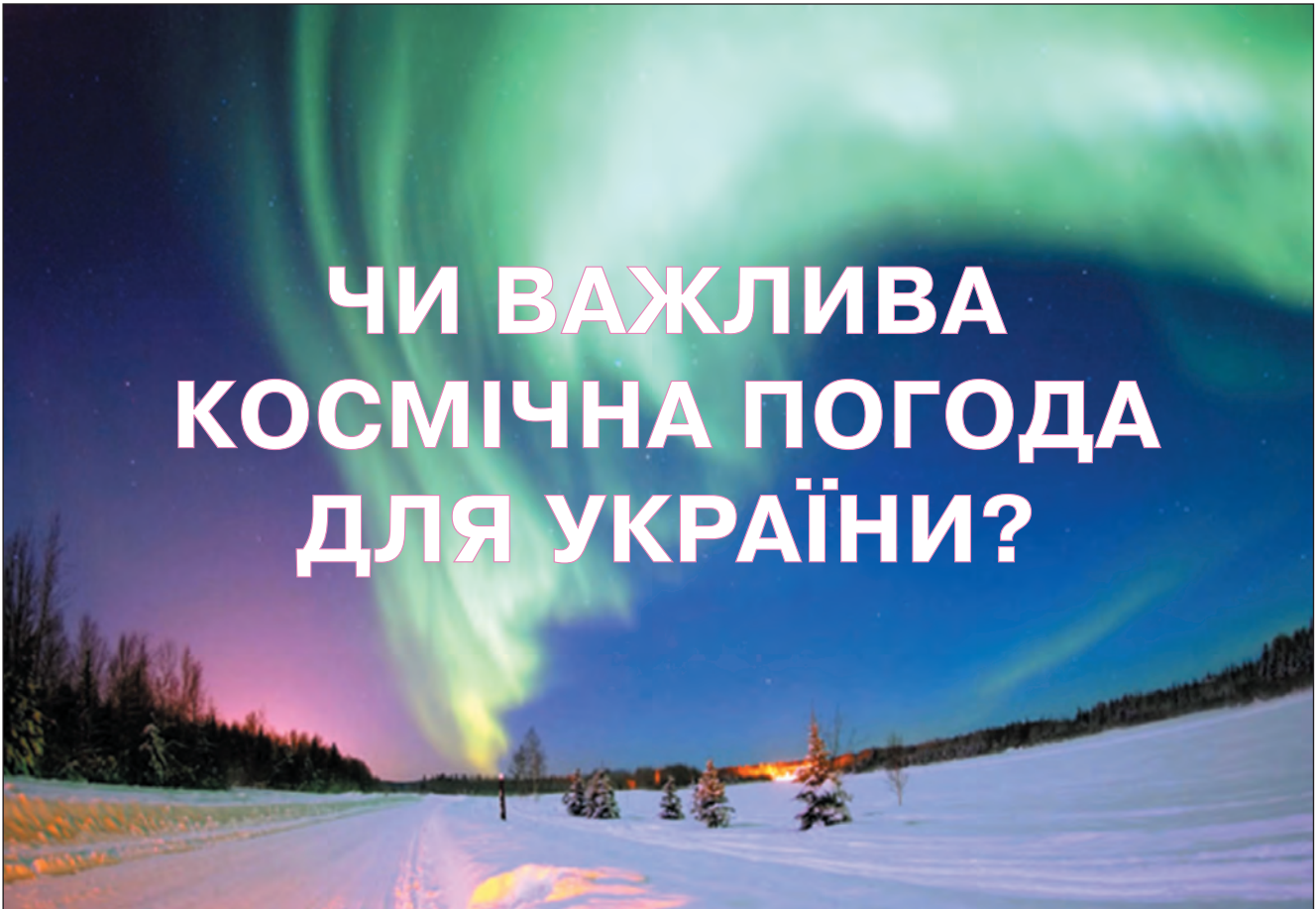


ЧИ ВАЖЛИВА КОСМІЧНА ПОГОДА ДЛЯ УКРАЇНИ?



У засобах масової інформації нерідко можна зустріти "прогнози магнітних бур" на наступний місяць і ледь не кожна бабуся знає, що під час магнітної бурі вона погано почувається. Ці "прогнози" не мають нічого спільного з дійсністю, адже *реальна геомагнітна буря триває від дванадцяти годин до декількох діб і передбачити їх наразі можна щонайбільше за три доби (якщо пощастить, то за десять діб) до початку*. Тим не менше, такі "прогнози" користуються сталим попитом, що вказує на значний суспільний інтерес до космічної погоди, одним із проявів якої є *геомагнітні бурі*.

Космічна погода, якщо не вдаватися до формальних означень, — це сукупність усіх космічних чинників, що впливають на життя та діяльність людини. З цих чинників лівова частка спричинена або принаймні контролюється сонячною активністю. Та, в свою чергу, впливає на Землю переважно через геомагнітне поле: або напряму шляхом його швидких змін, або опосередковано через потоки заряджених частинок, котрі, як відомо з курсу електрики та магнетизму, поширюються вздовж магнітних силових ліній. Ці канали є найбільш ефективними поблизу магнітних полюсів, та їхня інтенсивність різко спадає зі зменшенням геомагнітної широти.

Так склалося, що Україна розташована в зоні з досить низькою геомагнітною широтою. Тому всі прояви космічної погоди на території України є дуже слабкими. Якщо розглянути такий широко відомий прояв космічної погоди як полярне сяйво, то навіть

за сильних геомагнітних збурень, в Україні його можна помітити лише в ясну безмісячну ніч за містом, пильно вдивившись в небо та точно знаючи, як воно має виглядати. А виглядає воно досить невідразно і мало схоже на яскраві світлини з Канади чи Норвегії, яких повно ходить Інтернетом. Зображення ж "полярних сьйв" в українських містах, що час від часу публікують місцеві видання, робляться, як правило, за допомогою графічних редакторів — зробити такі світлини за рівня фонового освітлення, що є у місті, можливо лише під час екстремальних геомагнітних бурь, що трапляються приблизно раз на 20—25 років. На рис. 1 і 2 наведено світлини полярних сьйв над Харковим та Києвом, зроблені під час останньої екстремальної геомагнітної бурі 29 жовтня — 1 листопада 2003 року.

Це викликає цілком закономірне питання: **навіщо взагалі Україні перейматися космічною погодою, якщо переважна більшість її населення ніколи в житті не бачили полярних сьйв і, скоріше за все, ніколи їх не побачать? Яка з цього користь державі та пересічному громадянину?**

Щоб відповісти на ці запитання, розглянемо основні проблеми, що виникають через космічну погоду.

Вихід з ладу та відмови обладнання на борту космічних апаратів. Проблеми, пов'язані з космічними апаратами, не залежать від географічного розташування країни, а лише від наявності цих апаратів.

Україна час від часу їх запускає, то ж ця проблема для України існує. Наразі в світі основну увагу приділяють технічним методам захисту космічних апаратів. В Україні цим займається один із підрозділів ДКБ "Південне" у співпраці з інститутами НАН України.

Переривання короткохвильового радіозв'язку, що є основним для літаків. Ця проблема є актуальною для всіх авіакомпаній, в т. ч. українських, які здійснюють рейси в середніх та високих широтах. Ця проблема стане для України ще актуальнішою з підписанням Угоди про відкрите небо.

Паразитне навантаження на ЛЕП великої потужності. Паразитні навантаження на ЛЕП на широтах України є досить невеликими і не можуть призвести до масштабних наслідків. Тим не менше, вони призводять до додаткового нагріву сердечників трансформаторів, що прискорює вихід їх із ладу. За даними статистичних досліджень, кількість відмов в енергосистемі Іспанії, що розташована приблизно на тих же геомагнітних широтах, добре корелює з сонячною активністю. Тож додаткові дослідження з цього питання можуть зекономити чимало коштів на ремонт та заміну високовольтних трансформаторів.

Прискорення іржавіння трубопроводів викликане зміною електричного потенціалу ґрунту під час магнітної бурі. На великих магістральних трубопроводах ця проблема успішно вирішується суто технічним методом — встановленням катодного захисту. В залежності від середнього та максимального рівня геомагнітної активності обираються його параметри. Неправильний вибір параметрів призведе до прискореного виходу трубопроводу з ладу. Для України, яка має велику кількість трубопроводів на своїй території, цей ефект є безсумнівно важливим.

Похибка одночастотних GPS-приймачів, які встановлені в побутових навігаційних пристроях та у деяких професійних установках, що пов'язані з космічною погодою, на території України складає 20—30 м за спокійних умов, а під час сильних збурень збільшується до 100 метрів. Те ж саме стосується і приймачів системи ГЛОНАСС. Для підвищення цієї точності потрібні оперативні прогнози космічної погоди та вдосконалені алгоритми корекції.

Вплив космічної погоди на здоров'я людей переважно трактується як радіаційна загроза пасажиром та членам екіпажу висотних авіарейсів, а також астронавтам. Дози, які отримують люди під час висотного авіарейсу, не є загрозовими для життя, але потребують моніторингу. Для зменшення ризику опромінення потрібні прогнози космічної погоди і чіткі інструкції щодо дій в разі небезпеки опромінення. Наскільки відомо автору, наразі жодна з українських авіакомпаній таких інструкцій не має. Зазвичай, достатньо знизити висоту польоту всього лише на півкілометра, щоб удвічі знизити потужність дози. Зокрема, дози, які отримують астронавти на Міжнародній космічній станції, є значно більшими та можуть мати серйозні наслідки для здоров'я. Проте, в Україні пілотована космонавтика не розвинена. Що ж стосується широко обговорюваного впливу косміч-

ної погоди на здоров'я людей на поверхні Землі, це питання є дуже суперечливим. Сучасні дані вказують на те, що такий вплив скоріше за все існує, але його механізм залишається незрозумілим.

Вплив на врожайність. Незрозумілим досі є механізм впливу сонячної активності на врожайність основних сільськогосподарських культур, хоча висока кореляція врожайності з сонячною активністю прослідковується від середньовіччя. Цей ефект є глобальним і стосується усього світу, тож є досить актуальним для України, яка має значну частку сільського господарства в національній економіці.

Вплив на клімат. Сонячна активність є одним із чотирьох факторів, що визначають середньорічну температуру на Землі. Інші три — це вулканізм, зміни океанічних течій, насамперед Ель Нін'яо в південній частині Тихого океану, та викиди парникових газів та аерозолів. Цей ефект безпосередньо пов'язаний із попереднім.

Окрім цього, моніторинг космічної погоди має і суто **оборонне застосування**, даючи змогу завчасно виявляти пуски балістичних ракет на великій відстані. Цей ефект, відкритий харківськими науковцями в 1970-х роках, використовувався в радянській системі попередження про ракетний напад.

Таким чином, незважаючи на своє низькоширотне розташування, Україна має об'єктивну потребу в дослідженнях і розробках в галузі космічної погоди. Окрім традиційних досліджень Сонця та іоносфери, розвинених ще за радянських часів, нині українські науковці займаються майже повним спектром досліджень з космічної погоди. Хоча ці дослідження мають переважно фундаментальний характер, а прикладні виконуються більшою мірою на замовлення інших країн, деякі з їхніх результатів можуть безпосередньо використовуватися в Україні.

Одним із прикладів таких досліджень є сервіс оперативного прогнозування геомагнітних індексів, що є хорошими індикаторами загального стану космічної погоди, та використовуються як вхідні параметри в багатьох моделях космічного середовища. Він був розроблений колективом Інституту космічних досліджень в рамках проекту AFFECTS (<http://www.affects-fp7.eu/>) Сьоомої рамкової програми з науково-технологічного розвитку Європейського Союзу. Цей сервіс здатний прогнозувати геомагнітний індекс Dst з випередженням від однієї до чотирьох годин наперед та геомагнітний індекс K_p на три години наперед, у часі, близькому до реального, тобто в межах 5 хв. по надходженні даних.

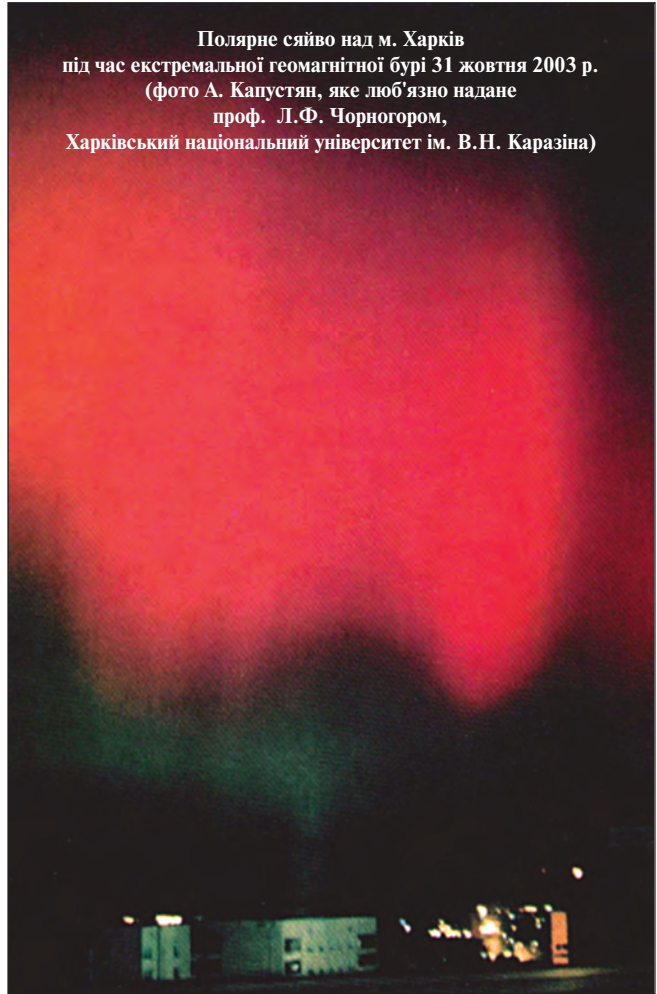
Результати прогнозу доступні в складі системи STAFF (<http://www.staff.oma.be/>), розробленої та підтримуваної Королівською бельгійською обсерваторією, та через мобільний додаток AFFECTS (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.afects.forecasts>), розроблений для платформи Android. Цей прогноз також використовується як вхід для моделі прогнозування повного електронного вмісту іоносфери над Європою

(<http://swaciwebdevelop.dlr.de/gnss-based-tec/tec-europe/>), що розроблена Німецьким аерокосмічним центром в рамках того ж проекту.

Основним джерелом інформації для таких прогнозів є американський КА "Advanced Composition Explorer" (ACE). Він летить по такій орбіті, що постійно знаходиться на відстані півтора мільйони кілометрів від Землі в бік Сонця, — це приблизно сота частина відстані до Сонця. Завдяки цьому, будь-які збурення, що рухаються від Сонця до Землі, спершу проходять поруч із ним і він передає на Землю їхні параметри майже в реальному часі — до того, як вони дістануться Землі. Час, на який дані ACE випереджають поширення збурень, залежить від швидкості цих збурень і за спокійних умов становить близько 40 хвилин. Під час сильних збурень цей час випередження скорочується майже вдвічі. Як же вдалося збільшити час прогнозу? Справа в тому, що ці збурення зазвичай мають певну більш-менш стабільну структуру, хоча двох однакових і не знайти. Завдяки цьому можна ідентифікувати тип структури, коли вона тільки починає проходити повз космічний апарат ACE, та спрогнозувати, у який спосіб подія розвиватиметься далі.

Однак, космічний апарат ACE був запущений ще в 1997 році й уже давно відпрацював свій плановий ресурс. Інші космічні апарати, що знаходяться на цій орбіті, ще старіші. Через це на заміну цього апарату вже 2015 року планується вивести новий апарат "Deep Space Climate Observatory" (DSCOVR) знову ж таки американського виробництва (рис. 3).

Полярне сяйво над м. Харків
під час екстремальної геомагнітної бурі 31 жовтня 2003 р.
(фото А. Капустян, яке люб'язно надане
проф. Л.Ф. Черногором,
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна)



Полярне сяйво над м. Київ
під час екстремальної геомагнітної бурі 30 жовтня 2003 р.
Фото О. Євтушевського, отримане на спостережній станції
в с. Лісники (Київська обл.)
Київського національного університету імені Тараса Шевченка





Рис. 3. КА "Deep Space Climate Observatory" НАСА

Запуск цього апарату повинен був відбутися ще 1998 року для спостереження за глобальною температурою Землі за ініціативою *Альберта Гора*, тодішнього віце-президента США. Після його програшу на виборах така місія була визнана недоречною й апарат передано на зберігання. Десять років потому, цей КА вирішили переробити для прогнозування космічної погоди. Всі його системи були ретельно перевірені, і хоча 15-річний вік його службових систем, зокрема електронних компонентів, викликав певні побоювання, — будемо чекати успіху цієї місії.

Серед альтернативних проектів слід відзначити КА "SunJammer", що буде оснащений сонячним вітрилом, яке дозволить йому знаходитися приблизно на лінії Сонце—Земля вдвічі далі за ACE та DSCOVR. Розроблений сервіс передбачає можливість використання даних будь-яких КА на лінії Сонце—Земля, що здатні вимірювати магнітне поле, а також густину та швидкість потоку частинок, причому ці дані не обов'язково мають надходити з одного космічного апарату.

Інша цікава потенційна заміна ACE — КА "International Sun-Earth Explorer-3" (ISEE-3), також відомий як "International Cometary Explorer" (ICE), що був запущений у далекому 1978 р. та дезактивований у 1997 р. Це був історично перший КА, призначений для моніторингу сонячно-земних зв'язків, який потім був відправлений на перехоплення двох комет, — Джакобіні-Циннера та Галєя. Для цього йому довелося провести складну послідовність гравітаційних маневрів, п'ять разів пролетівши повз Місяць, в тому числі один раз — на висоті всього 120 км від поверхні. Після перехоплення комет він облетів навколо Сонця та 2008 р. був зафіксований радаром. Після встановлення зв'язку виявилось, що цей ветеран космосу досі працює і знаходиться в неочікувано хорошому технічному стані. Незважаючи на свій поважний вік, цей КА має набагато кращий склад приладів, ніж той самий ACE, тому відразу постало питання щодо повернення його на робочу орбіту. Через брак фінансування NASA відмовилася від цього проекту, і поверненням ISEE-3 до життя зайнялася група волон-

терів. Наразі їм вдалося відновити систему зв'язку з космічним апаратом та, на жаль, не вдалося розігнати його до потрібної швидкості через відмову рушійної установки (скоріше за все, через повільне витікання палива). Більш докладно про цей безпрецедентний в історії космонавтики проект можна дізнатися на сайті <http://spacecollege.org/isee3/>.

Поки що Україна не має технічних та фінансових можливостей ані створювати власні космічні апарати для моніторингу космічної погоди, ані розвивати наземну інфраструктуру.

Проте, накопичений досвід та доробок у розробленні систем прогнозування космічної погоди може використовуватися в найбільш вразливих від космічної погоди галузях національної економіки, таких як енергетика та авіація. Цього цілком реально досягти без значних фінансових витрат, забезпечивши взаємодію між різними бюджетними відомствами та приватними компаніями з цього питання. Але перш ніж це вдасться зробити, потрібно щоб ці відомства та компанії усвідомили ризики, які становить космічна погода для України. ■

Олексій Парновський

канд. фіз.-мат. наук, зав. лаб. астрофізики
Інституту космічних досліджень
НАН України та ДКА України,
м. Київ

(Від ред. — Перші задокументовані описи полярного саява в широтах України містяться в "Повісті минулих літ" (поч. XII ст.): "*Побачили вони три стовпи точно світяться дуги, і, постоявши, пересунулися ці дуги на верх церкви, де був покладений потім Феодосій... Унапевно, цей же час, коли їхали, бачили вони зорю велику над печерою, побачили свічок безліч над печерою, і підійшли до печери і не побачили нічого*". І далі, — літопис оповідає, що під час битви руських князів з половцями 27 березня 1111 р. на річці Сальниці поблизу Ізюма спостерігалось величне полярне саяво ("*бысть столп светел, огнен вельми от земли до небеси*"). Його спалахи половці сприйняли за вершників, які носилися у повітрі й допомагали русичам. Коли запитали полоненого ("*колодника*"), яким чином "*многое множество*" половців не змогло встояти проти малочисельної руської рати й швидко повтікали, той відповідав: "*Как можно битися с вами? А дружки [інші] ездяху верху вас в оружии светли и страшны, иже помогаху вам*". Інші літописи теж містять повідомлення про полярне саяво на Харківщині: "*Знамение бысть на небеси месяца января 29 по 3 дни, аки пожарная заря от востока и юга и запада, и севера, и бысть тако всю ночь светло, аки от луны светящаяся*" (1101 р.); "*В сие лето видеши на небе свет, аки бы небо отверзто*" (1277 р.); "... *аки столпы бяху по небу и небо чрвьино беаше, аки кроваво, от того же и снег по земли видяшеся, аки кровию полит*" (1370 р.); "*Февраля 4 против 5 в ночь 1 часа великие знамена на небеси были от восходу до заходу кровоогненная дорога, а от полуночи светлость великая и тое тривало до полунощи*" (1730 р.).