



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

पतली और आधी-पघिली पहली crust: एक मॉडल जिसमें Hadean पृथ्वी को आंतरिक ऊष्मा से अधिक impacts ने चलाया

पृथ्वी के पहले eon, Hadean, का चट्टानी अभिलेख लगभग नहीं बचा। यह modelling study पूछता है कि impacts को अनदेखाने क्या जाए तो उस समय की crust कैसी रही होगी। समय के साथ घटते stochastic impact flux और crust-mantle heat flow के benchmarked simulations में लेखक पाते हैं कि Hadean के अधिकांश समय impacts से आई ऊष्मा पृथ्वी की पूरी आंतरिक ऊष्मा से कम-से-कम एक order of magnitude अधिक रही होगी। इससे ~5 km से कम मोटी crust बनी रहती जो सतह से कुछ किलोमीटर नीचे आंशिक रूप से पघिली होती—लेखकों के अनुसार plate tectonics के लिए बहुत कम जोर—और बार-बार mantle में recycle होती जिससे Hadean material का अभ्रम समझा जा सकता है। ~3.9 Ga (लगभग 3.9 billion years ago) के बाद impacts कम होने पर स्थायी continental crust बन सकती थी, ठीक उस समय जब सबसे पुराने बचे felsic rocks दिखाई देते हैं। क्योंकि मॉडल ने जमबूझकर conservative lower-bound heating इस्तेमाल की qualitative परिणाम exact numbers से अधिक मजबूत है। यह प्रारंभिक पृथ्वी का सुसंगत भौतिक मॉडल है, उसका प्रत्यक्ष अवलोकन नहीं।

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Impact heating and the hidden Hadean*, Tim E. Johnson, Craig O'Neill, Simon Turner, Christopher L. Kirkland, Science (2026), 392:1408-1412 · DOI: 10.1126/science.aeb5402

पृथ्वीकीकहमीकावह अध्ययन जिसके लगभग सारे पन्ने मटि चुके हैं

पृथ्वीएकमत्त ऐसाज्जत ग्रह है जिस पर महह्वीम हैं — हल्की सलिकिसमृद्ध भू-परपटी जिस पर हम रहते हैं। लेकिन महह्वीम पहलीबार कैसे बने, यह भूवर्ज्जत कीसबसे पुरमीअनसुलझीसमस्यओं में से एक है। वजह कठोर है: उसकालगभग पूरासम्पूर्ण मटि चुकाहै।

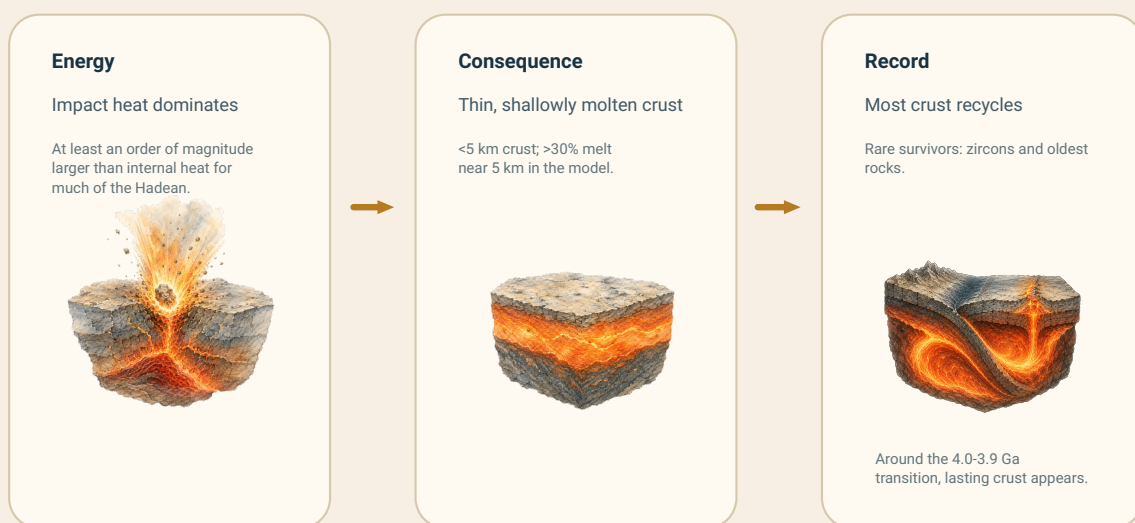
पृथ्वीकापहलाभूवैज्जतक कल्प, Hadean, ग्रह के जन्म से लगभग 4.03 अरब वर्ष पहले (Ga) तक फैलाथा। उस शुरुआतीलगभग आधे अरब वर्ष से बहुत कम समग्रीबचीहै। सबसे पुरमीअक्षुण्ण फेल्सिक — यमीमहह्वीम प्रकार की— चट्टानें लगभग 4.03 Ga पुरमीहैं। कुछ दुर्लभ बेसाल्टिक चट्टानें ~4.2 Ga तक जसीहैं। किसीभीप्रकार कीसबसे पुरमीज्जत समग्रीजरिकत क्रस्टिलोके बखिरे हुए दमे हैं — विशेष रूप से पश्चिमीऑस्ट्रेलियाके Jack Hills से — जिनकीआयु 4.4 Ga तक है। पृथ्वीके आरंभिक इतिहास कालगभग पूराअभिलेख बस इतनाहीहै: कुछ गनि-चुने स्थल और रेत के कण जतिने छोटे खनजि।

यह अध्ययन उस अभिलेख में कोई नई चट्टान नहींजोड़ता। इसके बजाय यह उस समय कीभैतिक परिस्थितियोंके आधार पर Hadean परपटीकामॉडल बनताहै और एक ऐसासवाल पूछताहै जिससे शुरुआतीपृथ्वीके कई मॉडल छोड़ देते हैं: जब हम यह मननाबंद कर दें किउस समय लगभग हमें वालीटक्करोकोनजरअंदाज कियाजासकताहै, तोतस्वीर कैसीबदलतीहै?

लेखकोकानिष्कर्ष चैकमे वलाहै। मॉडल के अनुसार Hadean के अधिकांश हिस्से में उल्कापिंडीऔर अन्य पिंडीकीटक्करो से आई गर्मीपृथ्वीकीअपनीआंतरिक ऊष्मासे कहींअधिक रहीहोगी। इससे परपटीपतलीऔर आंशिक रूप से पघिली रहती— इतनीकमजोर कि, लेखकोके अनुसार, आधुनिक प्लेट टेक्टॉनिक्स जैसीव्यवस्थासंभव नहींहोती। यह प्रत्यक्ष भूवैज्जतक स्मृति नहीं एक मॉडल है। लेकिन यह ऐसामॉडल है जोउस हिस्सिक युग कीएक प्रमुख भैतिक प्रक्रियाको सचमुच शामिल करताहै।

A model of the Hadean, not a memory of it

The logic is thermal: impacts heat, crust melts, the archive erases itself.



मॉडल में टक्करोसे पैदाहुई गर्मीऊर्जाबजट पर हवीरहतीहै, पतलीऔर उथलीगहरई तक पघिलीपरपटीलगभग पुनर्चक्रति होती

है, और टक्करो महत्वपूर्ण परपटीलगभग 4.0–3.9 Ga के संक्रमण के आसपास हीदखिई देतीहै। यह Hadean कामडेल है, उसका प्रत्यक्ष अभिलेख नहीं।

The Clean Paper CC BY 4.0

लेखकोने क्याकिया

टीम ने तीन ऐसीचीजें एक साथ जोड़ीजनिहें आम तौर पर अलग-अलग देखाजताहै।

पहलीथीटक्करोकीदर काएक यहूच्छकि मडल — Hadean और शुरुआतीArchean में आंतरिक सौर मंडल पर गरिने वाले क्षुद्रग्रहोंऔर बड़े पडोकीवैछार। महत्वपूर्ण बात यह है कि यह पुराने “Late Heavy Bombardment” वाले एकल तीव्र चरण कामडेल नहींहै। इसमें टक्करोकीदर शुरुआत में बहुत अधिक है और समय के साथ घटतीजतीहै, जबकि बड़ी टक्करें तब समय पर नहींबल्कि यहूच्छकि रूप से होतीहैं। मडल कोचंद्रमाऔर आंतरिक सौर मंडल के प्रभु-आंकड़ोंसे पुनर्ममति कियागयाऔर ऐसाचुनागयाकि वह जरिकस कीआयु-वितरण तथाउपलब्ध पुरांबकीय सक्षय के अनुरूप रहे।

दूसरीथीभू-गतिकीय समिलेशन, जनिसे देखागयाकि गर्मीपरपटीऔर ऊपरीमेंटल से होकर कैसे चलतीहै। लेखकोने मसक परिक्षणोंसे जाँहाआ lattice-Boltzmann कोड Planet_LB इस्तेमाल किया। इसमें सरल 1D तप्तमन-बनस-गहरई गणनाएँ भीथीऔर 4.1 Ga पर मेंटल संवहन के पूर्ण 2D स्नैपशॉट भी। मडल समस्त आंतरिक ऊष्मास्रोतों— रेडियोधर्मीक्षय और कोरे से आने वालीगर्मी— के साथ एक महत्वपूर्ण प्रक्रिया मैग्मई ऊष्मापरविहन, कोभीशमल करताहै: ऊपर उठते पघिले पदार्थ द्वारागर्मीकाऊपर ले जमा। परपटीके कई तप्य मडल इसे छोड़ देते हैं।

तीसरीथीशुरुआतीपरपटीके एक यथार्थवहीनमूने कीचरण-संतुलन मडलग — Nuvvuagittuq greenstone belt काजलयुक्त Hadean मेटबेसाल्ट — तर्क यह पतालगायाजासके कि ऐसीचट्टन किस तप्तमन और गहरई पर पघिलनाशुरू करतीहै।

पूरे शोधपत्र कोसमझने के लिए एक पद्धतगित चुनस खास तौर पर महत्वपूर्ण है: लेखकोने जमबूझकर ऐसीधारणाएँ चुनी जोउनके अपने नषिर्ष के वरिद्ध जतीहैं। उन्होंने एक “nonchondritic” मेंटल मसा जिसमें chondritic संदर्भ कीतुलना में ऊष्मापैदाकरने वाले रेडियोधर्मीतत्व कम हैं और जिसकीआंतरिक ऊष्मामसक मडल कीआधीसे भीकम है। उन्होंने समक्ष ऊष्मन दरें इस्तेमाल कीऔर उस समय पृथ्वीके अधिक नकिट मौजूद युवाचंद्रमासे आने वालीज्वरिय ऊष्माको भीशमल नहींकिया। इसलिए उनकीगणनाकीगई परपटीतप्तमन न्यूनतम अनुमान हैं — नचिलीसीमाएँ। यदि कुछ है, तो वास्तविक Hadean उनके मडल से अधिक गर्म रहाहोगा।

उन्हें क्यामला

Hadean के ऊर्जाबजट पर आंतरिक ऊष्मानही टक्करोकीगर्मीहथीथी। समय के साथ टक्करोसे आई कुल गर्मीकोजोड़ने पर वह पृथ्वीकीआंतरिक ऊष्मासे बहुत बड़ीनकिलतीहै — Hadean के अधिकांश हिस्से में कम से कम एक परमाणु-क्रम अधिक। इस तस्वीर में शुरुआतीटक्करोंके गतिविधि कामुख्य ऊष्मिय चलक रेडियोधर्मीक्षय नहींबल्कि टक्करें हैं, और उनकायोगदस लगभग 3.9 Ga के बह हीगण होताहै।

इस गर्मीने परपटीकोपतलारखाऔर बहुत उथलीगहरई पर हीपघिलादिया। टक्करोऔर पघिले पदार्थ द्वाराऊष्माके ऊपर परविहन कोहटने पर मडल में Hadean परपटीलगभग 10–15 km से नीचे हीआंशिक रूप से पघिलतीहै। टक्करोकी गर्मीजोड़ने पर पघिलस काक्षेत्र बहुत ऊपर आ जाताहै: परपटीसतह से केवल कुछ किलोमीटर नीचे, लगभग 2–5 km पर, आंशिक रूप से पघिलने लगतीहै। लगभग 5 km कीगहरई पर मडल 30% से अधिक पघिलस काअनुमान लगते हैं — ऐसीअवस्थामें चट्टन इतनीकमजोर होतीहै कि कठोर प्लेट कीतरह बनीनहीरह सकती। 5–10 km पर ~1000–1100°C

तापमान का अर्थ है कि पर्पटी उसकी संरचना लगभग जो भी हो व्यक्त रूप से पघिली होगी। बची हुई ठोस पर्पटी बहुत पतली लगभग 5 km से कम होती।

आधा पघिली पर्पटी अपना ही अभिलेख मटा देती है। व्यक्त पघिलन के दौरान घने, लौह- और मैग्नीशियम-समृद्ध पदार्थ नीचे धँस और अलग हो सकते हैं, जबकि हल्के, सलिकिसमृद्ध पघिले पदार्थ ऊपर उठते हैं। समय के साथ इससे औसत पर्पटी अधिक विकसित और सलिकिसमृद्ध बनती है — और ऐसा फेल्सिक पघिलन पैदा होता है जिसमें जरिकॉ क्रिस्टल बन सकते हैं। इस पतली पर्पटी का लगभग पूरा हिस्सा अंततः संवहनीय मेटल में वापस पुनर्चक्रित हो जाता जो उपलब्ध रासायनिक और समस्थानिक अभिलेख के अनुरूप है। इस मॉडल में Hadean चट्टानों का लगभग पूर्ण अभिलेख की केवल कमी नहीं बल्कि एक पूर्वमुद्रा है। 4.2 Ga की चट्टानों और 4.4 Ga के जरिकॉ ऐसी पर्पटी के दुर्लभ बचे हुए अंश होंगे जो बनते ही लगभग उतनी तेजी से नष्ट होती रहेंगी।

बमबारी का कम होना पहले टकिऊ महद्वीपीयों के समय से मेल खाता है। 4.0–3.9 Ga के संक्रमण के दौरान टक्करो की दर घटने लगी तो पर्पटी पहली बार मेट्रीफ़ेर लंबे समय तक टकि सकी। सबसे पुरानी बची हुई महद्वीपीय चट्टानों में भी लगभग इसी संक्रमण के आसपास दखिई देती हैं। लेखक सप्रधर्मी से कहते हैं कि उसी समय टकिऊ महद्वीपीय पर्पटी का उभरना “संभवतः संयोग नहीं है।”

उनका मुख्य निष्कर्ष यह है: ऐसी परिस्थितियों में — पतली पर्पटी जो कुछ कलिमिटर नीचे ही पघिली हुई है — Hadean में प्लेट टेक्टॉनिक्स का होना असंभव लगता है।

वे यह भी दखिते हैं कि पहले के अध्ययनों में उल्टा निष्कर्ष क्यों निकला था। यह चूँकि टक्करो पर पुराने कम में प्रभाव बहुत छोटो प्रमाण था और किसी भी समय पर्पटी का 2.5% से कम हिस्सा पघिला हुआ था। उन अध्ययनों में दो प्रकारियाँ शामिल नहीं थीं जिन्हें यह कम जोड़ता है: बड़ी टक्करो से गहरे मेटल में हमें वापस पघिलन का वैश्विक असर, और ऊपर उठते मैग्मा द्वारा उस गर्मी का ऊपर पहुँचना। दोनों को शामिल करने पर तर्क तस्वीर बहुत बदल जाती है।

मॉडल स्मृति नहीं होता

ऊपर की पूरी तस्वीर समिलेशन से आती है, Hadean चट्टानों से लिए गए प्रत्यक्ष माप से नहीं — क्योंकि ऐसी चट्टानें लगभग पूरी तरह गायब हैं। इससे परिणाम अपने-आप कमजोर नहीं हो जाता लेकिन यह स्पष्ट करता है कि यह किस प्रकार का परिणाम है।

शृंखला इस प्रकार है: टक्करो की दर का एक मॉडल मेटल और पर्पटी के ऊष्माप्रवाह के मॉडल को इनपुट देता है, और उसे यह बताते वापस मॉडल से जाँचा जाता है कि एक खस चट्टान कैसे पघिलती है। हर कड़ी भौतिक तर्क पर आधारित है और जहाँ संभव है, मापक परीक्षणों से जाँची गई है। लेकिन पूरा तर्क इस बारे में है कि विश्वसनीय भौतिकी मानने पर Hadean कैसा रहा होगा — यह उस समय का प्रत्यक्ष मापन नहीं है।

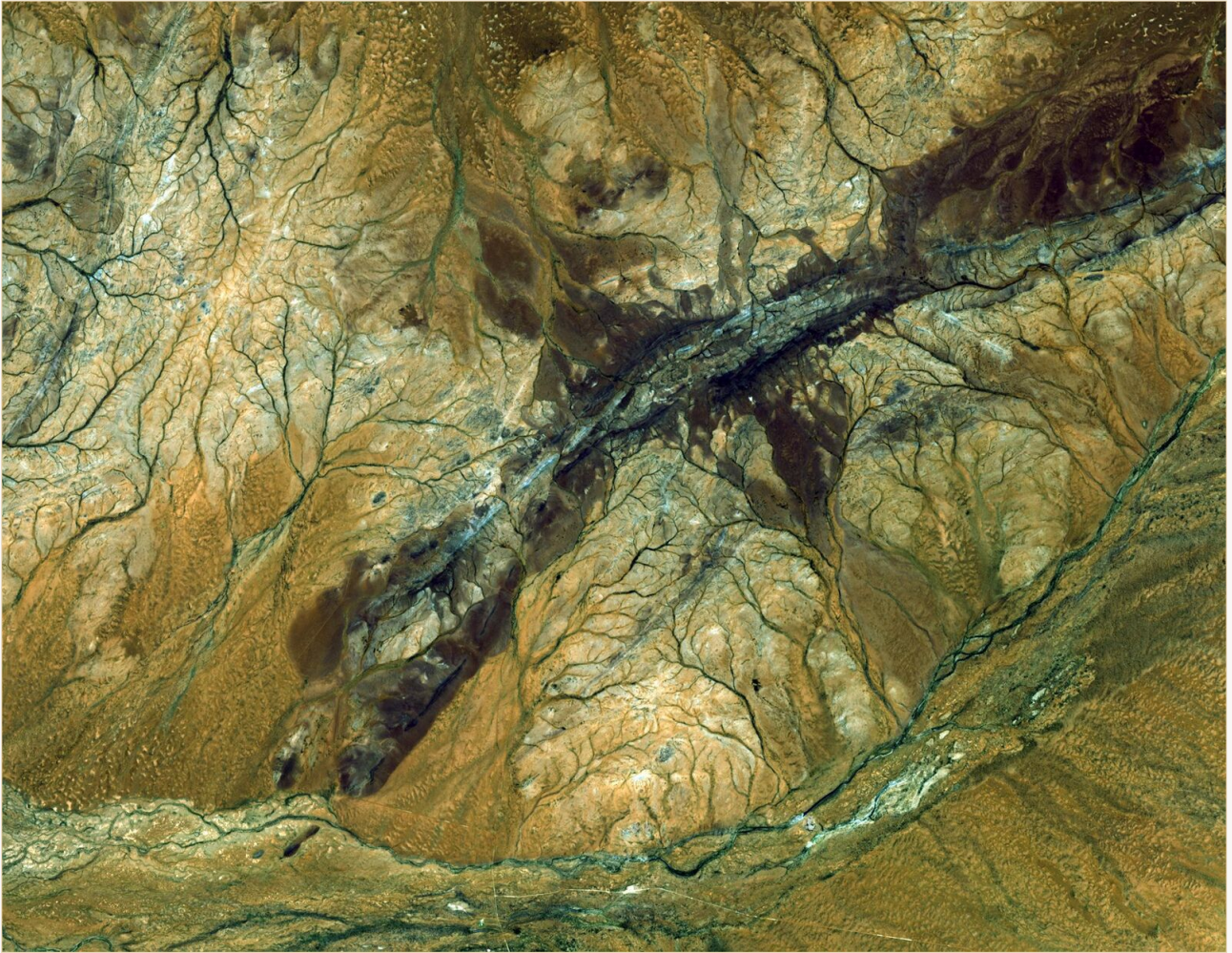
इसलिए लेखकों की सप्रधर्मा धारणाएँ इतनी महत्वपूर्ण हैं। नचिली सीमावाला ऊष्मन चुनने के बग़जुद उन्हें उथली गहराई तक व्यक्त पघिलन मलित है, इसलिए गुणवत्ता निष्कर्ष — Hadean की पर्पटी गर्म और कमजोर थी — इन चुननों के प्रतीक की मजबूत है। जो चीज़ तय नहीं होती वह सटीक संख्या है: वास्तविक भू-तर्पण प्रोफ़ाइल, पघिलन का ठीक-ठीक अंश और पर्पटी की सटीक मोटाई। परिणाम की दिशा को मजबूत ममें; दशमलव स्तर की सटीकता को अभी अस्थायी।

यह क्या सञ्चति नहीं करता

- यह Hadean परपटीकाप्रत्यक्ष अवलोकन नहीं है। उस युग की लगभग कोई चट्टान बची नहीं है; यह भैतिकी से निकलने वाला मॉडल-आधारित नष्टिर्ष है, मग्न नहीं।
- यह किसी “Late Heavy Bombardment” पर नरिभर नहीं है। इस्तेमल की गई टक्कर-दर समय के सग्न घटती और यह च्छकि है; मॉडल को अचमक आने वाले एकल बमबारीचरण की आवश्यकता नहीं है।
- यह प्लेट टेक्टॉनिक्स पर बहस को समप्त नहीं करता। यहाँ “असंभव्य” एक मजबूत, भैतिकी-आधारित नष्टिर्ष है जो गर्म, stagnant-lid या squishy-lid जैसी शुरुआती पृथ्वी के पक्ष में जाता है; लेकिन Hadean की वास्तविक टेक्टॉनिक अवस्था अब भी विवदित है।
- यह सञ्चति नहीं करता कि 4.0–3.9 Ga के आसपास महद्वीपों के उभरने का कारण टक्करें ही थीं। समय कामेल मजबूत है और लेखक स्वयं इसे “संभवतः संयोग नहीं” कहते हैं, लेकिन यह कारण-कार्य संबंध का प्रदर्शन नहीं है।
- Jack Hills के जरिकों बचे हुए महद्वीप नहीं हैं। वे दुर्लभ खनजि-दमे हैं जो बताते हैं कि फेल्सिक पदार्थ और पत्नी बहुत जल्दी मौजूद थे; मॉडल का तर्क यही है कि उन्हें बनने वाली परपटीका अधिक हिस्सा बह में पुनर्चक्रित होगया।
- यह शुरुआती पृथ्वी का पूरा इतिहास पुनर्नरिमत नहीं करता। समिलेशन आदर्शकृत हैं — 1D प्रोफ़ाइल और 2D भूमध्यरेखीय खंड, भूमध्यरेखा के पास सीमा टक्करें और समय के स्नैपशॉट — यह ग्रह का पूर्ण चर-आयनी मॉडल नहीं है।

सक्ष्य कतिनामजबूत है?

मुख्य दमे के लिए — कि टक्कर-जनित ऊष्मा Hadean परपटीको नियंत्रित करने वाला प्रमुख कारक थी और उसने उसे पतला तथा उथली गहराई तक पघिला रखा — तर्क सुसंगत है और एक महत्वपूर्ण अर्थ में सन्नध भी। अध्ययन मक्त परिक्षणों से जाँचा गया भू-गतिकीय कोड, भैतिकी रूप से उचित इनपुट और नचिली सीमावली धारणाएँ इस्तेमल करता है, और एक ऐसे ऊष्मास्रोत को शामिल करता है जिसे पछिले कई मॉडल लगभग छोड़ देते थे। इसकी विश्वसनीयता इस बात से भी बढ़ती है कि यह दो ठोस तथ्यों को एक सग्न समझता है: ~4 Ga से प्रतीत लगभग कोई चट्टान क्यों नहीं बची — लगभग पूर्ण पुनर्चक्रण — और टक्कर परपटी ठीक उसी समय के आसपास क्यों दिखाई देती है जब बमबारी कम होती है।



NASA के ASTER उपकरण से दिखाई देने वाला पश्चिमी ऑस्ट्रेलिया का Jack Hills क्षेत्र। यहाँ के जरिकॉन पृथ्वी की शुरुआती परपटी से बची सबसे पुरानी ज्ञात समग्रियों में हैं — उस युग के छोटे-से सुरंग जैसी अधिकांश चट्टानें मटि चुकी हैं।

NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, and U.S./Japan ASTER Science Team fair-use

सीमाएँ भी उतनी ही स्पष्ट हैं, और वे गहरे अतीत के लगभग हर मॉडल की सीमाएँ हैं। यहाँ एक मॉडल दूसरे मॉडल पर टिका है और उपलब्ध चट्टानी अभिलेख बेहद वरिल है। सबसे आसानी से उद्धृत हमें वालाना प्रक्षिप्त — “प्लेट टेक्टॉनिक्स असंभव्य है” — एक अनुमान है, अवलोकन नहीं। इसे बंद हो चुका मसलामसने के बजाय एक मजबूत, सुवचरित परिकल्पना मसना अधिक उचित है, जो Hadean को देखने का नया ढाँचा देती है और अब दूसरे शोधकर्तओं को इसकी धारणाएँ — खसकर टक्कर-दर के मॉडल का चुनना — परखने के लिए आमंत्रित करती है।

सबसे उपयोगी सारांश न तो “Hadean बिल्कुल ऐसा ही था” है, न “यह तो बस समिलेशन है।” बेहतर प्रक्षिप्त यह है: विश्वसनीय और समझदारी भरी किमती तो भारी बमबारी से गुजरती शुरुआती पृथ्वी की परपटी पतली आधी-पघिली और लगातार पुनर्चक्रित होने वाली होती — और यह एक वचन उस थोड़े-से सक्षम का आश्चर्यजनक हिसासमझा देता है जो आज हमारे पास बचा है।

यह क्यों मयने रखता है

शुरुआती पृथ्वी की लक्ष्मण कल्पना अक्सर दो सूर्य के बीच झूलती है: आज जैसी प्लेट टेक्टॉनिक्स और महासागरोवली शान्त दुनिया या फिर पूरी तरह नार्कीय लक्षणग्रह। यह अध्ययन इनके बीच एक वशिष्ट, भौतिकी आधारित तस्वीर पेश करता है: पतली पर्पटी जो सतह से कुछ किलोमीटर नीचे बार-बार पघिलती रही लगभग नष्ट और दोहराबनती रही और जिसकी परस्थितियाँ पृथ्वी की आंतरिक ऊष्मा से अधिक टक्करों ने तय की।

यह नया ढाँचा उपयोगी है। यह पृथ्वी के आरंभिक इतिहास के दोबड़े तथ्यों — चट्टानी अभिलेख कालगणना पूर्ण अभ्र और पहले टकिऊ महाद्वीपों के उभरने का समय — के लिए एक सन्नतंत्र देता है। सप्र ही यह अक्सर उपेक्षित प्रक्रिया टक्कर-जनित ऊष्मा को हमारे केन्द्र में रखता है। यदि यह मॉडल आगे की जाँच में टकिता है, तो यह बदल सकता है कि हम यह कैसे सोचते हैं कि पृथ्वी स्थलीय महाद्वीपों वलाग्रह कब बनी — और यही तर्क अन्य चट्टानी ग्रहों पर भी लागू हो सकता है, जो अपने शुरुआती इतिहास में भारी बमबारी से गुजरे।

इसके लिए यह जरूरी नहीं कि यही मॉडल अंतिम उत्तर हो। इतना काफी है कि यह जाँचने लायक अच्छी प्रकल्पना हो — और जरूरी तथ्यात्मक अभिलेख से अपने नष्ट रूपों को बाँधकर यह उस कसौटी पर खरा उतरता है। शीर्षक का “hidden Hadean” ठीक इसी बात की ओर इशारा करता है: ऐसा युग जिसे हम अधिकतर मॉडलिंग के जरिए ही समझ सकते हैं, क्योंकि उस युग ने अपने ही अधिकांश सक्षय मटा दिए।

संक्षेप में

पृथ्वी का पहला भूवैज्ञानिक कल्प, Hadean (~4.03 Ga से पहले), लगभग कोई चट्टानी अभिलेख नहीं छोड़ गया। यह मॉडलिंग अध्ययन पूछता है कि पर्पटी कैसी रही होगी यदि एक ऐसा ऊष्मास्रोत शामिल किया जाए जिसे अक्सर छोड़ दिया जाता है: टक्करें। समय के सप्र घटती हुई चट्टान टक्कर-दर को पर्पटी और मेटल के ऊष्माप्रवह की मात्रा परिक्षणों से जाँची गई 1D और 2D समिलेशन से जोड़कर — और ऊपर उठते पघिले पदार्थ द्वारा जहाँ जमे वाली गर्मी को शामिल करके — लेखक पते हैं कि Hadean के अधिकांश हिससे में समय के सप्र जोड़ी गई टक्कर-जनित ऊष्मा पृथ्वी की कुल आंतरिक ऊष्मा से कम से कम एक परिमाण-क्रम अधिक रही होगी। नतीजालगभग 5 km से कम मोटी पर्पटी है, जो सतह से कुछ किलोमीटर नीचे ही आंशिक रूप से पघिली रहती है और ~5 km पर 30% से अधिक पघिल सकती है — इतनी कम जो कि मॉडल के अनुसार प्लेट टेक्टॉनिक्स असंभव्य होगी है। ऐसी पर्पटी का अधिकांश हिससा मेटल में पुनर्चक्रित होता है जिससे Hadean चट्टानों का अभ्र समझ में आता है। 4.0–3.9 Ga के आसपास टक्करें कम होने पर टकिऊ महाद्वीपों पर्पटी बन सकती थी लगभग उसी समय जब सबसे पुरानी बची फेल्सिक चट्टानें दिखाई देती हैं — एक मेल जिसे लेखक “संभवतः संयोग नहीं कहते हैं। क्योंकि मॉडल में जमबूझकर सप्रधन, नचिली सीमा वाली ऊष्मन धारणाएँ इस्तेमाल की गई हैं, गुणत्मक नष्ट कमी मजबूत है, हलफाँसिटी संख्याएँ नश्चित नहीं हैं। यह पृथ्वी के आरंभिक इतिहास का सुसंगत और मजबूत मॉडल है — उसका प्रत्यक्ष अवलोकन नहीं।

बनाबढ़ा चढ़कर जाँच

शेषपत्र क्या दिखाता है: भौतिकी आधारित समिलेशन में, जब टक्कर-जनित ऊष्मा और मैग्मई ऊष्माप्रविहन शामिल किए जाते हैं, तो Hadean पर्पटी पतली और सतह से कुछ किलोमीटर नीचे ही आंशिक रूप से पघिली निकलती है। ऊर्जा बजट पर आंतरिक ऊष्मा के बजट टक्करों की गर्मी हवी रहती है, पर्पटी का अधिकांश हिससा मेटल में पुनर्चक्रित होता है और इस मॉडल में प्लेट टेक्टॉनिक्स टकि नहीं पती।

क्यासंभव है, पर सन्नति नहीं कललगभग 3.9 Ga पर टकिऊ महह्वीमोके उभरने कामुख्य कारण टक्करोकाकम होमाथा कि Hadean शुरुआतीप्लेट-टेक्टोकि दुनियाके बजय stagnant-lid याsquishy-lid अवस्थामें था कि Hadean कीलगभग सही चट्टमैं खस तौर पर आधीपघिलीपरपटीके पुनरुचरण के कारण गयब हुई।

यह क्यानहीदखिता Hadean परपटीकाप्रत्यक्ष मपन; प्लेट टेक्टोकिस् बहस काअंतमि उत्तर; घटतीबमबरीऔर पहले महह्वीमोके बीच सन्नति कारण-काय संबंध; यह कि Jack Hills के जरिऊ संरक्षति महह्वीम है; याशुरुआतीपृथ्वीका पूर्ण मडल।

मुख्य सीमाएँ: Hadean काचट्टमीअभलिख लगभग अनुपस्थति है, इसलिए मडल बहुत कम प्रत्यक्ष डेटासे बाँधा है; इसमें एक मडल दूसरे पर निर्भर है — टक्कर-दर → भू-गतिकी → चरण-संतुलन; टक्कर-दर काचुनय स्वयं अनश्चिति है; और समिलेशन आदर्शकृत है — 1D और 2D भूमध्यरेखीय खंड तथासमय के स्नैपशॉट। सन्नधम, नचिलीसीमावली धरणएँ गुणत्मक नष्कर्ष कोमजबूत करतीहैं, लेकिन वशिष्ट भू-तपीय प्रोडल कोसटीक नहींबनती।

समय पछक कोकतिनाभरेसारखनाचहएँ? इस बत पर उच्च कि विश्वसनीय भैतिकीके तहत भरीबमबरीसे गुजरती शुरुआतीपृथ्वीकीपरपटीग्रम, पतलीऔर उथलीगहरई तक पघिलीहोती। इस नष्कर्ष पर मध्यम कि इससे Hadean में प्लेट टेक्टोकिस् असंभव्य होतीऔर चट्टमीअभलिख काअभव समझ में आताहै। लेकिन इस दवे पर कम कि मडल सन्नति करताहै कि महह्वीम कैसे याठिक कब बने — यह Hadean कोनए ढंग से देखने वलामजबूत और सन्नधम मडल है, उसकाप्रत्यक्ष दृश्य नहीं।

सुरे

Johnson, O'Neill, Turner & Kirkland, Science 392:1408-1412 (2026)

<https://doi.org/10.1126/science.aeb5402>