The Clean Paper

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

Dunia inaweza kubaki ya kijani kwa muda gani? Mfano wa hali ya hewa unatoa masafa, si tarehe ya mwisho wa dunia

Uigaji 29 wa hali ya hewa wa vipimo vitatu unaweka mipaka tofauti ya biosfera ya Dunia inayotegemea usanisinuru kati ya takriban miaka bilioni 1.35 na 1.87 kutoka sasa. Thamani hizo hutegemea njia zilizorahisishwa kimakusudi za uchakavu wa miamba, joto na viwango vya chini kabisa vya dioksidi kaboni ambavyo mimea inaweza kutumia. Hazitabiri lini mimea yote, uhai wote, ustaarabu au sayari itaisha.

Written by Cinzia Vaglio · Cross-checked by Matteo · Edited by Michele Renda · Figures by Cinzia Vaglio and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Maximum Lifetime of the Vegetative Biosphere*, Jacob Haqq-Misra and Eric Wolf, Journal of Geophysical Research: Atmospheres 131, e2025JD045586 (2026) · DOI: 10.1029/2025JD045586

Dunia inaweza kubaki ya kijani kwa muda gani? Mfano wa hali ya hewa unatoa masafa, si tarehe ya mwisho wa dunia

Jani huishi ndani ya maelewano yenye mipaka finyu. Linahitaji mwanga, maji, dioksidi kaboni na joto ambalo kemia yake inaweza kustahimili. Katika maisha ya binadamu, Jua linaonekana kama sehemu isiyobadilika ya maelewano hayo. Katika kipindi cha miaka bilioni moja, sivyo ilivyo.

Jua linapozeeka kwenye mfuatano mkuu, hung'aa zaidi polepole. Mwanga zaidi wa Jua huipasha Dunia joto, lakini sayari ina mwitikio wa muda mrefu: miitikio kati ya maji ya mvua, dioksidi kaboni na miamba ya silikati inaweza kuondoa dioksidi kaboni kutoka angahewa. Hilo hupunguza athari ya chafu na kufidia sehemu ya ongezeko la joto. Mwitikio huohuo unaoipoza sayari unaweza hatimaye kuwanyima viumbe wanaofanya usanisinuru kaboni wanayotumia kujenga tishu hai.

Makala mpya katika Journal of Geophysical Research: Atmospheres inauliza ni kikomo gani kinaweza kufika kwanza: joto kupita kiasi, au dioksidi kaboni kuwa kidogo mno. Jibu lake si tarehe ambayo Dunia itakufa. Katika njia mbili za baadaye zilizorahisishwa kimakusudi, mipaka iliyochaguliwa kwa uhai unaotegemea usanisinuru iko kati ya takriban **miaka bilioni 1.35 na 1.87 kutoka sasa**.

Masafa hayo yanahusu **biosfera ya mimea**: sehemu ya mfumo hai wa Dunia inayodumishwa na viumbe wanaofanya usanisinuru, hasa mimea na viumbe wengine wanaogeuza mwanga na dioksidi kaboni kuwa nyenzo ya kibaolojia. Si utabiri kwa kila mikrobu. Si muda wa maisha wa ustaarabu wa binadamu. Si muda wa maisha wa sayari.

Termostati ya sayari ina mipangilio miwili isiyo na uhakika

Jambo kuu lisilo na uhakika ni **uchakavu wa kikemia wa miamba ya silikati**. Dioksidi kaboni huyeyuka katika maji ya mvua, huitikia na miamba ya silikati na hatimaye hubebwa kuelekea bahari na mashapo. Volkano hurudisha dioksidi kaboni katika vipindi vya kijiolojia. Kwa pamoja, michakato hii ni sehemu ya mzunguko wa kabonati-silikati, ambao mara nyingi hufananishwa na termostati ya sayari.

Katika dunia yenye joto na unyevunyevu zaidi, uchakavu wa miamba unaweza kuharakisha na kuondoa dioksidi kaboni kwa kasi zaidi. Lakini wanasayansi hawajui mwitikio huo utatawala kwa nguvu kiasi gani Dunia chini ya Jua litakalokuwa angavu zaidi siku za mbali. Kwa hiyo Jacob Haqq-Misra na Eric Wolf hawakuchagua njia moja iliyodaiwa kuwa sahihi. Walitengeneza **hali mbili za mwisho**: mifano mikali iliyokusudiwa kimakusudi kuweka mipaka ya kutokuwa na uhakika.

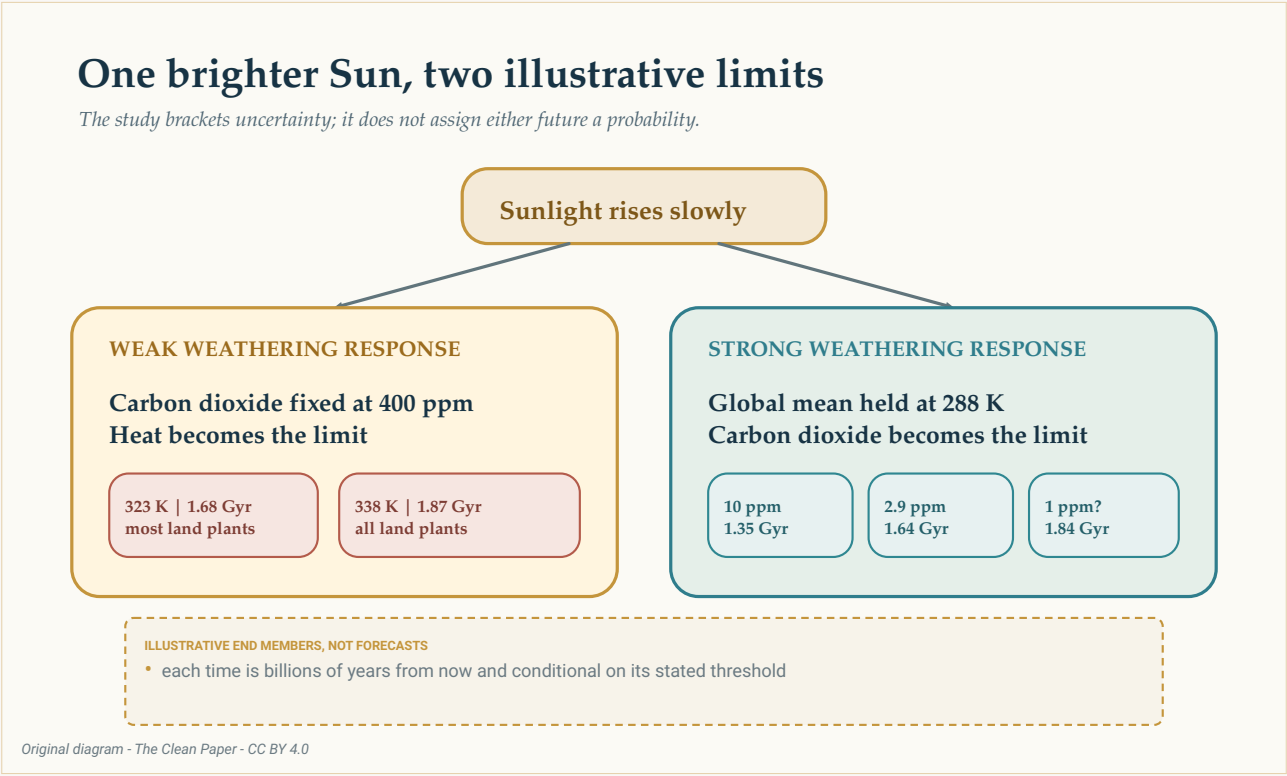
- Katika **hali ya uchakavu dhaifu**, dioksidi kaboni ya angahewa hubaki sehemu 400 kwa milioni huku Jua linalong'aa zaidi likiongeza joto.
- Katika **hali ya uchakavu mkubwa**, wastani wa joto la uso wa dunia nzima hubaki kelvin 288, takriban nyuzi 15 Celsius, huku dioksidi kaboni ikipungua kadiri mwanga wa Jua unavyoongezeka.

Hakuna tawi linalowasilishwa kama baadaye halisi ya Dunia. La kwanza linauliza joto lingefanya nini ikiwa dioksidi kaboni ingebaki juu. La pili linauliza upungufu wa kaboni ungefanya nini ikiwa uchakavu wa miamba ungeweka joto la wastani la dunia karibu na la leo.

Uchakavu wa miamba unawezaje kutenda kama termostati?

Mlinganisho unahusu mrejesho, si kidhibiti halisi. Hali ya hewa yenye joto zaidi inapoongeza uchakavu wa kikemia wa miamba, dioksidi kaboni zaidi ya angahewa inaweza kuishia katika nyenzo iliyoyeyushwa, madini na mashapo. Kuondoa gesi hiyo ya chafu kunapinga sehemu ya ongezeko la joto lililoanzisha mchakato. Katika vipindi virefu sana, utoaji wa volkano hurudisha dioksidi kaboni.

Nguvu ya kila kiungo hutegemea mvua, miamba iliyo wazi, mmomonyoko, biolojia, tektoniki na kemia ya bahari. Ndiyo sababu makala inajaribu miitikio ya mipaka badala ya kuichukulia termostati kama mashine inayojulikana.



Makala inaweka mipaka ya baadaye isiyo na uhakika kwa hali mbili za mwisho za mfano. Ikiwa uchakavu wa miamba unaitikia kwa udhaifu, joto linaloongezeka hufikia vizingiti vilivyochaguliwa vya mimea ya nchi kavu. Ikiwa unaitikia kwa nguvu, dioksidi kaboni inayopungua hufikia vizingiti vilivyochaguliwa vya usanisinuru. Haya ni matawi ya mfano yenye masharti, si uwezekano au tarehe za kuhesabu kurudi nyuma.

The Clean Paper CC BY 4.0

Hali 29 za mfano zilizotulia, si filamu moja ya miaka bilioni mbili

Watafiti walitumia ExoCAM, mfano wa hali ya hewa wa dunia nzima wa vipimo vitatu, kukokotoa **hali 29 za hali ya hewa zilizotulia** katika michanganyiko ya mwanga mkubwa zaidi wa Jua na dioksidi kaboni ndogo zaidi. Kila hali iliendeshwa kwa miaka 70 ya mfano. Hapa, mwaka mmoja wa mfano ni mzunguko mmoja wa mwaka uliosimuliwa chini ya hali zisizobadilika: ni muda wa uigaji unaotumiwa kuiruhusu hali bandia ya hewa itulie, si hatua moja katika utabiri wa mwaka kwa mwaka wa baadaye ya Dunia. Miaka 20 ya mwisho ilifanyiwa wastani baada ya hali ya hewa ya uigaji kupata muda wa kutulia.

Hali hizo 29 ni dunia tofauti za mfano. Kila uendeshaji ni nukta moja katika gridi, ikijibu "ni hali gani iliyotulia inayolingana na jozi hii ya mwanga wa Jua na dioksidi kaboni?" Kompyuta haikuanza na Dunia ya leo na kuendeleza angahewa, miamba, bahari na viumbe wake mfululizo kwa miaka bilioni mbili ijayo. Badala yake, waandishi walifuata njia mbili za kimchoro za uchakavu wa miamba kupitia nukta hizo zilizokokotolewa mapema; njia kati ya nukta haikuigwa yenyewe.

Jedwali linaonyesha upya michanganyiko ya mwanga wa Jua na dioksidi kaboni katika hifadhi rasmi ya data za mfano. Nambari za hali zimeongezwa hapa kusaidia usomaji, kwa mpangilio wa hifadhi. **S/S0** ni kigezo cha Jua cha kulinganisha: nishati ya Jua inayoingia iliyotumiwa katika mfano ikigawanywa na thamani yake ya sasa, S0. Kwa hiyo thamani ya 1.2 humaanisha nishati ya Jua inayoingia ni 20% zaidi ya leo. **CO2 (ppm)** ni uwiano wa kuchanganyika wa dioksidi kaboni katika angahewa, kwa molekuli kwa kila molekuli milioni za angahewa.

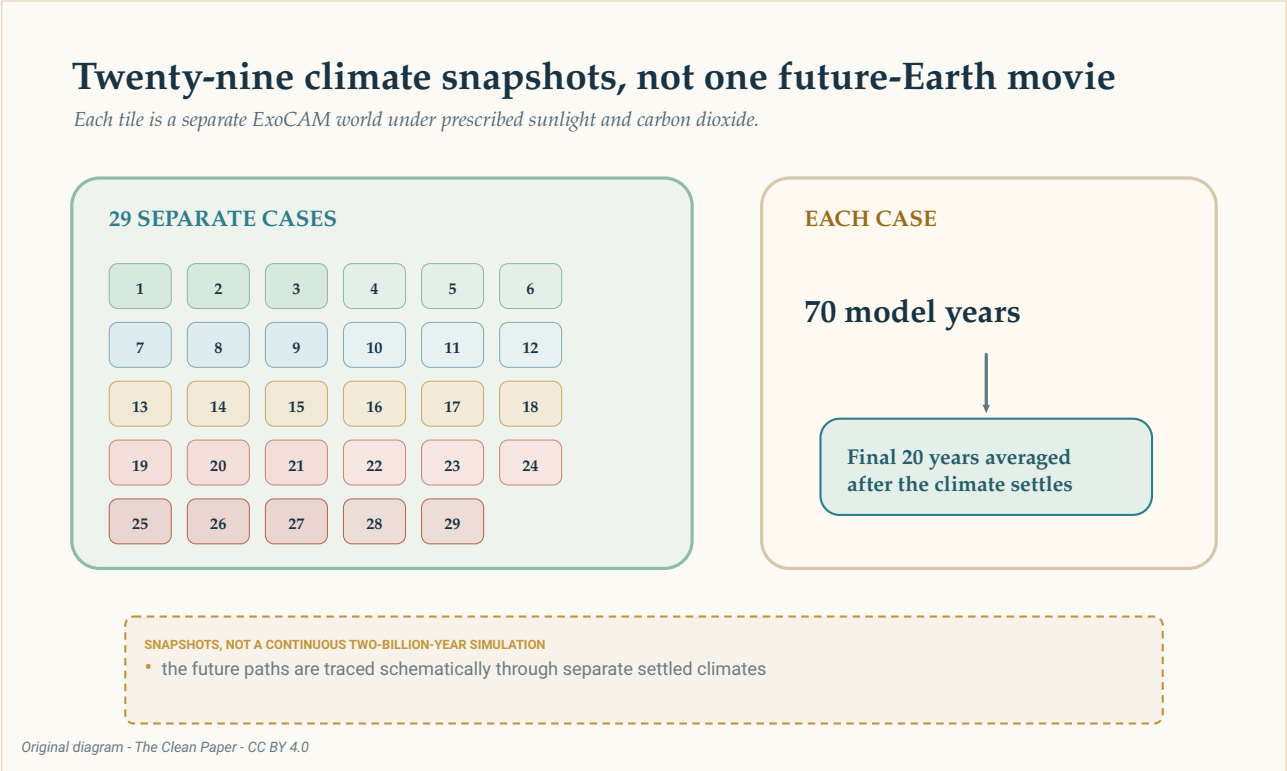
Case ID	S/S0	CO2 (ppm)
1	1.0	400
2	1.0	180
3	1.0	11.25
4	1.0	1.40625
5	1.044	400
6	1.044	180
7	1.044	135
8	1.044	11.25
9	1.044	1.40625
10	1.081	400
11	1.081	180
12	1.081	11.25
13	1.081	1.40625
14	1.091	400
15	1.091	180
16	1.091	34
17	1.091	11.25
18	1.091	1.40625
19	1.143	400

Case ID	S/S0	CO2 (ppm)
20	1.143	180
21	1.143	11.25
22	1.143	6
23	1.143	1.40625
24	1.2	400
25	1.2	180
26	1.2	11.25
27	1.2	1.40625
28	1.2	0.45
29	1.2	0

Dunia ya mfano inatambulika lakini imewekewa mipaka kimakusudi. Ina ukubwa wa Dunia na hutumia jiografia ya sasa. Ina bahari rahisi ya tabaka moja badala ya bahari inayozunguka kikamilifu, shinikizo la angahewa limewekwa karibu na la sasa la Dunia (bar moja), na methane imewekwa bila kubadilika. Mzunguko wake kuzunguka Jua ni duara kamili (eksentrisiti sifuri), na mhimili wake wa mzunguko hauna mwinamo (mwinamo wa mhimili sifuri). Haina udongo au mimea iliyowakilishwa moja kwa moja, wala mrejesho kutoka biosfera inayobadilika. Muhimu zaidi, mfano wa hali ya hewa haujaunganishwa kwa mienendo na mfano wa uchakavu wa miamba. Kwa maneno mengine, ExoCAM haikokotoi uchakavu wa miamba, kuitumia kubadilisha dioksidi kaboni kisha kuendesha hali inayofuata katika mzunguko wa mrejesho. Badala yake, watafiti waliweka njia mbili za mipaka na kuzifuata kupitia gridi ya hali 29.

“Hali tulivu” inamaanisha nini katika mfano wa hali ya hewa?

Hali tulivu ni hali ya hewa ya mfano inayoruhusiwa kutulia chini ya Jua na angahewa moja iliyochaguliwa. Hali ya hewa bado hubadilika siku hadi siku na mwaka hadi mwaka ndani ya uigaji, lakini wastani wake wa muda mrefu huacha kusogea kwa nguvu katika mwelekeo mmoja.
Hii ni muhimu kwa kuuliza “ni hali gani ya hewa inayolingana na masharti haya?” Ni tofauti na kutabiri njia kamili ambayo Dunia halisi itafuata kutoka seti moja ya masharti hadi inayofuata.



Kila kigae ni uendeshaji tofauti wa ExoCAM wa miaka 70 ya mfano, huku miaka 20 ya mwisho ikifanyiwa wastani. Utafiti ulichukua sampuli ya hali 29 za hali ya hewa zilizotulia katika masharti yaliyowekwa ya mwanga wa Jua na dioksidi kaboni; haukuiga Dunia moja inayobadilika mfululizo kwa miaka bilioni mbili.

The Clean Paper CC BY 4.0

Hali ya kwanza ya mwisho: dioksidi kaboni ya kutosha, joto kupita kiasi

Katika tawi la uchakavu dhaifu wa miamba, dioksidi kaboni hubaki sehemu 400 kwa milioni. Nishati ya Jua inapoingia zaidi, joto huwa kikwazo.

Makala inatumia vizingiti viwili vya wastani wa joto la dunia nzima kutoka kazi za awali:

- Katika **kelvin 323**, takriban **nyuzi 50 Celsius** kama wastani wa mwaka wa dunia nzima, dunia inachukuliwa kuwa moto kupita kiasi kwa mimea mingi ya nchi kavu. Mfano unafikia kizingiti hicho baada ya takriban **miaka bilioni 1.68**.
- Katika **kelvin 338**, takriban **nyuzi 65 Celsius** kama wastani wa mwaka wa dunia nzima, dunia inachukuliwa kuwa moto kupita kiasi kwa mimea yote ya nchi kavu. Mfano unafikia kizingiti hicho baada ya takriban **miaka bilioni 1.87**.

Hizi ni mipaka ya kibaolojia iliyochaguliwa, si joto la ulimwengu wote ambalo kila kiumbe kinachofanya usanisinuru lazima kishindwe. Wastani wa dunia pia huficha tofauti kubwa za kieneo. Utafiti unaangalia kando ni wapi mchanganyiko wa joto na maji unaweza kubaki unaofaa, lakini

lebo kwenye ramani ya hali ya hewa haiwezi kuorodhesha kila kimbilio au mabadiliko ya baadaye.

Hali ya pili ya mwisho: joto linalovumilika, dioksidi kaboni kidogo mno

Katika tawi la uchakavu mkubwa wa miamba, wastani wa joto la dunia nzima unawekwa kelvin 288, takriban nyuzi 15 Celsius, huku dioksidi kaboni ya angahewa ikipungua. Hapa jibu hutegemea ni kaboni kidogo kiasi gani njia tofauti za usanisinuru zinaweza kutumia.

- Katika kizingiti cha jadi cha **sehemu 10 kwa milioni** — molekuli 10 za dioksidi kaboni kwa kila molekuli milioni za angahewa — kikomo cha usanisinuru wa C4 hufika baada ya takriban **miaka bilioni 1.35**. Usanisinuru wa C4 hutumiwa na mimea ikiwemo mahindi na miwa na hujilimbikizia dioksidi kaboni karibu na kimeng'enya kinachoifunga.
- Kutumia kizingiti mbadala cha C4 cha **sehemu 2.9 kwa milioni** kilichojadiliwa katika kazi za awali hukisogeza hadi takriban **miaka bilioni 1.64**.
- Kizingiti cha majaribio cha **sehemu 1 kwa milioni**, kinachohusishwa na uwezekano wa kudumu kwa baadhi ya mimea ya CAM — mimea inayotumia crassulacean acid metabolism, ambayo hutenganisha uchukuaji wa dioksidi kaboni usiku na matumizi yake mchana — au mimea ya majini inayoweza kutumia bicarbonate iliyoyeyushwa, hukisogeza hadi takriban **miaka bilioni 1.84**.

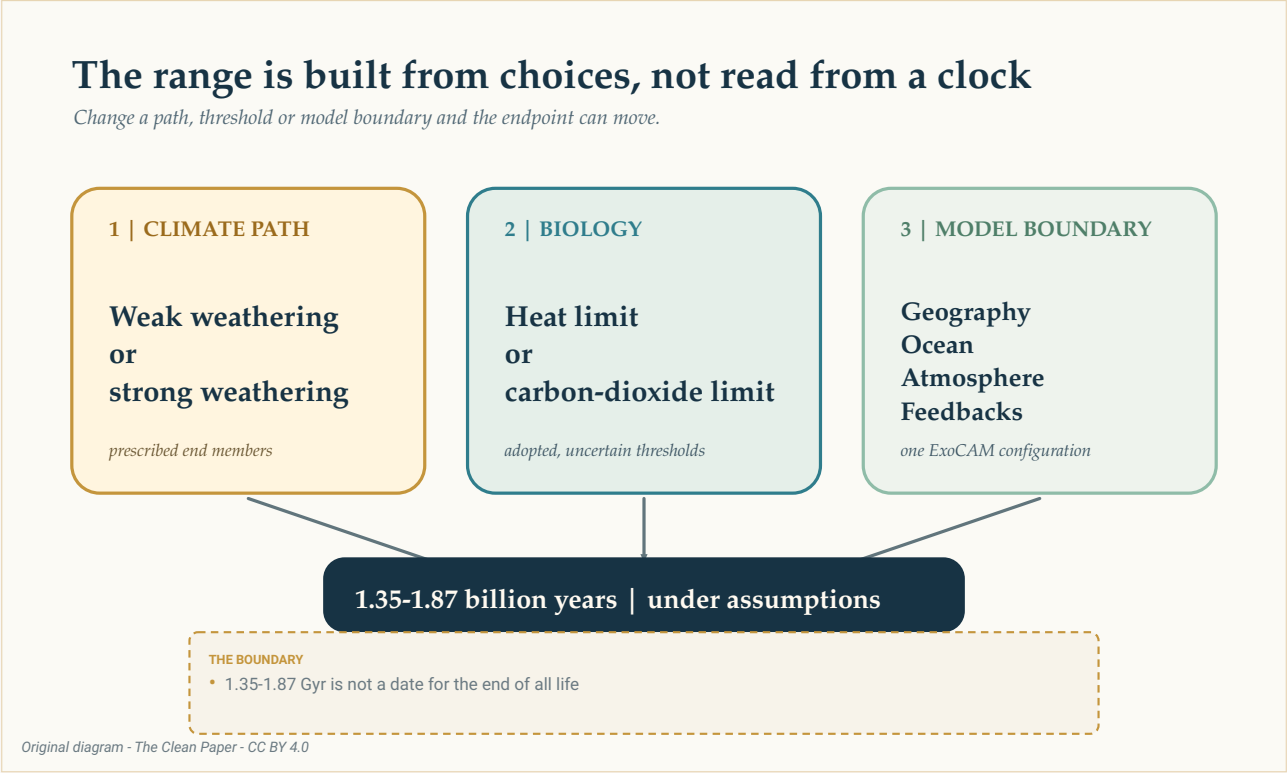
Nambari ya mwisho ina tahadhari kubwa zaidi ya kibaolojia. Waandishi wanasema wazi kwamba kikomo cha sehemu moja kwa milioni ni cha majaribio. Si kizingiti cha uhai kilichothibitishwa kwa majaribio kwa mimea yote ya CAM au mimea ya majini katika hali za Dunia ya baadaye.

> **C3, C4 na CAM ni mikakati, si ngazi**
>
> Mimea hutumia njia tofauti za kibayokemia kukamata kaboni. **Usanisinuru wa C3** ndio wa kawaida zaidi. **Usanisinuru wa C4**, unaotumiwa na mimea ikiwemo mahindi na miwa, hukusanya dioksidi kaboni karibu na kimeng'enya kinachofunga kaboni na unaweza kufanya kazi vizuri zaidi dioksidi kaboni inapokuwa haba. **Crassulacean acid metabolism (CAM)** hutenganisha uchukuaji na matumizi ya kaboni kati ya usiku na mchana, jambo linalosaidia mimea mingi kuhifadhi maji.
> Hizi ni familia za mikakati zenye tofauti nyingi kati ya spishi, si ngazi zinazofuatana za mimea "bora" zaidi. Vizingiti vya chini sana vya dioksidi kaboni katika makala ni dhana za kuchunguza mipaka inayowezekana, si dhamana kwamba mfumo wa ikolojia wa baadaye utaweza kuzitumia.

Kwa nini miaka bilioni 1.86 si tarehe ya mwisho

Makadirio yanayonukuliwa sana ya makala ya takriban **miaka bilioni 1.86** ni wastani wa ncha mbili za juu zenye matumaini: miaka bilioni 1.84 katika tawi linalozuiwa na dioksidi kaboni na miaka bilioni 1.87 katika tawi linalozuiwa na joto. Ni muhtasari mfupi wa hali mbili tofauti. Si tokeo la tatu la mfano lenye usahihi mkubwa zaidi, wala si tarehe bora ya kukadiria.

Hata masafa mapana ya miaka bilioni 1.35 hadi 1.87 hayana uwezekano mmoja unaohusishwa nayo. Thamani zake za chini na juu zinategemea dhana tofauti za uchakavu wa miamba, vizingiti tofauti vya kibaolojia na usanidi mmoja wa mfano wa hali ya hewa. Masafa hayo hupima uchaguzi wa jaribio karibu sawa na yanavyopima muda.



Masafa ya miaka bilioni 1.35 hadi 1.87 hutokea tu baada ya kuchagua njia ya uchakavu wa miamba, kizingiti cha kibaolojia na mpaka wa mfano. Ni ramani ya dhana, si saa inayomalizika kwa kutoweka kwa uhai wote.

The Clean Paper CC BY 4.0

Mipaka mingine inaweza kufika kwanza

Makadirio marefu zaidi ya biosfera ya mimea yanakaribia mpaka tofauti na usio na uhakika: athari ya chafu yenye unyevunyevu au inayokimbia, ambayo inaweza kuendesha upotevu mkubwa wa bahari. Mifano ya hali ya hewa hutofautiana sana kuhusu hali hizo huanza lini mwanga wa Jua unapoongezeka, hasa mbali na hali za sasa. Baadhi ya makadirio huziweka kabla ya kikomo chenye matumaini zaidi cha usanisinuru.

Hilo linamaanisha kwamba tawi la juu haliwezi kusomwa kama ahadi kwamba Dunia itahifadhi bahari zake, mabara tunayoyafahamu au hali za uso zinazofaa kwa uhai hadi miaka bilioni 1.87 kutoka sasa. Wala mfano haujumuishi tektoniki ya mabamba ya baadaye, mabadiliko ya eneo la nchi kavu, mifumo ya ikolojia inayobadilika au bahari yenye mienendo kamili. Hesabu zake za jinsi angahewa inavyofyonza na kutoa nishati pia zinasukumwa katika hali za mwanga mkali wa Jua na dioksidi kaboni ya chini sana ambako mifano tofauti hutengana.

Mabadiliko ya kimaumbile na uingiliaji wa kiteknolojia yanaonekana katika mjadala wa makala kama uwezekano. Si matokeo ya uigaji 29 wa hali ya hewa. Mfano hauonyeshi viumbe wa baadaye wakibadilika hadi njia ya usanisinuru ya sehemu moja kwa milioni, wala hauonyeshi ustaarabu ukisimamia angahewa kwa miaka bilioni moja.

Hili si tokeo kuhusu mgogoro wa hali ya hewa wa leo

Kuongezeka kwa mwangaza wa Jua hutenda katika mamia ya mamilioni hadi mabilioni ya miaka. Ongezeko la joto linalosababishwa na binadamu leo linatokana na ongezeko la haraka la gesi za chafu katika miongo na karne. Hizi ni nguvu tofauti, katika vipindi vya muda tofauti kabisa, zinazojibu maswali tofauti.

Hakuna kitu katika utafiti huu kinachodhoofisha ushahidi wa mabadiliko ya hali ya hewa ya sasa au kinachotetea kuchelewesha hatua. Biosfera ambayo huenda ikahifadhi baadhi ya uhai unaofanya usanisinuru katika hali moja ya mbali ya mfano si sawa na hali ya hewa ambayo jamii na mifumo ya ikolojia ya leo hubaki salama.

Makala ina thamani kwa sababu inafanya swali la mbali liwe na nidhamu zaidi. Inaonyesha kwamba mifano ya awali iliyorahisishwa huenda ilipasha joto kupita kiasi wakati mwanga wa Jua uliongezeka huku dioksidi kaboni ikibaki bila kubadilika, na kwamba uhai unaofanya usanisinuru unaweza kuwa na njia nyingi zaidi za kudumu kuliko kizingiti kimoja cha kawaida cha kaboni kinavyopendekeza. Pia inaonyesha kwa nini kila sehemu ya ziada ya bilioni ya miaka huja ikiwa imefungwa kwa mlolongo wa dhana.

Jua linalolisha jani linabadilika polepole. Ikiwa Dunia itabaki ya kijani kwa miaka bilioni 1.35, 1.87 au nambari nyingine itategemea miamba, maji, angahewa na uhai kuitikia pamoja. Tokeo la uaminifu si tarehe. Ni mtazamo mpana zaidi wa maelewano hayo.

Muhtasari safi

Utafiti wa hali ya hewa wa vipimo vitatu unauliza biosfera ya Dunia ya mimea inayofanya usanisinuru inaweza kudumu kwa muda gani Jua linapong'aa zaidi polepole. Watafiti walikokotoa hali 29 tofauti za hali ya hewa zilizotulia na kufuata hali mbili za mwisho za mfano kupitia hizo. Katika uchakavu dhaifu wa miamba na dioksidi kaboni iliyowekwa sehemu 400 kwa milioni, mipaka iliyochaguliwa ya joto kwa mimea ya nchi kavu hufika baada ya takriban miaka bilioni 1.68 na 1.87. Katika uchakavu

mkubwa wa miamba na wastani wa joto la uso wa dunia uliowekwa kelvin 288, takriban nyuzi 15 Celsius, mipaka iliyochaguliwa ya dioksidi kaboni kwa usanisinuru hufika baada ya takriban miaka bilioni 1.35, 1.64 na, kwa kutumia kizingiti cha majaribio, 1.84. Nambari inayotajwa mara nyingi ya miaka bilioni 1.86 ni wastani uliokadiriwa wa ncha mbili za juu zenye matumaini. Haya ni masafa ya mfano yanayotegemea hali, si tarehe ambayo Dunia, binadamu au uhai wote utaisha. Mfano hutumia njia zilizowekwa, jiografia ya sasa, bahari ya tabaka moja na hauna uunganishaji wa moja kwa moja kati ya udongo na mimea au kati ya hali ya hewa na uchakavu wa miamba, na makadirio marefu zaidi yanakaribia mipaka isiyo na uhakika ya athari ya chafu na upotevu wa bahari.

Ukaguzi bila chumvi

Makala inaonyesha nini: Katika usanidi huu wa ExoCAM, hali za hewa za vipimo vitatu kwa ujumla hupata ongezeko dogo zaidi la joto chini ya mwanga wa Jua unaoongezeka na dioksidi kaboni isiyobadilika kuliko mifano rahisi iliyotumiwa kulinganisha. Katika hali mbili zilizowekwa za uchakavu wa miamba na vizingiti kadhaa vya kibaolojia, mipaka ya biosfera ya mimea iko kati ya takriban miaka bilioni 1.35 na 1.87 kutoka sasa.

Ni nini kinawezekana lakini hakijathibitishwa: Kwamba baadhi ya mimea ya CAM au mimea ya majini inayotumia bicarbonate iliyoyeyushwa inaweza kudumisha usanisinuru karibu na sehemu moja kwa milioni ya dioksidi kaboni ya angahewa; kwamba mabadiliko ya kimaumbile au teknolojia yanaweza kuongeza muda wa uhai unaofanya usanisinuru; na kwamba njia halisi ya hali ya hewa na uchakavu wa miamba itabaki kati ya hali mbili za mwisho za mfano.

Haionyeshi nini: Tarehe maalumu ya mwisho wa mimea yote, uhai wote, ustaarabu wa binadamu, bahari za Dunia au sayari; uigaji mmoja unaoendelea wa miaka bilioni mbili ijayo; au sababu yoyote ya kupuuza mabadiliko ya hali ya hewa ya sasa yanayosababishwa na binadamu.

Mapungufu makuu: Hali 29 zilizotulia kutoka familia moja ya mfano wa hali ya hewa; njia za uchakavu wa miamba zilizowekwa badala ya kuunganishwa kwa mienendo; jiografia ya leo; bahari ya tabaka moja; methane isiyobadilika; mwinamo na eksentrisiti sifuri; hakuna udongo, mimea au mrejesho wa biosfera uliowakilishwa moja kwa moja; vizingiti vya joto na dioksidi kaboni visivyo na uhakika; na kutokubaliana kwa mifano karibu na hali za athari ya chafu yenye unyevunyevu na inayokimbia.

Msomaji wa kawaida anapaswa kuwa na imani kiasi gani? Imani kubwa kwamba utafiti unapanua masafa yanayowezekana katika mifano na kutambua dhana zinazoyatawala. Imani ya wastani katika masafa ya nambari kama mpaka wenye manufaa ndani ya mfano huu. Imani ndogo katika tarehe yoyote kamili, kwa sababu ncha za mbali zaidi zinategemea njia za hali ya hewa zilizokusudiwa kuwa kali na biolojia isiyo na uhakika.

Vyanzo

Haqq-Misra & Wolf, Maximum Lifetime of the Vegetative Biosphere, Journal of Geophysical Research: Atmospheres 131, e2025JD045586 (2026)
https://doi.org/10.1029/2025JD045586

Haqq-Misra & Wolf, Maximum Lifetime of the Vegetative Biosphere: Model Data, Zenodo record 16584870
https://doi.org/10.5281/zenodo.16584870