

АСТЕРОЇДНО-КОМЕТНА НЕБЕЗПЕКА: *нові підходи*



Борис Шустов
доктор фіз.-мат. наук,
член-кореспондент РАН,
директор Інституту
астрономії РАН,
м. Москва, Росія



Лідія Рихлова
доктор фіз.-мат. наук,
завідувач відділу
Інституту астрономії РАН,
м. Москва, Росія

Упродовж багатьох століть можливість зіткнення із Землею досить великих космічних тіл — астероїдів і комет розміром не менше декількох десятків метрів — залишалася предметом вивчення астрономії й суміжних фундаментальних наук, тобто науковою проблемою, досліджуваною досить вузьким колом фахівців. Наприкінці ХХ ст. ситуація почала змінюватися: з появою спеціалізованих програм стало можливим спостереження малих тіл, і нова інформація змусила по-іншому глянути на проблему астероїдно-кометної небезпеки. Від часу попередньої публікації статті на цю тему в "Віснику РАН" [1] відбулася переоцінка масштабів проблеми, стала очевидною необхідність глибшого її вивчення й розвитку міжнародної кооперації. Крім спеціальних наукових конференцій проблему астероїдно-кометної небезпеки регулярно розглядають в ООН, уряди й парламенти провідних країн світу та впливові неурядові організації. Звичайно, провідні країни, насамперед США, вкладають усе більше коштів у розробку методів виявлення й моніторингу об'єктів, що зближуються із Землею, і в пошук способів протидії загрози зіткнень таких тіл з нашою планетою.

Зіткнення Землі з малими тілами відбувалися завжди. На ранніх стадіях інтенсивні зіткнення призвели до зростання маси протопланет — згустків у протосонячній системі — і до появи нашої планети в результаті росту одного зі згустків. Інтенсивність зіткнень у ближчі до нас епохи істотно знизилася, але все-таки не стала нехтовно малою. У геологічній історії збереглося багато свідчень падіння на Землю великих і дуже великих (розміром більше 1 км) тіл. Такі події призводять до виділення колосальної енергії. У результаті на поверхні планети утворюються кратери, діаметр яких у 15-20

разів перевищує розміри тіла, що впало. *На Землі — на суші й на дні океану — виявлено близько 200 кратерів — слідів подібних катастроф. Діаметр деяких кратерів понад 200 км. Кратер Чиксулуб у Мексиці (діаметр 180 км) утворився 65 млн. років тому при падінні 10-кілометрового тіла. Уважається доведеним, що ця подія стала причиною вимирання більше 80% всіх видів живих істот, зокрема повного вимирання динозаврів, і ознаменувала перехід від крейдового періоду мезозойської ери до третинного періоду кайнозою.*

Звичайно, більшість космічних тіл, що зіштовхуються із Землею, падають в моря й океани. До теперішнього часу виявлено не більше 20 кратерів, які виникли при падінні тіл у море. Причина малої кількості підводних кратерів пояснюється як відносною молодістю морського дна, так і його недостатньою дослідженістю. Більшість ударних кратерів, що колись утворилися (і на суші, й на морському дні), зникли внаслідок різних ерозійних процесів. На поверхні Місяця й інших планет, супутників планет й астероїдів, де інтенсивність цих процесів мала, спостерігають численні ударні кратери, які можна розглядати як історичний літопис наслідків зіткнень у дуже давні й не дуже давні часи.

Падіння відносно великих тіл на планети Сонячної системи — процес, далекий від завершення, про що свідчать падіння в 1994 р. *комети Шумейкера-Леві 9* на Юпітер і, звичайно ж, *Тунгуська подія*. Остання відбулася 30 червня 1908 р. у важкодоступному й досить малонаселеному районі Сибіру, але стала серйозним попередженням для жителів усієї планети. Потужний вибух на висоті близько 6-8 км призвів до повалення лісу (приблизно 80 млн. дерев) на території понад 2 тис. кв. км. Як було досліджено пізніше, енергія вибуху склала до 15 Мт у тринітродуловому еквіваленті. Лише через

майже 20 років до місця вибуху були організовані професійні експедиції на чолі з Л. Куликом. Вивчення цього феномена переконало більшість дослідників у тім, що Земля зіштовхнулася з невеликою кометою, що складалася в основному з льоду. Саме тому поки не вдалося відшукати залишки Тунгуського тіла. До речі, часто використовується (навіть у професійній літературі) назва “Тунгуський метеорит” некоректна, оскільки метеорит, за визначенням, — це збережений залишок небесного тіла, а у випадку Тунгуської події залишки не знайдені. Більш вдало було б називати Тунгуське тіло “метеороїдом”. Тунгуський метеороїд

носно Землі, кута падіння, мінералогічного складу, місця падіння (океан, суша) і т. ін. Відносно дрібні тіла (кілька десятків метрів у діаметрі) звичайно повністю або частково руйнуються в атмосфері. Але вибухова хвиля, що при цьому утворюється, здатна призвести до серйозних локальних руйнувань (наслідки приблизно такі ж, як і під час вибуху потужної термоядерної бомби). Падіння тіл розміром у сотні метрів призводять уже до регіональних катастроф, що охоплюють площі в десятки й сотні тисяч квадратних кілометрів. Нарешті, якщо розміри тіла перевищують кілька кілометрів, наслідки зіткнення будуть мати характер

хунку числа кратерів у різних районах Місяця висновок про те, що *частота падіння на Землю космічних тіл дуже залежить від їхніх розмірів (табл. 1). Скажімо, падіння тіл розміром від 1,5 км і більше трапляються в середньому 1 раз на 1 млн. років.* Регіональні катастрофи різних масштабів, які є наслідком падіння космічних тіл розміром у сотні метрів, відбуваються в середньому 1 раз на кілька десятків-сотень тисяч років.

Що ж нам відомо про сучасний рівень загрози?

Перш ніж відповісти на це питання, дамо деякі визначення. Під об'єктами, що зближаються із Землею, розуміють астероїди й комети, чії орбіти мають перигелійні відстані, менші 1,3 астрономічної одиниці (а.о.), тобто близько 195 млн. км. З їх числа виділяють потенційно небезпечні об'єкти, орбіти яких у нашу епоху зближуються з орбітою Землі до мінімальної відстані, що не перевищує 0,05 а.о. (7,5 млн. км). Підставою для того, щоб вважати тіла потенційно небезпечними на орбітах, які проходять від Землі на відстані до 20 радіусів місячної орбіти, є такі обставини. По-перше, у таких межах можна чекати в доступному для огляду майбутньому зміни відстаней між орбітами під впливом планетних збурювань, а по-друге, ця ж відстань відповідає характерному масштабу ділянки невизначеності орбіти малого тіла при прогнозуванні на кілька сотень років наперед внаслідок неточного знання параметрів його руху в сучасну епоху. При істотній імовірності зустрічі астероїда із Землею такий об'єкт вважається загрозливим.

Інформація про розподіл об'єктів, що зближаються із Землею, за розмірами, оцінюваною середньою енергією зіткнень і частотою зіткнень наведена на рис. 1 (адаптований з [3]). Для спостерігачів важливою характеристикою є абсолютна астероїдна зоряна величина (не треба плутати цю величину з абсолютною зоряною величиною, прийнятою в астрофізиці). Це видима, тобто визначувана у фотометричній смузі V, зоряна величина астероїда (або комети), спостережуваного з відстані в 1 а. о. Зрозуміло, що якщо мати інформацію про точну форму й відбивальні характеристики світла малого тіла, то, знаючи його абсолютну зоряну величину, можна визначити його розмір. Для середньої величини 0,15 відбивальної здатності розмір сферичного тіла, що має 22-ю абсолютну зоряну величину, оцінюється приблизно в 140 м. Як ми вже відзначали, тіла подібного розміру становлять на тимча-



міг бути й кам'яним. Згідно з численними експериментами, при типових міцностях кам'яних метеоритів й аеродинамічних навантажень у сотні атмосфер подрібнення метеороїда могло бути настільки ефективним, що він фрагментувався на дрібні уламки, які піддалися при русі в земній атмосфері повній абляції [2].

Особливість сучасної оцінки цієї події 100-літньої давнини полягає в тому, що, очевидно, при падінні на сушу саме тіла розміром 50-100 м (200 м при падінні в океан) становлять найбільшу загрозу на розумному інтервалі часу (скажімо, на шкалі існування людства, тобто 100-300 тис. років). Для оцінки такої загрози потрібно визначити руйнівний ефект від падіння тіла й частоту зіткнень. Руйнівний ефект зіткнення залежить від ряду факторів: розміру тіла, швидкості від-

глобальної катастрофи. При цьому вже не має значення, у якому саме місці земної поверхні відбудеться зіткнення. У результаті первинного удару й наступного каскадного бомбардування виникне “букет” катастрофічних наслідків — урагани, пожежі, землетруси, найпотужніші цунамі, грязьові й кислотні зливи, короткочасне, але дуже сильне (сотні градусів) нагрівання атмосфери й т. ін. Подібне зіткнення призведе до тривалого (багато місяців) порушення клімату всієї планети (ефект “ядерної зими”).

Жертвою подібної катастрофи може стати більша частина населення Землі. Тіла розміром більше 10 км здатні безповоротно знищити людську цивілізацію. Однак такі події дуже рідкісні. Статистика вже відкритих астероїдів підтвердила й доповнила раніше зроблений на основі підра-

совій шкалі людської цивілізації найбільшу загрозу.

Кількість відомих об'єктів, що зближаються із Землею і є потенційно небезпечними, швидко зростає. На рис. 2 видно, як різко зріс темп виявлення астероїдів, що зближаються із Землею, після 1998 р. Це пов'язано з початком американської програми “Космічна варта” (“Spaceguard Survey”), що одержала підтримку, в тому числі помітну фінансову (не менше 50 млн. дол. США), з боку Конгресу США. При цьому НАСА зобов'язали докласти зусилля, щоб протягом 10 років відкрити не менше 90% астероїдів, що зближаються із Землею, розміром понад 1 км. До початку 2009 р. це завдання вважається близьким до закінчення виконання.

За даними Центру малих планет при Міжнародному астрономічному союзі (Кембридж, Массачусетс), *за станом на середину 2008 р. виявлено 5 515 об'єктів, що зближаються із Землею, серед них 5 450 астероїдів і 65 комет. З них потенційно небезпечні 959.* Із загальної кількості виявлених астероїдів близько 800 мають розмір більше 1 км (понад 150 таких астероїдів класифікуються як потенційно небезпечні). Серед об'єктів, що зближаються із Землею, комет небагато, але необхідно враховувати, що прогнозувати їхній рух дуже складно. Короткоперіодичні комети (періоди обігу до 200 років) порівняно нечисленні, однак прогноз їхнього руху ускладнюється впливом негравітаційних ефектів. Довгоперіодичні комети виявляються в кращому випадку лише за кілька місяців чи за рік до їхньої появи в околі Сонця. Наприклад, комета 3/1983 H1 (IRAS-Араки-Аллок) з орбітальним періодом 963,22 року, яка була відкрита 27 квітня 1983 р., вже через два тижні (11 травня 1983 р.) пролетіла біля Землі на відстані 0,0312 а.о. [4]. Зазначимо, що такі комети мають велику швидкість відносно Землі. Ядра їх можуть до того ж розпадатися на великі фрагменти. Все це істотно ускладнює питання про протидію можливому падінню комет на Землю.

З розподілів, наведених на рис. 1, можна оцінити загальне число потенційно небезпечних об'єктів: близько 2×10^4 розміром більше 140 м і близько 2×10^5 розміром більше 50 м. Ці оцінки набагато (для малих тіл — у сотні разів!) перевищують число відомих об'єктів. Такий ступінь нашої поінформованості про конкретні тіла, які можуть становити для Землі певну загрозу. У табл. 2 наведено інформацію про шість найнебезпечніших, відомих на кінець 2008 р. астероїдів.

У Табл. 2 наведені позначення астероїда; період (інтервал років у цьому столітті) найнебезпечніших зближень із Землею даного астероїда; число таких зближень за зазначений період; кумулятивна ймовірність зіткнення; швидкість (V); абсолютна астероїдна зоряна величина (H); діаметр астероїда; оцінка ступеня ризику за так званою Палермською технічною шкалою (кумулятивна й максимальна); подібна ж оцінка за простішою і зрозумілішою населенню Туринською шкалою.

Оцінка загрози — досить важливий складник проблеми астероїдно-кометної безпеки, оскільки недооцінка ризику може призвести до найтяжчих наслідків глобального масштабу, а переоцінка — до колосальних даремних втрат, не тільки матеріальних, але й соціальних. Потрібний досить зважений науковий підхід, тому відповідальність науки перед суспільством дуже висока. *У Туринській шкалі, що пов'язує кінетичну енергію (спрощено можна вважати — розмір) тіла, що загрожує, й імовірність зіткнення, налічується 11 ступенів ризику.* Ступінь ризику 0 означає, що немає жодної загрози, тобто зіткнення або не відбудеться взагалі, або тіло настільки мале, що зіткнення не буде небезпечним. Ступені 8-10 означають неминуче зіткнення й катастрофу — від локальної (ступінь 8) до глобальної (10). Шкала нагадує прийнятну в низці країн шкалу ступеня загроз державного масштабу (“жовтогаряча”, “червона” і т. ін.).

Палермська шкала (введена в [5]) вважається детальнішою, ніж Туринська, особливо при оцінці ступеня загрози, що класифікується за Туринською шкалою ступенями від 0 до 2. Палермська шкала є десятиковим логарифмом відносного ризику R, що визначається як $R = P_i (f_3 DT)$, де P_i — імовірність зіткнення для конкретного випадку, DT — час у роках до очікуваної події, $f_3 = 0,02 > E^{-4/5}$ — число зіткнень на рік з енергією не менш E (у Мт тринітрогену). Ця залежність уточнюється в міру появи нових даних. Безперечно, оцінки ризику як за Туринською, так і за Палермською шкалами є загальними (фоновими). При реальній зарозі критерії оцінки ступеня загрози для найбільших тіл повинні бути диференційовані і враховувати конкретне місце падіння, дату й час події, а також багато інших важливих обставин. Поки що стандартів тут не існує.

Астероїди в табл. 2 розташовані в порядку зменшення ступеня ризику зіткнень Землі з ними за Палермською

шкалою (кумулятивною). Зазначимо, що уточнені оцінки ступеня ризику зіткнення для всіх відомих потенційно небезпечних об'єктів за Туринською шкалою не перевищували 1, а за Палермською шкалою — 1,8. Це означає, що всі ці об'єкти й потенційні випадки їхнього зближення із Землею — предмет вивчення для спеціалістів, але самі по собі не становлять скільки-небудь серйозної підстави для тривоги всього суспільства. На жаль, в останні роки багато ЗМІ грішать публікацією неперевіраних матеріалів про катастрофічні зіткнення з кометами й астероїдами в найближчому майбутньому. Це звичайні негативні риси ситуації, коли наукова проблема стає “модною”. І все-таки ще раз підкреслимо: наші знання про потенційно небезпечні об'єкти не дають гарантії, що завтра, через рік, через десятиліття не буде виявлено об'єкт, набагато більш небезпечний, ніж уже відомі. До того ж, через обмеженість сучасних можливостей спостереження небезпечні тіла відкриваються практично завдяки щасливому випадку.

Наочний приклад — *відкриття астероїда Apophis*, що став уже знаменитим. Виявлений у 2004 р. потенційно небезпечний об'єкт 2004 MN4=(99942) Apophis діаметром 200-350 м в 2029 р. пройде близько від Землі. Активно досліджується можлива еволюція орбіти цього астероїда. Відповідно до результатів численних розрахунків, у 2029 р. астероїд пройде на відстані 36,1-39,2 тис. км від Землі. Він має ненульову ймовірність зіткнутися із Землею у 2036 р. Цікавим уявляється існування так званої зони резонансного повернення (в англ. літературі використовується метафоричний термін “keyhole” — “замкова щілина”). Розмір такої зони менше 1 км. Якщо Апофіс пролетить саме в “замкову щілину” (імовірність події оцінюється приблизно в 2×10^{-5}), то в 2036 р. він гарантовано зіткнеться із Землею (рис. 2).

Очевидно, що насамперед необхідно вдосконалювати засоби й методи спостережень небезпечних тіл. У США вже діють кілька спеціалізованих служб і щороку фінансуються роботи з виявлення, каталогізації, визначення фізичних характеристик потенційно небезпечних об'єктів. Постійно вивчають способи запобігання або зменшення масштабів загрози таких зіткнень. Безперечно, значна частина інформації про дослідження цих проблем пов'язана з розвитком військових технологій, тому висвітлюється у відкритій пресі неповно. З міжнародних проектів з виявлення об'єктів, що зближаються із Землею, варто згадати

Таблиця 1. Частота й результати зіткнень малих тіл із Землею

Об'єкт	Розмір	Частота, разів у ... років	Розмір кратера, км	Результат зіткнення з Землею
Пилінка	$D < 0,1 \text{ см}$			Пилінка $D < 0,1 \text{ см}$ Згоряє в атмосфері або випадає на планету
Метеороїд	$0,1 \text{ см} < D < 0,5 \text{ м}$			Згоряє в атмосфері
	$0,5 \text{ м} < D < 20\text{-}30 \text{ м}$			Долітає до Землі з малою швидкістю
	$> 30 \text{ м}$	250	Немає $> 0,5$	Тунгуська подія Аризонський кратер
Астероїд (комета)	$> 100 \text{ м}$	5 тис.	> 2	Регіональна катастрофа
	$> 1 \text{ км}$	600 тис.	> 20	Глобальна катастрофа
	10 км	100 млн.	200	Загибель цивілізації

проекти Японії, країн Євросоюзу й Австралії.

Внесок російських обсерваторій, на жаль, поки невеликий. Це, в першу чергу, проведення досліджень фізичних властивостей астероїдів, що досить важливо для планування можливих методів запобігання зіткненню, а також спостереження за вже відкритими об'єктами й вивчення джерел їхнього поповнення. Регулярні спостереження астероїдів, що зближаються із Землею, наразі проводяться тільки в Пулковській обсерваторії на автоматизованому телескопі діаметром 32 см. У 2001–2007 рр. отримано понад 8 000 положень приблизно для 700 таких астероїдів і близько 2 000 положень комет. Середня точність спостережень становить $0,1''\text{--}0,4''$. У світовому рейтингу цей інструмент займає 18-е місце з 680 телескопів. Програми спостережень астероїдів, що зближаються із Землею, виконуються й в інших обсерваторіях Росії. Відзначимо роботу співробітників Казанського університету на телескопі РТТ-150, установле-

ному в Туреччині. Казанські колеги не тільки проводять позиційні виміри астероїдів, що зближаються із Землею, але й визначають маси обраних астероїдів динамічним методом. Епізодичні програми спостережень здійснюються в Інституті сонячно-земної фізики Сибірського відділення РАН й у Спеціальній астрофізичній обсерваторії РАН.

Що стосується тіл класу метеороїдів, то в останні 15 років співробітники Інституту астрономії РАН регулярно спостерігають (на інструментах Звенигородської обсерваторії, Симейської обсерваторії — відділення Кримської астрофізичної обсерваторії, Терскольської обсерваторії) обраних метеорних потоків з метою виявлення тіл розміром у кілька десятків метрів. Те, що такі тіла існують, було встановлено в 1995 р. Це відкриття внесло істотні зміни в наші уявлення про ступінь загрози зіткнень із малими тілами (докладніше див. [6]).

Радарні спостереження окремих об'єктів, що зближаються із Землею,

виконуються на радіотелескопах у Голдстоуні й Аресібо США. Щорічно спостерігають 10–15 об'єктів. Такі спостереження винятково важливі для уточнення орбіт об'єктів, моделювання їхньої форми, обертання й інших фізичних характеристик. У Росії й Україні проведено перший експеримент з радарних та інтерферометричних спостережень астероїдів.

Обробку всієї інформації, що надходить, про спостережені положення об'єктів, присвоєння їм попередніх позначень, ідентифікацію, визначення попередніх орбіт та їх наступне уточнення контролює Центр малих планет. Центр публікує також інформацію про об'єкти, які потребують додаткових спостережень для підтвердження їхнього відкриття, уточнення орбіт й інших характеристик. Прогнозування руху потенційно небезпечних об'єктів, пошук їхніх тісних зближень із Землею й одержання оцінки ймовірності зіткнень протягом найближчих десятиліть здійснюються наразі регулярно в Лабораторії реактивного руху

Таблиця 2. Найближчі проходження астероїдів у XXI ст* * <http://neo.jpl.nasa.gov/risk/>

Об'єкт	Роки	Кількість можливих зіткнень	Імовірність зіткнень (кумуля.)	V, км/с	H, м	Діаметр, км	Шкала Палермо (кумуля.)	Шкала Палермо (макс.)	Шкала Турин. (макс.)
2007 VK184	2048-2057	4	$3,4\text{e-}04$	15,63	22,0	0,130	-1,82	-1,83	1
99942 Арофис (2004 MN4)	2036-2069	3	$2,3\text{e-}05$	5,87	19,7	0,270	-2,41	-2,42	0
2004 XY130	2009-2107	87	$5,0\text{e-}07$	3,06	19,1	0,503	-2,73	-2,80	0
2008 WK96	2024-2031	2	$6,3\text{e-}05$	11,84	23,0	0,085	-2,75	-2,75	0
2008 AO112	2009-2099	46	$3,9\text{e-}07$	3,20	20,2	0,310	-2,88	-2,89	0
1994WR12	2054-2106	121	$9,1\text{e-}05$	9,84	22,4	0,110	-2,99	-3,92	0

США й у Пізанському університеті (Італія). У низці дослідницьких центрів Росії (Санкт-Петербурзькому державному університеті, Томському державному університеті, Інституті прикладної математики ім. М.В. Келдиша РАН та ін.) досліджуються особливості руху потенційно небезпечних небесних тіл. В Інституті прикладної астрономії РАН разом із Центром малих планет працюють над розвитком і підтримкою банку даних про малі тіла Сонячної системи.

Нині завдання виявлення потенційно небезпечних об'єктів перебуває на іншому, порівняно з 1998 р., рівні. У США підготовлена (але поки що не схвалена конгресом) програма "Космічна варта-2", де заплановано протягом 15 років виявити практично всі потенційно небезпечні об'єкти розміром більше 140 м. Для розв'язання цього завдання, очевидно, необхідне створення потужної міжнародної спостережної мережі, і Росія, звичайно, має зайняти в ній своє місце.

У світі вже побудовано досить багато великих астрономічних телескопів, але вони, на жаль, не придатні для розв'язання пошукових завдань. Оптимальні параметри наземних телескопів, призначених для виявлення об'єктів, що зближуються із Землею, розміром до 140 м, такі:

- поле зору не менше декількох (бажано десяти) квадратних градусів;
- здатність проникнення не гірше 22-ї зоряної величини при експозиціях не більше декількох десятків секунд, тобто необхідний діаметр апертури телескопа повинен бути не меншим 1-2 м;
- кількість ясних ночей з хорошою якістю зображення не менше 50 % на рік;
- потужне комп'ютерне устаткування й математичне забезпечення для одержання оперативної інформації про нові об'єкти протягом ночі й остаточної обробки її до початку наступної ночі;
- оперативний зв'язок з іншими обсерваторіями.

За рубежом незабаром стануть до ладу кілька спеціалізованих, тобто спроектованих, які працюють на тематику астероїдно-кометної небезпеки, інструментів. На Гаваях завершується будівництво телескопів серії Pan-STARRS. Це чотири телескопи з апертурою 1,8 м. Поле зору кожного телескопа — 3°, ПЗС-приймач має величезні розміри — 1,4 млрд. пікселів. За 60 секунд можна досягти 24 зоряної величини. У режимі оглядового пошуку телескопи здатні покрити всю доступну площу неба тричі протягом мі-

сяця. Перший телескоп цієї серії вже працює. Заплановано створення ще потужніших інструментів для робіт із проблеми астероїдно-кометної небезпеки. Назвемо проєкт 4,2-метрового телескопа ДКТ (the Discovery Channel Lovell Telescope) Обсерваторії (США). Його оптична система допускає перемикання від ультраширокого поля зору в первинному фокусі, використовуваного при оглядах неба, до довгофокусної системи, призначеної для астрофізичних досліджень. У первинному фокусі поле зору телескопа в 16 разів перевищує площу повного Місяця. Очікують, що телескоп запрацює в 2010 р.

Ще більший, 8-метровий телескоп класу LSST (The Large Synoptic Survey Telescope) призначений для виконання оглядів неба. Його унікальна оптична система здатна кожні 15 секунд оглядати ділянку неба, яка в 50 разів

перевершує за площею повний Місяць, з реєстрацією об'єктів до 24,5 зоряної величини. Цифрова камера телескопа буде мати 3x10⁹ пікселів, а повний обсяг інформації, одержуваний протягом однієї ночі, буде еквівалентним 7 000 DVD-дисків (ці диски ємністю 4,7 Гбайт відомі практично кожному, оскільки на них розповсюджують фільми, музику й т. ін.). Перед-

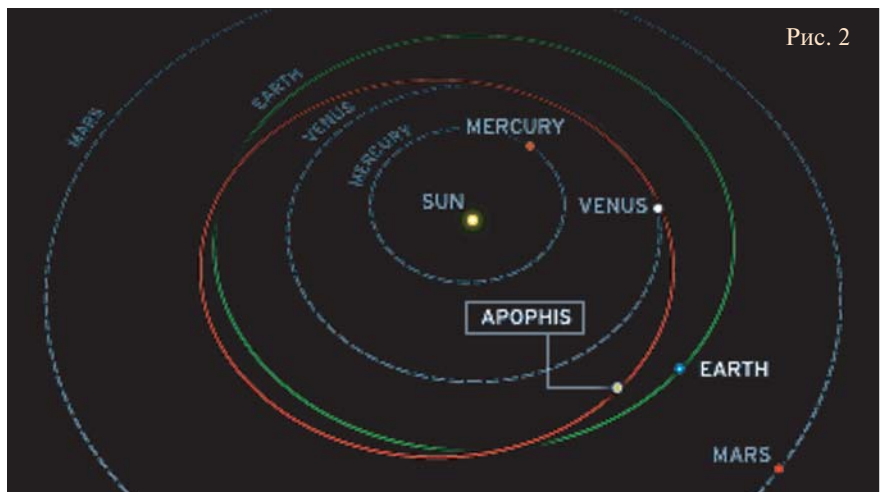
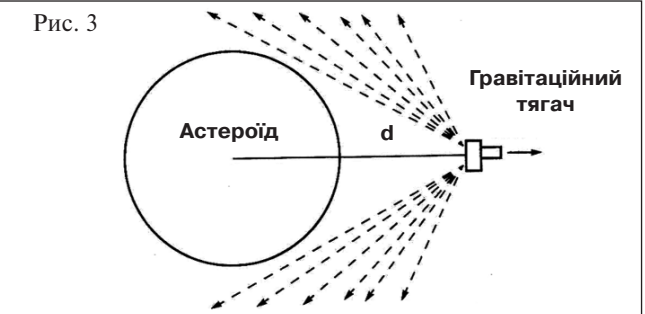


Рис. 1. Розподіл об'єктів, що зближуються із Землею (ОЗЗ), за розмірами оцінюваної середньої енергії зіткнень і частотою зіткнень. Виділена ділянка розмірів об'єктів, що зближуються із Землею, найнебезпечніших на шкалі часу, порівняній із часом існування homo sapiens. (В тілі рисунка — кількість ОЗЗ; абсолютна астероїдна зоряна величина; час між ударами, роки; діаметр, км; Енергія удару, Мт ТНТ; Найнебезпечні на шкалі 10⁵ років)

Рис. 2. Можливі місця падіння на земній поверхні астероїда Апофіс в 2036 р. Джерело: <http://www.msnbc.msn.com/id/12859900>

Рис. 3. Схема дії гравітаційного тягача (d — відстань від центра астероїда до тягача). В тілі рисунка — астероїд і гравітаційний тягач

бачено, що система запрацює в 2015 р. Телескоп заплановано встановити в Чилі. Дані, отримані на цьому телескопі, передбачають зробити загальнодоступними.

У майбутньому системи виявлення й моніторингу потенційно небезпечних об'єктів будуть установлювати й на космічних апаратах. Робота космічних телескопів не залежить від погоди, вони можуть проводити спостереження в зонах, недоступних тепер для наземних інструментів, тобто досить близько до Сонця. Це ділянки надзвичайно високого ризику несподіваної появи на віддаленій частині (зазвичай сильно витягнутій) орбіти невеликих, але досить небезпечних комет.

Визначення фізичних і хімічних характеристик об'єктів, що зближаються із Землею, також досить важливі. Необхідно знати властивості тіл, які можуть зіткнутися із Землею, щоб знайти найкращий спосіб запобігання зіткненню або зменшення збитків. Такі дослідження проводять наземними методами (спектрофотометрія астероїдів як в оптичному, так і в радіодіапазоні) і, звичайно, космічними.

За останнє десятиліття у світі успішно здійснено більше десяти космічних місій, призначених для вивчення малих тіл Сонячної системи. Дослідження астероїдів і комет *in situ* у Федеральній космічній програмі Росії на період 2006–2015 рр. поки не передбачені. Але є спеціальний проект вивчення малого тіла Фобос — супутника Марса. Одна із цілей проекту — доставка на Землю зразків ґрунту (0,1 кг) з Фобоса. Під час цієї місії вперше у вітчизняній практиці будуть відпрацьовувати методи навігації в слабких гравітаційних полях малих тіл і методи посадки на такі тіла.

Космічні апарати, спрямовані до об'єктів, які зближаються із Землею, і особливо до потенційно небезпечних, можуть виконувати заходи по запобіганню загрози зіткнення. Розробляють і створюють методи й засоби активної протидії падінню космічних тіл на Землю з того часу, як була усвідомлена реальність астероїдно-кометної

небезпеки, тобто вже понад 10 років. Вибір методу істотно залежить від розмірів небезпечного тіла й часу попередження (час, що залишається до зіткнення). Якщо час попередження великий (кілька десятків років), то за сучасними поданнями, *для відведення тіла з орбіти зіткнення найдоцільнішими є такі способи: ударно-кінетична дія виведеного в космос масивного тіла, яке і зіткнеться з астероїдом; гравітаційна дія (гравітаційний тягач); одержання імпульсу відведення за допомогою поверхневого або близького термоядерного вибуху; використання малої реактивної тяги, створеної, наприклад, електрорушійною установкою.*

З перерахованих методів, які цілком можуть бути реалізовані вже на сучасному рівні техніки, пояснення вимагає тільки метод гравітаційного відведення, котрий набирає популярності. На навколоастероїдну орбіту виводять космічний апарат (гравітаційний тягач), двигунами малої тяги якого створюється імпульс, що відводить астероїд з орбіти. Для цього струмені мають бути спрямовані таким чином, щоб вони не були націлені на тіло астероїда (рис. 3). Перевага використання гравітаційного тягача в тому, що немає необхідності точно вираховувати особливості форми (рельєфу) астероїда, на відміну від інших методів відведення об'єкта з орбіти.

Відповідно до рішення Ради РАН з питань космосу у НПО ім. С.А. Лавочкина разом з Інститутом астрономії й інших академічних інститутів *розробляють проект польоту до астероїда Апофіс*. Основна мета — вивчення астероїда й виведення на орбіту довкола нього радіомаяка, що дасть можливість використати для спостереження наземні радіотелескопи й на порядки підвищити точність визначення орбіти астероїда. Обговорюють і можливість застосування методу гравітаційного тягача. Якщо на відстані 0,25 км від центра Апофіса вмикати двигун малої тяги всього лише на кілька годин, то його орбіту можна змінити таким чином, щоб вона не пройшла через зону резонансного повернення. При мало-

му часі попередження й невеликій масі тіла можна домогтися дроблення його на частини, які не становлять загрози, наприклад, за допомогою інерційних механічних роздрібнювачів. У випадку великої маси тіла для його дроблення буде потрібно вже ядерний вибух. Використання зазначених методів вимагає серйозного попереднього пророблення. Над ним працюють у Всеросійському науково-дослідному інституті технічної фізики ім. академіка Є.І. Забабахіна. Можливі засоби доставки розглядають експерти Державного наукового центру ім. академіка В.П. Макеева. Слід зазначити, що поки що залишається великою невизначеністю результату впливу на досить великі загрозливий тіла.

Специфіка проблеми активної протидії астероїдно-кометній небезпеці полягає в тому, що її не може розв'язати одна країна або група країн. Ця міжнародна проблема, що зачіпає інтереси всіх країн, може бути розв'язана лише при наявності міжнародної угоди відносно дій, котрих треба вжити. *Особливо важливим питанням є застосування ядерних вибухів як інструмента протидії*. Сьогодні на виведення ядерної зброї в космос існує заборона, але в деяких ситуаціях без цього інструмента при сучасному рівні технологій обійтися не можна.

У лютому 2007 р. при Раді РАН з питань космосу була організована Експертна робоча група з проблеми астероїдно-кометної небезпеки [7]. До неї ввійшли представники РАН, Роскосмосу, МНС, Росатому, МО й інших зацікавлених відомств і організацій. Одним з основних завдань групи стала розробка проекту Федеральної цільової науково-технічної програми "Астероїдно-кометна безпека Росії". У проекті планується комплексний підхід до рішення проблеми астероїдно-кометної небезпеки, при якому як основні розглядаються фундаментальні і прикладні завдання, зокрема: створення російської системи (і участь у міжнародній системі) виявлення, каталогізації й моніторингу об'єктів, що зближаються із Землею; визначення фізичних (зокрема динамічних) і хімічних характеристик загрозованих тіл; вивчення можливих заходів для запобігання небезпеці зіткнення астероїдів із Землею й зменшення важкості наслідків; координація дій міжнародного співтовариства. Експертна робоча група підтримує створення глобальної міжнародної служби за спостереженням потенційно небезпечних об'єктів, що наближаються до Землі.

Література

1. *Микши А.М., Смирнов М.А.* Земні катастрофи, викликані падінням небесних тіл // Вісник РАН. — 1999. — № 4.
2. *Светцов В. В.* Тунгуська катастрофа 30 червня 1908 р. // Катастрофічні впливи космічних тіл / Ред. Адушкін В.В., Немчинов І.В. М: ИКЦ "Академкнига", 2005. — С. 167.
3. 2006 Near-Earth-Object Survey and Deflection Study // <http://www.b612foundation.org/papers/NASA-finalrpt.pdf>
4. *Huebner W. F., Johnson L. N., Boice D.C. et al.* A comprehensive Program For Countermeasures Against Potentially Hazardous Objects (Phos) // Астрон. вестник, 2009.
5. *Chesley S. R., Chodas P. W., Milani A. et al.* Quantifying the risk posed by potential Earth impacts // Icarus. — 2000. — V. 159. — P. 423.
6. *Барабанов С. И., Смирнов М. А.* Аналіз вмісту великих тіл у метеорних й болідних потоках // Астрон. вестник. — 2005. — № 3. — С. 263.
7. http://www.inasan.ru/rus/asteroid_hazard/