The CLEAN PAPER

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

Hadean পৃথিবীতে impact heat crust-কে অগভীরভাবে molten রাখতে পারে — plate tectonics সম্পর্কে এটি শক্ত model inference, সরাসরি স্মৃতি নয়

Conservative geodynamic model-এ early impact heating দীর্ঘ সময় পৃথিবীর internal heating-কে ছাপিয়ে যায়, crust-কে কয়েক কিলোমিটার গভীরতা থেকেই আংশিক molten ও খুব পাতলা রাখে। Result Hadean plate tectonics-কে implausible করে, কিন্তু এটি sparse rock record-এর ওপর দাঁড়ানো simulation inference, observation নয়।

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

পৃথিবীর ইতিহাসের যে অধ্যায়ের প্রায় সব পাতা হারিয়ে গেছে

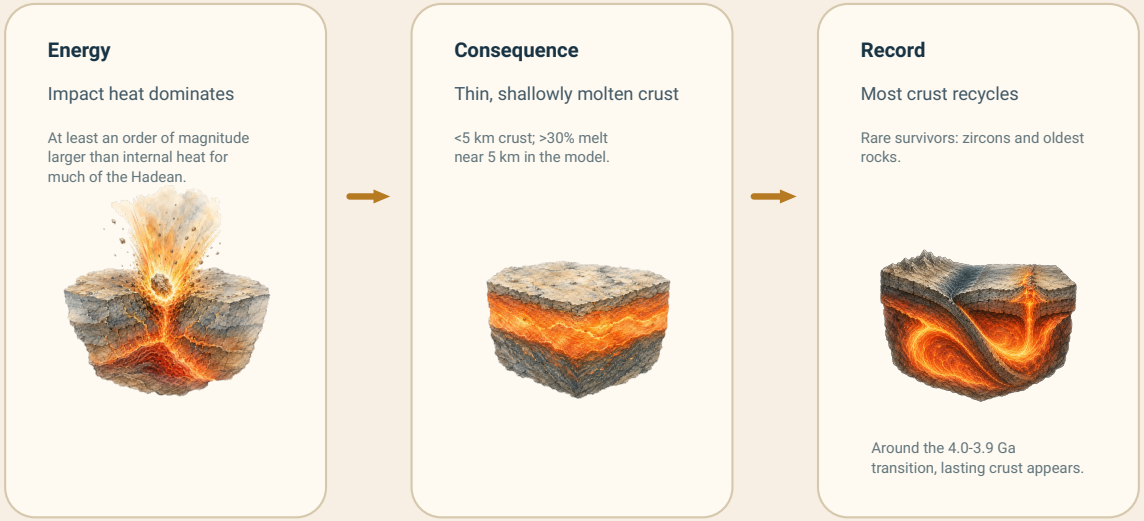
পৃথিবীর প্রথম ইয়ন, **Hadean**, গ্রহের জন্ম থেকে প্রায় **4.03 বিলিয়ন বছর আগে (Ga)** পর্যন্ত। সেই প্রথম অর্ধ-বিলিয়ন বছরের শিলা নথি প্রায় মুছে গেছে। সবচেয়ে পুরোনো অক্ষত ফেলসিক শিলা প্রায় 4.03 Ga; বিরল ব্যাসল্ট ~4.2 Ga; আর 4.4 Ga-র জিরকন দানিকা—বিশেষ করে Western Australia-র Jack Hills থেকে—হলো পৃথিবীর শৈশবের হাতে গোনা কয়েকটি টুকরো।

এই গবেষণা নতুন Hadean শিলা খুঁজে পায়নি। বরং একটি ভিন্ন মডেল বানিয়ে প্রশ্ন করছে: আদি পৃথিবীকে যে প্রচণ্ড গ্রহাণু আঘাত বারবার আঘাত করছিল, সেই তাপ যদি তাপীয় ইতিহাস-তে সত্যিই ধরা হয়, ভূত্বক কেমন হতো?

তাদের মডেলের উত্তর: Hadean-এর বেশির ভাগ সময় **আঘাতজনিত উত্তাপ পৃথিবীর অভ্যন্তরীণ তাপকে ছাপিয়ে যেতে পারে**, ভূত্বককে খুব পাতলা ও অগভীর গভীরতা থেকেই আংশিক গলতে রাখতে পারে। এমন দুর্বল ভূত্বক আধুনিক প্লেট টেকটনিক্সের মতো কঠোর পাত ধরে রাখার জন্য অনুকূল নয়। এটি স্মৃতি নয়—সিমুলেশন। কিন্তু যুগটির violence-কে budget-এর বাইরে না রেখে তৈরি সিমুলেশন।

A model of the Hadean, not a memory of it

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



মডেলে আঘাত তাপ শক্তির বাজেটে প্রধান; অগভীরভাবে গলিত পাতলা ভূত্বক বারবার recycle হয়; দীর্ঘস্থায়ী মহাদেশীয় ভূত্বক মূলত 4.0–3.9 Ga রূপান্তরের কাছাকাছি দেখা দেয়। এটি Hadean-এর মডেল, সরাসরি নথি নয়।

The Clean Paper CC BY 4.0

গবেষকেরা কী করেছেন

তারা তিনটি উপাদান একত্র করেছেন।

প্রথমে ছিল **দ্বৈ আঘাত-প্রবাহ মডেল**: প্রাথমিক সৌরজগতে গ্রহাণু ও বড় বস্তুর সংঘর্ষের হার সময়ের সঙ্গে কমছে, আর বড় আঘাতগুলো এসেছে অনিয়মিত ব্যবধানে। এটি একবারের “Late Heavy Bombardment” ধরনের তীব্র শিখর ধরে নেয় না। মডেলটি

চাঁদ ও অন্তঃসৌরজগতের পরিসংখ্যান থেকে পৃথিবীর জন্য পুনরায় স্কেল করা হয়েছে এবং জিরকনের বয়স-বণ্টন ও পুরাচৌম্বকীয় পরিমাণের সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ করা হয়েছে।

দ্বিতীয় ধাপ ছিল **geodynamic simulation**। মানদণ্ডে যাচাই করা crystal-lattice Boltzmann code (Planet_LB) দিয়ে 1D তাপমাত্রা–গভীরতা profile এবং 4.1 Ga সময়কার 2D mantle convection-এর একটি snapshot চালানো হয়। Radioactive decay ও প্রাথমিক অভ্যন্তরীণ তাপের পাশাপাশি **magmatic advection**-ও ধরা হয়েছে—অর্থাৎ উপরে ওঠা গলিত পদার্থ যে তাপ সঙ্গে নিয়ে আসে।

তৃতীয়ত, realistic hydrated Hadean metabasalt-এর **ধাপ-সাম্যাবস্থা মডেলিং**, যাতে কোন তাপমাত্রা/গভীরতায় ভূত্বক গলন শুরু করবে তা অনুমান করা যায়।

গুরুত্বপূর্ণ বিষয় হলো, অনুমানগুলো ইচ্ছাকৃতভাবে রক্ষণশীল। কম তেজস্ক্রিয় উত্তাপ-যুক্ত নন-কনড্রিটিক ম্যান্টল ধরা হয়েছে, আঘাতজনিত উত্তাপের হিসাব রক্ষণশীল রাখা হয়েছে এবং তরুণ চাঁদের জোয়ারজনিত উত্তাপ বাদ দেওয়া হয়েছে। ফলে গণনা করা তাপমাত্রাগুলো বরং **নিম্নসীমা** হওয়ার কথা।

তাঁরা কী পেয়েছেন

- Hadean-এর বেশির ভাগ সময় সমাকলিত **আঘাত তাপ অভ্যন্তরীণ উত্তাপের অন্তত এক নির্দেশ দেওয়া of মাত্রা বেশি** হতে পারে; প্রায় **3.9 Ga**-র পর আঘাত অবদান ছোট হয়।
- আঘাত ও গলন advection বাদ দিলে আংশিক গলন প্রধানত 10–15 km-এর নিচে; দুটো যোগ করলে গলন অঞ্চল উঠে **প্রায় 2–5 km** গভীরতা পর্যন্ত আসে।
- প্রায় 5 km গভীরতায় মডেলে >30% গলন দেয়; 5–10 km-এ ~1000–1100°C তাপমাত্রা বিস্তৃত গলন তৈরি করে। Surviving কঠোর ভূত্বক সম্ভবত **<5 km** ঘন।
- বারবার গলন ঘন Fe/Mg-সমৃদ্ধ পদার্থকে নিচে নামিয়ে তুলনামূলক হালকা silica-সমৃদ্ধ melt ওপরে তুলতে পারে। এতে zircon তৈরি করতে সক্ষম felsic melt জন্মায়, আবার ভূত্বকের বড় অংশ mantle-এ ফিরে মিশে যেতে পারে। এই মডেলে Hadean শিলার প্রায় সম্পূর্ণ অনুপস্থিতি কেবল “নথি হারিয়ে যাওয়া” নয়; বরং প্রত্যাশিত ফল।
- আঘাতবৃষ্টি কমার **4.0–3.9 Ga** রূপান্তরের কাছাকাছি ভূত্বক দীর্ঘস্থায়ীভাবে ঘন হতে পারে, এবং oldest surviving মহাদেশীয় শিলা-ও এই সময়ের কাছাকাছি দেখা যায়। লেখকেরা বলেন সময়বিন্যাস মিলি “সম্ভবত নিছক কাকতালীয় নয়”.

তাদের শিরোনাম অনুমতি সিদ্ধান্ত: এই পাতলা, shallowly গলিত ভূত্বকের অধীনে **Hadean প্লেট টেকটনিক্স implausible**।

কেন মডেল স্মৃতি নয়

সবকিছু সিমুলেশন আউটপুট। Hadean শিলা প্রায় নেই বলেই মডেল দরকার। শৃঙ্খল-টি হলো: আঘাত প্রবাহের মডেল → ম্যান্টল/ভূত্বক তাপ-প্রবাহ মডেল → নির্দিষ্ট শিলার গলন মডেল। প্রতিটি সংযোগ পদার্থবিদ্যা-ভিত্তিক ও যতটা সম্ভব মানদণ্ডে পরীক্ষা করা, কিন্তু এটি “Hadean এমনই ছিল” বলে সরাসরি পরিমাপ নয়।

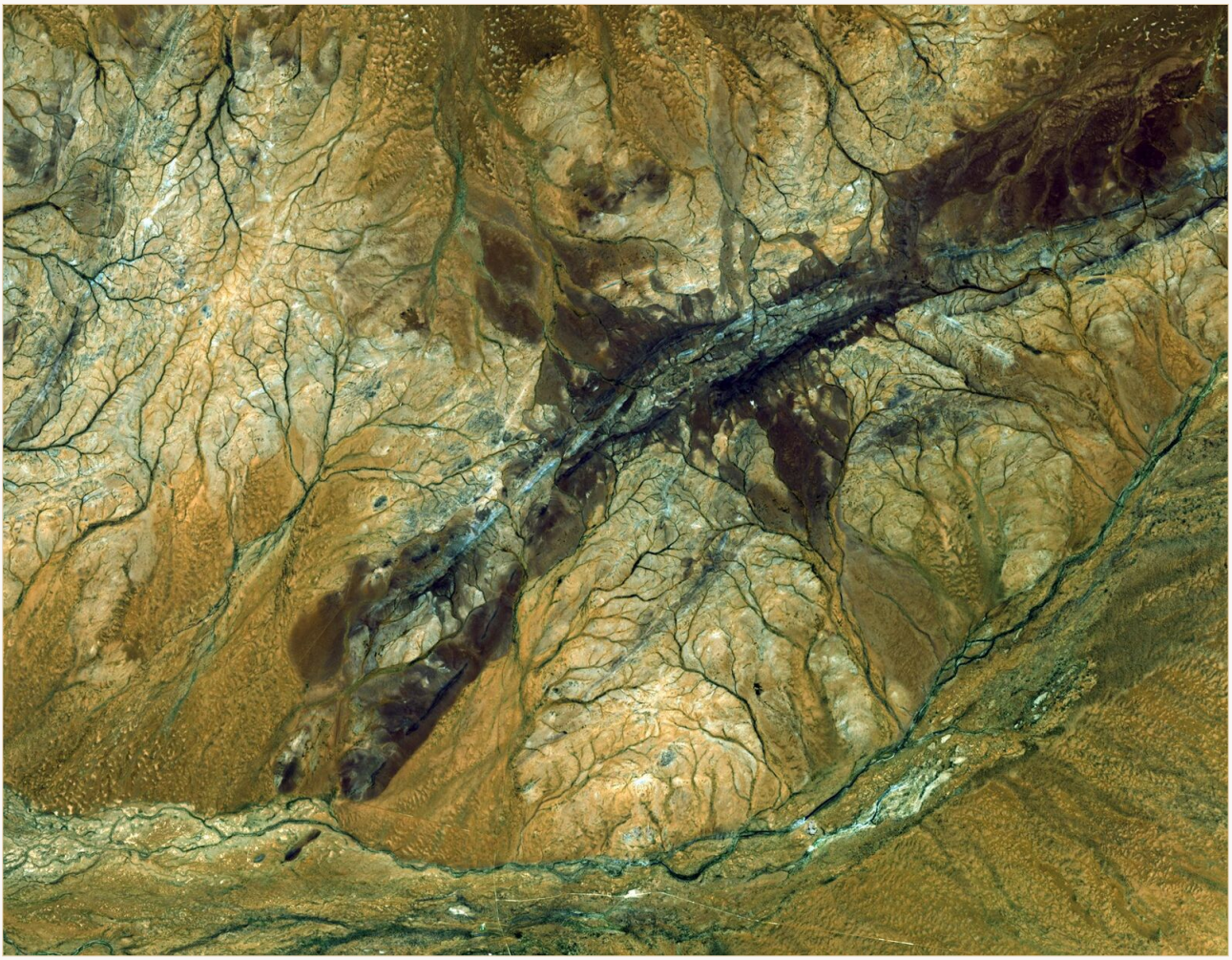
রক্ষণশীল অনুমানেও অগভীর ভূত্বকের এত বড় অংশ গলে যাওয়ায় গুণগত সিদ্ধান্তটি—**গরম, পাতলা ও দুর্বল ভূত্বক**—তুলনামূলকভাবে দৃঢ়। কিন্তু নির্দিষ্ট ভূতাপীয় প্রোফাইল, গলিত অংশের ভগ্নাংশ বা ভূত্বকের পুরুত্বকে দশমিক-স্তরের নিশ্চয়তা হিসেবে পড়া উচিত নয়।

এটি কী প্রমাণ করে না

- Hadean ভূত্বক **সরাসরি observe** করা হয়নি।
- মডেল “Late ভারী আঘাতবৃষ্টি” spike-এর ওপর নির্ভর করে না; declining stochastic প্রবাহ ব্যবহার করে।
- প্লটে টেকটনিক্স বিতর্ক শেষ হয়ে যায়নি। “Implausible” শক্ত অনুমতি সিদ্ধান্ত, সরাসরি পর্যবেক্ষণ নয়।
- 4.0–3.9 Ga-তে আঘাত কমা **মহাদেশ সৃষ্টি করছে**—কারণগততা demonstrably প্রমাণিত নয়; সময়বিন্যাস সম্পর্ক শক্ত।
- Jack Hills জিরকন সংরক্ষিত মহাদেশ নয়; তারা প্রাথমিক ফেলসিক উপাদানের surviving দানিকা।
- সিমুলেশন সম্পূর্ণ 4D পৃথিবী পুনর্গঠন নয়; আদর্শায়িত 1D/2D snapshots ও অনুমানগুলো রয়েছে।

প্রমাণ কতটা শক্তিশালী?

আঘাতজনিত উত্তাপ Hadean ভূত্বকের প্রথম-ক্রমের নিয়ন্ত্রণ হতে পারে—এই যুক্তি সুসংগত এবং রক্ষণশীল। মডেল মানদণ্ডে পরীক্ষা করা geodynamics, ভৌত ইনপুট এবং নিচের-সীমা তাপ অনুমান ব্যবহার করে। একই কাঠামো দুইটি stubborn তথ্য ব্যাখ্যা করতে পারে: কোন ~4 Ga-র আগের শিলা প্রায় নেই, এবং আঘাতবৃষ্টি কমার পর দীর্ঘস্থায়ী ভূত্বক কেন দেখা যায়।



Western Australia-র Jack Hills। এখানকার জিরকন দানিকা পৃথিবীর প্রাথমিক ভূত্বক থেকে বেঁচে থাকা সবচেয়ে পুরোনো উপাদানের মধ্যে পড়ে—একটি ইনের ক্ষুদ্র সূত্র, যার শিলা নথি প্রায় সম্পূর্ণ মুছে গেছে।

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

সীমাবদ্ধতাও গভীর: এক মডেলের ওপর আরেক মডেল বসানো হয়েছে, সরাসরি ভূতাত্ত্বিক anchor অল্প, আর plate tectonics নিয়ে আকর্ষণীয় উপসংহারগুলো মূল ফলের চেয়ে বেশি অনুমাননির্ভর। তাই সামগ্রিক দিকনির্দেশে আস্থা তুলনামূলক বেশি; নির্দিষ্ট সংখ্যা বা tectonic regime সম্পর্কে কম।

কেন এটি গুরুত্বপূর্ণ

প্রাথমিক মহাদেশ কীভাবে তৈরি হলো, প্লেট টেকটনিক্স কখন শুরু হলো এবং কেন Hadean সংরক্ষণাগার প্রায় নেই—তিনটি প্রশ্ন একই তাপীয় ইতিহাসের সঙ্গে যুক্ত। আঘাত তাপকে পটভূমি nuisance না ধরে principal শক্তি উৎস হিসেবে নিলে আদি পৃথিবীর চিত্র বদলে যায়: পাতলা, ঘনঘন গলতি ভূত্বক; বিস্তৃত পুনর্ব্যবহার; আঘাতবৃষ্টি কমলে দীর্ঘস্থায়ী মহাদেশের সুযোগ।

সংক্ষিপ্ত সারাংশ

একটি নতুন মডেলিং গবেষণা দেখায়, সম্ভাব্য Hadean আঘাত প্রবাহ, ম্যান্টল/ভূত্বক তাপ পরিবহন এবং realistic ভূত্বক গলন একত্র করলে আঘাতজনিত উত্তাপ পৃথিবীর অভ্যন্তরীণ তাপকে দীর্ঘ সময় ছাপিয়ে যেতে পারে। মডেলে ভূত্বক মাত্র কয়েক কিলোমিটার গভীরতা থেকেই আংশিক গলতি, কঠোর স্তর <5 km-এর মতো পাতলা এবং ব্যাপক পুনর্ব্যবহারের উপযোগী। আঘাতবৃষ্টি কমার 4.0–3.9 Ga রূপান্তর দীর্ঘস্থায়ী মহাদেশীয় ভূত্বকের emergence-এর সঙ্গে মিলে যায়। এটি Hadean প্লেট টেকটনিক্সকে ভৌতভাবে implausible করে তোলে—কিন্তু এটি সিমুলেশন অনুমিতি সিদ্ধান্ত, সরাসরি পর্যবেক্ষণ নয়।

বাড়াবাড়ি ছাড়া যাচাই

গবেষণা যা দেখায়: রক্ষণশীল মডেলে আঘাত তাপ Hadean ভূত্বককে অগভীরভাবে গলতি ও পাতলা রাখার জন্য যথেষ্ট শক্তিশালী।

যা সম্ভাব্য: আঘাতবৃষ্টি কিমা দীর্ঘস্থায়ী মহাদেশীয় ভূত্বক গঠনের জন্য একটি মূল রূপান্তর তৈরি করেছে।

যা দেখায় না: Hadean ভূত্বকের সরাসরি পর্যবেক্ষণ, প্লেট টেকটনিক্স বিতর্কের চূড়ান্ত উত্তর, বা impacts যে continents “কারণ” করেছে তার প্রমাণ।

মূল সীমাবদ্ধতা: Sparse শিলা নথি, nested মডেলগুলো, আদর্শায়িত জ্যামিতি এবং অনিশ্চিত প্রাথমিক-পৃথিবী প্যারামিটার।

আস্থা: Hot/দুর্বল Hadean ভূত্বকের দিকে উচ্চ-মাঝারি থেকে উচ্চ; সুনির্দিষ্ট ভূত্বক thickness ও tectonic ধরনে মাঝারি।

উৎস

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