

## АЛЬТЕРНАТИВНИЙ ПОГЛЯД НА ПРОЦЕСИ МЕТАБОЛІЗМУ З ДОСЛІДЖЕННЯМ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ У ТЕПЛОКРОВНИХ ВИДІВ\*

**В. І. Максін**, доктор хімічних наук

**О. З. Стандритчук**, кандидат хімічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Показано, що при детальному аналізі точних цифрових значень граничних та середньозважених фізичних і хімічних параметрів, речовин і процесів метаболізму теплокровних видів виявляється феномен їх тісної взаємопов'язаності та кореляції з основними фундаментальними фізико-хімічними константами.

Альтернативний підхід полягає у визнанні специфічної ролі в процесах метаболізму монооксиду вуглецю і мікроелементів підгрупи заліза — паладію та іридію. Зокрема, необхідний оптимальний енергетичний баланс може забезпечуватися лише при спалювання глюкози у клітині до монооксиду вуглецю, а не до вуглекислого газу. Як м'який антиоксидант, СО через доокислення в СО<sub>2</sub>, яке завершується лише при виході з легень, зв'язує вільні радикали у безпечні сполуки і протидіє їх розгалуженню.

**Вступ.** Метаболізм, або обмін речовин, як сукупність великої кількості складних хімічних перетворень, що відбуваються в живих організмах для підтримки здорової життєдіяльності і відтворення їх клітин, включаючи енергетичний баланс усіх задіяних процесів, детально вивчались практично у кожній ланці розгалуженої сітки метаболічних шляхів [1,2]. Тому нові публікації на цю тему давно перейшли до рівня наукових вузькофахових [3—5] та енциклопедичних статей [6,7], монографій і підручників [8—15]. Отже, наступним науковцям залишається ще більше деталізувати дослідження, або пропонувати альтернативні підходи до пояснення процесів метаболізму.

Сповідуючи глобальну пов'язаність усіх явищ природи, автори, як і у своїх попередніх працях [16,17], використовують узагальнюючий підхід до вивчення метаболізму як цілісного явища природи. Оскільки дослідженню взаємопов'язаності параметрів метаболізму не приділялося, на наш погляд, достатньо уваги [1—17], за виключенням деяких пошукових робіт [18,19], метою даної роботи стало дослідження феномену зв'язку фізичних та хімічних процесів метаболізму та їх кореляції з фундаментальними фізико-хімічними константами на рівні середньозважених і граничних значень задля обґрунтування альтернативного погляду на природу обміну речовин, зокрема, параметрів і механізму спалювання глюкози у теплокровних видів.

**Виклад основного матеріалу.** Усі метаболічні реакції пришвидшуються та регулюються в просторі й часі ферментами (каталізаторами) — білковими сполуками з включенням хімічних елементів різної природи. Ферменти роблять можливим швидке низькоенергетичне протікання в клітині як простих, так і найскладніших реакцій, що за інших умов потребували б дуже високих температур чи тиску, або і високих температур, і тиску. Ферменти також дозволяють регулювати, за потреби, увесь процес обміну речовин і енергій, поєднуючи їх у такій послідовності, де продукт однієї стає субстратом для наступної і т. д., аж до утворення складної розгалуженої сітки метаболічних шляхів, що динамічно адаптується до зміни зовнішніх та внутрішніх умов [1,4,6—14]. Свідченням єдності походження живої природи є те, що незважаючи на певні особливості метаболізму, які має не тільки кожен вид, але й окремі особини в межах виду, в цілому метаболічні шляхи та їх компоненти є спільними для більшості живих організмів. Умовно метаболізм поділяється на два процеси: катаболізм — дисиміляцію, або енергетичний обмін, з підтриманням оптимальної температури тіла за рахунок реакцій окиснення та розщеплення

---

\* Автори висловлюють щирю подяку академіку НАН України і НААН України Д.О. Мельничуку за ознайомлення з рукописом та зроблені зауваження і побажання, які враховано в кінцевому варіанті статті.

складних органічних сполук до простіших фрагментів і виділенням корисної енергії, та анаболізм — асиміляцію, або пластичний обмін, за рахунок реакцій синтезу необхідних клітинам речовин, з використанням енергії, отриманої в процесі катаболізму [2,6—14,18,19].

Перед тим як перейти до детального розгляду термодинамічних аспектів метаболізму, пропонуємо провести порівняльний хімічний аналіз на прикладі поширеності хімічних елементів у біологічних клітинах [22], земній корі та біосфері [23] та за їх здатністю накопичуватись у біосфері. Результати порівняльного аналізу наведено в табл. 1.

**Таблиця 1. Порівняння поширеності хімічних елементів у клітинах теплокровних видів, земній корі та біосфері (пояснення в тексті)**

Символ та назва хімічного елементу		Масова доля, %			Біосфера/земна кора, $\delta_{БЗ}$
		у складі клітини	у земній корі	у біосфері	
• <i>Вуглець та його аналоги</i>					
<sup>6</sup> C	Вуглець	<b>16 ÷ 18</b>	0,023	<b>18</b>	<b>782,609</b>
<sup>14</sup> Si	Кремній	<i>мікроелемент</i>	<b>29</b>	<b>0,2</b>	0,0069
• <i>Азот та його аналоги</i>					
<sup>7</sup> N	Азот	<b>1,5 ÷ 3,0</b>	0,0019	<b>0,3</b>	<b>157,895</b>
<sup>15</sup> P	Фосфор	<b>1,0</b>	<b>0,093</b>	0,07	0,7527
• <i>Залізо, перехідні метали та їх аналоги</i>					
<sup>26</sup> Fe	Залізо		$2,6 \cdot 10^{-4} *$		<b>38,462</b>
		0,01	<b>4,65</b>	0,01	0,0022
<sup>46</sup> Pd	Паладій	<i>не досліджено</i>	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	<b>38,462</b>
<sup>30</sup> Zn	Цинк	<i>мікроелемент</i>	0,0083	$5 \cdot 10^{-4}$	0,0602
<sup>29</sup> Cu	Мідь	<i>мікроелемент</i>	0,0047	$2 \cdot 10^{-4}$	0,0426
<sup>24</sup> Cr	Хром	<i>мікроелемент</i>	0,0083	$1 \cdot 10^{-4}$	0,0120
<sup>27</sup> Co	Кобальт	<i>мікроелемент</i>	0,0018	$2 \cdot 10^{-5}$	0,0111
<sup>25</sup> Mn	Марганець	<i>мікроелемент</i>	<b>0,1</b>	$1 \cdot 10^{-3}$	0,0100
<sup>28</sup> Ni	Нікель	<i>мікроелемент</i>	0,0058	$5 \cdot 10^{-5}$	0,0086
<sup>77</sup> Ir	Іридій	<i>не досліджено</i>	$1,0 \cdot 10^{-6}$	—	—
• <i>Водень і галогени та їх аналоги</i>					
<sup>1</sup> H	Водень	<b>8 ÷ 10</b>	<b>1,00</b>	<b>10,5</b>	<b>10,500</b>
<sup>17</sup> Cl	Хлор	<b>0,1</b>	0,01	0,02	2,0000
<sup>35</sup> Br	Бром	<i>мікроелемент</i>	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,7143
<sup>53</sup> I	Йод	0,0001	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0,2500
• <i>Кисень та його аналоги</i>					
<sup>8</sup> O	Кисень	<b>65 ÷ 76</b>	<b>47</b>	<b>70</b>	<b>1,4894</b>
<sup>16</sup> S	Сірка	0,01 ÷ 0,2	0,047	0,05	1,0638
<sup>34</sup> Se	Селен	<i>мікроелемент</i>	0,001	<i>сліди</i>	—
• <i>Кальцій і калій та їх аналоги</i>					
<sup>20</sup> Ca	Кальцій	<b>2,5</b>	<b>2,96</b>	0,05	0,0169
<sup>19</sup> K	Калій	<b>0,4</b>	<b>2,5</b>	<b>0,3</b>	0,1200
<sup>12</sup> Mg	Магній	0,03	<b>1,87</b>	0,04	0,0214
<sup>11</sup> Na	Натрій	0,03	<b>2,5</b>	0,02	0,0080
• <i>Алюміній, лантанойди та актиноїди</i>					
<sup>13</sup> Al	Алюміній	<i>Мікроелемент</i>	<b>8,05</b>	0,005	0,0006
<sup>57</sup> La	Лантан	—	0,0029	<i>сліди</i>	—
<sup>92</sup> U	Уран	—	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0,0040
<b>Частка найпоширенішихнайпоширеніших</b>		<b>98,25 %</b>	<b>99,72%</b>	<b>98,50 %</b>	

*Примітка.* Значення масової долі заліза у “молодій” земній корі (див. текст)

Перший важливий результат для теми наших досліджень, впливає із аналізу хімічного складу клітин біологічних тіл, включно з людиною [22]. Оскільки основні макроелементи складають 98,25—98,50%, а на інші хімічні мікроелементи припадає 1,75—1,50%, то нескладні підрахунки співвідношень усіх складових елементів клітин показують, що за граничного спрощення біологічні тіла сучасних біологічних видів відповідають простій хімічній формулі:  $(C_6H_{12}O_6)_2 \cdot 32H_2O \cdot x(CaCO_3 \cdot NH_2CONH_2 \cdot 2H_2O)$ , або, точніше, —  $2(C_6H_{12}O_6 \cdot 16H_2O) \cdot x(CaCO_3 \cdot NH_2CONH_2 \cdot 2H_2O) \cdot k \cdot Me_nX_m$ , де  $x = 0,25$  — середньозважена масова доля кальцію та азоту в складі клітин;  $k \cdot Me_nX_m$  — поправка на вміст сполук усіх

інших хімічних елементів. По суті, біологічні тіла, згідно виведеної формули, це продукт їхнього метаболізму — глюкоза, сечовина, вода і карбонат кальцію (як утворююча скелет сполука) плюс 1,75—1,50% допоміжних сполук інших хімічних елементів. Середня молекулярна маса такої формули  $M_{e_{\text{тіла}}} = 1000,4 \pm 0,6$  кг/кмоль, звідси усі термодинамічні параметри біологічних тіл, виражені в одиницях виміру, співвіднесених до маси тіла, наприклад, у кДж/(кг·К), ккал/кг і т.п., практично співпадають з їх молярними величинами — кДж/(моль·К) і ккал/моль відповідно.

Ще один цікавий результат із порівняльного аналізу (див. табл. 1) впливає при співставленні здатності хімічних елементів накопичуватись у біосфері, що дорівнює співвідношенню масової долі хімічного елементу в біосфері до їх масової долі в земній корі, яку позначили коефіцієнтом біологічної значимості хімічного елементу  $\delta_{Б/З}$ . За величиною  $\delta_{Б/З}$  усі макроелементи та мікроелементи поділяються на 7 функціональних груп (віддалена аналогія з Періодичною таблицею Д.І. Менделєєва): вуглець та його аналоги; азот та його аналоги; залізо, перехідні метали та їх аналоги; водень, галогени та їх аналоги; кисень та його аналоги; кальцій, калій та їх аналоги; алюміній, лантаноїди та актиноїди та їх аналоги і ті, які розташовані в порядку зростання здатності накопичуватись у біосфері їх основних представників — С, N, Fe (Pd), H, O, Ca (K), Al. При цьому, як і очікувалося, найбільш важливими виявилися вуглець, азот, водень, та кисень — чотири основні елементи будови будь якої органічної сполуки з коефіцієнтами  $\delta_{Б/З}$  782,609, 157,895, 10,500 і 1,490, відповідно. Близькі значення до показника водню мають хлор ( $\delta_{Б/З} = 2,000$ ), який разом із воднем є базовими в соках травлення та транспорту речовин, і сірка ( $\delta_{Б/З} = 1,064$ ), котра разом із селеном, у складі білкових структур та вітамінних комплексів (вітамін Е), корегують кисневий обмін, забезпечуючи високу антиоксидантну, протизапальну та протипухлинну їх дію [4, 24, 25]. Для усіх інших хімічних елементів, необхідних для побудови скелету, тканин тіла, кровотворення, травлення, ферментативного регулювання метаболізму і т.п., коефіцієнти  $\delta_{Б/З}$  виявилися меншими за одиницю. Неочікуваним результатом було положення паладію в групі заліза, перехідних металів та їх аналогів, для якого значення  $\delta_{Б/З} = 38,462$ , що у 3,66 та 25,81 рази перевищує відповідний коефіцієнт для водню та кисню і ставить паладій, а не залізо, на третю позицію після вуглецю та азоту (табл.1). Про цю особливість паладію автори вже згадували в роботі [17] на хімічну тематику, але для фахівців з біології та медицини цей факт і досі чомусь залишається непоміченим.

Можливо таким же чином замасковується здатність заліза накопичуватись у біосфері. Зокрема, якщо взяти до уваги реальний вміст заліза у "молодій" земній корі, виходячи із формули його накопичення за рахунок міграції із ядра:

$$m_t = \frac{m_o R_o}{P_o V_o} \cdot \frac{t_t}{2^{10}} = 4,65 \cdot \%,$$

де,  $t_t \approx 4,567 \cdot 10^9 \div 5,433 \cdot 10^9$  — тривалість накопичення (у середньому 5·10<sup>9</sup> років), а  $P_o V_o = m_o R_o T_o$  — параметри відомої формули Менделєєва — Клапейрона, то він становить  $m_o = 2,6 \cdot 10^{-4} \%$  і тоді для заліза  $\delta_{Б/З}$  — 38,462, практично як у паладію.

До речі, слід нагадати і про аномалію щодо іридію — виявлення завищеної його концентрації відносно природного вмісту в земній корі в шарі ґрунту з горизонту вимирання динозаврів 65 млн років тому [26]. Іридієву аномалію намагалися пояснити атакою Землі астероїдами, але з огляду на поведінку паладію, його аналога із підгрупи заліза, є підстава вважати реальною більш прозаїчну картину подій. Очевидно клітини тіл динозаврів концентрували паладій та іридій для регулювання процесів метаболізму, а при масовому вимиранні збагатили ними тогочасний шар ґрунту. Оскільки ж масова доля в земній корі паладію відносно іридію є на порядок вищою, то було зафіксовано лише іридієвий сплеск. На жаль, літературних даних про масову долю іридію в біосфері не виявлено і ці пояснення можуть сприйматися лише на рівні гіпотези.

З огляду на згадані факти, та враховуючи специфічні властивості паладію відносно водню (Pd поглинає до 950 об'ємів H<sub>2</sub> на 1 власний об'єм; як найкращий каталізатор

прискорює і максимально понижує енергетику реакцій гідрування; має високу здатність до утворення складних комплексів з амінами, оксіамінами, тіосечовиною, органічними сполуками, білками та ін.), а також відносно монооксиду вуглецю (розчинні сполуки паладію в присутності наднормового вмісту  $\geq 0,02$  мг/л СО в повітрі є безвідмовними детекторами, відновлюючись до паладієвої черні) [27], вплив паладію на метаболізм сучасних видів має бути значним і заслуговує на окреме детальне вивчення.

Термодинамічна особливість метаболізму в теплокровних видів полягає в тому, що частина звільненої при розриві хімічних зв'язків на стадії катаболізму енергії (у вигляді теплоти  $\Delta Q_t$ ) витрачається на підтримання внутрішньої температури тіла ( $t_{тіла}$ ) в дуже вузьких межах, навіть за значних змін вихідних умов та фізичних навантажень [14, 15, 19]. Середньозважені значення  $t_{тіла}$  і  $\Delta Q_t$  залежать від специфіки метаболізму в різних класів, видів та підвидів і є характерними величинами, значення яких, та їх оптимальні інтервали наведено в табл. 2. Для здорового організму в спокійному стані з оптимальним обміном речовин  $t_{тіла}$  практично постійна. Значення внутрішньої теплоти DQ у ккал/моль, що може забезпечити підтримку оптимальних  $t_{тіла}$ , деяких представників з 5 основних класів теплокровних організмів вираховували за відомою формулою [28]:

$$\Delta Q_t = n \cdot c_{p(mіла)} t_{тіла},$$

де  $n = 1$  моль;  $c_{p(mіла)}$  – теплоємність тіла теплокровних, дуже близька до величини стандартної теплоємності води  $c_{p(H_2O)} = 4,1868$ , ккал/(моль·К);  $t_{тіла}$  – характерна оптимальна температура тіла, °С.

Отже, як видно із представлених даних (табл. 2), усі існуючі сьогодні і вимерлі види теплокровних організмів функціонують у вузькому інтервалі тіла 30–43°C, де нижню межу займають однопрохідні, із слабким метаболізмом, а верхню — вимерлі види, ящери з високоактивним метаболізмом. Наявність у динозаврів надактивного метаболізму наводить на думку про можливість існування дихаючих вогнем ящерів. Адже внутрішня теплота тіла ( $\Delta Q_t = 180,5$  ккал/моль) під час збудження могла стрімко зростати, доводячи до критичної температури займанням парів легкозаймистих ефірів, ацетону і метану у відрижках при ричанні тварини. Можливо також, що динозаври загинули через свій надактивний метаболізм, від теплового удару за інтенсивного глобального потепління, яке періодично стається на Землі, а не від астероїда [26]. Це видається досить вірогідним, адже температура динозаврів тіла = 43°C, а при  $t$  і 46°C усі відомі білки звертаються.

Людина, з оптимумом середньої температури тіла  $t_{тіла} = 36,52422$  °С і вільної внутрішньої теплоти  $\Delta Q_t = 152,9196$  ккал/моль, є рівновіддаленою від небезпечних верхньої та нижньої енергетичних меж виживання. Докази і прив'язка значення тіла = 36,52422 °С до властивостей води, оскільки при температурі 36–37 °С вода має найменшу питому теплоємність [20,21], на наш погляд, не витримують критики, адже енергія для підтримки постійної  $t_{тіла}$  вивільняється на стадії спалювання поживних речовин за рахунок розриву та перегрупування хімічних зв'язків, що успадкували параметри глибинної будови матерії, поєднуючи їх оптимуми.

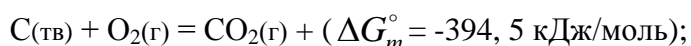
**Таблиця 2. Значення внутрішніх середньозважених температур тіла і відповідних їм значень вільної теплоти метаболізму для різних видів теплокровних**

Вид теплокровних	Температура тіла		Внутрішня теплота тіла, $Q_t$ , ккал/моль
	інтервал, $t_{min} \div t_{max}$ , °С	оптимум, $t_{тіла}$ , °С	
• <u>Нижня межа теплокровних</u>	26,7–29,3	$\geq 27$	113,0436
1. Однопрохідні (східна, качконіс)	30,0–31,0		127,6425
2. Сумчасті ссавці	34,0–36,0		146,4750
3. Плацентарні ссавці - людина та людиноподібні:	35,0–39,0		156,9375

	люди	36,0–37,0	36,524220	152,9196
	мавпи	37,0–38,0	37,5	156,9375
-	морські тварини:			
	дельфіни	36,0–37,0	36,5	152,8182
	кити	34,0–39,5	36,8	152,8182
	моржі	36,5–37,5	37,0	152,8182
-	сухопутні тварини:			
	коні	37,5–38,5	38,1	159,4485
	корови	37,5–39,5	38,5	161,1225
	коти	38,0–39,5	38,8	162,3780
	свині	38,0–40,0	39,0	163,2150
4.	Птахи	39,0–41,5		167,4000
-	свійська птиця:			
	кури	40,5–41,5	41,0	171,5850
	голуби	41,5	41,5	173,6775
5.	Ящери (вимерлі види):	42–43		
-	динозаври		~ 43	180,153
•	<u>Верхня межа теплокровних</u>	44,0–46,5	≤ 46	192,5987

Величину вільної енергії  $\Delta G'_{\neq}$  із сумарного енерговиділення при розриві усіх зв'язків характерних для основних типів сполук, що беруть участь у метаболізмі (білки, жири і вуглеводи), можемо оцінити із стандартних енергій розриву чотирьох основних типів зв'язків — С...С, С...О, С...Н, О...Н. Результати розрахунків за даними [8, 9, 23, 28] представлено в табл. 3 і виділено дужками. Зокрема, середньозважену величину енергії розриву зв'язку О—Н в спиртових і кислотних радикалах розраховували за різницею між середнім значення енергії дисоціації води  $\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^-$  ( $\Delta G(\text{H}^+\text{OH}^-) = -29352$  Дж/моль) та енергії утворення водневого зв'язку  $\text{H}-\text{O}-\text{H}^+\text{O}$  в  $\text{CH}_2\text{COOH}$  ( $\Delta G(\text{H}^+\text{OH}^-) = -493184$  Дж/моль) визначених у стандартних умовах. Використані авторами дані було скореговано на базі декількох джерел [8, 9, 23, 28] і тому вони дещо відрізняються від відповідних заокруглених величин — 29,3 і — 493,2 кДж/моль, наведених у довіднику [23]. Подібним чином, через співставлення даних з декількох джерел, визначались і середньозважені  $\Delta G'_{\neq}$  інших типів зв'язків. У підсумку одержано сталу питому величину енергії розриву хімічних зв'язків у сполуці з розрахунку на один розрив —  $\Delta G'_{\neq} = 395,458$  кДж/моль.

Такі ж значення  $\Delta G'_{\neq} = 395,458$  кДж/моль одержано у багатьох випадках:  
— для реакції повного спалювання вугілля до вуглекислого газу [28]:



— із залежності обмінної ємності природних цеолітів від теплоти їх змочування водою у нашій роботі [29], де при  $\Delta Q_m = 152,92$  кДж/кг було виявлено різке зростання обмінної ємності та зміна характеру залежності, звідки знаходимо у перерахунку на точно встановлену середню масу тіла людини людини ( $M_{\text{тіла}} = 61,85 \pm 0,05$  кг [19])  $\Delta H_{\neq} = (16 \cdot 10^3 \Delta Q_m) / (M_{\text{тіла}} \cdot 100\%) = 395,458$  кДж/моль;

**Таблиця 3. Енергії розриву найбільш характерних хімічних зв'язків для вуглеводів, білків та жирів**

Сполучення	Енергія розриву хімічних зв'язків, $\Delta \Delta G'_{\neq}$ , кДж/моль		
	експеримент	у середньому на один зв'язок	
		у групі	у сполуці
<i>Сполуки з одинарними сполученнями</i>			
С – С	347	347	<b>(395,458)</b>
С – О	358	358	
С – Н	413	413	
О – Н у спиртах	463	(463,832)	
О – Н у кислотах	465		
<i>Сполуки з бінарними і триплетними сполученнями</i>			
С – С	347	(357,3)	

C = C	720		
C ≡ C	1077		
C = O в альдегідах	736		
C = O в кетонах	749	(381,7)	
C = O в CO <sub>2</sub>	805		(395,458)
– C – H	413		
= C = H	448	(379,0)	
≡ C – H	456		
O – H у спиртах	463		
O – H у кислотах	465	(463,832)	

*Примітка.* Цілі числа – це наближені середні значення енергій розриву відповідних хімічних зв'язків за даними із довідників [25,28], а в дужках – більш точні середньозважені значення, розраховані авторами.

— із еквівалента енергії  $\Delta E_i \approx 153$  кДж/кг, перенесеної на об'єкт граничною дозою радіоактивного опромінення у 6,3 Гр, за якої спостерігається 50% смертність піддослідних особин щурів [30].

— із вимірювань частот пульсаційних коливань ( $\nu_n$ , см<sup>-1</sup>) у ряду нормальних циклопарафінів за даними роботи [31]. Останнє розглянемо детальніше.

Із опрацьованих даних роботи [31] та представлених у вигляді графічної залежності (рис. 1)  $\nu_n$  від кількості атомів вуглецю в ряду метан—етан (етилен)—*n*-циклопарафіни, знаходимо граничну частоту  $\nu_\infty = 823,2116$  см<sup>-1</sup> — для сполуки з максимально можливою кількістю вуглеців у циклі. Далі із формули виведеної авторами:

$$\frac{1}{2\pi} \nu_\infty \approx \frac{1}{3} \Delta G'_\neq, \text{ або } 4\pi^2 \cdot \nu_\infty = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{\mu_0 \Delta G'_\neq}{(2\gamma c)^3} \text{ — для точних розрахунків,}$$

де  $\gamma$ ,  $c$ , і  $\mu_0$  — фундаментальні світлові константи (гравітаційна стала, швидкість світла і магнітна проникність у вакуумі) знаходимо  $\Delta G'_\neq = 395,668$  кДж/моль. Цікаво відзначити, що із співвідношення величин  $\Delta G'_\neq$  і  $\nu_\infty$  абсолютно точно вираховується параметр оптимальної температури тіла людини:

$$t_{\text{тіла}}^\circ = \frac{3 \cdot \Delta G'_\neq}{4\pi^2 \cdot \nu_\infty} = 36,52422 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Враховуючи викладене, показуємо, що знайдена авторами величина  $\Delta G_\neq$  має характер світової фундаментальної сталої, зокрема:

$$\Delta G'_\neq = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{\rho_0 h_0 t_0}{4} = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{\rho_0 \mu_0 \hbar}{4\pi} \cdot \frac{t_\odot^3}{t_\oplus^3} = 395,458 \text{ кДж/моль,}$$

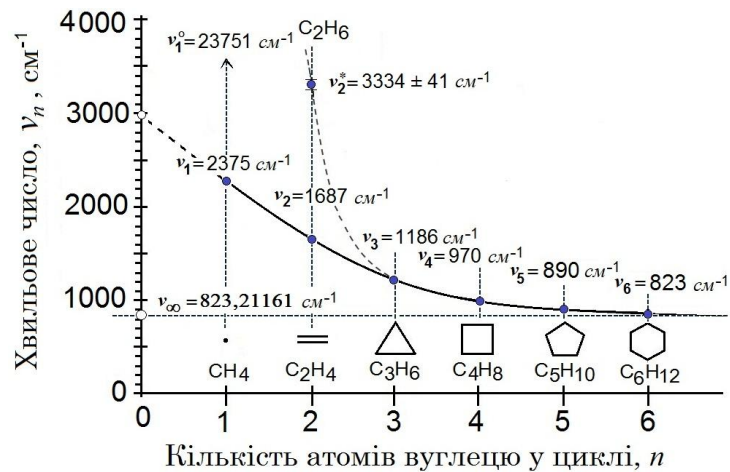
де  $\hbar$  — приведена стала Планка;

$\mu_0$  — магнітна проникність вакууму;

$\rho_0 = 999,984$  — коефіцієнт для взаємних перерахунків об'ємних та масових величин;

$t_\odot$  — період життя зірки з масою Сонця, а  $t_\oplus$  — період обертання Землі, причому

$$t_\odot / t_\oplus = (4\pi \cdot 10^3 / \mu_0) = 10^{10}.$$



**Рис. 1.** Залежність хвильового числа ( $v_n$ ,  $\text{см}^{-1}$ ) частот пульсаційних коливань від кількості атомів вуглецю ( $n$ ), утворюючих сполуку в ряду метан-етан (етилен)- $n$ -циклопарафіни

Проведено також аналіз (табл. 4) наявних експериментальних значень теплоти повного згоряння за стандартних умов  $\Delta H_m^\circ$  [8, 9, 23, 28] для чотирьох типових груп органічних сполук різної природи до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  — первинних спиртів з нормальним ланцюгом (10 сполук), нормальних алканів (8 сполук), алкенів з подвійним зв'язком у кінці ланцюга (9 сполук) та полісахаридів (глюкоза і крохмаль, як основні вихідні вуглеводи метаболізму). Виявляється, якщо розрахувати парціальну долю теплоти, котра припадає на одну  $\text{CH}_2$ -групу, то вона є майже однаковою для усіх сполук і лише частково зростає в межах рядів зі збільшенням кількості атомів вуглецю у сполуці від певної сталої величини -  $\Delta G''_{\neq} = 648,286$  кДж/моль, характерної для перших членів (метан, метанол, етилен), до 650—660 кДж/моль — для кінцевих членів будь якого ряду. Принцип порушується у випадку глюкози з  $\Delta G^\circ_{\neq} = -640,243$  кДж/моль і крохмалю з  $\Delta G''_{\neq} = -648,286$  кДж/моль. Енергетична різниця становить:  $\Delta F^\circ_{\neq} = \Delta G^\circ_{\neq} - \Delta G''_{\neq} = 8,043$  кДж/моль. Ця величина тісно пов'язана з мольними характеристиками і визначається за формулою:

$$\Delta F^\circ_{\neq} = k_i \cdot M_{\text{мола}} \cdot V_m^2 = 8,043 \text{ кДж/моль,}$$

де  $M_{\text{мола}} = 1000,6$  кг/кмоль — умовна молекулярна маса біологічного тіла (див. викладене вище);  $V_m = 22,413996$  м<sup>3</sup>/моль — молярний об'єм (стала для усіх речовин при 273,15 К і 101325 Па),  $k_i = 16$  Дж/моль<sup>3</sup> (м<sup>3</sup>)<sup>4</sup> — коефіцієнт переходу від позасистемних до системних одиниць ентропії та ентальпії.

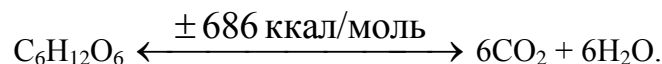
**Таблиця 4.** Теплоти повного згоряння органічних сполук різної природи за проведеного за стандартних умов спалювання до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$

Сполука	Теплота згоряння, $\Delta H_m^\circ$ , кДж/моль	Парціальна доля ( $\Delta H^\circ_{\neq}$ ) $\text{CH}_2$ -групи, кДж/моль	
		з довідників	Розрахунки
• Основні вихідні речовини метаболізму			
Глюкоза $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	2872,15	—	<b>640,2436</b>
Крохмаль $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$	3446,57	—	<b>648,2868</b>
• Первинні спирти з нормальним ланцюгом			
Метанол, $\text{CH}_3 - \text{OH}$	764,43	645,60	<b>648,2860</b>
Етанол, $\text{C}_2\text{H}_5 - \text{OH}$	1410,03	654,90	646,9430
Пропанол, $\text{C}_3\text{H}_7 - \text{OH}$	2064,93	656,07	649,5953
Бутанол, $\text{C}_4\text{H}_9 - \text{OH}$	2721,00	656,70	651,2140
Пентанол, $\text{C}_5\text{H}_{11} - \text{OH}$	3377,70	656,70	652,3112
Гексанол, $\text{C}_6\text{H}_{13} - \text{OH}$	4034,40	657,33	653,0427
Гептанол, $\text{C}_7\text{H}_{15} - \text{OH}$	4691,73	657,33	653,6551
Октанол, $\text{C}_8\text{H}_{17} - \text{OH}$	5349,06	657,32	654,1145

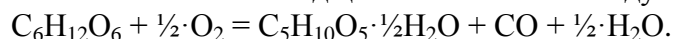
Нонанол, C <sub>9</sub> H <sub>19</sub> OH	6006,38	657,33	654,4707
Деканол, C <sub>10</sub> H <sub>21</sub> OH	6663,71	–	654,7566
• <i>Нормальні алкани</i>			
Метан, CH <sub>4</sub>	890,95	669,97	<b>648,2860</b>
Етан, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1560,92	660,91	659,1280
Пропан, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2221,52	658,67	659,6187
<i>n</i> -Бутан, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2880,43	658,67	659,4415
<i>n</i> -Пентан, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3539,10	658,60	659,2872
<i>n</i> -Гексан, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	4197,70	659,00	659,1727
<i>n</i> -Гептан, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	4856,70	659,00	659,1480
<i>n</i> -Октан, C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	5515,70	–	659,1295
• <i>Алкени с кінцевим подвійним зв'язком</i>			
Етилен, H <sub>2</sub> C=CH <sub>2</sub>	1411,91	647,96	<b>648,2868</b>
Пропілен, CH <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub>	2059,86	660,56	648,1745
<i>n</i> -Бутен-1, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub>	2720,42	657,48	651,2709
<i>n</i> -Пентен-1, C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CH=CH <sub>2</sub>	3377,90	659,40	652,5127
<i>n</i> -Гексен-1, C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> CH=CH <sub>2</sub>	4037,30	659,00	653,6606
<i>n</i> -Гептен-1, C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> CH=CH <sub>2</sub>	4696,30	659,00	654,4234
<i>n</i> -Октен-1, C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> CH=CH <sub>2</sub>	5355,30	659,50	654,9954
<i>n</i> -Нонен-1, C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> CH=CH <sub>2</sub>	6014,80	659,00	655,4959
<i>n</i> -Децен-1, C <sub>8</sub> H <sub>17</sub> CH=CH <sub>2</sub>	6673,80	–	655,8464

*Примітка.* У другій і третій колонках дані з довідників [8, 9, 23, 28], у четвертій – теплоти повного згорання, розраховані авторами.

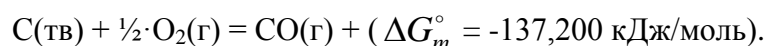
Реакція повного окиснення глюкози до вуглекислого газу і води (аналогія процесів у клітинах тварин і людини), як відомо, протікає з виділенням  $\Delta G_m^\circ = -2879$  кДж/моль (-686 ккал/моль) вільної теплоти, а зворотна реакція синтезу глюкози з вуглекислого газу та води (аналогія роботи рослинних клітин) — з поглинанням такої ж кількості тепла [7—9, 14, 18]:



Вивільнення одночасно кількості теплоти, що значно перевищує величину внутрішньої теплоти  $\Delta Q_t^\circ = 152,9196$  ккал/моль ( $\Delta H_t^\circ = 640243,797$  Дж/моль), необхідної для підтримки в тілі людини оптимальної температури ( $t_{mina} = 36,52422$  °C), принципово неможливе. Тому, найвірогідніше, реальний механізм, що лежить в основі метаболізму людини — це неповне спалення глюкози з відщепленням монооксиду вуглецю:



Сумарний тепловий ефект ( $\Delta G_m^\circ$ ) спалення глюкози, за цією схемою, може бути оцінений за параметрами реакції неповного спалення вугілля з утворенням чадного газу [28]:



Виходячи із величини  $\Delta G_m^\circ = -137,200$  кДж/моль, сумарний тепловий ефект  $\Delta G_{\neq}^\circ$  неповного спалення глюкози з виділенням чадного газу дорівнює:

$$\Delta G_{\neq}'' = 5 \Delta G_m^\circ + \frac{1}{2}(c_{p(H_2O)} \cdot M_{\nu_{H_2O}}) = 5(-137,200) + \frac{1}{2}(74,426) = -648,2868 \text{ кДж/моль}.$$

З огляду на це, відоме з викладеного вище значення  $\Delta G_{\neq}''$  (табл. 4) і з урахуванням згадуваної поправки  $\Delta F_{\neq}^\circ = 8,043$  кДж/моль, реальний тепловий ефект реакції катаболізму за схемою неповного спалення глюкози до CO і H<sub>2</sub>O, дорівнює:  $\Delta G_{\neq}^\circ = -640,2438$  кДж/моль ( $\Delta Q_t^\circ = -152,9196$  ккал/моль). Саме така величина внутрішнього тепла найбільш відповідає механізму підтримки оптимальної температури тіла на рівні:



$$t_{\text{min}}^{\circ} = \frac{\Delta G_{\neq}^{\circ}}{4,1868 \cdot c_{p(\text{H}_2\text{O})}} = \frac{\Delta Q_t^{\circ}}{c_{p(\text{H}_2\text{O})}} = 36,52422 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

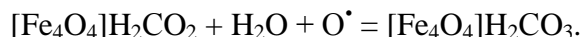
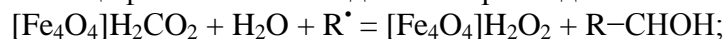
Беручи до уваги останнє, а також те, що  $\Delta G_{\neq}^{\circ} = 640,2438$  кДж/моль та  $\Delta G'_{\neq} = 395,4580$  кДж/моль, які характерні для процесів спалювання органічних сполук різної природи і є взаємопов'язаними, то основним в метаболізмі теплокровних слід вважати ошадливе (лагідне) спалення глюкози з виділенням СО, а не СО<sub>2</sub>.

Останні дослідження свідчать, що монооксид вуглецю вже не розглядається як молекула з виключно токсичною дією, а є дієвим компонентом об'ємного способу міжклітинної комунікації, що відіграє важливу роль в реалізації програми метаболічних процесів та їх регуляції як під час нормальних, так і патологічних станів [32, 33].

За нормальних умов ендогенний монооксид вуглецю утворюється в організмі в невеликій кількості ( $0,42 \pm 0,07$  мл/год) [34], що забезпечує цитопротекторну, антиапоптотичну і протизапальну дію [35, 36] і, можливо, бере участь у передачі інформації від центральної нервової системи [37]. Зокрема, було встановлено, що оптимальна кількість молекул монооксиду вуглецю (фізіологічна норма концентрації СОНв складає 0,5—1,5 % [34]) нормалізує плацентарні васкулярні функції, придушує ендотоксичний шок, запобігає відторгненню тканин при трансплантації органів, захищає від гіпероксидозу, ішемії, септичного шоку і пошкодження тканин легенів [37]. Останні дослідження ендогенного утворення монооксиду вуглецю за різного роду захворюваннях підтверджують його дію на структуру і функцію легеневої і серцево-судинної систем людини, під час гіподинамії, змін температури повітря, підвищеного барометричного тиску; також він є біомаркером при бронхіальній астмі та цукровому діабеті [38, 39].

Таким чином, альтернативний погляд на процеси метаболізму полягає в тому, що нормальна життєдіяльність, відтворення клітин організму та оптимальний енергетичний баланс забезпечуються наявністю в продуктах спалювання глюкози в клітині монооксиду вуглецю, а не вуглекислого газу. Абсорбований венозною кров'ю СО на зворотному шляху до легенів діє як антиоксидант, протидіючи появі вільних радикалів, й лише при виході з легень повністю доокиснюється в СО<sub>2</sub>. Звідси стає зрозумілим ефект благотворного впливу СО<sub>2</sub> на процеси метаболізму [3]. Спрощену схему основного процесу метаболізму в теплокровних видів за участю біологічних клітин тканин і клітин крові організму та їх зв'язок з процесами обміну в клітинах рослин, як доказ глобальної пов'язаності обмінних процесів у рослинному і тваринному світі зображено на рис. 2.

Приведена схема є досить ілюстративною і зрозумілою без додаткових пояснень. Хотілося б звернути увагу лише на дві важливі деталі. Транспорт кисню артеріальною кров'ю, на наш погляд, супроводжується утворенням комплексу з пероксидом водню, позначеним на схемі умовною формулою  $[\text{Fe}_4\text{O}_4]\text{H}_2\text{O}_2$ . Підтвердженням цієї гіпотези може слугувати світіння крові в ультрафіолетових променях, — явище хемілюмінесценції гемоглобіну індукованого  $\text{H}_2\text{O}_2$  через утворення стійких пероксидних комплексів GEM  $\text{H}_2\text{O}_2$  [5]. Крім цього,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , як "м'який" окисник, найкраще підходить для лагідного окиснення глюкози за схемою неповного згоряння з утворенням СО. Транспорт монооксиду вуглецю венозною кров'ю, на думку авторів, здійснюється через утворення комплексу гемоглобіну з моновугільною кислотою, позначеним на схемі умовною формулою  $[\text{Fe}_4\text{O}_4]\text{H}_2\text{CO}_2$ . Така сполука може діяти як специфічний антиоксидант. Наприклад:



Процес здійснюється поступово, за необхідністю і лише при виході з легень повністю окиснюється до вугільної кислоти, вивільнюючи СО<sub>2</sub>. Ці два фактори, на нашу думку, ефективно запобігають руйнівній дії радіації через пригнічення явища кисневого ефекту і розгалуження вільних радикалів [25]. Перший, як лагідний окисник, котрим є  $[\text{Fe}_4\text{O}_4]\text{H}_2\text{CO}_2$ , забезпечує ошадливе спалення глюкози до монооксиду вуглецю і утворення  $[\text{Fe}_4\text{O}_4]\text{H}_2\text{CO}_2$ ; другий, як лагідний відновник, забезпечує, через обрив розгалуження вільних радикалів і створення необхідного окисно-відновного балансу, умови переважного синтезу первинних

білків (гліцину і аланіну) та сечовини і гальмує активне утворення валіну та молочної кислоти, котрі, як відомо [8, 24,26], є ознакою злякисних процесів.

### **Висновки**

Згідно з альтернативним поглядом на процеси метаболізму:

— оптимальний енергетичний баланс забезпечуються при спалюванні глюкози у клітині не до вуглекислого газу, а до монооксиду вуглецю, котрий, як м'який антиоксидант, через подальше доокиснення зв'язує вільні радикали в безпечні сполуки, протидіє їх розгалуженню і лише при виході з легень повністю окиснюється до CO<sub>2</sub>;

— вірогідно, що в специфічному регулюванні процесів метаболізму теплокровних видів особливу роль відіграють мікроелементи підгрупи заліза — паладій та іридій, а також перекис водню;

— граничні і середньозважені фізичні та хімічних параметри речовин і процесів метаболізму теплокровних видів є взаємопов'язаними і корелюють з основними фундаментальними фізико-хімічними константами.

### **Література**

1. Мусил Я., Новакова О., Кунц К. Современная биохимия в схемах: Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 216 с.
2. Основные стадии обмена веществ — метаболизма. <http://iznedr.ru/books/item/f00/s00/z0000015/st007.shtml>.
3. Луценко Н.И., Мельничук Д.А., Журавский Н.И. Влияние различных концентраций углекислоты на процессы гликолиза и цикл трикарбоновых кислот в ткани печени крыс // Укр. биохим. журн. — 1978. — 50, №5. — С. 634—640.
4. Сучков Б.П., Штутман Ц.М., Халмурадов А.Г. Биохимическая роль селена в организме животных // Укр. биохим. журн. — 1978. — 50, №5. — С. 679—671.
5. Хемилюминесценция гемоглобина, индуцированная перекисью водорода / Н.А. Дружина, Е.Е. Чеботарев, Э.З. Рябова, Я.И Серкиз / Укр. биохим. журн. — 1978. — 50, №5. — С. 596— 599.
6. Метаболізм. <http://en.wikipedia.org/wiki/Metabolism>.
7. Обмін речовин. [http://uk.wikipedia.org/wiki/Обмін\\_речовин](http://uk.wikipedia.org/wiki/Обмін_речовин).
8. Кучеренко Н.Е., Войницкий В.М. Био-энергетика: Учеб. пособие. — К.: Вища школа, вид-во при КДУ, 1982. — 272 с.
9. Эдсолл Дж., Гатфренд Х. Био-термодинамика: Пер.с англ. — М.: Мир, 1986. — 296 с.
10. Кучеренко Н.Е., Бабенюк Ю.Д., Васильев А.Н. Биохимия: Учеб. пособие. — К.: Вища школа, вид-во при КДУ, 1988. — 432 с.
11. Кантор Ч., Шиммел П. Биофизическая химия: В 3-х т.: Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — Т.1 — 336 с.
12. Кантор Ч., Шиммел П. Биофизическая химия: В 3-х т.: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — Т. 3 — 536 с.
13. Рубин А.Б. Биофизика: В 2-х кн.: Учебник для биол. и спец. вузов // Биофизика клеточных процессов. — М.: Высш. школа, 1987. — Кн. 2. — 303 с.
14. Хочачка П., Сомеро Дж. Биохимическая адаптация: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 588 с.
15. Гулый М.Ф., Мельничук Д.А. Роль углекислоты в регуляции обмена веществ у гетеротрофных организмов. — К.: Наук. думка, 1978. — 244 с.
16. Максін В.І., Стандритчук О.З. Аспекти порушення вікової рівноваги ізотопів хімічних елементів у біосфері з позицій екології // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2009. — 1, № 1—2. — С. 52—62.
17. Максін В.И., Стандритчук О.З. Возможность оценки качества воды при нарушении природного распределения химических элементов // Химия и технология воды. — 1995. — 17, № 2. — С. 210—218.

18. Баблюяц А. Молекули, динамика и жизнь: Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 375 с.
19. Шмидт-Ниельсен К. Размеры животных: почему они так важны?: Пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 259 с.
20. Тепловое реле. <http://nplit.ru/books/item/f00/s00/z0000051/st048.shtml>.
21. Почему у человека температура тела 36,6 — <http://kliniskih-tag.livejournal.com/178460.html>.
22. Хімічний склад клітин. <http://uk.wikipedia.org/wiki/>
23. Гороновський І. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. Краткий справочник по химии. — К.: Наукова думка, 1987. — 830 с.
24. Абрамова Ж.И., Оксенгендлер Г.И. Человек и противоиокислительные вещества. — Л.: Наука, 1985. — 230 с.
25. Гродзинський Д.М. Радіобіологія: Підручник. — 2-е вид. — Л.: Либідь, 2001. — 448 с.
26. Дильман В. М. Большие биологические часы. — М.: Знание, 1986. — 256 с.
27. Популярная библиотека химических элементов // Кн. 1: Водород — палладий. — М.: Наука, 1977. — 568 с.
28. Джонсон Д. Термодинамические аспекты неорганической химии: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 326 с.
29. Ярмоленко С.П. Радиобиология человека и животных: Учебник для биолог. и спец. вузов. — 3-е изд. — М.: Высш. школа, 1988. — 424 с.
30. Максін В.І., Стандритчук О.З. Взаимосвязь теплоты смачивания цеолитов водой с их удельными поверхностями по воде, химическим составом и полной обменной емкостью // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2005. — № 2. — С. 25—32.
31. Мельникова Н. В. Элементы колебательной спектроскопии и их применение в химии: Учебн. пособие. - К.: КГУ им. Т. Г. Шевченко, 1983. — 108 с.
32. Cosciani F. Carbon Monoxide in Vasoregulation. The Promise and the Challenge // *Circulat. Res.* — 2000. — 86, № 12. — P. 1184—1186.
33. Wu L, Wang R. Carbon monoxide: endogenous production, physiological functions, and pharmacological applications // *Pharmacol. Rev.* — 2005. — 57, №4. — P. 585—630.
34. Fawcett T.A., Moon R.E., Fracizza P.J., Mebane G.Y., Theil D.R., Piantadosi C.A. Warehouse workers' headache. Carbon monoxide poisoning from propane-fueled forklifts // *J. Occup Med.* — 1992. — 3, №1. — P. 50.
35. Brouard S., Otterbein L.E., Anrather J. et al. Carbon Monoxide Generated by Heme Oxygenase 1 Suppresses Endothelial Cell Apoptosis // *J. Exp. Med.* — 2000. — 192, № 7. — P. 1015—1026.
36. Morse D., Pische S.E., Zhou Z. et al. Suppression of inflammatory cytokine production by carbon monoxide involves the JNK pathway and AP-1 // *J. Biol. Chem.* — 2003. — 278, №39. — P. 36993—36998.
37. Brian S Zuckerbraun. Therapeutic delivery of carbon monoxide: WO2008/003953. Expert Opinion on Therapeutic Patents. — 2008. — P. 1321—1325.
38. Gerard L Bannenberg, Helena LA Vieira. Therapeutic applications of the gaseous mediators carbon monoxide and hydrogen sulfide: Expert Opinion on Therapeutic Patents. — 2009. — 663—682.
39. Коржов В. И., Видмаченко А. В., Коржов М. В. Монооксид углерода (обзор литературы) // Журн. АМН України. — 2010. — 16, № 1. — С. 23—37.

#### АННОТАЦІЯ

**Максин В.І., Стандритчук О.З.** Альтернативний взгляд на процеси метаболізму с дослідженням його параметрів у теплокровних видів // *Біоресурси і природопольовання.* — 2013. — 5, № 5—6. — С. 24—37.

#### SUMMARY

**V. Maksin, O. Standritchuk.** An alternate view on processes of metabolism and research into its parameters in hemothermal species // *Biological Resources and Nature Management.* — 2013. — 5, № 5—6. — P. 24—37.

*Показано, что при детальном анализе точных цифровых значений граничных и усредненных физических и химических параметров веществ и процессов метаболизма у теплокровных видов обнаруживается феномен их взаимной связанности и корреляции с фундаментальными физико-химическими константами.*

*Альтернативный подход заключается в признании специфической роли в процессах метаболизма монооксида углерода и микроэлементов подгруппы железа — палладия и иридия. В частности, необходимый оптимальный энергетический баланс может обеспечиваться при сжигании глюкозы в клетке до монооксида углерода, а не до углекислого газа. Как мягкий антиоксидант, CO, через доокисление в CO<sub>2</sub>, которое заканчивается только при выходе из легких, связывает свободные радикалы в безопасные соединения, противодействуя их разветвлению.*

*The article deals with, in-depth study of precise digital values of boundary and average physical and chemical parameters of substance and processes of metabolism the hematothermal kinds. The phenomenon of their mutual cohesion and precise correlation with fundamental physical and chemical constants has been found.*

*The alternate approach includes the admission of the specific role carbon monoxide and microelements of Fe-subgroup — palladium and iridium (in metabolism). In particular, the indispensable optimum energy balance can be provided only with glucose burning in a cell to carbon monoxide, instead of carbon dioxide. As the soft antioxidant CO, through before oxidation in to CO<sub>2</sub>, which finishes only on going of lungs, binds free radicals into harmless compounds counteracting their bifurcation.*