlas "Geology and Minerals". 1:5 000 000]. (2001) Kyiv: Vydavnytstvo NAN Ukrainy, Ministerstvo ekologii ta prirodnykh resursiv – Publisher: National Academy of Sciences of Ukraine, Ministry of Ecology and Nature. Resources. 168 p. <https://www.geo.gov.ua>

20. Peixoto J. P., Oort A. H. (1992) Physics of Climate. *American Institute of Physics*. New York. 520 p. <https://archive.org/details/physicsofclimate00peix>

21. Bella G.S., Corradino C. (2023) Advancing Volcanic Activity Monitoring: A Near-Real-Time Approach with Remote Sensing Data Fusion for Radiative Power Estimation. *Aims Remote Sensing*, no. 16, pp. 37-42. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16162879>

22. Holton J. R., Hakim G. J. An Introduction to Dynamic Meteorology. (2004) Academic Press. Elsevier. 446 p. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123540157>

23. Salby M. L. Physics of the Atmosphere and Climate. (2012) *Cambridge University Press*. Cambridge, 717 p. <https://www.cambridge.org/core/books/physics-of-the-atmosphere-and-climate/>

24. Knauss J. A., Garfield N. Introduction to Physical Oceanography. (2005) Third Edition. *Waveland Press*. 305 p. <https://www.waveland.com/browse.php?t=384>

25. Wunsch C., Kirk J., Henry J., Yager L. Inverse Problems, Inverse Methods, and Inverse Models. Elsevier. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 3rd Edition. 2019. vol. 5, pp. 502-512. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11626-5>

26. Emery W. J., Thomson R. E. Data Analysis Methods in Physical Oceanography. (2001) Elsevier. New York. 638 p. <https://www.sciencedirect.com/book/9780444507563>

27. Morowitz H. J. Energy Flow in Biology: Biological Organization as a Problem in Thermal Physics. (1969) *The Journal of Applied Ecology*, vol. 6, no. 3, pp. 517. DOI: <https://doi.org/10.2307/2402153>

28. Kauffman S. A. The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution. (1993) *Oxford University Press*. Oxford, 577 p. <https://global.oup.com/academic/product/the-origins-of-order-9780195079517>

29. Lineweaver C. H., Davies P. C., Ruse M. (2013) Complexity and the Arrow of Time. *Cambridge University Press*. New York. 352 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139225700>

30. International Energy Agency (IEA). (2022) World Energy Outlook. Paris: OECD/IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

31. Shehabi A., Smith S. J., Masanet E. (2022) Data Center Energy Use in 2021. (2021) *Environmental Research Letters*. pp. 141-143. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8e6d>

32. Kanamori H., Brodsky E.E. (2004) The physics of earthquakes. *Reports on Progress in Physics*, no. 67(8), pp. 1429-1496. DOI: <https://doi.org/10.1088/0034-4885/67/8/R03>
33. McGuire W. J. (2002) Volcanic Risk and Energy Release Mechanisms. Academic Press. 431 p. <https://www.elsevier.com/books/volcanic-hazards/mcguire/978-0-12-481200-0>
34. Emanuel K. A. (2005). Divine Wind: The History and Science of Hurricanes. Oxford University Press. 279 p. <https://global.oup.com/academic/product/divine-wind-9780195149418>
35. Pielke R. A. Jr., & Landsea C. W. (1998). Normalized Hurricane Damages in the United States: 1925–1995. *Weather and Forecasting*, no. 13(3), pp. 621-631. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1998\)013<0621:NHDITU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1998)013<0621:NHDITU>2.0.CO;2)
36. Lucarini V., Fraedrich K., Ragone F. (2011). New approaches to the entropy production in the Earth system. *Reviews of Geophysics*, no. 49(4). pp. 423-461. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011RG000366>
37. Goody R. M. (2000). Source and sinks of climate entropy. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, no. 126(569), pp. 1953-1970. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.49712656906>
38. Bar-On Y. M., Phillips R., Milo R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, no. 115(25), pp. 6506-6511. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115>
39. Hoornweg D., Bhada-Tata P. (2012). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. World Bank, 439 p. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>
40. Smil V. (2013) Making the Modern World: Materials and Dematerialization. John Wiley & Sons., Chichester (UK), 256 p. <https://vaclavsmil.com/book/making-modern-world-materials-dematerialization/>
41. Agar J. (2003). The Government Machine: A Revolutionary History of the Computer. *Oxford University Press*, 564 p. https://mitpress.mit.edu/9780262012027/the-government-machine/?utm_source=chatgpt.com