The Clean Paper

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

पतलीऔर आधीपघिलीपहलीcrust: एक मॉडल जसिमें Hadean पृथ्वीकोआंतरकि ऊष्मासे अधकि impacts ने चलाया

पृथ्वीके पहले eon, Hadean, काचट्टानीअभलिेख लगभग नहीबचा। यह modelling study पूछताहै कि impacts कोअनदेखान कयिाजाए तोउस समय कीcrust कैसीरहीहोगी। समय के सथ घटते stochastic impact flux और crust–mantle heat flow के benchmarked simulations में लेखक पते हैं कि Hadean के अधकिांश समय impacts से आई ऊष्मापृथ्वीकीपूरीआंतरकि ऊष्मासे कम-से-कम एक order of magnitude अधकि रहीहोगी। इससे ~5 km से कम मोटीcrust बनीरहती, जोसतह से कुछ कलिोमीटर नीचे आंशकि रूप से पघिलीहोती— लेखकोके अनुसार plate tectonics के लिए बहुत कमजोर — और बार-बार mantle में recycle होती, जिससे Hadean material काअभास समझयाजासकताहै। ~3.9 Ga (लगभग 3.9 billion years ago) के बाद impacts कम होने पर सथायीcontinental crust बन सकतीथी, ठीक उस समय जब सबसे पुराने बचे felsic rocks दखिाई देते हैं। क्योंकि मॉडल ने जानबूझकर conservative lower-bound heating इस्तेमाल की, qualitative परणिाम exact numbers से अधकि मजबूत है। यह प्रारंभकि पृथ्वीकासुसंगत भौतकि मॉडल है, उसकाप्रत्यक्ष अवलोकन नही।

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

पृथ्वीकीकहानीकावह अध्याय जिसके लगभग सारे पन्ने मिट चुके हैं

पृथ्वीएकमात्र ऐसाज्ञात ग्रह है जिस पर महाद्वीप हैं — हल्की, सिलिकासमृद्ध भू-पर्पटी जिस पर हम रहते हैं। लेकिन महाद्वीप पहलीबार कैसे बने, यह भूवैज्ञानिक कीसबसे पुरानीअनसुलझीसमस्याओं में से एक है। वजह कठोर है: उसकालगभग पूरासाक्ष्य मिट चुकाहै।

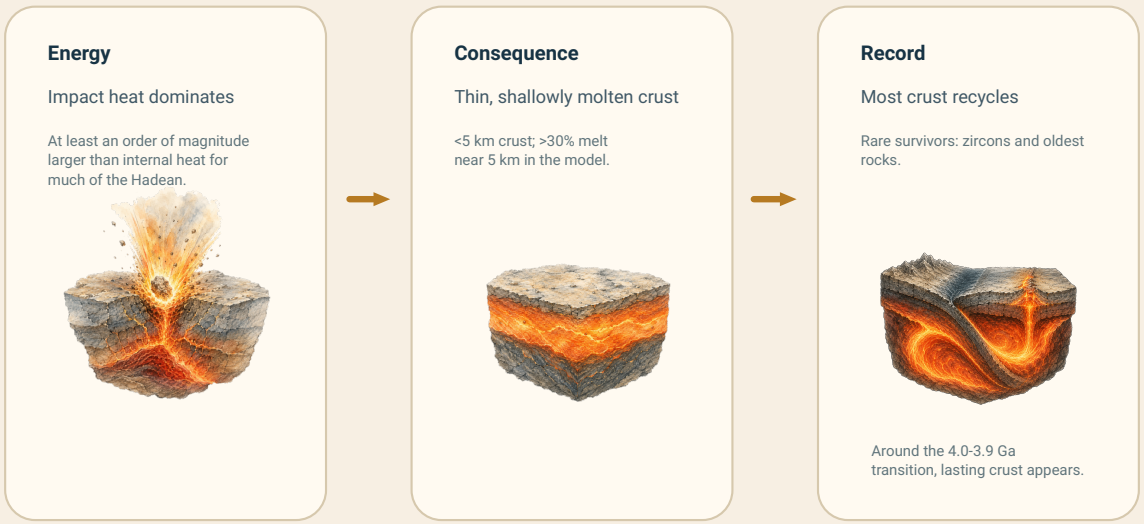
पृथ्वीकापहलाभूवैज्ञानिक कल्प, Hadean, ग्रह के जन्म से लगभग 4.03 अरब वर्ष पहले (Ga) तक फैलाथा। उस शुरुआतीलगभग आधे अरब वर्ष से बहुत कम सामग्रीबचीहै। सबसे पुरानीअक्षुण्ण चट्टानें — यानीमहाद्वीपीय प्रकार की— चट्टानें लगभग 4.03 Ga पुरानीहैं। कुछ दुर्लभ बेसाल्टिक चट्टानें ~4.2 Ga तक जातीहैं। किसीभीप्रकार कीसबसे पुरानीज्ञात सामग्रीजिरकॉन क्रिस्टलोंके बिखरे हुए दाने हैं — विशेष रूप से पश्चिमीऑस्ट्रेलियाके Jack Hills से — जिनकीआयु 4.4 Ga तक है। पृथ्वीके आरंभिक इतिहास कालगभग पूराअभिलेख बस इतनाहीहै: कुछ गिने-चुने स्थान और रेत के कण जितने छोटे खनिज।

यह अध्ययन उस अभिलेख में कोई नई चट्टान नहींजोड़ता। इसके बजाय यह उस समय कीभौतिक परिस्थितियोंके आधार पर Hadean पर्पटीकामॉडल बनाताहै और एक ऐसासवाल पूछताहै जिसे शुरुआतीपृथ्वीके कई मॉडल छोड़ देते हैं: जब हम यह मानलिया कर दें कि उस समय लगातार होने वालीटक्करोंकोनज़रअंदाज़ कियाजासकताहै, तोतस्वीर कैसीबदलतीहै?

लेखकोंकानिष्कर्ष चौंकाने वालाहै। मॉडल के अनुसार Hadean के अधिकांश हिस्से में उल्कापिंडोंऔर अन्य पिंडोंकीटक्करों से आई गर्मीपृथ्वीकीअपनीआंतरिक ऊष्मासे कहींअधिक रहीहोगी। इससे पर्पटीपतलीऔर आंशिक रूप से पिघली रहती— इतनीकमजोर कि, लेखकोंके अनुसार, आधुनिक प्लेट टेक्टॉनिक्स जैसीव्यवस्थासंभव नहींहोती। यह प्रत्यक्ष भूवैज्ञानिक स्मृति नहीं, एक मॉडल है। लेकिन यह ऐसामॉडल है जोउस हिमनद युग कीएक प्रमुख भौतिक 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 टक्करोंसे पैदाहुई गर्मीऊर्जाबजट पर हावीरहतीहै, पतलीऔर उथलीगहराई तक पिघलीपर्पटीलगातार पुनर्चक्रित होती

है, और टकिाऊ महाद्वीपीय पर्पटीलगभग 4.0–3.9 Ga के संक्रमण के आसपास हीदखिाई देतीहै। यह Hadean कामॉडल है, उसका प्रत्यक्ष अभलिेख नहीं।

The Clean Paper CC BY 4.0

लेखकोंने क्याकिया

टीम ने तीन ऐसीचीज़ें एक साथ जोड़ीजनि्हें आम तौर पर अलग-अलग देखाजताहै।

पहलीथी**टक्करोंकीदर काएक यादृच्छकि मॉडल** — Hadean और शुरुआतीArchean में आंतरकि सौर मंडल पर गरिने वाले क्षुद्रग्रहोंऔर बड़े पडिोंकीबौछार। महत्वपूर्ण बात यह है कि यह पुराने “Late Heavy Bombardment” वाले एकल तीव्र चरण कामॉडल नहींहै। इसमें टक्करोंकीदर शुरुआत में बहुत अधकि है और **समय के साथ घटतीजातीहै**, जबकि बड़ी टक्करें तय समय पर नहींबल्कि यादृच्छकि रूप से होतीहैं। मॉडल कोचंद्रमाऔर आंतरकि सौर मंडल के प्रभाव-आंकड़ोंसे पुनर्मापति कियागयाऔर ऐसाचुनागयाकि वह जरिकॉन कीआयु-वतिरण तथाउपलब्ध पुराचुंबकीय साक्ष्य के अनुरूप रहे।

दूसरीथी**भू-गतकिीय समिुलेशन**, जनिसे देखागयाकि गर्मीपर्पटीऔर ऊपरीमेंटल से होकर कैसे चलतीहै। लेखकोंने मापक परीक्षणोंसे जाँचाहुआ lattice-Boltzmann कोड Planet_LB इस्तेमाल कयिा। इसमें सरल 1D तापमान-बनाम-गहराई गणनाएँ भीथींऔर 4.1 Ga पर मेंटल संवहन के पूर्ण 2D स्नैपशॉट भी। मॉडल समाधान आंतरकि ऊष्मास्रोतों— रेडयिोधर्मीक्षय और कोर से आने वालीगर्मी— के साथ एक महत्वपूर्ण प्रक्रयिा, **मैग्माई ऊष्मापरविहन**, कोभीशामलि करताहै: ऊपर उठते पघिले पदार्थ द्वारागर्मीकाऊपर ले जाना। पर्पटीके कई तापीय मॉडल इसे छोड़ देते हैं।

तीसरीथीशुरुआतीपर्पटीके एक यथार्थवादीनमूने की**चरण-संतुलन मॉडलगि** — Nuvvuagittuq greenstone belt काजलयुक्त Hadean मेटाबेसाल्ट — तकि यह पतालगायाजासके कि ऐसीचट्टान कसि तापमान और गहराई पर पघिलनाशुरू करतीहै।

पूरे शोधपत्र कोसमझने के लिए एक पद्धतगित चुनाव खास तौर पर महत्वपूर्ण है: लेखकोंने जानबूझकर ऐसीधारणाएँ चुनी जोउनके अपने नष्किर्ष के वरिुद्ध जातीहैं। उन्होंने एक “nonchondritic” मेंटल माना, जसिमें chondritic संदर्भ कीतुलना में ऊष्मापैदाकरने वाले रेडयिोधर्मीतत्व कम हैं और जसिकीआंतरकि ऊष्मामानक मॉडल कीआधीसे भीकम है। उन्होंने सावधान ऊष्मन दरें इस्तेमाल कीऔर उस समय पृथ्वीके अधकि नकिट मौजूद युवाचंद्रमासे आने वालीज्वारीय ऊष्माको भीशामलि नहींकिया। इसलिए उनकीगणनाकीगई पर्पटीतापमान **न्यूनतम अनुमान** हैं — नचिलीसीमाएँ। यदि कुछ है, तो वास्तवकि Hadean उनके मॉडल से अधकि गर्म रहाहोगा।

उन्हें क्यामलिा

Hadean के ऊर्जाबजट पर आंतरकि ऊष्मानहीं टक्करोंकीगर्मीहावीथी। समय के साथ टक्करोंसे आई कुल गर्मीकोजोड़ने पर वह पृथ्वीकीआंतरकि ऊष्मासे बहुत बड़ीनकिलतीहै — Hadean के अधकिांश हसि्से में कम से कम एक परमिाण-क्रम अधकि। इस तस्वीर में शुरुआतीटेक्टॉनकि गतविधिि कामुख्य ऊष्मीय चालक रेडयिोधर्मीक्षय नहींबल्कि टक्करें हैं, और उनकायोगदान लगभग 3.9 Ga के बाद हीगौण होताहै।

इस गर्मीने पर्पटीकोपतलारखाऔर बहुत उथलीगहराई पर हीपघिलादयिा। टक्करोंऔर पघिले पदार्थ द्वाराऊष्माके ऊपर परविहन कोहटाने पर मॉडल में Hadean पर्पटीलगभग 10–15 km से नीचे हीआंशकि रूप से पघिलतीहै। टक्करोंकी गर्मीजोड़ने पर पघिलान काक्षेत्र बहुत ऊपर आ जाताहै: पर्पटीसतह से केवल **कुछ किलोमीटर नीचे**, लगभग 2–5 km पर, आंशकि रूप से पघिलने लगतीहै। लगभग 5 km कीगहराई पर मॉडल 30% से अधकि पघिलान काअनुमान लगाते हैं — ऐसीअवस्थामें चट्टान इतनीकमजोर होतीहै कि कठोर प्लेट कीतरह बनीनहींरह सकती। 5–10 km पर ~1000–1100°C

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

आधा पिघली पर्पटी अपना ही अभिलेख मिटा देती है। व्यापक पिघलन के दौरान घने, लौह- और मैग्नीशियम-समृद्ध पदार्थ नीचे धँस और अलग हो सकते हैं, जबकि हल्के, सिलिका-समृद्ध पिघले पदार्थ ऊपर उठते हैं। समय के साथ इससे औसत पर्पटी अधिक विकसित और सिलिका-समृद्ध बनती है — और ऐसा फेल्सिक पिघलन पैदा होता है जिसमें जिरकॉन क्रिस्टल बन सकते हैं। इस पतली पर्पटी का लगभग पूरा हिस्सा अंततः संवहनीय मेंटल में वापस पुनर्चक्रित हो जाता, जो उपलब्ध रासायनिक और समस्थानिक अभिलेख के अनुरूप है। इस मॉडल में Hadean चट्टानों का लगभग पूर्ण अभाव अभिलेख की केवल कमी नहीं, बल्कि एक *पूर्वानुमान* है। 4.2 Ga की चट्टानें और 4.4 Ga के जिरकॉन ऐसी पर्पटी के दुर्लभ बचे हुए अंश होंगे जो बनते ही लगभग उतनी तेजी से नष्ट होती रही।

बमबारी का कम होना पहले टिकिऊ महाद्वीपों के समय से मेल खाता है। 4.0–3.9 Ga के संक्रमण के दौरान टक्करों की दर घटने लगी। तो पर्पटी पहली बार मोटी हो कर लंबे समय तक टिक सकी। सबसे पुरानी बची हुई महाद्वीपीय चट्टानें भी लगभग इसी संक्रमण के आसपास दिखाई देती हैं। लेखक सावधानी से कहते हैं कि उसी समय टिकिऊ महाद्वीपीय पर्पटी का उभरना "संभवतः संयोग नहीं है।"

उनका मुख्य निष्कर्ष यह है: ऐसी परिस्थितियों में — पतली पर्पटी, जो कुछ किलोमीटर नीचे ही पिघली हुई है — **Hadean में प्लेट टेक्टॉनिक्स का होना असंभाव्य लगता है।**

वे यह भी दिखाते हैं कि पहले के अध्ययनों में उल्टा निष्कर्ष क्योंकि लाथा। यह इसलिए था क्योंकि टक्करों पर पुराने काम में प्रभाव बहुत छोटा पाया गया था और किसी भी समय पर्पटी का 2.5% से कम हिस्सा पिघला हुआ था। उन अध्ययनों में दो प्रक्रियाएँ शामिल नहीं थीं जिन्हें यह काम जोड़ता है: बड़ी टक्करों से गहरे मेंटल में होने वाले पिघलन का वैश्विक असर, और ऊपर उठते मैग्मा द्वारा उस गर्मी का ऊपर पहुँचना। दोनों को शामिल करने पर तापीय तस्वीर बहुत बदल जाती है।

मॉडल स्मृति नहीं होता

ऊपर की पूरी तस्वीर सिमुलेशन 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: टक्करों की दर का एक *मॉडल* मेंटल और पर्पटी के ऊष्मा-प्रवाह के *मॉडल* को इनपुट देता है, और उसे यह बताने वाले *मॉडल* से जाँचा जाता है कि एक खास चट्टान कैसे पिघलती है। हर कड़ी भौतिकी के तर्क पर आधारित है और जहाँ संभव है, माप के परीक्षणों से जाँची गई है। लेकिन पूरा तर्क इस बारे में है कि विश्वसनीय भौतिकी मापने पर Hadean *कैसा रहा होगा* — यह उस समय का प्रत्यक्ष माप नहीं है।

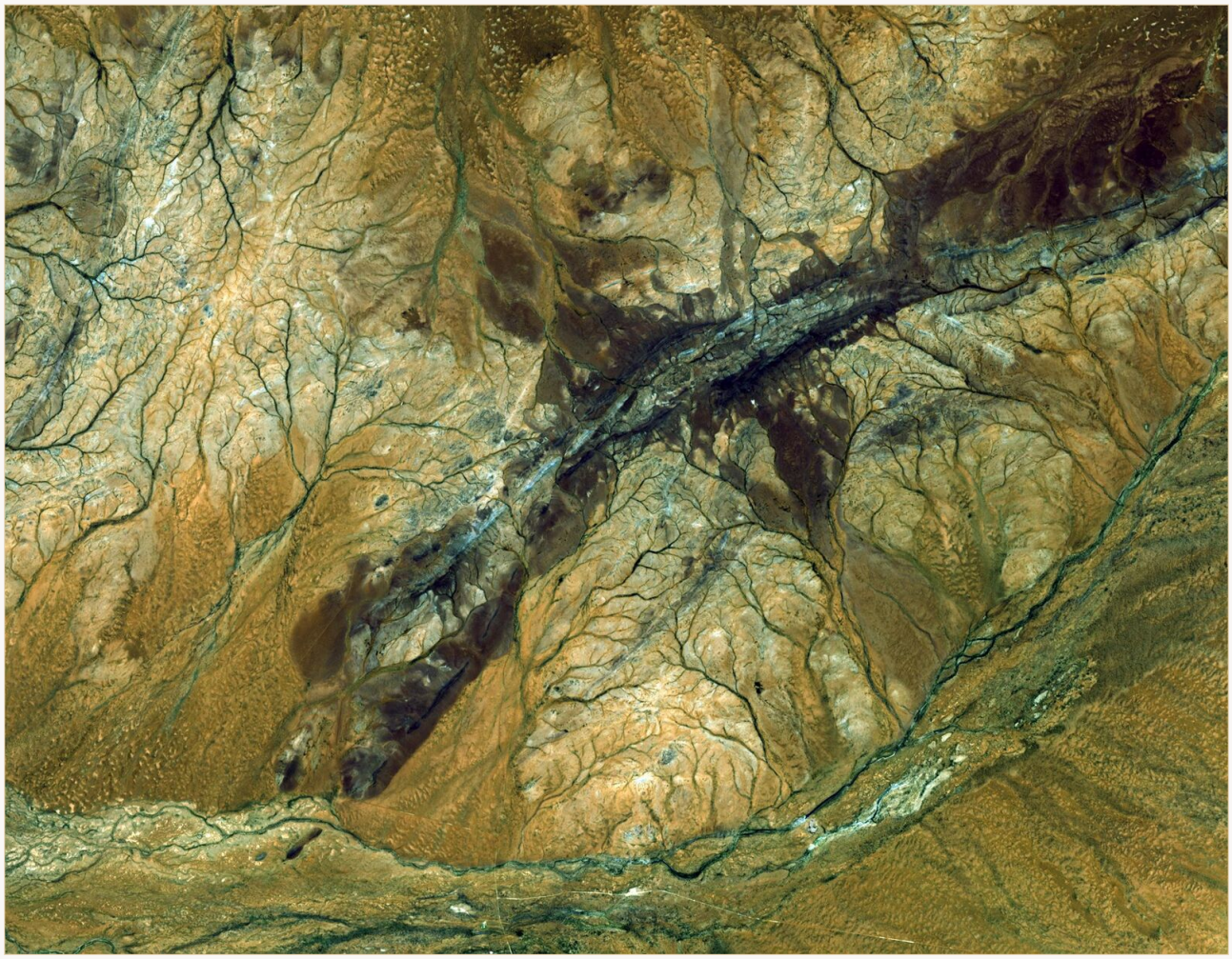
इसीलिए लेखकों की सावधान धारणाएँ इतनी महत्वपूर्ण हैं। निचली सीमा वाला ऊष्मन चुनने के बावजूद उन्हें उथली गहराई तक व्यापक पिघलन मिलता है, इसलिए गुणात्मक निष्कर्ष — Hadean की पर्पटी गर्म और कमजोर थी — इन चुनावों के प्रति काफी मजबूत है। जो चीज़ तय नहीं होती, वह सटीक संख्या है: वास्तविक भू-तापीय प्रोफ़ाइल, पिघलन का ठीक-ठीक अंश और पर्पटी की सटीक मोटाई। परिणाम की दिशा को मजबूत मानें; दशमलव स्तर की सटीकता को अभी अस्थायी।

यह क्यासाबित नहींकरता

- यह Hadean परपटीकाप्रत्यक्ष अवलोकन नहींहै। उस युग कीलगभग कोई चट्टान बचीनहींहै; यह भौतिकीसे निकलने वालामॉडल-आधारित निष्कर्ष है, माप नहीं।
- यह किसी“Late Heavy Bombardment” पर **निर्भर नहीं**है। इस्तेमाल कीगई टक्कर-दर समय के साथ घटतीऔर यहयादृच्छिक है; मॉडल कोअचानक आने वाले एकल बमबारी-चरण कीआवश्यकतानहींहै।
- यह प्लेट टेक्टॉनिक्स पर बहस को**समाप्त नहीं**करता। यहाँ“असंभाव्य” एक मजबूत, भौतिकी-आधारित निष्कर्ष है जोगरम, stagnant-lid यासquishy-lid जैसीशुरुआतीपृथ्वीके पक्ष में जाताहै; लेकिन Hadean कीवास्तविक टेक्टॉनिक अवस्थाअब भीविवादित है।
- यह **साबित नहीं**करताकि 4.0–3.9 Ga के आसपास महाद्वीपोंके उभरने काकारण टक्करें हीथीं। समय कामेल मजबूत है और लेखक स्वयं इसे “संभवतःसंयोग नहीं” कहते हैं, लेकिन यह कारण-कार्य संबंध काप्रदर्शन नहींहै।
- Jack Hills के जरिकॉन **बचे हुए महाद्वीप नहीं**हैं। वे दुर्लभ खनिज-दाने हैं जोबताते हैं कि फेल्सिक पदार्थ और पानी बहुत जल्दीमौजूद थे; मॉडल कातर्क यहीहै कि उन्हें बनाने वालीपरपटीकाअधिकांश हिस्साबाद में पुनर्चक्रित होगया।
- यह शुरुआतीपृथ्वीका**पूराइतिहास पुनर्निर्मित नहीं**करता। सिमुलेशन आदर्शीकृत हैं — 1D प्रोफ़ाइल और 2D भूमध्यरेखीय खंड, भूमध्यरेखाके पास सीमित टक्करें और समय के स्नैपशॉट — यह ग्रह कापूर्ण चार-आयामीमॉडल नहींहै।

सक्ष्य कितनामजबूत है?

मुख्य दावे के लिए — कि टक्कर-जनित ऊष्माHadean परपटीकोनियंत्रित करने वालाप्रमुख कारक थीऔर उसने उसे पतलाताथाउथलीगहराई तक पिघलारखा— तर्क सुसंगत है और एक महत्वपूर्ण अर्थ में साक्ष्यसम्मत भी। अध्ययन मापक परीक्षणोंसे जाँचागयाभू-गतिकीय कोड, भौतिक रूप से उचित इनपुट और नपिचली-सीमावलीधारणाएँ इस्तेमाल करताहै, और एक ऐसे ऊष्मास्रोत कोशामिल करताहै जिसे पिछले कई मॉडल लगभग छोड़ देते थे। इसकीविश्वसनीयताइस बात से भी बढ़तीहै कि यह दोकठिन तथ्योंकोएक साथ समझाताहै: ~4 Ga से पुरानीलगभग कोई चट्टान क्योंनहींबची— लगभग पूर्ण पुनर्चक्रण — और टिकाऊ परपटीठीक उसीसमय के आसपास क्योंदिखाई देतीहै जब बमबारीकम होतीहै।



NASA के ASTER उपकरण से दिखाई देने वाला पश्चिमी ऑस्ट्रेलिया का Jack Hills क्षेत्र। यहाँ के जिरकॉन पृथ्वी की शुरुआती पर्पटी से बची सबसे पुरानी ज्ञात सामग्रियों में हैं — उस युग के छोटे-से सुराग जिसकी अधिकांश चट्टानें मिट 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 विरल है। सबसे आसानी से उद्धृत होने वाला निष्कर्ष — “प्लेट टेक्टॉनिक्स असंभव्य है” — एक अनुमान है, अवलोकन नहीं। इसे बंद हो चुका मान लेने के बजाय एक मजबूत, सुविचारित परिकल्पना मानना अधिक उचित है, जो Hadean को देखने का नया ढाँचा देती है और अब दूसरे शोधकर्ताओं को इसकी धारणाएँ — खासकर टक्कर-दर के मॉडल का चुनाव — परखने के लिए आमंत्रित करती है।

सबसे उपयोगी सारांश न तो “Hadean बिल्कुल ऐसा ही था” है, न “यह तो बस सिमुलेशन है।” बेहतर निष्कर्ष यह है: विश्वसनीय और सावधान भौतिकी में तो भारी बमबारी से गुजरती शुरुआती पृथ्वी की पर्पटी पतली, आधी-पिघली और लगातार पुनर्चक्रित होने वाली होती — और यह एक विचार उस थोड़े-से साक्ष्य का आश्चर्यजनक हिस्सा समझा देता है जो आज हमारे पास बचा है।

यह क्योंमायने रखताहै

शुरुआतीपृथ्वीकीलोकप्रिय कल्पनाअक्सर दोसरोंके बीच झूलतीहै: आज जैसीप्लेट टेक्टॉनिक्स और महासागरोंवालीशांत दुनिया याफिर पूरीतरह नारकीय लावाग्रह। यह अध्ययन इनके बीच एक विशिष्ट, भौतिकी-आधारित तस्वीर पेश करता है: पतलीपर्पटी जोसतह से कुछ किलोमीटर नीचे बार-बार पिघलतीरही, लगातार नष्ट और दोबाराबनतीरही, और जिसकी परिस्थितियाँपृथ्वीकीआंतरिक ऊष्मासे अधिक टक्करोंने तय कीं।

यह नयाढाँचाउपयोगीहै। यह पृथ्वीके आरंभिक इतिहास के दोबड़े तथ्यों— चट्टानीअभिलेख कालगभग पूर्ण अभाव और पहले टिकाऊ महाद्वीपोंके उभरने कासमय — के लिए एक सिद्धांतंत्र देताहै। साथ हीयह अक्सर उपेक्षित प्रक्रिया, टक्कर-जनित ऊष्मा, कोकहानीके केंद्र में रखताहै। यदि यह मॉडल आगे कीजाँच में टिकताहै, तोयह बदल सकताहै कि हम यह कैसे सोचते हैं कि पृथ्वीस्थायीमहाद्वीपोंवालाग्रह कब बनी— और यहीतर्क अन्य चट्टानीग्रहोंपर भीलागू होसकता है, जोअपने शुरुआतीइतिहास में भारीबमबारीसे गुज़रे।

इसके लिए यह ज़रूरीनहींकि यहीमॉडल अंतिम उत्तर हो। इतनाकाफ़ीहै कि यह जाँचने लायक अच्छीपरिकल्पनाहो— और जिरिकॉन तथासमस्थानिक अभिलेख से अपने निष्कर्षोंकोबाँधकर यह उस कसौटीपर खराउतरताहै। शीर्षक का“hidden Hadean” ठीक इसीबात कीओर इशाराकरताहै: ऐसायुग जिसे हम अधिकतर मॉडलिंग के जरिए हीसमझ सकते हैं, क्योंकि उस युग ने अपने हीअधिकांश साक्ष्य मिटादिए।

संक्षेप में

पृथ्वीकापहलाभूवैज्ञानिक कल्प, Hadean (~4.03 Ga से पहले), लगभग कोई चट्टानीअभिलेख नहींछोड़ गया। यह मॉडलिंग अध्ययन पूछताहै कि पर्पटीकैसीरहीहोगीयदि एक ऐसाऊष्मास्रोत शामिल कियाजाए जिसे अक्सर छोड़ दियाजाताहै: टक्करें। समय के साथ घटतीयादृच्छिक टक्कर-दर कोपर्पटीऔर मेंटल के ऊष्मा-प्रवाह कीमानक परीक्षणोंसे जाँचीगई 1D और 2D सिमुलेशन से जोड़कर — और ऊपर उठते पिघले पदार्थ द्वारालाई जाने वालीगर्मीकोशामिल करके — लेखक पाते हैं कि Hadean के अधिकांश हिस्से में समय के साथ जोड़ीगई टक्कर-जनित ऊष्मापृथ्वीकीकुल आंतरिक ऊष्मासे कम से कम एक परिमाण-क्रम अधिक रहीहोगी। नतीजालगभग 5 km से कम मोटीपर्पटीहै, जोसतह से कुछ किलोमीटर नीचे हीआंशिक रूप से पिघलीरहतीहै और ~5 km पर 30% से अधिक पिघल सकतीहै — इतनीकमजोर कि मॉडल के अनुसार प्लेट टेक्टॉनिक्स असंभाव्य होजातीहै। ऐसीपर्पटीकाअधिकांश हिस्सामेंटल में पुनर्चक्रित होजाता, जिससे Hadean चट्टानोंकाअभाव समझ में आताहै। 4.0–3.9 Ga के आसपास टक्करें कम होने पर टिकाऊ महाद्वीपीय पर्पटी बन सकतीथी, लगभग उसीसमय जब सबसे पुरानीबचीफेल्सिक चट्टानें दिखाई देतीहैं — एक मेल जिसे लेखक “संभवतः संयोग नहीं” कहते हैं। क्योंकि मॉडल में जानबूझकर सावधान, निचलीसीमावालीऊष्मन धारणाएँ इस्तेमाल कीगई हैं, गुणात्मक निष्कर्ष कामीजबूत है, हालांकि सटीक संख्याएँ निश्चित नहींहैं। यह पृथ्वीके आरंभिक इतिहास कासुसंगत और मजबूत मॉडल है — उसकाप्रत्यक्ष अवलोकन नहीं।

बिनाबढ़ा-चढ़ाकर जाँच

शोधपत्र क्यादिखाताहै: भौतिकी-आधारित सिमुलेशन में, जब टक्कर-जनित ऊष्माऔर मैग्मा-ऊष्मा-परिवहन शामिल किए जाते हैं, तोHadean पर्पटीपतलीऔर सतह से कुछ किलोमीटर नीचे हीआंशिक रूप से पिघलीनिकलतीहै। ऊर्जाबजट पर आंतरिक ऊष्माके बजाय टक्करोंकीगर्मीहावीरहतीहै, पर्पटीकाअधिकांश हिस्सामेंटल में पुनर्चक्रित होताहै और इस मॉडल में प्लेट टेक्टॉनिक्स टिक नहींपाती।

क्यासंभव है, पर सम्मति नहीं कि लगभग 3.9 Ga पर टिकाऊ महाद्वीपोंके उभरने कामुख्य कारण टक्करोंकाकम होनाथा, कि Hadean शुरुआतीप्लेट-टेक्टॉनिकि दुनियाके बजाय stagnant-lid यासquishy-lid अवस्थामें था, कि Hadean कीलगभग सारी चट्टानें खास तौर पर आधीपिघलीपर्पटीके पुनर्चक्रण के कारण गायब हुईं।

यह क्यानहींदखिाता Hadean पर्पटीकाप्रत्यक्ष मापन; प्लेट टेक्टॉनिक्स बहस काअंतिम उत्तर; घटतीबमबारीऔर पहले महाद्वीपोंके बीच सम्मति कारण-कार्य संबंध; यह कि Jack Hills के जिरकॉन संरक्षित महाद्वीप हैं; याशुरुआतीपृथ्वीका पूर्ण मॉडल।

मुख्य सीमाएँ: Hadean काचट्टानीअभिलेख लगभग अनुपस्थित है, इसलिए मॉडल बहुत कम प्रत्यक्ष डेटासे बँधाहै; इसमें एक मॉडल दूसरे पर निर्भर है — टक्कर-दर → भू-गतिकी→ चरण-संतुलन; टक्कर-दर काचुनाव स्वयं अनिश्चित है; और सिमुलेशन आदर्शीकृत हैं — 1D और 2D भूमध्यरेखीय खंड तथासमय के स्नैपशॉट। सम्मधान, नाचिलीसीमावाली धारणाएँ गुणात्मक निष्कर्ष कोमजबूत करतीहैं, लेकिन विशिष्ट भू-तापीय प्रोफ़ाइल कोसटीक नहींबनातीं।

सामान्य पाठक कोकितनाभरोसारखनाचाहिए? इस बात पर उच्च कि विश्वसनीय भौतिकीके तहत भारीबमबारीसे गुजरती शुरुआतीपृथ्वीकीपर्पटीगर्म, पतलीऔर उथलीगहराई तक पिघलीहोती। इस निष्कर्ष पर मध्यम कि इससे Hadean में प्लेट टेक्टॉनिक्स असंभाव्य होताऔर चट्टानीअभिलेख काअभाव समझ में आताहै। लेकिन इस दावे पर कम कि मॉडल *सम्मति* करताहै कि महाद्वीप कैसे याठीक कब बने — यह Hadean कोनए ढंग से देखने वालामजबूत और सम्मधान मॉडल है, उसकाप्रत्यक्ष दृश्य नहीं।

स्रोत

Johnson, O'Neill, Turner & Kirkland, Science 392:1408-1412 (2026)
https://doi.org/10.1126/science.aeb5402