

УДК 523.214; 574.38; 574.23
© 2012

*Борисюк Я. О., магістрант,
Лобурець А. Т., кандидат фізико-математичних наук,
Зайка С. О., асистент*

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

КОСМІЧНІ ПОДІЇ І ПЕРІОДИЧНІСТЬ ВИМИРАНЬ БІОТИ

Рецензент – доктор технічних наук, професор О. Л. Ляхов

Застосовано метод математичного моделювання для дослідження проблеми наявності періодичності найпотужніших вимирань біоти в історії Землі. Показано на основі Фур'є-аналізу, що великі вимирання, які могли бути спровокованими імпактними взаємодіями великих космічних тіл із планетою Земля, є аперіодичними. Планетна система еволюціонує завдяки наявності елементів хаосу в її структурах. Космічне бомбардування Землі та процеси в її надрах носять флуктуативний характер, і довготермінові передбачення таких подій є неможливими.

Ключові слова: хаос, порядок, система, моделювання, періодичність, вимирання.

Постановка проблеми. Космічний простір відіграє важливу роль у формуванні «живої» планети, в тому числі й її поверхні. На тілі Землі виявлено сотні імпактних, тобто ударних, структур [3]. Про явне космічне походження кільцевих структур заговорили після відкриття у 80-х роках ХХ ст. так званої «іридієвої аномалії» у крейдо-третинних відкладеннях [11]. На планеті Земля іридію досить мало, а у матеріалах астероїдів – багато. Отже, аномалія свідчить про те, що в той час Землю відвідало чимало потужних «незваних гостей» із Космосу. Ціла низка досліджень у даній сфері, а також у геохронології, біології та вивчення процесів еволюції дали змогу виявити зв'язок між космічними «набігами» на планету і катастрофічними вимираннями біоти. Ці вимирання спричинялися передусім екологічними наслідками вибухів комет чи астероїдів у момент зіткнення з поверхнею Землі [12].

Глобальні катастрофи могли провокуватися і чисто земними причинами. Наприклад, при утвореннях гігантських розломів земної кори в процесі формування потужних трапових провінцій та виверженнях супервулканів, що неодноразово мало місце в минулому [6].

Зауважимо, що факт посилення вулканізму на межі крейдового і третинного періодів є безсумнівним, але його причини ще залишаються незрозумілими. З іншого боку, падіння гігантських астероїдів також є доведеним фактом. Очевидно,

не завжди можна розглядати посилення вулканізму окремо, не пов'язуючи його з імпактними взаємодіями астероїдів із планетою Земля.

Джерелом інформації про давно минулі події, що найактивніше впливали на розвиток життя, є палеоекологія. Нині почала формуватися і така галузь знань як екологія навколоземного космічного простору. Предметом екології – як фундаментальної природознавчої науки – є структура зв'язків між організмами і середовищем. Отже, екологія навколоземного космічного простору досліджує зв'язки навколоземного простору з біосферою Землі [7].

Аналіз основних досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Виявлено багато свідчень глобальних катастрофічних подій у минулому Землі, але ми виділимо лише ті, що супроводжувалися швидким зникненням за геологічно короткий час величезної кількості біоти, перш за все, це так звані великі вимирання. Багато авторів пов'язують ці події з впливом космічних чинників. На біологічні процеси на Землі впливає нестабільність Сонця, Сонячної системи чи Галактики. Тут варто процитувати авторів [14]: «Хоча жодної альтернативи не можна сьогодні відкинути, ми надаємо перевагу позаземним причинам, оскільки чисто біологічні або пов'язані із Землею фізичні цикли фіксованої довжини, що вимірюються десятками мільйонів років, здаються неможливими. На відміну від цього, астрономічні й астрофізичні цикли такого порядку є правдоподібними». Однією з причин називають проходження Сонячної системи через спіральні рукави Чумацького шляху, що відбувається приблизно раз на 10^8 років [17]. Так, Шумейкер доводить [17], що проходження через галактичні рукави буде збільшувати потік комет, і це, згідно із гіпотезою Альвареза, що була висунута у 1980 році [10, 11], може пояснити біологічні вимирання. Слідуючи ідеям детермінізму Лапласа, що стали домінувати у науці завдяки успіхам небесної механіки, ціла плеяда науковців почала відшукувати періодичні закономірності вимирань біоти [12–16].

Вперше така ідея була висловлена Джоном Сепкоскі ще у 1984 році й опублікована у співавторстві з Девідом Раупом у статті «Періодичність вимирань у геологічному минулому» [14]. Далі, у 2002 році, Дж. Сепкоскі була опублікована стаття «Короткий облік скам'янілих морських видів тварин» [16]. Наступна стаття, що розкриває дану проблему, була опублікована у 2005 році – «Цикли у викопних різноманіттях» (Р. Роде, Р. Мюллер) [15]. Остання англомовна стаття, що висвітлює питання ролі космічних факторів у біологічних катастрофах і можливої періодичності цих подій, була опублікована у 2010 році – «Немезіда знову обговорювана» (А. Мелотт, Р. Бамбач) [13]. Досить повний огляд статей, присвячених даній тематиці, наведений у статті 2004 року «Виникнення, зникнення та масові виснаження морської біоти» (Р. Бамбач, А. Нолл, С. Вонг) [12].

Такі підходи авторів не можна вважати достатньо обґрунтованими, адже космічні катастрофи перш за все спричиняються такими небесними тілами, у динамічних характеристиках яких присутні елементи хаосу. Саме тому виникають сумніви щодо явної періодичності вимирань біологічних видів, спровокованих космічними катастрофами.

Мета роботи – дослідження з використанням математичного моделювання наявності періодичності впливу процесів космічного походження на еволюцію життя на Землі та існування відповідної періодичності змін складу біоти.

Матеріали та методи досліджень. Якщо періодичність вимирань у геологічному минулому дійсно існує, то її наслідки мають бути фундаментальними. Ці ефекти можуть викликатися причинами суто біологічного характеру або ж спричинятися подіями, що повторюються у фізичному навколишньому середовищі. Якщо вплив здійснюється через фізичне середовище, то це відображає процеси, пов'язані із Землею або Космосом [1].

Еволюція біоти залежить від зовнішніх впливів набагато сильніше, ніж від локальних і регіональних змін у навколишньому середовищі. Існує так званий *ефект «вузького коридора» масових вимирань*. Відновлення біосфери після проходження через ці коридори зазвичай супроводжується фундаментальними змінами у складі біоти. Важливими є й загальні тенденції еволюції життя. Зараз до згаданих чинників додається ще й виняткова роль людства, масштаби якої вже давно стали глобальними [2]. Безвідповідальна перед завтрашнім днем практична діяльність людини супроводжується зникненням видів, що наразі за своїми темпами перевищує всі

відомі найбільші екологічні катастрофи у минулому. Все, що нині живе на Землі, входить у новий, досить темний вузький коридор, а хто з нього зможе вийти і з якими здобутками чи втратами – це не відомо нікому.

Очевидно, що космічні фактори можуть служити в якості пускових механізмів для масштабних геологічних та біологічних змін. Необхідно зауважити, що під час усіх відомих глобальних катастроф вимирання не були повними. Деяким видам чомусь щастило, – і вони зуміли, пройшовши через усі «чистилища», дожити до наших днів у майже первісному вигляді.

Вчені Рауп і Сепкоскі [12] ще у 1984 році висунули наступну гіпотезу: якщо вивчати інформацію про процеси вимирання біоти, можна виявити часові закономірності кліматичних збурень на Землі, що провокувалися причинами космічного походження. На основі матеріалів палеоекології було висловлено твердження, що існує періодичність цих процесів із тривалістю періодів відносного спокою близько 27 мегароків. Часові інтервали між п'ятьма найбільш відомими вимираннями біоти на Землі (крейдо-третинне, далі – тріасово-юрське, пермо-тріасове, ордовицько-силурійське та вендсько-кембрійське, або палеозойське вимирання) є кратними числу, рівному 27-ми мегароків. Цій проблемі присвячена значна кількість публікацій [3, 6–8, 10–17]. Черговий раз питання про періодичність можливих кометно-астероїдних потоків на планету Земля піднімалося у роботі астрофізиків-палеокліматологів Мелотта і Бамбача у 2010 році [11]. Значна частина їхніх палеобіологічних даних була зібрана незалежно від бази Сепкоскі. Вони застосували спеціальні методи врахування таксонів. За цими даними було виявлено ще один період тяжких випробувань для земної живності, рівний 62-м мільйонам років. Було підтверджено й наявність періоду в 27 мегароків. На рис. 1 показано уточнені Мелоттом результати Сепкоскі. На графіку авторами вертикальними штриховими лініями виділено двадцять часових інтервалів по 27 мегароків (інтервали тривалістю 62 мегароки суцільними лініями відображено нами). Не всі вертикальні лінії узгоджуються за часом із найвідомішими науці вимираннями, а деякі періоди взагалі пройшли й завершилися цілком спокійно. Враховуючи ту обставину, що через вкрай значну віддаленість у часі досліджуваних подій графіки вимирань не можуть претендувати на високу точність визначення інтенсивностей вимирання, – можна засумніватися у наявності самої періодичності.

Останній інтервал відносного спокою триває вже 65 мегароків. Якщо прийняти ідею Мелотта про існування періоду вимирань у 62 мегароки, то виходить, що людина на планеті Земля взагалі живе завдяки якійсь випадковості: адже ще три мільйони років тому мала б відбутися глобальна катастрофа, яка знищила б раз і назавжди тодішнього гомоєректуса.

Виходячи зі сказаного вище, діходимо висновку: якщо число екстремальних подій не є достатньо великим (а це справедливо для подій, відображених на графіках вимирань як Сепкоскі, так і Мелотта) то, наприклад, Фур'є-аналіз завжди видасть значення якихось інтервалів часу, які будуть кратними деяким максимумам. Чим менше інформації, тим легше відшукати таку псевдоперіодичність. Нагадаємо, що найпотужніших вимирань біоти в історії Землі виділяють лише п'ять.

Результати досліджень. Ми спробували роз-

глянути означену проблему, йдучи від супротивного. Спочатку було взято одну із систем рівнянь Спротта, що відображають детермінований хаос [5]. У фазовому просторі рівняння дають дивний атрактор, а залежність від часу однієї з координат нагадує графік вимирання з роботи Сепкоскі у 2002 році [14]. Система має позитивне значення старшого ляпуновського показника, що однозначно свідчить про її хаотичність. На рис. 2 (а) нами показана динаміка цієї системи на відносно невеликому інтервалі часу. Використовуючи Фур'є-аналіз, ми дійсно виявили псевдоперіодичність у подіях, і тут більшість періодично розташованих вертикальних ліній проходить якраз через максимуми. На рис. 2 (b) показано продовження у часі попереднього графіка. Тут добре видно, що для великої кількості подій періодичність зникає, як це і має бути для процесів хаотичного характеру.

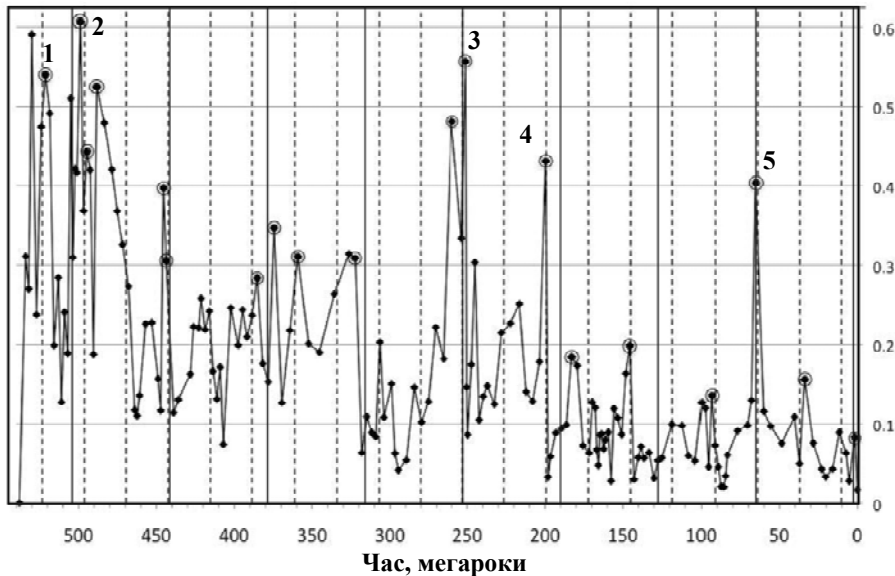


Рис. 1. Інтенсивність вимирання біоти на планеті Земля.

Цифрами відмічено великі вимирання: 1 — палеозойське; 2 — кембрійсько-ордовицьке; 3 — пермо-тріасове; 4 — тріасово-юрське; 5 — крейдо-третинне. Графік взято із роботи [11].

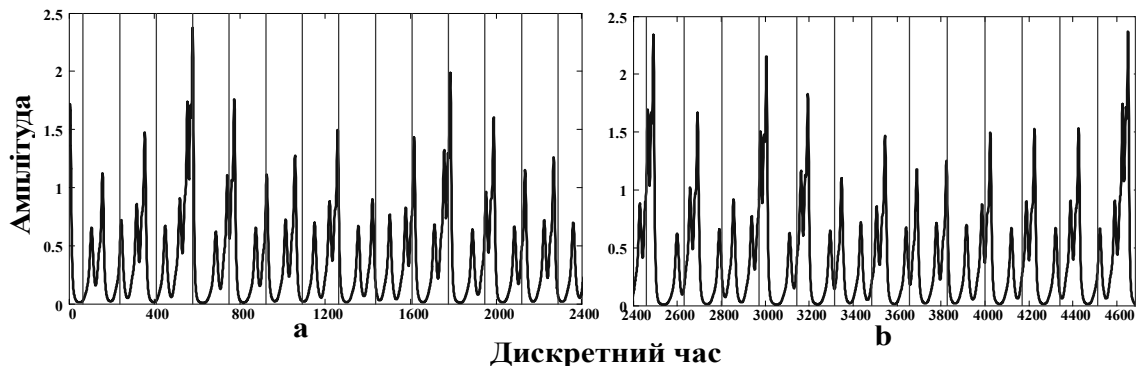


Рис. 2. Хаотична динаміка Спротта.

На невеликому інтервалі часу екстремуми повторюються майже періодично (а).
З плином часу періодичність порушується (б)

Очевидно, що немає жодних підстав стверджувати про періодичність броунівського руху [4]. Для його моделювання найчастіше використовують методи Монте-Карло або молекулярної динаміки. Для решіткового газу у кристалі процес переходу частинки від одного адсорбційного центра до іншого є марківським, тобто процесом без пам'яті, де кожен наступний крок частинки абсолютно не залежить від попередніх кроків. Нами була спеціально створена математична модель квазіодновимірного руху адсорбованої частинки на грані кристалу з анізотропною атомною будовою. І знову, як і у випадку детермінованого хаосу Спротта, для невеликої кількості послідовних екстремумів ми виявили інтервал часу, який відображав певну періодичність у подіях абсолютно хаотичного походження, що показано на рис. 3.

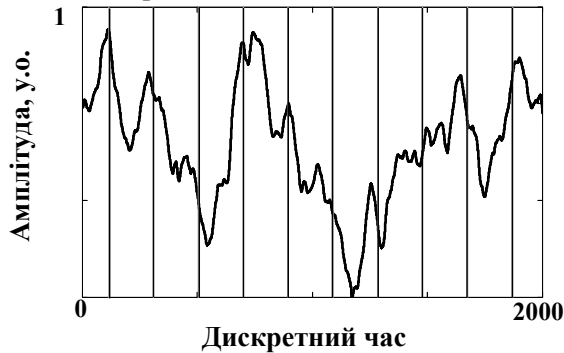
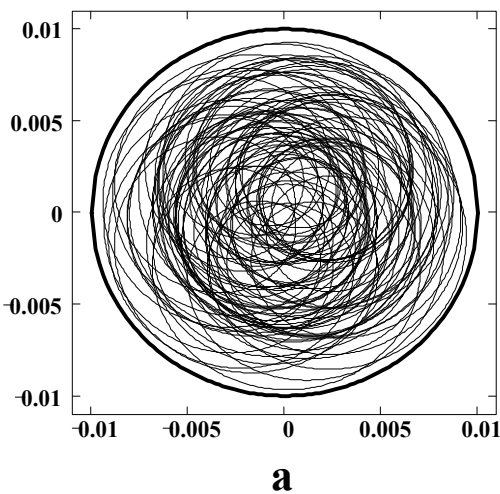
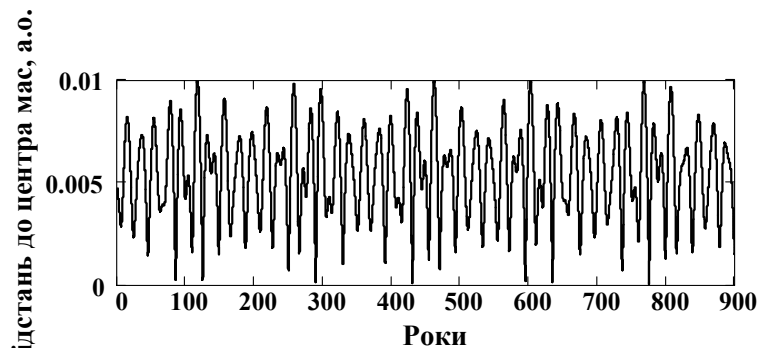


Рис. 3. Псевдоперіодичність у хаотичному броунівському русі

Нарешті, ми здійснили спробу відшукати елементи хаосу у Сонячній системі. Тут варто спочатку звернутися до наукових робіт тих авторів, які спеціально цим займалися. Так, Зюссман і Уїздом [9] здійснили оцінку характерного часу передбачуваності динаміки Сонячної системи.



а



б

Рис. 4. Відстань від Сонця до центра мас Сонячної системи

Вони знайшли його, обчисливши ляпуновські показники. Виявилося, що цей час знаходиться в межах 5–7 мільйонів років. Далі динаміка нашої планетної системи стає непередбачуваною. Найважливіша інформація про масові вимирання біологічних видів на Землі охоплює інтервал часу близько шестиста мільйонів років, тобто ляпуновський час Сонячної системи є у сто разів меншим. Це ще раз наводить на думку про те, що катастрофічні події в історії Землі, спровоковані космічними причинами, все-таки непередбачувані, а значить, не є періодичними.

Для того, щоб знайти хаотичні процеси у Сонячній системі, ми розглянули рух Сонця та Землі відносно центра мас Сонячної системи. На рис. 4 (а) показано траєкторію Сонця, розраховану за час, що дорівнює 900 років. Поряд (рис. 4 (б)) показана залежність від часу зміщення Сонця відносно центра мас системи. Як видно, хаотичні рухи Сонця не виходять за межі кола, радіус якого розраховано для конфігурації, що відповідає абсолютному «параду» планет.

Аналогічний графік, побудований для планети Земля, показано на рис. 5. Тут знову елементи хаотичної поведінки є очевидними. Очікувати повторюваність подій через тривалий час (можливо, мільйони років) не доводиться, адже нашу Галактику не можна вважати ні точковим, ні стаціонарним об'єктом. Із часом змінюється сама структура Галактики. Також не можна нехтувати і гравітаційними взаємодіями Сонячної системи з тілами своєї Галактики. Додамо, що добре відомим є факт відхилення міжпланетних космічних станцій від розрахованих траєкторій протягом лише кількох років їхнього руху у космічному просторі.

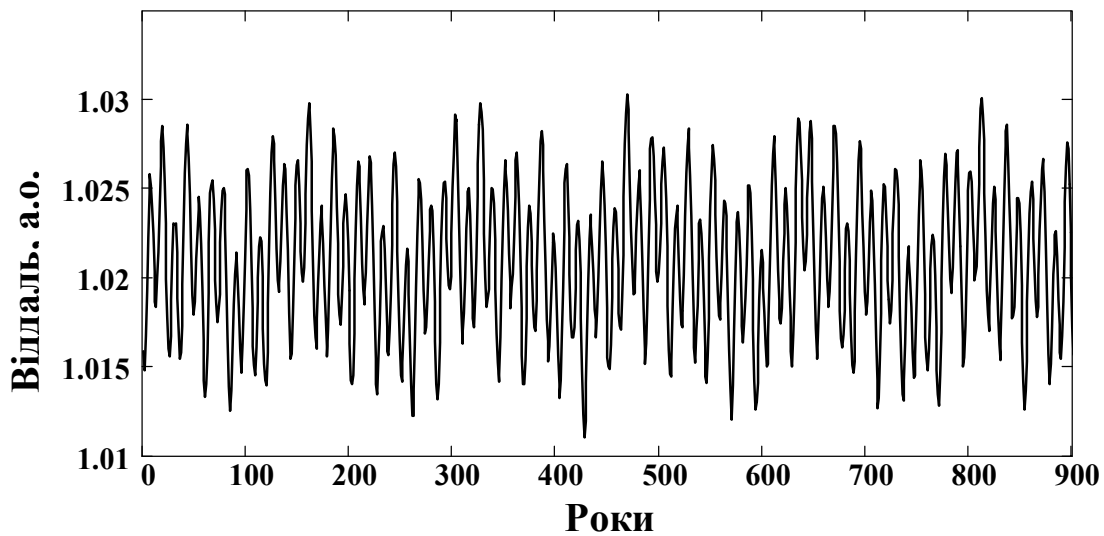


Рис. 5. Віддалі між Землею і центром мас Сонячної системи в афелії

Є серйозні підстави стверджувати, що на краю нашої планетної системи відбуваються такі процеси, наслідками яких є поява нових космічних мандрівних тіл, рух яких при збуреннях стає направленим до Сонця і тому може нести загрозу нашій планеті. На межі Сонячної системи знаходиться хмара Оорта. Припускають, що там можуть знаходитися досить великі космічні об'єкти, навіть більші за планету-гіганта Юпітер. Проте основна маса зосередженої там речовини є кометного походження. Зовнішній край хмари Оорта досягає майже половини віддалі до найближчої до нас зірки – α -Центавра. До того ж залишається невідомим, чи хмара Оорта сформувалася разом із планетною системою, чи вона еволюціонує, постійно поповнюючись матеріалом із міжзоряного простору.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Борисюк Я. О.* Роль космічних чинників у виникненні глобальних екологічних катастроф / Я. О. Борисюк, С. О. Заїка, А. Т. Лобурець // Дніпровська орбіта – 2010 : V наукові читання. 16–18 вересня 2010 р. : зб. допов. – Дніпропетровськ : НЦАОМ, 2010. – С. 192–198.
2. *Вернадский В. И.* Несколько слов о ноосфере / В. И. Вернадский // Успехи биологии. – 1944. – Т. 18, № 2. – С. 113–120.
3. *Гуров Е. П.* Импактное кратерообразование на поверхности Земли / Е. П. Гуров // Геофизический журнал. – 2002. – Т. 24, № 6. – С. 3–35.
4. *Каретин Ю. А.* Синергетика. Курс лекций для биологов / Каретин Ю. А. – Владивосток: Дальневосточный госуниверситет, 2007. – 154 с.
5. *Кузнецов С. П.* Динамический хаос (курс лекций) / Кузнецов С. П. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-

Висновки:

1. Сонячна система є динамічною, складною і нелінійною. Вона еволюціонує завдяки наявності елементів хаосу в її структурах та структурах самої Галактики.
2. Складні динамічні системи допускають постійне існування різних флуктуацій і у своєму розвитку проходять стани біфуркацій, тобто, вони за своєю природою мають тенденцію до катастроф.
3. Космічне бомбардування планети Земля носить флуктуативний характер, і передбачення таких подій є неможливим. Аналогічною є ситуація і стосовно тих грандіозних процесів, що протікають у надрах Землі. Природа демонструвала це людям уже неодноразово.

ри, 2001. – 296 с.

6. *Мирлин Е. Г.* Возможная природа траппового магматизма (на основе концепций вихревых движений в тектоносфере и нелинейной геофизической среды) // Е. Г. Мирлин, М. В. Кононов, Ю. В. Миронов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2008. – Т. 2, № 12. – С. 28–41.
7. *Муртазов А. К.* Физические основы экологии околоземного пространства / А. К. Муртазов. – Рязань: Наука, 2008. – 201 с.
8. *Чайковский Ю. В.* Эволюция / Ю. В. Чайковский – М.: Центр системных исследований ИИЕТ РАН, 2003. – 472 с.
9. *Шевченко И. И.* Непредсказуемые орбиты / И. И. Шевченко // Природа. – 2010. – №4. – С. 12–21.
10. *Alvarez L. W., Alvarez W., Asaro F., Michel H. V.* Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary

- Extinction // *Science, New Series*. – American Association for the Advancement of Science, 1980. – Vol. 208. – P. 1095–1108.
11. *Alvarez W., Asaro F., Michel H. V. & Alvarez L. W.* Iridium anomaly approximately synchronous with terminal Eocene extinctions // *Science*. – 1982. – Vol. 216. – P. 886–888.
12. *Bambach R. K.* Origination, extinction, and mass depletions of marine diversity / *R. K. Bambach, A. H. Knoll, S. C. Wang* // *Paleobiology*. – Vol. 30, № 4. – 2004. – P. 522 – 542.
13. *Melott A. L.* Nemesis reconsidered / *A. L. Melott, R. K. Bambach* // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters*. – Vol. 407. – 2010. – P. 99–102.
14. *Raup D. M.* Periodicity of extinctions in the geologic past / *D. M. Raup, J. J. Sepkoski, Jr.* // *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*. – Vol. 81. – 1984. – P. 801–805.
15. *Rohde R. A.* Cycles in fossil diversity / *R. A. Rohde, R. A. Muller* // *Letters to Nature*. – Vol. 434. – 2005. – P. 208–210.
16. *Sepkoski J. A.* Compendium of Fossil Marine Animal Genera / *J. A. Sepkoski* // *Bull. Am. Paleontol.* – № 363. – 2002. – P. 324–363.
17. *Shoemaker E. M.* Asteroid and comet bombardment of the Earth // *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* – Vol. 11. – 1983. – P. 15–41.