

ІМПАКТНІ СТРУКТУРИ ТА ЕВОЛЮЦІЯ ПЛАНЕТ

Перша міжнародна конференція «Імпактне кратероутворення у Сонячній системі» (8–12 травня 2006 р., м. Нордвік, Нідерланди)

Імпактне кратероутворення є найважливішим фундаментальним процесом в еволюції Сонячної системи, починаючи з акумуляції планет і їхніх супутників на ранніх етапах її формування і до переробки всіх тіл з твердою поверхнею упродовж її подальшої історії.

Місцем проведення першої конференції з цих проблем було обрано Європейський Космічний і Технологічний Центр (ESTEC) Європейського космічного агентства, що у м. Нордвіку поблизу Амстердама.

Метою проведення конференції було об'єднання зусиль учених, які вивчають ударне кратероутворення на поверхні тіл Сонячної системи, зокрема Землі. Дослідження земних імпактних структур дали змогу нагромадити обширний матеріал щодо їх будови і перетворення порід під впливом великих ударного тиску і температур. Проте висока ендегенна активність Землі спричинює швидке знищення імпактних структур, унаслідок чого досі не збереглися або ще не знайдені сліди її раннього метеоритного бомбардування, необхідні для відновлення повної історії кратероутворення і прогнозування цього процесу на майбутнє. Разом з тим вивчення імпактного кратероутворення на поверхні різних тіл Сонячної системи — від планет і їхніх супутників до астероїдів та комет — відкриває величезні можливості для відновлення інтенсивності

кратероутворення у часі і дослідження всього розмаїття умов ударного перетворення тіл з різними властивостями поверхонь.

У конференції взяли участь 250 науковців із багатьох країн світу. Найчисельнішими були делегації країни-засновниці — Нідерландів, а також США, Японії, Великої Британії, Мексики, Канади, Франції, Італії і Росії. Водночас деякі країни, зокрема Естонія, Україна і Хорватія, були представлені одним-двома учасниками.

Головні напрями роботи конференції розглядалися на 14 сесіях:

- ✦ астероїди, комети, імпактний потік (кратероутворювальні тіла);
- ✦ хронологія планет і раннє важке бомбардування;
- ✦ кратери на Місяці, Меркурії та супутниках планет-гігантів;
- ✦ кратери на Марсі та Венері;
- ✦ земні імпактні кратери і петрологія ударних процесів;
- ✦ буріння земних імпактних кратерів;
- ✦ Чиксулуб: нові геофізичні дослідження;
- ✦ фізика і хімія імпактного кратероутворення;
- ✦ комп'ютерні розрахунки;
- ✦ лабораторні експерименти;
- ✦ космічні місії;
- ✦ катастрофи і вимирання;
- ✦ відновлення життя й еволюція;

♦ імпакти і населеність земних планет.

Імпактний потік кратероутворювальних тіл розглянули А. Morbidelly і W.F. Bottke. Аналіз потоку астероїдів, а також комет сімейства Юпітера свідчить про частоту утворення на Місяці $2,73 \times 10^{-14}$ кратерів на 1 км^2 за рік з розрахунковим діаметром кратера близько 4 км. Згідно з літописом утворення кратерів на Місяці та інших планетах, інтенсивність імпактного потоку зберігається щодо постійної впродовж останніх 3,6 млрд років. Протягом першого мільярда років після утворення Сонячної системи потік кратероутворювальних тіл зазнав значних змін, визначивши, зрештою, сучасну конфігурацію орбіт планет. За результатами дослідження кратерування поверхонь Місяця і Меркурія виконано хронологічну оцінку розподілу за частотою утворення і розмірами імпактних структур на поверхні планет земної групи (G. Neukum). Порівняльне вивчення кратерів на видимому і зворотному боках Місяця дало змогу M. Le Feuvre охарактеризувати асиметрію у розподілі імпактних структур на його поверхні.

Найбільше доповідей було присвячено дослідженню імпактних кратерів на поверхні Землі. P. Kelley і G. Osinsky проаналізували сучасний стан проблеми вивчення і пошуку нових імпактних кратерів, умов їхнього утворення і розподілу в часі. Велике зацікавлення у дослідників викликають дані про часовий збіг виникнення деяких імпактних структур, зокрема однаковий вік (65 млн років) гігантського кратера Чиксулуб у Мексиці і Болтиського в Україні, а також утворення одночасно (36 млн років тому) кратерів – Попігайського на Анабарському масиві та Чесапикського на східному узбережжі США. Новітні дослідження ударнорозплавлених порід Логойського кратера в Білорусі дали змогу визначити його молодший ранньоолігоценний вік – 30 млн років. Це унеможливає його розгляд як структури, одновікової з Попігайським і Чесапикським кратерами,

утвореними верхньоеоценовою астероїдною зливою (shower) (S. Sherlock). Доведено, що у разі утворення кратерів під час астероїдних або кометних злив сумарний ефект їхньої дії на довкілля зростає. Однак науковці досі не мають вірогідних даних про вік багатьох імпактних структур, існує значна кількість їх ненадійних датувань. Недостатнє число визначень віку ударних подій не дає змогу цілком відновити хронологію метеоритного бомбардування Землі і встановити періодичність цього процесу. Попередня оцінка інтенсивності потоку кратероутворювальних тіл на основі вивчення земних імпактних структур зроблена M. Dense. Визначення віку порід імпактних структур і нині залишаються вельми актуальними.

Особливу увагу на конференції було приділено вивченню гігантського крейда-палеогенового кратера Чиксулуб у Мексиці, діаметром близько 200 км, утворення якого стало завершальною подією мезозойської ери. Ця імпактна структура – єдиний кратер, викиди якого мають *глобальне* поширення. Сьогодні триває його інтенсивне вивчення геофізичними методами і за допомогою буріння. Новим матеріалам щодо глибинної будови кратера були присвячені доповіді P. Claeys, J. Morgan, M.A. McDonald і S.P.S. Gulick. Вони розглядають кратер Чиксулуб як багатокільцеву (multiring) структуру або структуру з кільцем піків (peak ring structure). У доповіді J. Morgan Vetal охарактеризовано плани глибокого буріння кратера. Свердловина ICDP-hole 2 глибиною 4 км проектується у центрі кратера для розкриття товщі ударнорозплавлених порід і центрального підняття. Це дасть можливість отримати найважливіші відомості щодо повного об'єму розплавлених імпактитів, енергії утворення цієї структури і складу ударника. Свердловина Chicx-01A глибиною 4,5 км має розкрити непорушені породи-мішені для повнішого розуміння процесів їх перетворення при ударі. Особливий інтерес становить вивчення поширення у по-

родах мішені карбонатів й ангідриту, температурне руйнування яких визначило склад газопилового викиду і надходження в атмосферу величезних кількостей CO_2 , SO_2 і SO_3 .

Сейсмічні дослідження кратера допомогли виявити терасування його зовнішніх зон і наявність кільцевого підняття піків у центральній частині структури. Вивчення будови і рельєфу поверхні Мохо під кратером Чиксулуб (P. Church et al.) виявило позитивну куполоподібну структуру під його центральною частиною.

С. Koeberl доповів про стан робіт за міжнародним проектом наукового континентального буріння імпактних кратерів. Великий інтерес становлять дані, отримані останніми роками у процесі буріння кратера Босумтві в Гані та Чесапік — у США.

Чимало доповідей було присвячено розгляду будови, умов утворення та перетворення порід в окремих земних імпактних структурах. Представлено нову інформацію про склад і будову комплексу розплавлених порід імпактної структури Садбері в Канаді (U. Riller). Склад і будову товщі повернених зювітів і зювітоподібних порід у крейда-палеогеновому кратері Чиксулуб детально вивчено за керном однієї із свердловин (A. Wittmann et al.). Склад зювітів, уміст у них склуватих часточок і форма останніх дають змогу відтворити умови, що існували у вибуховому плумі. Є. Гуров і З. Koeberl розглянули нові дані про будову кратера Ельгигитгин на Чукотці та запропонували схему класифікації ударно-метаморфізованих вулканітів за ступенем їхнього перетворення. Геохімія та особливості ізотопного складу ударнорозплавлених порід кратера Яніс'ярві у Росії охарактеризовані в доповіді Ю. Ларіонової і А. Самсонова. У південно-східній частині Англії знайдено шар склуватих сферул, що являють собою далекі викиди кратера Манікуаган у Канаді (G.M. Waldken et al.).

Пошуки нових імпактних структур увінчалися відкриттям імпактного кратера діамет-

ром 15 км у центральній частині Індії (P. Jaeger). Крім того, були описані структури імовірного метеоритного походження у Баварії (W. Rösler) і європейській частині Росії (А. Кисельов), остаточно діагностика яких потребує подальшого вивчення. Становлять інтерес уявлення про можливе імпактне походження південно-східної частини Гудзонової затоки в Канаді, обмеженої правильною дугою у 240° . У разі знаходження доказів її імпактного походження вона стане найдавнішим і найбільшим на поверхні Землі кратером діаметром не менше 450 км (M. Brookfield).

Велику увагу на конференції приділено вивченню імпактних кратерів на Місяці, Марсі та Меркурії. Роль процесів релаксації під час модифікації і деградації імпактних структур на поверхні цих тіл розглянуто у доповіді P. Pinet. Зразки порід Місяця нині є найважливішим матеріалом для визначення віку імпактних утворень і відновлення історії його бомбардування, включаючи період раннього важкого бомбардування. На думку В.А. Cohen, на гістограмі розподілу за віком усіх відомих зразків місяцевих порід імпактного походження різкий максимум спостерігається на часовій позначці 3,9 млрд років і швидке його зниження впродовж 20–200 млн років. З'ясовано формування п'яти найбільших імпактних басейнів Місяця в інтервалі близько 200 млн років. Давнішим вважають науковці утворення ударного басейну Південний полюс — Айткен діаметром 2500 км, зразки якого досі не доправлені на Землю.

На прикладі Марса показано можливості хронологічного вивчення його поверхні і визначення відносного віку окремих регіонів за ступенем їх кратерування (W.K. Hartmann). Триває дослідження будови викидів з марсіанських кратерів (N.G. Barlow; F. Schönian), морфологія яких свідчить про існування підповерхневої мерзлоти і роль води в утворенні лопатоподібних покривів навколо імпактних структур. Вивчення великих кратерів на поверхні Марса і Місяця підтвердило значний

внесок вторинних кратерів у загальну картину кратерування їхніх поверхонь (S.C. Werner et al.). Дослідження поширення вторинних кратерів свідчить про необхідність їхньої ідентифікації та обліку при визначенні інтенсивності потоку кратероутворювальних тіл в історії планет і їхніх супутників.

На поверхні Венери, яка за масою, діаметром і ступенем розвитку є найближчим аналогом Землі, досі діагностовано близько 1000 імпактних структур. J. Raitala і M. Aittola розглянули основні особливості будови венеріанських кратерів. Поширення кратерів на планеті дає змогу оцінити вік її сучасної поверхні — приблизно 0,5 млрд років. Переважна частина кратерів Венери має свіжий вигляд. На радарних зображеннях кратери оточені світлими викидами, які тягнуться за межі валу на відстань близько одного кратерного радіуса, що пов'язане з великою щільністю атмосфери планети. На валах кратерів часто знаходять еолову дію, зокрема орієнтовані на захід струмені викидів, утворені вітрами, що постійно дмуть у західному напрямі.

На конференції було представлено низку доповідей, присвячених імпактним кратерам супутників Юпітера і Сатурна. Внаслідок радіолокаційного вивчення 5% поверхні найбільшого супутника Сатурна — Титана (діаметр 2575 км) — знайдено кратер діаметром 440 км (R.D. Lorenz і C. Wood). Передбачається, що у разі однакових чи близьких умов кратероутворення на всіх супутниках Сатурна на Титані має бути приблизно 10 тис. імпактних кратерів. У доповідях P. Schenk і R. Wagner описано імпактні кратери на деяких супутниках Юпітера і Сатурна, зокрема на вкритих кригою (водною та іншого складу) супутниках Юпітера Ганімеді, Каллісто і Європі. Морфологія їхніх кратерів ускладнюється, починаючи з діаметра близько 35 км, причому складні кратери мають центральну западину або куполоподібне центральне підняття. На відміну від кратерів на тілах із силікатною

поверхнею, імпактні структури на супутниках із крижаною поверхнею зазнають інтенсивної релаксації, ступінь якої уможливорює оцінку їхнього відносного віку.

Комп'ютерні розрахунки сприяють глибшому розумінню процесів кратероутворення в різних масштабах — за можливості моделювання складу, умов на поверхні тіл і різних параметрів удару, зокрема швидкості та складу ударників. Модельні розрахунки об'ємів ударних розплавів, виконані E. Pierazzo, показали добрий збіг результатів зі спостережуваним поширенням ударнорозплавлених порід у низці земних кратерів, що утворилися у кристалічних мішенях. Розрахунки параметрів ударника й утворення хвилі цунамі за імпактної події Елтанін у південній частині Тихого океану (2,2 млн років тому) наведено у дослідженні В. Шувалова. Згідно з цими даними діаметр астероїда не перевищував 1 км у разі вертикального падіння або 1,5 км — за похилого удару під кутом 45°, а розрахункова висота цунамі — приблизно 300 м на відстані 50 км від місця зіткнення. Наслідки падіння ударників діаметром від 1 км і менше розглянуто у доповіді І. Немчинова та ін.

Н. Артем'єва і В. Брай оприлюднили результати моделювання кратероутворення на поверхні Місяця і крижаних супутників для пояснення магнітних аномалій місяцевих басейнів, визначення потужності криги у Європі і деяких інших особливостей кратерів. Комп'ютерні розрахунки дали змогу оцінити потужність крижаної кори Європи над поверхнею водного океану, що дорівнює 8 км.

Лабораторні експерименти з кратероутворення допомагають відтворювати широкий спектр складу і властивостей як мішеней, так й імпакторів. Прямі спостереження зростання транзитного кратера за високошвидкісного удару виконані S. Yamamoto. Низка доповідей (F. Ferri; K. Wünnemann) була присвячена опису експериментів з високошвидкісних ударів у крижкі мішені, результати яких можна використати для пояснення поведінки не-

великих тіл Сонячної системи при зіткненнях. Прямі спостереження за перебігом хімічних реакцій у хмарі високотемпературної пари за лазерної дії на мішень, що містить сірку, виконані S. Ohno et al. Встановлено високий ступінь окиснення SO_2 до SO_3 . Стосовно утворення кратера Чиксулуб ці відомості можна використати для обґрунтування високого вмісту в плумі SO_3 через термічне розкладання ангідриту в його мішені.

Великий інтерес викликають великомасштабні експерименти зі швидкісних ударів штучних супутників або їхніх частин на поверхню деяких тіл Сонячної системи. У доповідях H.I. Melosh і S. Sugita et al. наведено матеріали про зіткнення штучного супутника вагою 370 кг і швидкістю 10,3 км/сек із кометою 9/P Temple 1 розміром 7,6×4,9 км. Ударний експеримент, що отримав назву Deer Impact, здійснено 4 липня 2005 року. За ним спостерігали як за допомогою залишеної на орбіті частини супутника з відстані близько 500 км, так і телескопами з поверхні Землі. Внаслідок удару з виділенням енергії близько 19 ГДж на поверхні комети утворився кратер діаметром від 150 до 200 м. Цей процес супроводжувався яскравим спалахом від викиду плуму, що складається з ~5000 кг розпорошеного розплаву. В.М. Foing et al. повідомили про експеримент, який готується, щодо зіткнення космічного апарата SMART-1 вагою 285 кг із поверхнею Місяця (має відбутися 3 вересня 2006 року).

Значну увагу на конференції приділили ролі імпактного кратероутворення в розвитку органічного життя. J. Smit розглянув зв'язок масових вимирань біоти у фанерозої з утворенням найбільших імпактних структур. Досі чітко доведено тільки детермінованість крейда-палеогенової кризи утворенням кратера Чиксулуб у Мексиці, тоді як для інших епізодів масових вимирань такий зв'язок поки що не доведено. G.M. Waldken і J. Parker розглянули питання детермінації масових вимирань великомасштабним кратероутво-

ренням. За їхніми уявленнями, катастрофічний вплив на біоту залежить не тільки від розмірів кратероутворювальних тіл і виділеної при ударі енергії, а й багатьох умов на поверхні Землі, зокрема від *вразливості* органічного світу внаслідок імпаکتу. У цьому понятті об'єднуються найважливіші умови удару на земній поверхні: точка удару (географічна широта, континентальні, мілководні або океанічні умови), а також стан біоти (загартована за період зледеніння та інших несприятливих умов чи така, що розвивається до моменту удару в стабільному кліматі і слабо пристосована до різких змін навколишнього середовища).

Оглядова доповідь К.Е. Fishbaugh була присвячена обговоренню складної і надзвичайно важливої проблеми ролі імпактних подій у придатності планет для життя. Головні чинники, які на прикладі Землі визначають населеність планет і їхніх супутників, досить різноманітні: наявність або відсутність магнітосфери, тектоніка плит, склад й еволюція атмосфери, наявність рідкої води і джерел енергії та ін. Багато дослідників як провідний чинник розглядають наявність на планетах рідкої води і необхідних для цього температур.

Негативні ефекти імпаکتів на біоту планет, визначені на прикладі крейда-палеогенового масового вимирання, — це викиди пилу і пари в атмосферу, які закривають доступ сонячної енергії до поверхні, землетруси, цунами, часткова ерозія атмосфери і часткове знищення озонового шару, пожежі рослинності тощо.

Як позитивний ефект імпаکتу розглядають можливість викиду в космос уламків, що містять найпростіші форми життя, і їх перенесення на поверхню інших планет. У зв'язку з привнесенням кометами на планети основної маси летких речовин, на запитання: «Чи може бути населеною планета, яка ніколи не зазнавала імпаکتів?» на прикладі Землі і Марса слід дати негативну відповідь (К.Е. Fishbaugh).

Розуміння ролі ударних процесів в еволюції Землі, інших планет і їхніх супутників науковці досягли завдяки дослідженням, проведеним після 70-х років ХХ століття. Сьогодні вивчення фундаментальних процесів кратероутворення є одним з провідних напрямів дослідження як Землі, так і всієї Сонячної системи.

Тези конференції опубліковані у «First International Conference on Impact Cratering in Solar System». — European Space Agency, Noordwijk, Netherlands (2006, 256 с.).

Є. ГУРОВ,
доктор геолого-мінералогічних наук,
старший науковий співробітник
Інституту геологічних наук НАН України (Київ)

СИНАНТРОПІЗАЦІЯ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ УКРАЇНИ

Перша Всеукраїнська наукова конференція

(27–28 квітня 2006 р., м. Переяслав-Хмельницький)

Незворотні зміни природного середовища внаслідок антропогенної трансформації рослинного покриву наприкінці ХХ ст. посилили синантропізацію флори та рослинності на всій планеті, призвели до збіднення біологічного різноманіття і деструкції екосистем на глобальному рівні. Одним із найзагрозливіших проявів цього процесу стало масове переселення неаборигенних (адвентивних, заносних) організмів. Їхня експансія завдає величезних збитків навколишньому середовищу, економіці країн та здоров'ю людей.

Науковою спільнотою, громадськими інституціями та владними структурами багатьох країн світу проблему неаборигенних організмів, зокрема видів адвентивних рослин, визнано однією з найбільш злободенних. Екологічна ціна інвазій неаборигенних організмів — невиправна шкода, якої зазнають види та екосистеми, а економічна обчислюється гігантськими сумами, наприклад, у США вона становить 138 млрд доларів щорічно. Необхідність контролю цього процесу активізувала вивчення видів адвентивних рослин. З 90-х років ХХ ст. цій тематиці присвячено численні публікації, міжнародні та регіональні конференції. Розроблено Гло-

бальну стратегію з проблеми інвазійних неаборигенних видів (Global Strategy on Invasive Alien Species). Країни, у тому числі й Україна, які підписали Конвенцію про біологічне різноманіття (Ріо-де-Жанейро, Бразилія, 1992) та Рішення конференції ООН з питань неаборигенних видів (Трондхейм, Норвегія, 1996), зобов'язалися проводити всебічні дослідження видів адвентивних рослин, тварин і мікроорганізмів, розробляти регіональні стратегії щодо контролю їх занесення та поширення.

Україна, яка з-поміж країн Європи вирізняється високим рівнем антропогенної трансформації та адвентизації рослинного покриву, має вагомий доробок у галузі вивчення синантропної та адвентивної флори і рослинності, фітоінвазій неаборигенних рослин, урбанofлористики, інших пов'язаних з цими питаннями напрямів. Це, зокрема, дослідження науковців Р. Бурди, В. Протопопової, Ю. Шеляга-Сосонка (Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України); В. Соломахи (Київський національний університет ім. Тараса Шевченка); О. Костильова (Київський національний медичний університет ім. О.О. Богомольця). Наукові співробітники академічно-