



КОСМІЧНИЙ КІНЕЦЬ ЕРИ ДИНОЗАВРІВ

*Якщо коли-небудь астероїд зіштовхнеться з Землею,
знищивши при цьому не тільки людський рід,
але й мільйони інших видів живих істот,
і ми, маючи можливість попередити катастрофу,
не зробимо цього через відсутність рішучості, невірних пріоритетів,
неправильної оцінки ризиків чи недосконалості планування,
то нехтування нашою обдарованістю розумним інтелектом
і відповідальністю за власне життя і за все живе на Землі
стане найбільшим актом самозречення
за всю історію людства.*

*З меморандуму
Американського інституту аеронавтики і астронавтики,
жовтень 1995 року*



Леонід Чорногор
доктор фіз.мат. наук,
професор
радіофізичного факультету
Харківського національного
університету ім. В.Н. Каразіна,
м. Харків

Вступ

Катастрофи зазвичай асоціюються з руйнуваннями і загибеллю усього живого. Це недобре, але катастрофи мають і позитивне значення. Вони можуть призводити до зародження чогось принципово нового. Далі піде мова про дуже показовий приклад творчої ролі грандіозної катастрофи. В результаті цієї катастрофи загинули динозаври і появилися ми з вами, виникла людська цивілізація. Що ж стало причиною загибелі динозаврів?

Динозаври – найчисельніший підряд плазунів. Жили вони в мезозої. Їхнє існування тривало упродовж сотні мільйонів років. Налічується близько 600 видів динозаврів, розмірами від 20 см до 30 м. Динозаври водилися на суші, у воді й повітрі (рис. 1 – рис. 3). І цей найчисельніший колонізатор Землі в один момент загинув.



Рис. 1. Літаючі динозаври (реконструкція)



Рис. 2. Сухопутні динозаври (реконструкція)



Рис. 3. Динозаври – мешканці морів і океанів (реконструкція)

Коротка історична довідка

Причина одночасної загибелі найчисельніших мешканців планети довго залишалася загадкою. Фактично існувала єдина гіпотеза – зміна клімату, яка спричинила льодовиковий період. Але клімат, на відміну від погоди, різко не змінюється. Окрім того, виникає запитання: а що ж стало причиною такої зміни клімату? Відповіді на це питання не було до 1980 р.

У 1980 р. нобелівський лауреат *Луїс Альварес* з групою співавторів висунули гіпотезу, що 65 млн років тому Земля зіштовхнулася з 10-кілометровим астероїдом, що й призвело до масового вимирання флори і фауни, в тому числі й динозаврів.

Всього через 10 років після оприлюднення цієї гіпотези в Мексиканській затоці поблизу узбережжя півострова Юкатан було знайдено кратер Чиксулуб, який цілком відповідав як віку (65 млн. років), так і масштабу астероїда. Діаметр кратера в теперішній час дорівнює ~180 км. Кратер частково розташований у затоці, а частково – на суші. Він схований під осадовими породами товщиною в кілька

кілометрів. У момент падіння астероїда діаметром 10–14 км Мексиканська затока була континентальною платформою, вкритою товщею води в 200–400 м. Нашарування осадових порід сягало 3–4 км. Під ними лежала кристалічна основа (граніт).

Кратер, як і метеорит, що його породив, отримали назву “Чиксулуб” за назвою однойменного селища, яка в перекладі означає “Демон кліщів”. Сьогодні про Чиксулуб знає увесь світ.

За допомогою космічного фотознімка кратера визначили, що метеорит рухався під досить малим кутом (ймовірно, 20–30°) до горизонту з південного сходу на північний захід. Розмір космічного тіла був настільки великим, що його віднесли до астероїдів.

Астероїдами називають тіла Сонячної системи, які мають розмір від 10 м до 1000 км. З нашою планетою можуть зблизитися астероїди, розмір яких сягає від 10 м до 10 км. Далі розглянемо приклад зіткнення величезного астероїда, яке відбулося близько 65 млн років тому.

Існує три докази того, що кратер Чиксулуб утворений падінням космічного тіла: 1) тонкий шар глини, який відповідає границі геологічних періодів; 2) аномальна (вище в 15 разів норми) концентрація у цьому шарі дуже рідкісного хімічного елемента – іридію; 3) частинки кварцу і тектонічного скла, які утворюються в умовах суперстислості в межах 10–100 ГПа (1 ГПа = 1 млрд. Па). Для порівняння зазначимо, що лише в центрі Землі тиск досягає величини 100 ГПа, але такий тиск поблизу поверхні Землі неможливий за звичайних умов.



Рис. 4. Стадії падіння і вибуху астероїда (модель)

Падіння астероїда Чиксулуб (реконструкція)

Політ астероїда в атмосфері з початковою швидкістю близько 15–20 км/с супроводжувався мальовничо зловісною картиною (рис. 4). Спочатку на висоті біля 200 км появився димний шлейф. Майже одночасно почала генеруватися балістична ударна хвиля, яка розходилася у вигляді конуса від траєкторії космічного тіла. В ударній хвилі повітря нагрілося до температури близько 10 тис. градусів. Нагрівання призвело до часткового оплавлення і випаровування поверхні астероїда. Пара, яка мала таку ж високу температуру, ефективно випромінювалася у видимому діапазоні. Слід від космічного тіла світився набагато яскравіше Сонця. Чим ближче астероїд підлітав до поверхні планети, тим більшими були спротив повітря, світіння, часткове руйнування й оплавлення тіла. Потік тепла був настільки сильним, що вздовж траєкторії могли виникати пожежі ще до падіння астероїда. Від моменту появи шлейфа до моменту падіння космічного тіла пройшло близько 20–30 с. За цей проміжок часу астероїд втратив приблизно 0,1 % своєї початкової кінетичної енергії величиною майже 100 тис. Гт (1 Гт = 1 млрд. т = $4,2 \cdot 10^{18}$ Дж). Така енергія дорівнювала енергії 4 млрд. атомних бомб, скинутих у 1945 році на місто Хіросіма. Маючи гігантську кінетичну енергію, астероїд увійшов у поверхню Землі, як ніж у масло.

Зіткнення астероїда з поверхнею Землі супроводжувалося цілим комплексом процесів: різким гальмуванням тіла, його плавленням і випаровуванням, випаровуванням близько 10 млн. Мт (1 Мт = 1 млн т) води в Мексиканській затоці, плавленням і випаровуванням підстилкової поверхні Землі на глибину до 20–25 км, подрібненням і розтріскуванням речовини планети на відстанях біля 90 і 120 км відповідно від епіцентру падіння тіла (табл. 1). Різне гальмування астероїда упродовж часу, що приблизно дорівнював 1–2 с, в обмеженому об'ємі було еквівалентне грандіозному вибуху. Вибух супроводжувався спалахом з енергією 30–35 тис. Гт або $(1,2–1,4) \cdot 10^{23}$ Дж, генерацією вибухової ударної хвилі, землетрусом небаченої сили (з магнітудою 10–11). Для порівняння зазначимо, що найсильніший зареєстрований землетрус, спричинений геологічними процесами, мав магнітуду 9,5. Такий землетрус у наш час у густонаселеному районі може привести до загибелі сотень тисяч людей. Мексиканський землетрус породив надзвичайно сильне цунамі. Вибухова сила спричинила мегапожежі на величезних територіях, які супроводжувалися екологічною катастрофою.

Таблиця 1. Параметри зон дії при ударі астероїда

Зона	Радіус, км	Маса, кг	Питома енергія, Дж/кг	Затрачена енергія, Дж
Випаровування води	100	10^{16}	2,34	2,34
Повне випаровування порід	5	1,64	1,34	2,24
Часткове випаровування порід	8	10^{15}	1,34	1,34
Плавлення порід	10	1,34	2,94	3,74
Подрібнення порід	90	34	10^4 – 10^5	34
Утворення тріщин в породах	120	5,44	10^3 – 10^4	5,44

Вибух від падіння астероїда зумовив також рух розпечених газів і пилу уздовж траєкторії падаючого тіла. Це явище отримало назву “плюм”. Причина спливання плюму – різке зниження густини повітря у сліду від астероїда. В атмосферу було викинуто близько 20 млн. Мт розжарених продуктів вибуху. Найкрупніші з фрагментів відразу ж упали в утворений кратер діаметром близько 180 км і глибиною – близько 10 км. Менш крупні фрагменти, нагріті до температур плавлення і випаровування, випали на більших площах у вигляді “вогняного дощу”. Приблизно 4 млн Мт продуктів вибуху піднялися на висоту від десятків до сотень кілометрів. Найдрібніші (мікронні, субмікронні) частинки спливали в потоках гарячого повітря на висоту в сотні кілометрів і перебували там, повільно осаджуючись протягом десятків років і довше.

Далі ці та інші процеси розглянемо детальніше.



Рис. 5. Ударна хвиля від термоядерного вибуху. Ударна хвиля від падіння астероїда в сотні мільйонів разів сильніша

Ефекти ударної хвилі

Перші руйнування на планеті були спричинені дією балістичної ударної хвилі, яка генерувалася в атмосфері при падінні астероїда. Проте значно більші руйнування виникли після утворення вибухової ударної хвилі, яка розповсюджувалася у всіх напрямках від епіцентру вибуху (рис. 5). На першій мілісекунді після вибуху швидкість хвилі перевищувала 1000 км/с. За 1 с вона зменшилась до 20 км/с, а за 100 с – приблизно до 1 км/с. Тільки через 15 хв після вибуху на відстані 800 км від епіцентру швидкість ударної хвилі зменшилась до швидкості звуку.

Залежність надлишкового тиску в ударній хвилі (p), її швидкості (v), швидкості повітря за фронтом ударної хвилі (u) і швидкості напору (p_u) від відстані до епіцентру вибуху наведені в табл. 2. Сильні руйнування, зокрема викорчовування лісів, відбуваються при надлишковому тиску порядку 1 кПа і вище.

Зокрема викорінювання лісу, принаймні часткове, відбулося під час вибуху астероїда навіть на берегах Африки і Європи. Руйнування, спричинені ударною хвилею, супроводжувалися неймовірним гуркотом. Вважається, що площа сильних руйнувань перевищила 10 млн. км², що становило близько 3 % площі земної поверхні.



Рис. 6. Наслідки сучасних помірних землетрусів

Таблиця 2. Параметри ударної хвилі в залежності від відстані від епіцентру вибуху

R, км	100	300	500	1000	3000	5000	10000	20000
p, МПа	140	5,9	1,45	0,25	2,54	1,34	5,34	2,44
v, м/с	1,24	2,44	1,24	586	364	348	337	333
u, м/с	9500	1900	930	330	54	29	12	6
p₀, кПа	5,94	2,44	560	70	1,9	0,5	0,09	0,02



Рис. 7. Приклади сучасних цунамі, відносно помірних за силою інтенсивності

Катастрофічний землетрус

Геологічні процеси на Землі можуть викликати унікальні землетруси, магнітуда яких не може бути більшою 9,5 балів (рис. 6). Падіння ж астероїда діаметром близько 11 км спричинило землетрус із магнітудою більше 10 балів, що в десятки разів потужніше найсильнішого геологічного землетрусу.

У перші приблизно 25 с поверхнева сейсмічна хвиля, яка мала швидкість близько 3,3 км/с, відставала за швидкістю від повітряної ударної хвилі. Приблизно через 90 с на відстані 300 км від епіцентру вибуху сейсмічна хвиля, випередивши ударну хвилю, продовжила катастрофічні руйнування. Амплітуда коливань ґрунту на цій відстані дорівнювала 70–80 м, а швидкість його руху – 10 м/с, період коливань – 44–50 с. Знаючи період коливань і швидкість сейсмічних хвиль, можна незалежним способом оцінити розмір сейсмічного джерела. Він дорівнює близько 145–165 км. Цей розмір практично збігся з діаметром кратера, утвореного вибухом астероїда.

Колівання ґрунту були настільки сильними, що, ймовірно, була порушена стійкість підводного схилу в Мексиканській затоці, а це вже геологічна катастрофа. Разом із вибухом зсув підводного схилу викликав генерацію суперцунамі.

Суперцунамі

У наш час глибина Мексиканської затоки сягає 3,8 км. Близько 65 млн. років тому її глибина дорівнювала приблизно 300 м. При такій глибині швидкість утвореного цунамі була близькою до 55 м/с. Висота цунамі на відстані 80 і 800 км від епіцентру сягала 100 і 10 м відповідно. Звісно, що поблизу берега, на міліні, висота хвилі збільшувалася на порядок.

На узбережжі Африки і Європи висота цунамі досягла приблизно 1 м, а на малій глибині – 10 м. При таких параметрах цунамі затопленими виявилися величезні території східної частини американських материків, а також західні частини Африки і Європи.

Приклади сучасних помірних за своєю інтенсивністю цунамі наведені на рис. 7.

Мегапожежі

Під дією спалаху від прольоту і вибуху астероїда, теплового випромінювання й “вогняного дощу” виникали пожежі на території близько 100–300 тис. км². Під час горіння тропічних лісів загальною масою 10 тис. Мт на цій

площі вивільнилася енергія, еквівалентна 100 Гт, що лише в 1000 разів менше кінетичної енергії астероїда. Зазначена енергія стосується первинних пожеж. Під дією вітру пожежі могли розповсюджуватися на обох американських материках.

Важливо те, що маса диму становить 1–10 % від маси палива, тобто при первинних пожежах вона досягала 0,1–1 тис. Мт. Водночас маса сажі (вуглецю) становить близько 33 % від маси диму, тобто 30–300 Мт. Дим ефективно розсіює сонячне випромінювання, а сажа його поглинає. Приклади сучасних відносно малоінтенсивних пожеж наведені на рис. 8.

При сильному задимленні й поглинанні сонячного випромінювання сажею над територією пожежі може настати «астероїдна ніч». Для цього при первинних пожежах на території площі 100 тис. км² достатньо, щоб у атмосферу було викинуто всього біля 0,3 Мт диму і 0,03 Мт сажі. У дійсності їхня маса була в 10 тис. разів більшою. Важливо зазначити, що такої кількості диму і сажі було досить, щоб спричинити «астероїдну зиму» на всій планеті, оскільки дим і сажа під дією вітру за 1–2 тижні рознесли по всій земній кулі. Звичайно, певна частина диму і сажі випали разом з дощами. У будь-якому випадку «астероїдна ніч» навряд чи тривала більше року.

Добре відомо, що при дуже сильних пожежах, до яких відноситься і горіння тропічних лісів, виникають вогняні смерчі з густиною потоку тепла в стратосферу в сотні кВт/м². Для порівняння зазначимо, що густина потоку сонячної енергії дорівнює приблизно 1 кВт/м².

Вогняні смерчі, які супроводжували вибух астероїда, були настільки потужними, що виривали з корінням стометрові дерева. Під дією того ж вогняного смерчу горизонтальна швидкість розповсюдження пожеж сягала 10–20 м/с. При цьому за одну добу фронт горіння переміщувався на 1 тис. км.

За тиждень ліси могли вигоріти на обох американських материках, площа яких складає близько 38 млн. км². Маса палива на них досягала 4 млн Мт, а кількість тепла при його згоранні – майже 10²³ Дж, і є порівнянню за величиною з кінетичною енергією астероїда. В атмосферу, а саме в стратосферу, було викинуто 40–400 тис. Мт диму і близько 10–100 тис. Мт сажі.

Якщо ж ліси вигоріли у більшій частині обох американських континентів, то маса диму і сажі була приблизно в 400 разів більшою. При цьому, безсумнівно, «астероїдна ніч» наступила в глобальних масштабах і тривала вона тижнями і більше. Процес фотосинтезу при цьому практично припинився, різко зменшилася маса кисню в атмосфері, а це шлях до загибелі флори, а потім і фауни.

Дим і сажа, які попали в стратосферу, не вимивалися дощами, а дрейфували під дією глобальних вітрів уздовж земної поверхні, перемішуючись з повітрям. При об'ємі стратосферного повітря 10¹⁹ м³ концентрація диму, утвореного пожежами на американських материках, становила 4·10⁻⁶–4·10⁻⁵ кг/м³, а сажі – біля 10⁻⁶–10⁻⁵ кг/м³.

Прозорість атмосфери для сонячного випромінювання залежить від концентрації диму і сажі. При критичному значенні, яке дорівнює приблизно 10⁻⁸–10⁻⁷ кг/м³, потік випромінювання завдяки його розсіюванню димом на поверхні планети зменшився на порядок, а при значенні 4·10⁻⁶–4·10⁻⁵ кг/м³ він практично дорівнював нулю. До цього потрібно додати ефект поглинання сонячного випромі-



Рис. 8. Приклади сучасних, відносно невеликих за інтенсивністю, пожеж

нювання сажею, критична концентрація якої складає близько 10⁻⁹–10⁻⁸ кг/м³, що на три порядки менше концентрації, яка утворилася під час материкових пожеж.

У результаті цих двох причин настало зниження температури поверхні планети на декілька десятків градусів, яке називається «астероїдна зима». Швидкість опускання мікронних і субмікронних часточок становила відповідно 3·10⁻⁴ і 3·10⁻⁶ м/с. При висоті закидання часточок, рівній 30 км, час опускання в полі сили тяжіння Землі близький до 3 і 300 років відповідно. У дійсності, за рахунок турбулентної дифузії й опускання часточок на висоту тропосфери, де вони вже можуть вимиватися дощовими потоками, час екранування земної поверхні зменшується до декількох діб і тижнів. Зниження температури повітря у тропіках, наприклад від 40 до 1°C, упродовж таких інтервалів часу не могло привести до загибелі всієї флори і фауни, яка вижила при пожежах на американських материках. Тим більше це справедливо для інших материків, де суперпожеж, спричинених вибухом астероїда, ймовірно не було.

Таблиця 3. Залежність середнього часового інтервалу між падінням космічних тіл від їх енергії та діаметра

E, Мт	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8
d, км	2,24	4,64	0,1	0,22	0,46	1	2,2	4,6	10
ΔT, год	41–135	350–1070	34	2,64	2,34	1,94	1,74	1,54	1,34

Без сумніву, різке зниження концентрації кисню й збільшення концентрацій CO_2 і CO мало згубні наслідки для всієї планети. Таким чином, якщо припустити, що всі ліси на американських материках повністю вигоріли, це в будь-якому разі не могло привести до повного знищення динозаврів на інших материках, у Світовому океані та в повітрі.

Оцінимо можливість екранування сонячного випромінювання частинками продуктів вибуху астероїда. Загальна маса продуктів, яка була викинута вибуховою хвилею, становила близько $4 \cdot 10^{15}$ кг. Приблизно 10 %, тобто біля $4 \cdot 10^{14}$ кг, із них могли припадати на мікронні й субмікронні частинки. Внаслідок теплової конвекції розігрітого повітря, яке називають “терміком”, і розвитку пліуму ці часточки могли бути закинуті на висоту в сотні кілометрів над поверхнею Землі, де відсутня турбулентна дифузія, а отже, час осідання часточок визначається тільки їх вагою. При об’ємі атмосферного газу з часточками 10^{20} м^3 , середня їх концентрація була приблизно $4 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$. Ця величина значно перевищувала критичне значення концентрації (близько 10^{-8} – 10^{-7} кг/м^3). При цьому потік сонячного випромінювання на поверхні планети зменшився практично до нуля. А ось це вже могло спричинити “астероїдну зиму”.

Якщо ж висота терміка не перевищувала 100 км, час осідання мікронних і субмікронних часточок під дією турбулентної дифузії різко скорочувався до 30–40 діб. Звичайно, цього часу достатньо, щоб у результаті падіння температури на десятки градусів і майже цілковитого припинення фотосинтезу в глобальних масштабах на планеті почалися незворотні процеси. Такі процеси мали б місце, якщо б маса мікронних і субмікронних часточок складала не 10 %, а всього лише 0,1 % від маси продуктів вибуху.

Так яка ж причина загибелі динозаврів у глобальному масштабі?

Таблиця 4. Тривалість ер / епох

Ера/Епоха	Тривалість, роки
Динозаврів	100 млн.
Людини	1,0–1,5 млн.
Людської цивілізації	5–10 тис.
Індустріальна	200–300
Ядерно-космічна	60–70

Кислотні зливи – причина загибелі динозаврів

Багато спеціалістів упродовж десятків років вважали, що загибель динозаврів була наслідком настання “астероїдної зими”. Вище наведені розмірковування якщо і не спростовують цю класичну гіпотезу, то свідчать, що тільки за рахунок “астероїдної зими” повного вимирання динозаврів не сталося б.

Головну роль, скоріш за все, відіграли кислотні зливи. Адже в результаті дегазації ангідридів виникла колосальна кількість діоксиду сірки (SO_2), яка могла досягти величини 1 тис. Гт. Окрім того, високотемпературний вибух, як відомо, призводить до утворення окислів азоту (NO_x , а саме NO і NO_2). Вибух із енергією близько 100 тис. Гт міг спричинити появу 0,1–1 тис. Гт окислів азоту.

Під час вибуху в атмосферу було також викинута величезна кількість парів води. Тільки з Мексиканської затоки випарувалося близько 10 тис. Гт води. Окрім того, випарування пористих осадових порід масою близько 1 млн Гт дало ще приблизно 10 тис. Гт водяної пари. В природних умовах в атмосфері міститься всього від 1 до 10 Гт водяного пару. Загальної кількості води в атмосфері після вибуху було досить для утворення там 1–2 тис. Гт кислот, які у подальшому кислотними зливами поливали поверхню Землі.

Випадіння таких дощів протягом тривалого часу (тижні–місяці) могло призвести до загибелі флори, а потім і фауни. Важливо, що ефект кислотних злив посилювався завдяки «астероїдній зимі». Такий синергетичний, тобто спільний, вплив міг прискорити загибель флори і фауни, в тому числі й динозаврів у глобальному масштабі.

Виграли примітивні ссавці, які жили в норах під землею поверхнею. Частина з них не тільки вижила, але й поступово колонізувала всю планету.

Разом з динозаврами вимерли птерозаври, морські рептилії, у тому числі плезіозаври і мозазаври, багато видів моллюсків, зокрема амоніти і белемніти, багато видів дрібних водоростей, а також літаючі ящери та ін.

Всього загинуло 16 % сімейств морських мешканців (47 % їх родів) і 18 % сімейств сухопутних хребетних. І все ж більша частина флори і фауни пережила грандіозну катастрофу. Окрім ссавців вижили сухопутні плазуни (змії, черепахи, ящірки) і водяні плазуни (крокодили). Вижили також птахи, наутилуси, наземні рослини і корали.



Інші можливі причини загибелі динозаврів

Астероїдна причина вимирання динозаврів отримала широке визнання. Вона основна, але не єдина причина. Існує низка альтернативних гіпотез, які можна розділити на такі чотири групи.

1. Позаземні гіпотези.

До них відносяться гіпотези про неодноразові удари астероїдів, про вибух наднової зорі і сплеск гама-випромінювання від найближчого до Землі космічного об'єкта.

2. Земні кліматичні гіпотези.

До них належать такі гіпотези:

- посилення вулканічної активності, яка спричинила «вулканічну зиму», зміну газового складу атмосфери і виникнення парникового ефекту;
- величезне вивільнення магми в епоху між 68 і 60 млн. років тому на території Індостану, в результаті чого утворилися деканські трапи (магматичні гірські породи, породжені магмою);
- різке зниження рівня Світового океану;
- зміна середньорічних і сезонних температур;
- надлишок кисню в атмосфері Землі;
- різке охолодження океану;
- зміна клімату, спричинена дрейфом материків;
- зміна складу океанічної води;
- різкий стрибок геомагнітного поля чи зміна його полюсів.

Ці гіпотези слабкі, оскільки залишається загадкою, а що ж стало першопричиною перерахованих змін клімату.

3. Земні біотичні гіпотези.

До них відносяться:

- масова епідемія; отруєння квітковими алкалоїдами;
- винищення динозаврів першими хижими ссавцями;
- конкурентне витіснення динозаврів ссавцями.

4. Комбіновані гіпотези.

Вищенаведені причини можуть поєднуватися між собою, доповнювати одна одну, синергетично взаємодіяти.

Майбутнє біосфери і цивілізації

Наша планета пережила декілька періодів майже цілковитого вимирання біосфери. Коли станеться наступне вимирання, нікому не відомо.

Космічні тіла падали на Землю у минулому, падають і в наш час, будуть падати на неї і в майбутньому. На щастя, чим більший діаметр і кінетична енергія тіла, тим рідше воно зіштовхується з нашою планетою (табл. 3). Тіла, подібні до астероїда Чиксулуб, проникають в атмосферу Землі один раз на 1–2 млрд. років. А ось тіло, подібне до Челябінського метеороїда, яке вибухнуло в атмосфері 15 лютого 2013 р., падає на Землю 1 раз на 40–135 років.

Зрозуміло, що глобальну катастрофу можуть спричинити тіла діаметром не менше 1–10 км. Вони зіштовхуються з Землею не частіше, ніж раз на декілька мільйонів років.

Під час глобальної катастрофи загине більша частина флори, фауни і людства. Потрібно зазначити, що планета з цивілізацією у багато разів уразливіша, ніж Земля 65 млн років тому. Якщо б схожа катастрофа трапилася тепер, то горіли б не тільки ліси, але й енергонасичені міста на одному чи декількох материках. «Астероїдну зиму», кислотні дощі, нехватку кисню, їжі та енергії, руйнування усієї інфраструктури людська цивілізація не змогла б пережити. Чим значніший науково-технічний прогрес, тим більш уразливою стає людська цивілізація.

Інформацію про ери і епохи – від ери динозаврів до нашого часу – наведено в табл. 4., з якої видно, що темпи озброєності людини науково-технічними досягненнями швидко зростають. Цього ж, на жаль, не можна сказати про темпи збільшення захищеності цивілізації від космічних і земних загроз. ■

Переклад Людмили Костенко

Література

1. Катастрофические воздействия космических тел. Под ред. В.В. Адушкина и И.В. Немчинова. ИДГ РАН. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 310 с.
2. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра. Под ред. Б.М. Шустова, Л.В. Рыхловой. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 384 с.
3. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф. Х.: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2012. 556 с.