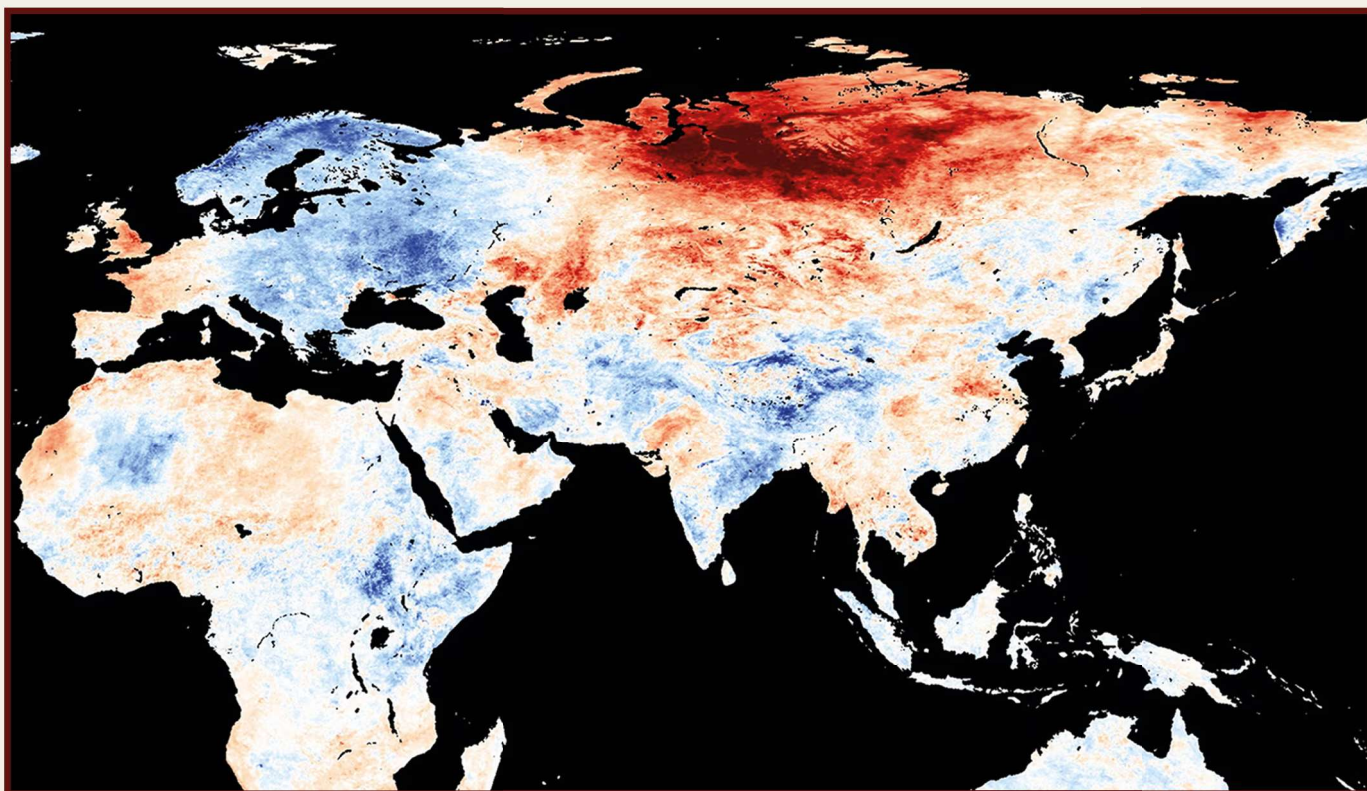


# O PRIJETNJI

**PROBOJA MAGMATSKJE PERJANICE U SIBIRU**

I PUTEVIMA RJEŠAVANJA OVOG PROBLEMA



# **O PRIJETNJI**

**PROBOJA MAGMATSKJE PERJANICE U SIBIRU  
I PUTEVIMA RJEŠAVANJA OVOG PROBLEMA**

# SADRŽAJ

Kratak opis geodinamičkog modela klimatskih promjena na Zemlji u trenutnom periodu .....	4
Pomjeranje jezgra prema Sibiru 1998. god. ....	16
Sibir i sibirski Arktik se zagrijavaju 3-4 puta brže od ostatka svijeta.....	21
Indirektni znaci podizanja sibirske perjanice.....	25
Topljenje vječnog leda.....	27
Očitovanja blatnog vulkanizma .....	29
Zagrijavanje tla .....	31
Temperatura površinskog zraka .....	32
Povećanje količine munja .....	34
Oštećenje ozonskog omotača .....	36
<b>Struktura, mogući razmjeri i lokalizacija magmatske perjanice na osnovu literarnih i posmatranih podataka .....</b>	<b>38</b>
Lokalizacija magmatske perjanice.....	44
Rast seizmičke aktivnosti kao znak destabilizacije tektonskih ploča .....	48
<b>Dokazi neizbježnosti erupcije sibirske perjanice .....</b>	<b>72</b>
<b>Scenario 1. Jednokratna erupcija sibirske perjanice .....</b>	<b>73</b>
Aktivacija supervulkana i vulkanskih sistema .....	80
Kisele kiše .....	82
Vulkanska zima .....	83
<b>Scenario 2. Postepena erupcija sibirske perjanice .....</b>	<b>85</b>
Posljedice postepenog proboja sibirske perjanice za Rusiju .....	90
Posljedice postepenog proboja sibirske perjanice za cijeli svijet .....	91
Dugoročne posljedice postepenog proboja sibirske perjanice za planetu .....	92
<b>Scenario 3. Planirano kontrolirano otplinjavanje .....</b>	<b>93</b>
Postojeće metode vulkanskog geoinženjeringa .....	93
Primjer programa planiranog otplinjavanja sibirske perjanice .....	100
Opravdanost izbora lokacije naučno-istraživačkih bušotina za praćenje dinamike savremene magmatske perjanice Sibira .....	102
Karakteristike bušenja i blokiranja magmatskih kanala u vrijeme planiranog otplinjavanja .....	105
Odabir optimalnog vremena za bušenje bušotina u vrijeme planiranog otplinjavanja .....	106
Scenariji rezultata provedbe planiranog otplinjavanja sibirske perjanice .....	106
<b>Zaključci .....</b>	<b>109</b>
<b>Dodatak 1 .....</b>	<b>110</b>
<b>References .....</b>	<b>112</b>

# Kratak opis geodinamičkog modela klimatskih promjena na Zemlji u trenutnom periodu

U proteklih 30 godina, na Zemlji se dogodio neviđeni i sinhroni rast klimatskih promjena, anomalija i ekstremnih pojava u svim slojevima planete i njenih geofizičkih parametara. Napredak ovih promjena se eksponencijalno ubrzava. Sveobuhvatna analiza naučnih podataka pokazuje da su glavni razlozi za rast anomalija u svim slojevima Zemlje astronomski ciklusi koji se dešavaju u Sunčevom sistemu svakih 12.000 godina.

Hipoteza o vanjskom astronomskom utjecaju potvrđuje se opažanjem sličnih klimatskih, geodinamičkih i magnetskih anomalija na drugim planetama Sunčevog sistema i njihovim satelitima, koje se dešavaju u trenutnom periodu sinhrono sa promjenama na Zemlji. Na primjer, na Uranu, Jupiteru i Veneri zabilježeno je povećanje brzine vjetrova i razmjera uragana. Istovremeno, na Marsu se opaža otapanje

ledenih kapa na polovima, a vulkanska aktivnost nastavlja rasti na Veneri i Marsu. Osim toga, seizmička aktivnost na Marsu se pojačava, što ukazuje na pojavu anomalne geodinamičke aktivnosti.

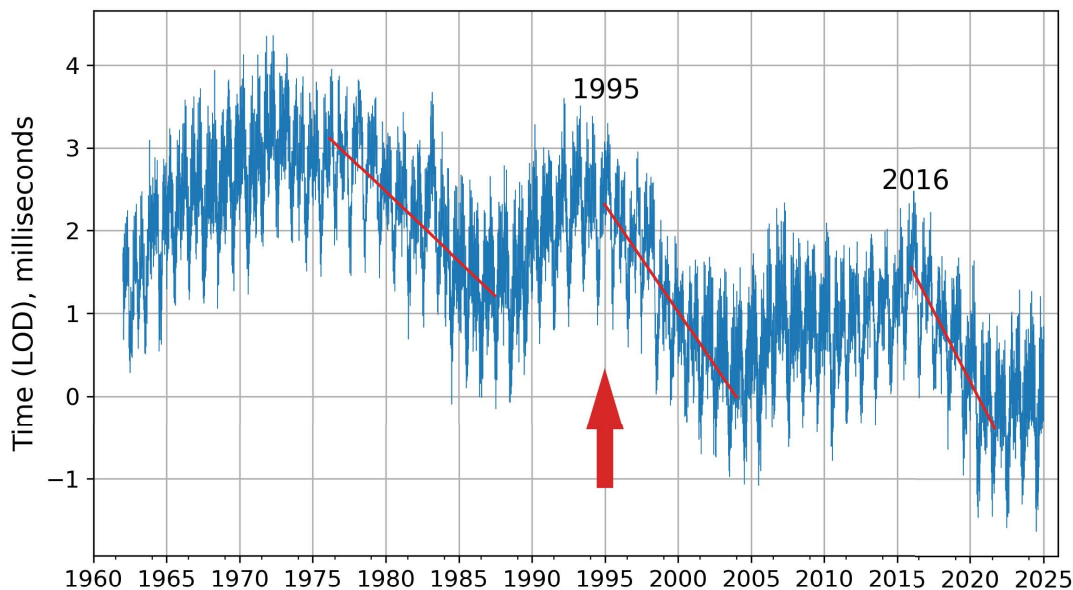
Kritične promjene u sistemu Zemlje kao rezultat astronomske cikličnosti od 12.000 godina u tekućem ciklusu počele su 1995. godine, kada su zabilježene značajne geofizičke anomalije, uključujući naglo ubrzanje rotacije Zemlje (Sl. 1) i pomjeranje njene ose<sup>1</sup> (Sl. 2), početak oštrog pomaka sjevernog magnetskog pola<sup>2</sup> (Sl. 3). Ove promjene ukazuju na značajne promjene u jezgri Zemlje.

<sup>1</sup>Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L., & Bauer Gottwein, P. (2021). Polar Drift in the 1990s Explained by Terrestrial Water Storage Changes. *Geophysical Research Letters*, 48(7). <https://doi.org/10.1029/2020gl092114>

<sup>2</sup>Dyachenko, A. I. (2003). Earth's magnetic poles. MCCME.



### Odstupanje u dužini dana



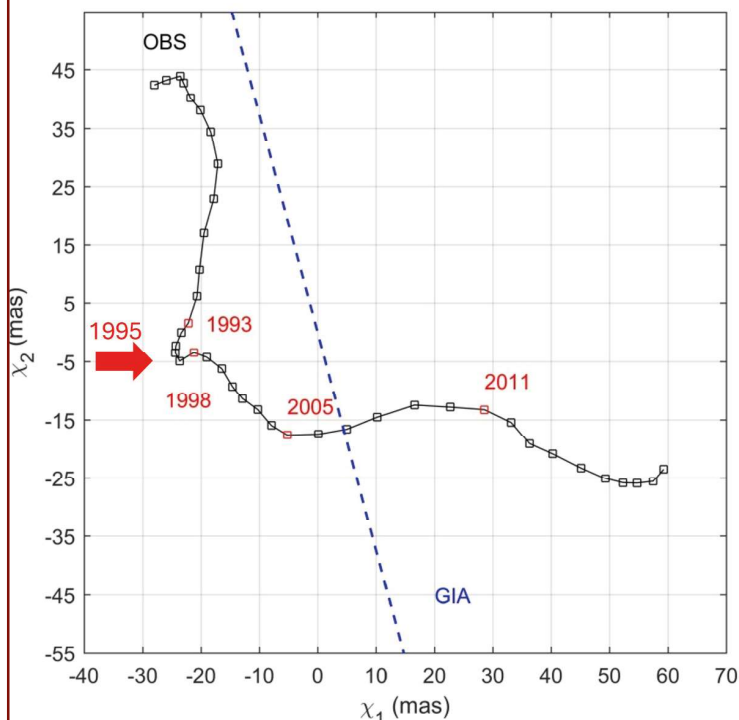
#### Sl. 1.

#### Odstupanje u duljini dana u milisekundama za period od 1962. do 2023. godine.

Izvor podataka: IERS Earth Orientation Center Pariske opservatorije.

Duljina dana — parametri orijentacije Zemlje: [https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOP-C04\\_14\\_62-NOW\\_IAU1980-LOD&id=223](https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOP-C04_14_62-NOW_IAU1980-LOD&id=223)

Na slici, crvene linije — to su linije trenda koje pokazuju koliko brzo se skraćuju dani. Na primjer, linija lijevo je ravnija, dok je linija desno, linija ubrzanja od 2016. godine, već gotovo okomita, odnosno dani se skraćuju nekoliko puta brže, što znači da se planeta vrti brže.



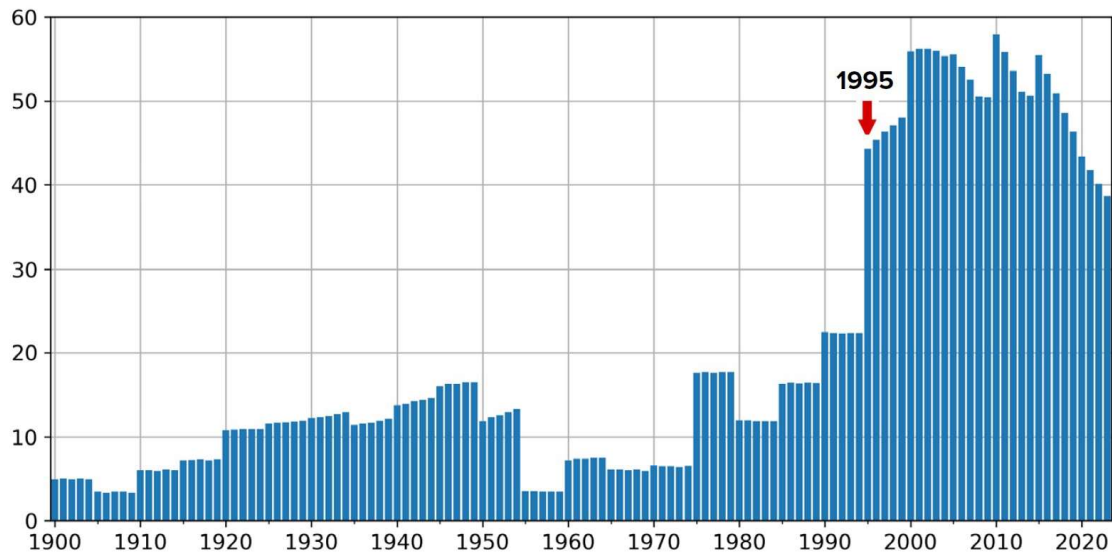
#### Sl. 2.

#### Dugoročna putanja uočene ekscitacije nakon uklanjanja godišnjih i Chandlerovih ciklusa metodom pokretnog prosjeka (crna linija sa kvadratima) i smjer polarnog drifta uzrokovanog glacijalnim izostatičkim prilagođavanjem — GIA (plava isprekidana linija).

Za veličinu podskupa pokretnog prosjeka uzima se 84 mjeseca, za koji je najmanji zajednički višekratnik 12 mjeseci (godišnji ciklus) i 14 mjeseci (Chandlerov ciklus), prema studiji Liua i ost. (2017).

Izvor: Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L., & Bauer Gottwein, P. (2021). Polar Drift in the 1990s Explained by Terrestrial Water Storage Changes. *Geophysical Research Letters*, 48(7). <https://doi.org/10.1029/2020gl092114>

### Brzina sjevernog magnetskog pola (km/god.)



#### Sl. 3.

#### Brzina kretanja sjevernog magnetskog pola (km/god)

Izvor: NOAA podaci o položaju sjevernog magnetskog pola

<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/data/poles/NP.xy>

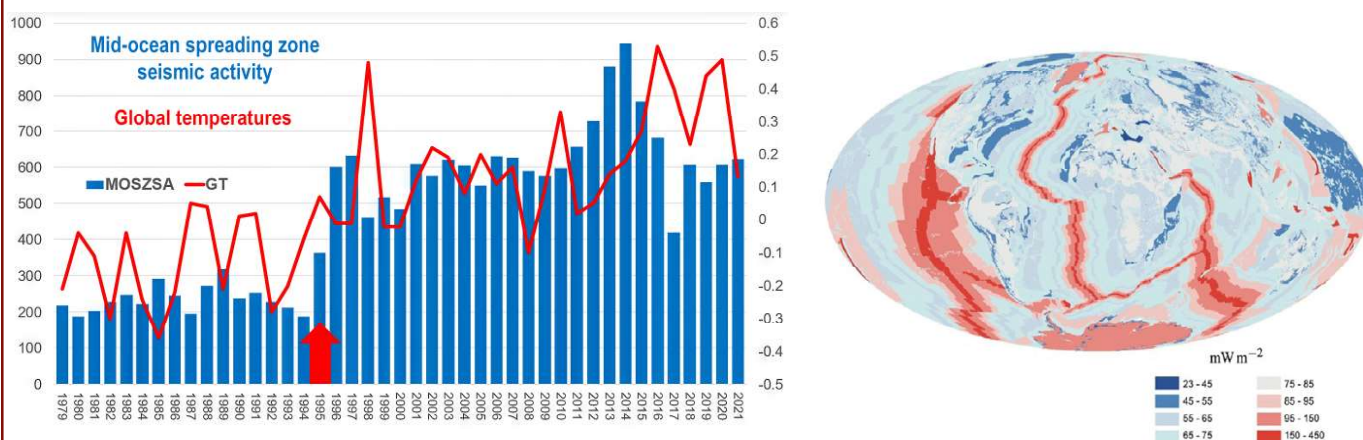
Saglasno hipotezi, u ovom trenutku Sunčev sistem je počeo ulaziti u zonu u kojoj je spoljašnji kozmički utjecaj počeo imati značajan utjecaj na planete, odnosno njihova jezgra. Promjene u jezgru Zemlje 1995. godine ukazuju na povećanje zagrijavanja vanjskog jezgra, što sugerira da je u jezgro Zemlje počela teći dodatna energija. Takve duboke promjene u jezgru Zemlje zahtijevaju kvadrilione puta više energije nego što je čovječanstvo proizvelo za sve vrijeme života civilizacije.

Dolazak vanjskih utjecaja u jezgro Zemlje doveo je do aktiviranja procesa povezanih s topljenjem plašta i izdizanjem magme na površinu, što je izazvalo lančanu reakciju seizmičke i vulkanske aktivnosti, a također doprinijelo i povećanju zagrijavanja iz dubina i rastu klimatskih kataklizmi po cijelom svijetu.

Na primjer, od 1995. godine došlo je do značajnog povećanja seizmičke aktivnosti, koja se očituje povećanjem učestalosti, magnitude i energije zemljotresa. Ovaj trend je uočen kako na kontinentima tako i na dnu okeana (Sl. 4) i pokriva regije koje ranije nisu pokazivale seizmičku aktivnost, što ukazuje da su promjene globalne prirode.

Važno je primijetiti da povećanje broja zemljotresa magnitude 5,0 i više nije povezano sa poboljšanjem tehnologija seizmičkog praćenja (Sl. 5), već odražava stvarne promjene u geodinamičkom sistemu Zemlje. Zbirni podaci Međunarodnog seizmološkog centra potvrđuju da se broj zemljotresa značajno povećao u posljednjih 25 godina i da nastavlja rasti (Sl. 6).

## Porast zemljotresa na dnu okeana duž srednjeoceanskih grebena



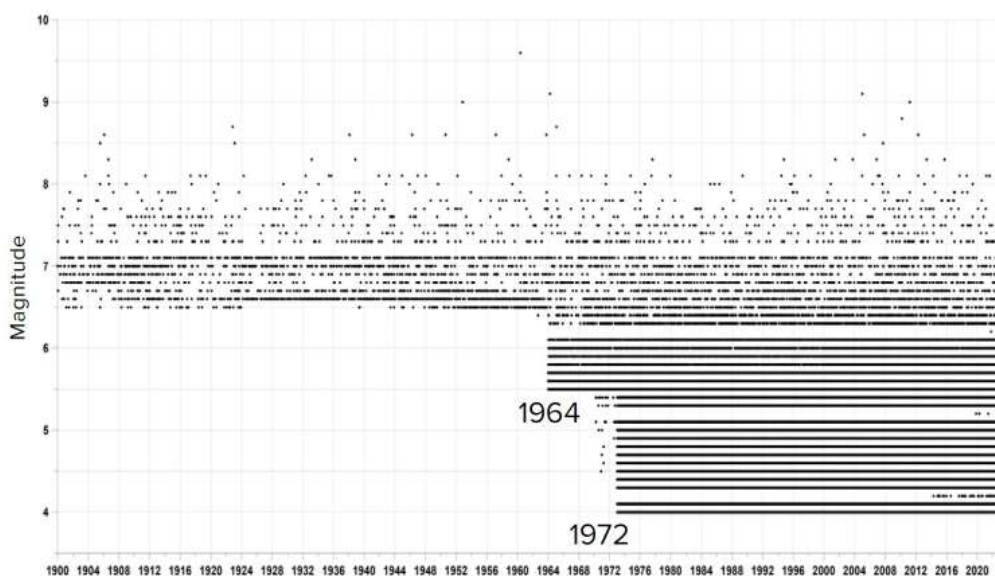
### Sl. 4.

Istovremeno povećanje zemljotresa na dnu okeana i globalne temperature atmosfere (lijevo). Geotermalno zagrijavanje srednjeoceanskih grebena (desno), Davies & Davies, 2010. god.

Izvor: Viterito, A. (2022). "1995: An Important Inflection Point in Recent Geophysical History." International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 29(5).

<https://doi.org/10.19080/ijesnr.2022.29.556271>

Dijagram ilustrira nagli porast broja zemljotresa 1995. godine na dnu okeana duž srednjeoceanskih grebena i blisku korelaciju seizmičnosti okeanskog dna s temperaturama atmosfere, što ukazuje na dodatni duboki izvor zagrijavanja kako okeana, tako i atmosfere.

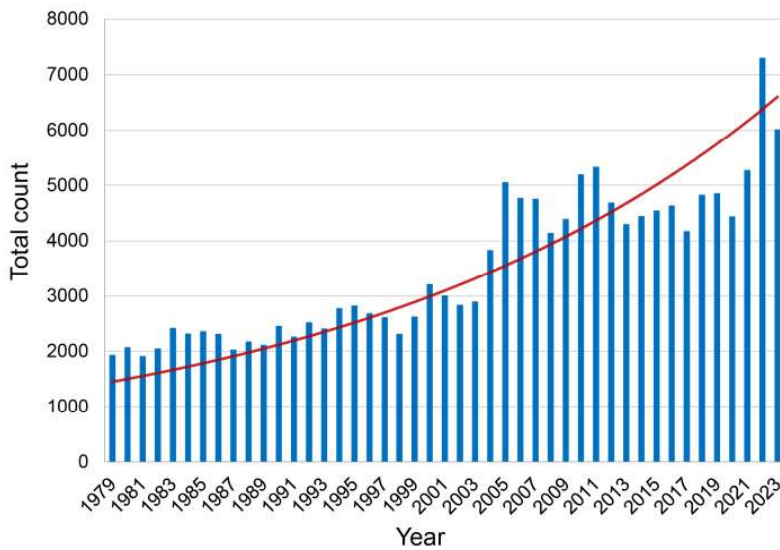


### Sl. 5.

Na grafikonu su crnim tačkama prikazani zemljotresi različite jačine u pojedinim godinama.

Do 1964. godine bilježeni su samo zemljotresi jačine 6,5 i više. Od 1964. godine (sa ugradnjom osjetljivijih senzora) — od 5,5 i više. Od 1972. — od 4.0 i više, nezavisno od lokacije.

## Zemljotresi M5+ 1979. - 2023. god., ISC



### Sl. 6.

**Zemljotresi magnitude 5,0 ili više od 1979. do 2023. godine, saglasno bazi podataka ISC.**

Podaci su uzorkovani pomoću algoritma maksimalnih vrijednosti magnitude sadržanih u bazi podataka ISC za svaki od događaja (vidi Dodatak 1).

Osim toga, došlo je do povećanja seizmičke aktivnosti u blizini vulkana, kao i kod supervulkana, takvih kao Yellowstone u Sjedinjenim Državama, Campi Flegrei u Italiji, Taupo na Novom Zelandu i drugih vulkana koji su erupirali u posljednjih 12.000 godina. Povećava se i ukupan broj dana vulkanskih erupcija, što je praćeno anomalnim erupcijama u kojima je izbačena lava pregrijana i ima netipičan sastav, karakterističan za magmu iz dubljih slojeva plašta.<sup>3,4,5,6,7</sup>

Posebnu pažnju izaziva povećanje broja zemljotresa dubokog žarišta koji se dešavaju na dubinama većim od 300 km, ponekad dosežući 750 km ispod površine Zemlje. Ove pojave se

ne dešavaju u zemljinoj kori, već u plaštu, gdje se materijal plašta obično glatko deformiše, a ne uništava, što prirodu takvih zemljotresa čini neobičnom.

Budući da se ovi zemljotresi dešavaju u uslovima ekstremnog pritiska i visokih temperatura, može se zaključiti da su ove snažne eksplozije po energiji uporedive sa istovremenom detonacijom mnogih atomskih bombi unutar plašta Zemlje. Osim toga, zemljotresi dubokog žarišta često izazivaju jake zemljotrese u zemljinoj kori, povećavajući njihov destruktivni utjecaj.<sup>8,9</sup>

<sup>3</sup>Castro, J., & Dingwell, D. (2009). Rapid ascent of rhyolitic magma at Chaitén volcano, Chile. *Nature*, 461, 780-783. <https://doi.org/10.1038/nature08458>

<sup>4</sup>Smirnov, S. Z., et al. (2021). High explosivity of the June 21, 2019 eruption of Raikoke volcano (Central Kuril Islands): Mineralogical and petrological constraints on the pyroclastic materials. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 418, 107346. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107346>

<sup>5</sup>Why the Tongan eruption will go down in the history of volcanology. (2022). *Nature*, 602, 376-378. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00394-y>

<sup>6</sup>Halldórssón, S. A., Marshall, E. W., Caracciolo, A., et al. (2022). Rapid shifting of a deep magmatic source at Fagradalsfjall volcano, Iceland. *Nature*, 609, 529-534. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04981-x>

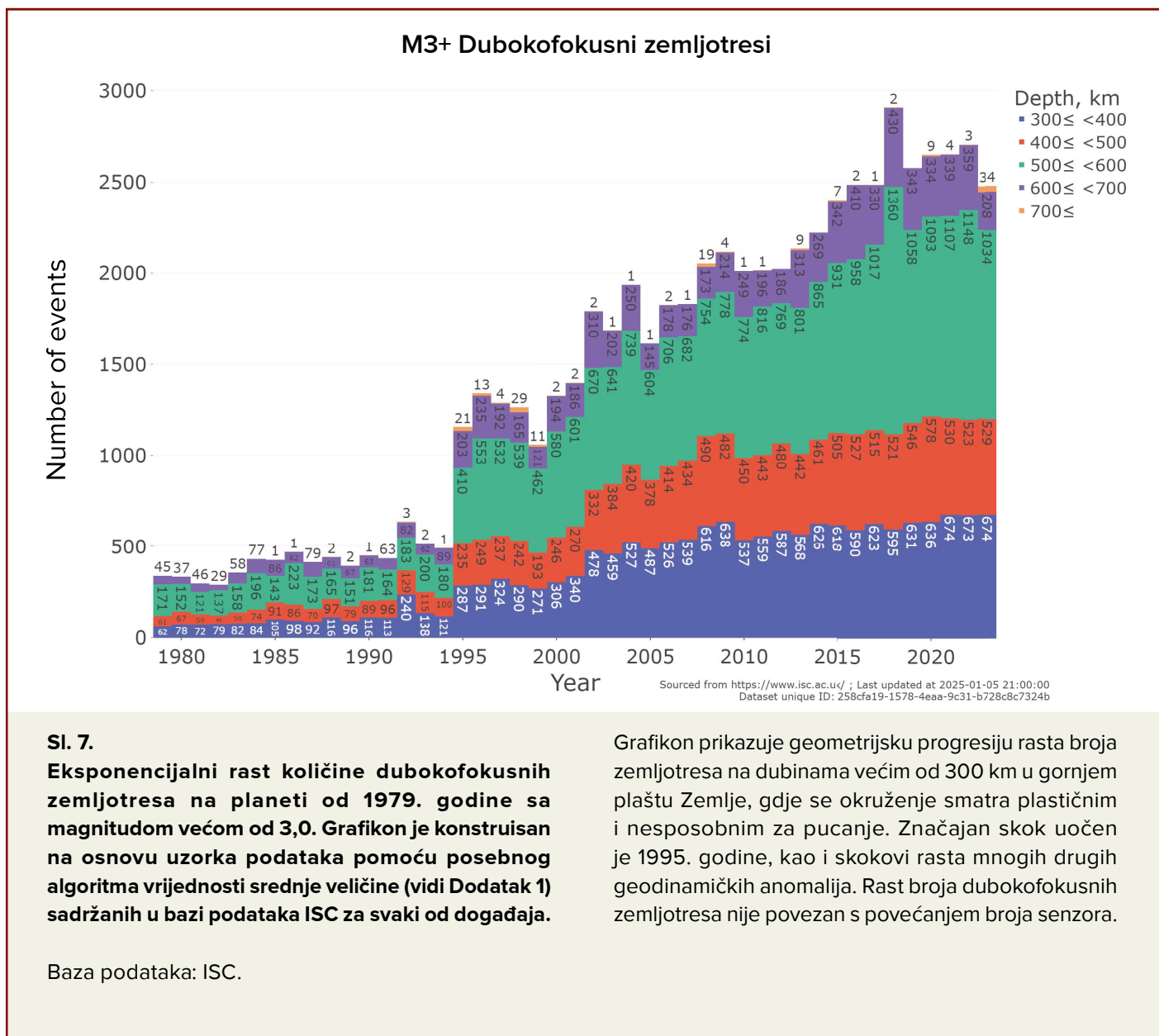
<sup>7</sup>D'Auria, L., Koulakov, I., Prudencio, J., et al. (2022). Rapid magma ascent beneath La Palma revealed by seismic tomography. *Scientific Reports*, 12, 17654. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21818-9>

<sup>8</sup>Mikhailova, R. S. (2014). Strong earthquakes in the mantle and their influence in the near and far zone. *Geophysical Survey RAS*. <http://www.emsd.ru/conf2013lib/pdf/seism/Mihaylova.pdf>

<sup>9</sup>Mikhailova, R. S., Ulubieva, T. R., & Petrova, N. V. (2021). The Hindu Kush earthquake of October 26, 2015 with Mw=7.5, 10<sup>-7</sup>: Previous seismicity and aftershock sequence. *Earthquakes in Northern Eurasia*, 24(2015), 324-339. <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.31>

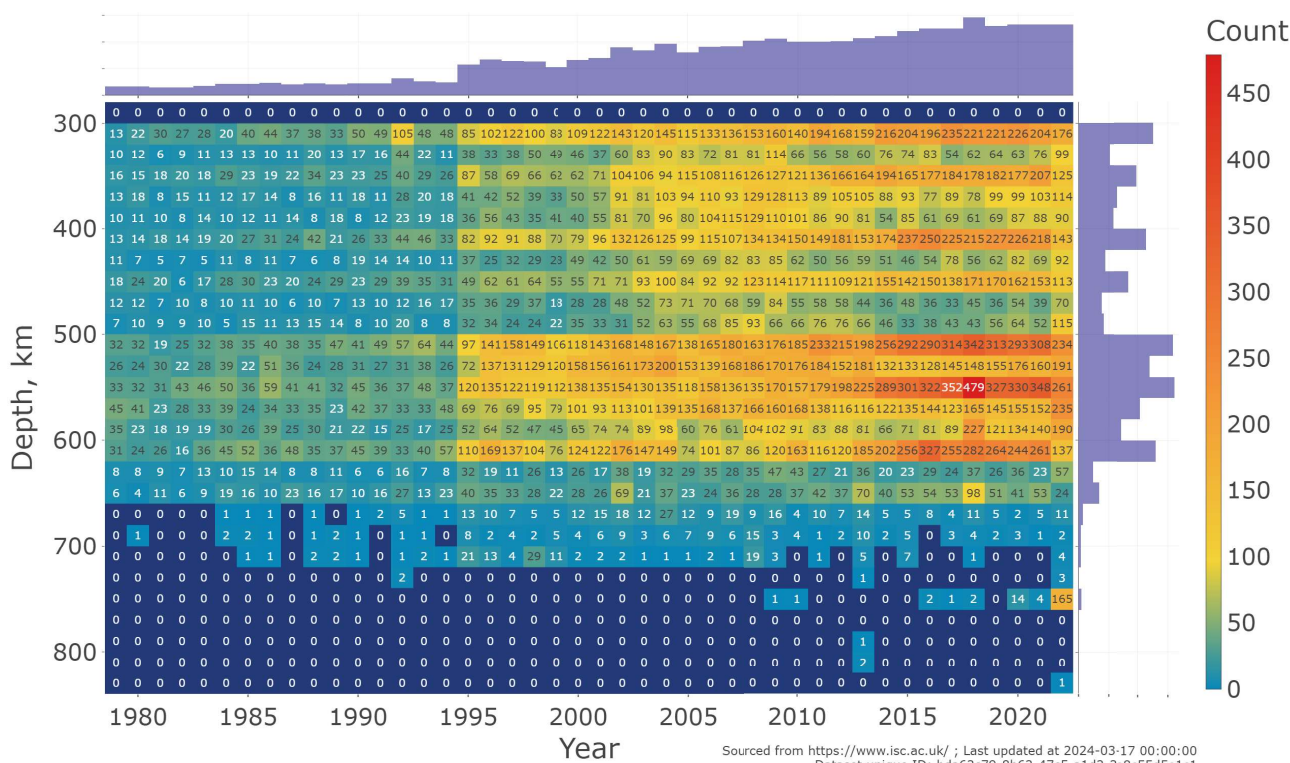
Od 1995. godine uočava se brzi eksponencijalni rast broja tako dubokih zemljotresa (Sl. 7, 8), što se poklapa s drugim geodinamičkim anomalijama koje su započele u tom istom periodu. Rast tih eksplozija unutar plašta ukazuje na povećanje

energije duboko unutar planete i intenzivno otapanje plašta, što može dovesti do vulkanskih erupcija velikih razmjera.





### M3+ Dubokofokusni zemljotresi



**Sl. 8.**

**Shema količine dubokofokusnih zemljotresa po godinama i dubinama magnitude veće od 3,0.**

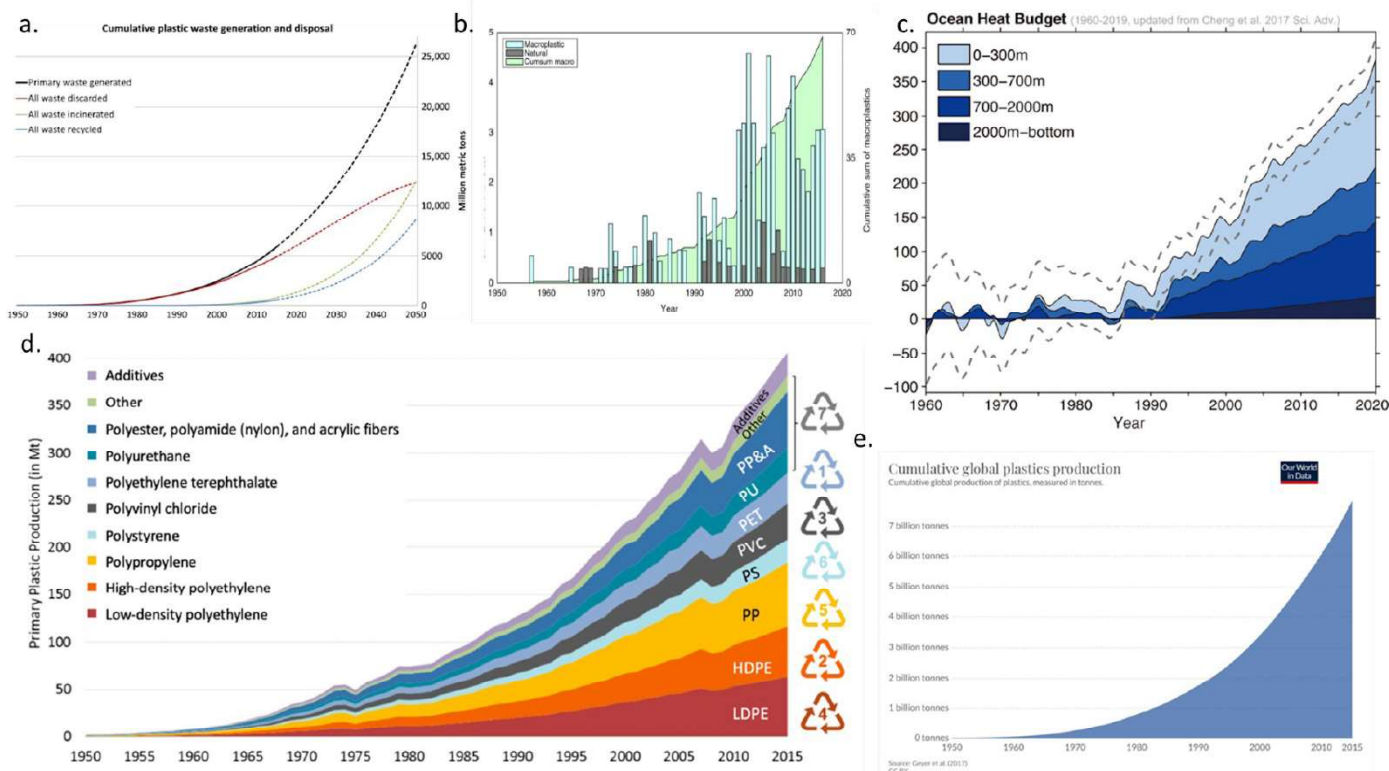
Baza podataka: ISC.

Rast dubokofokusnih zemljotresa ukazuje na topljenje plašta, zagrijanog od jezgra. Rastopljena magma u plaštu, zbog centrifugalnih sila, počinje se naglo dizati ka površini Zemlje, erodirajući i zagrijavajući litosferu iznutra više nego inače.

Upravo porast magme izaziva povećanje geotermalnog toka iz dubina, aktiviranje magmatskih perjanica ispod glečera Zapadnog Antarktika i centralnog Grenlanda, što ubrzava otapanje ledenjaka i vječnog leda odozdo prema gore.

U današnje vrijeme okean se zagrijava kao

nikada prije, značajno pojačavajući ekstremne prirodne pojave: poplave, uragane i tropske ciklone. Okean igra ključnu ulogu u reguliranju topline na planeti, jer je u stanju da apsorbira i redistribuira višak topline, sprječavajući katastrofalne posljedice. Međutim, sada, kako se pojačava zagrijavanje Zemlje zbog geodinamičke aktivnosti uzrokovane astronomskim ciklusima, okean je izgubio funkciju uklanjanja topline iz unutrašnjosti. To se dogodilo zbog antropogenog zagađenja okeana. Plastični otpad se razlaže na mikro- i nanoplastiku, smanjujući toplinsku provodljivost vode (Sl. 9).



## Sl. 9.

**Grafikon promjene temperature okeana za period 1960. – 2019. godine i poređenje sa grafikonima rasta proizvodnje sintetičkih polimera, njihove upotrebe u različitim sektorima privrede i odlaganja plastičnog otpada u okean (iz različitih izvora).**

### a. Ukupna količina proizvedenog i odloženog plastičnog otpada.

Izvor: Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7).  
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

### b. Ukupna količina mikroplastike u okeanu i godišnje stope.

Izvor: Ostle, C., Thompson, R. C., Broughton, D., Gregory, L., Wootton, M., & Johns, D. G. (2019). The rise in ocean plastics evidenced from a 60-year time series. *Nature Communications*, 10(1622).  
<https://doi.org/10.1038/s41467-019-09506-1>

### c. Promjene temperature Svjetskog okeana 1960. – 2019. god. (Purkey and Johnson, 2010; updated from Cheng et al., 2017)

Izvor: Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., & Mann, M. E. (2020). Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37, 137–142.  
<https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>

### d. Svjetska proizvodnja primarne plastike po vrstama.

Izvor: Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7).  
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

### e. Ukupna količina proizvedene plastike od 1950. god.

Baza podataka: Plastic Marine Pollution Global Dataset



Povećanje temperature vode događa se ne samo na površini, već i po cijeloj dubini, kao i na dnu okeana. Uzrok zagrijavanja okeana je podizanje magme, koja posebno zagrijava okeansku koru, koja je tanja i ranjivija od kontinentalne kore.

Istorijski podaci geoloških i studija ledenih jezgara upućuju na to da se Zemlja suočava sa sličnim katastrofalnim ciklusima svakih 12.000 godina<sup>10</sup>. A svakih 24.000 godina, planetarne katastrofe su bile nekoliko puta jače, o čemu govore studije o slojevima pepela od vulkanskih erupcija u jezgrama leda<sup>11</sup> (Sl. 10) i druga geohronološka istraživanja. Upravo u takav ciklus ulazi sada Zemlja. Međutim, trenutni ciklus je pogoršan antropogenim faktorima kao što je zagađenje okeana, koje je dodatno narušilo funkciju okeana da reguliše energetski balans Zemlje.

Kako se okean zagrijava, plastični otpad se razlaže na mikro i nanoplastiku, dodatno smanjujući toplinsku provodljivost okeana. Ovaj gubitak toplinske provodljivosti je kritičan tokom perioda povećane geodinamičke aktivnosti uzrokovane astronomskim ciklusima.

Nakupljanje viška energije u utrobi Zemlje dovelo je do povećanja broja dubokofokusnih zemljotresa i brzog formiranja novih magmatskih komora, što dodatno pogoršava nestabilnost planete. Ovaj začarani krug ubrzava zagrijavanje i destabilizaciju planete, približavajući Zemlju neizbježnoj pogibelji.

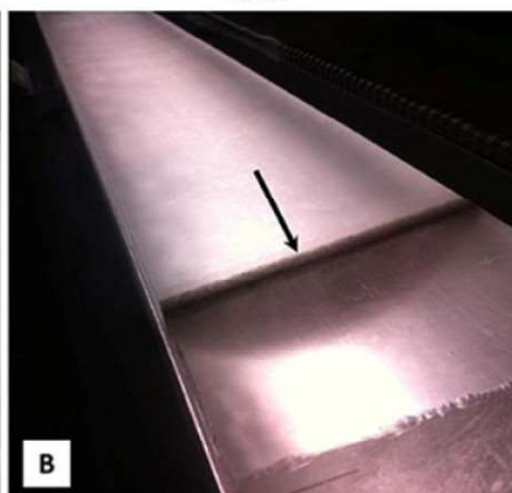
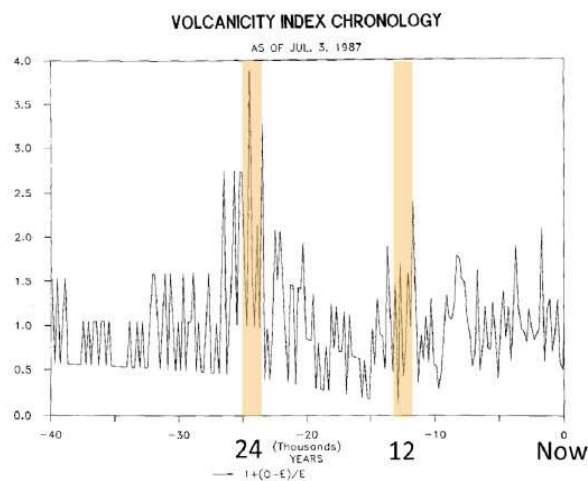
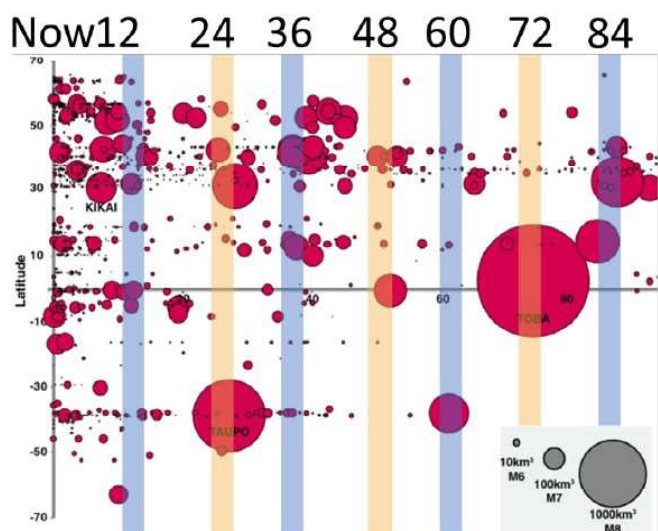
Matematičko modeliranje pokazuje da bi se svjetski ekonomski i društveni sistemi mogli urušiti u narednih 4-6 godina zbog sve veće štete od klimatskih katastrofa. Eksponencijalno povećanje katastrofalnih događaja prijeti da Zemlju učini nenastanljivom u narednoj deceniji (Sl. 11).

Za razliku od prethodnih ciklusa, trenutno stanje planete pogoršava zagađenje uzrokovano djelovanjem ljudi, ostavljajući malo nade za opstanak ekosistema i same planete Zemlje. **Važno je shvatiti da rješavanje problema zagađenja okeana i zagrijavanja može usporiti razvoj katastrofa, ali ih neće zaustaviti.**

<sup>10</sup>Arushanov, M. L. (2023). Climate dynamics: Space factors. LAMBERT Academic Publishing.

<sup>11</sup>Sawyer, D. E., Urgeles, R., & Lo Iacono, C. (2023). 50,000 yr of recurrent volcanoclastic megabed deposition in the Marsili Basin, Tyrrhenian Sea. *Geology*, 51(11), 1001-1006. <https://doi.org/10.1130/G51198.1>

## Katastrofalne vulkanske erupcije s ciklusom od 12 000 godina



### Sl. 10.

**Podaci istraživanja slojeva pepela iz vulkanskih erupcija u posljednjih 100 000 godina u ledenim jezgrama Antarktika i Arktika iz radova raznih autora.**

Izvor: Brown, S. K., Croweller, H. S., Sparks, R. S. J., Cottrell, E., Deligne, N. I., Guerrero, N. O., Hobbs, L., Kiyosugi, K., Loughlin, S. C., Siebert, L., & Takarada, S. (2014). Characterisation of the Quaternary eruption record: analysis of the Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions (LaMEVE) database. *Journal of Applied Volcanology*, 3(5). <https://doi.org/10.1186/2191-5040-3-5>

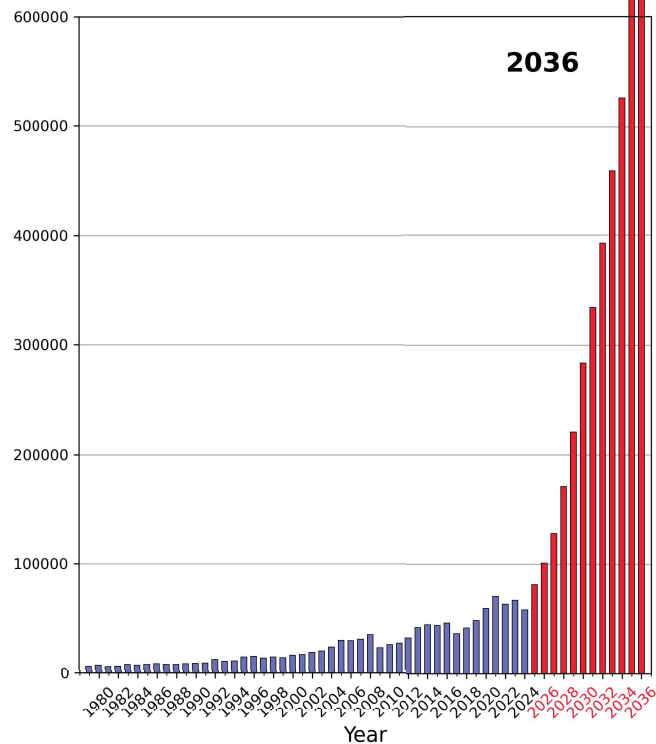
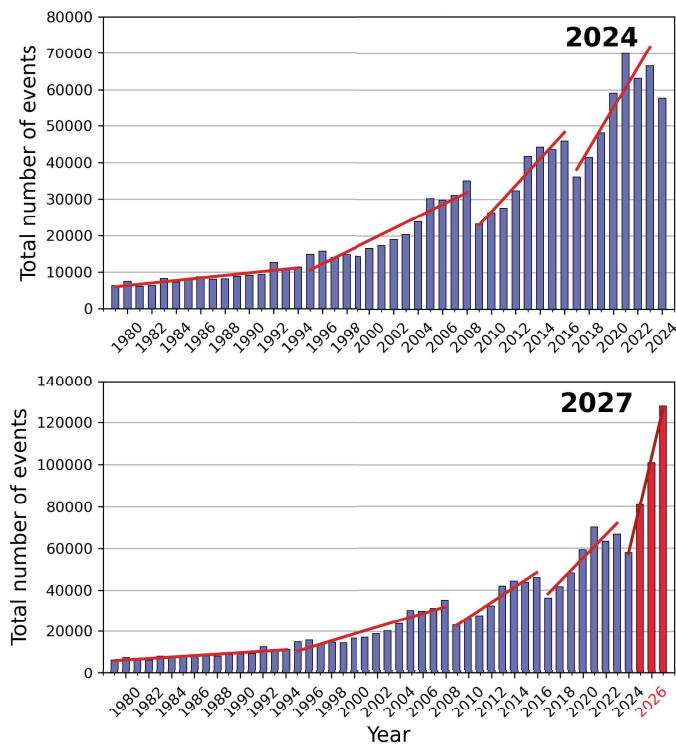
Bryson, R. A. (1989). Late quaternary volcanic modulation of Milankovitch climate forcing. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 115–125. <https://doi.org/10.1007/bf00868307>

Grafikoni ilustriraju katastrofalnu vulkansku aktivnost svakih 12.000 godina, a još ozbiljniju svakih 24.000 godina (uzimajući u obzir grešku u određivanju starosti). Ovakvi katastrofalni događaji doveli su do oštih temperaturnih promjena, prirodnih katastrofa, vulkanskih zima i masovnog izumiranja vrsta. Mnogi supervulkani koji su eruptili u prošlim ciklusima počeli su pokazivati anomalnu aktivnost u novije doba, posebno od 1995. godine.

## Progresija rasta kataklizmi na primjeru zemljotresa

M3+ Earthquakes Globally 1979-2024

[volcanodiscovery.com](http://volcanodiscovery.com)



### SI. 11.

#### Model eksponencijalnog rasta količine prirodnih katastrofa na primjeru zemljotresa do 2036. god.

Grafikoni demonstriraju geometrijsku progresiju rasta količine i siline zemljotresa na planeti, uzimajući u obzir tekući trend. U svakoj narednoj fazi, broj zemljotresa se povećava za 3 puta. Do 2028. godine na Zemlji će se ogađati 1.000 zemljotresa dnevno

sa magnitudom većom od 3,0, dok sada ima 125 potresa dnevno sa magnitudom većom od 3,0.

Postoji velika vjerovatnoća da će se za samo 6 godina svakodnevno na Zemlji događati zemljotresi koji će biti razorni kao zemljotres u Turskoj i Siriji 6. februara 2023. godine.

Ovaj izvještaj se fokusira na dodatnu prijetnju koju predstavljaju promjene u jezgri kao rezultat dodatne energije koja ulazi u njega. U periodu 1997. – 1998. godine, naučnici su, koristeći satelitske podatke iz istraživanja Centra mase Zemlje, zabilježili pojavu bez presedana: skok unutrašnjeg jezgra Zemlje. Kao rezultat ovog događaja, jezgro planete se pomjerilo na sjever, duž linije od zapadnog Antarktika do istočnog Sibira i poluotoka Taimyr u Ruskoj Federaciji. Kao rezultat ovog pomaka jezgra, došlo je do nekontroliranog porasta magme u ovom smjeru, zbog čega se ogromna magmatska perjanica počela brzo dizati ispod Sibira.

U ovom trenutku, sibirski perjanica je već dosegla podnožje zemljine kore u sjevernom dijelu Istočnosibirskog kratona i počela je podizati ploču, što znači da je vruća magma već počela sagorijevati sebi put do površine.

Nekontrolirana erupcija sibirske perjanice mogla bi dovesti do globalnog izumiranja, ostavljajući čovječanstvo bez bilo kakve šanse za opstanak, jer bi, prema proračunima, takva erupcija bila 1.000 puta snažnija od najsnažnije erupcije supervulkana Yellowstone. Slične erupcije magmatske perjanice u Sibiru dogodile su se prije 250 miliona godina i dovele su do velikog izumiranja Perma. Postoje tri moguća scenarija za dalji razvoj, koji su opisani u ovom izvještaju.

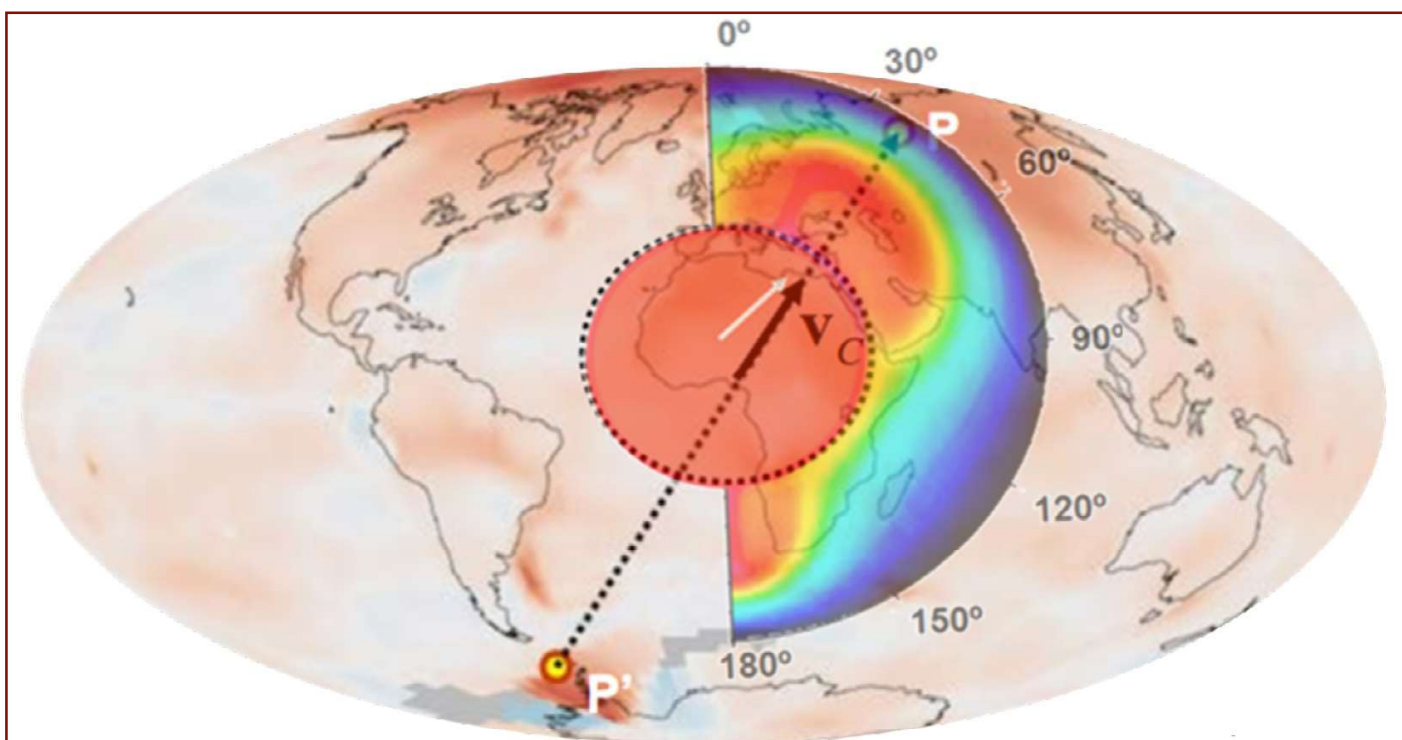
Izvještaj također predlaže korake za rješavanje problema podizanja sibirske perjanice i minimiziranje rizika od njenog nekontroliranog prodora.



## Pomicanje jezgra prema Sibiru 1998. god.

U periodu 1997. – 1998. godine, naučnici su, koristeći satelitske podatke istraživanja Centra mase, Zemlje zabilježili fenomen bez presedana – skok unutarnjeg jezgra Zemlje<sup>12,13</sup>. Kao rezultat

ovog događaja, jezgro planete se pomjerilo na sjever, duž linije od Zapadnog Antarktika do poluotoka Taimyr na sjeveru istočnog Sibira (Sl. 12).



### Sl. 12.

**Skok jezgra u periodu 1997. – 1998. god. i termalni valovi u magmi, izazvani pomjeranjem jezgra. Yu. V. Barkin.** Karta ilustrira vektor pomjeranja unutrašnjeg jezgra duž linije od Zapadnog Antarktika do Istočnog Sibira, do poluotoka Taimyr. Dijagram je ucrtan na kartu atmosferskih termičkih anomalija.

Izvor: Geofizičke posljedice relativnih pomaka i kolebanja jezgra i plašta Zemlje. Prezentacija Yu. V. Barkin, Moskva, IFZ, OMTS. 16. septembra 2014. god.

<sup>12</sup> Barkin, Yu. V. (2011). Synchronous jumps in activity of natural planetary processes in 1997-1998 and their unified mechanism. In *Geology of Seas and Oceans: Proceedings of the XIX International Scientific Conference on Marine Geology* (Vol. 5, pp. 28-32). GEOS.

<sup>13</sup> Smolkov, G. Ya. (2018). Exposure of the solar system and the earth to external influences. *Physics & Astronomy International Journal*, 2(4), 310-321. <https://doi.org/10.15406/paij.2018.02.00104>

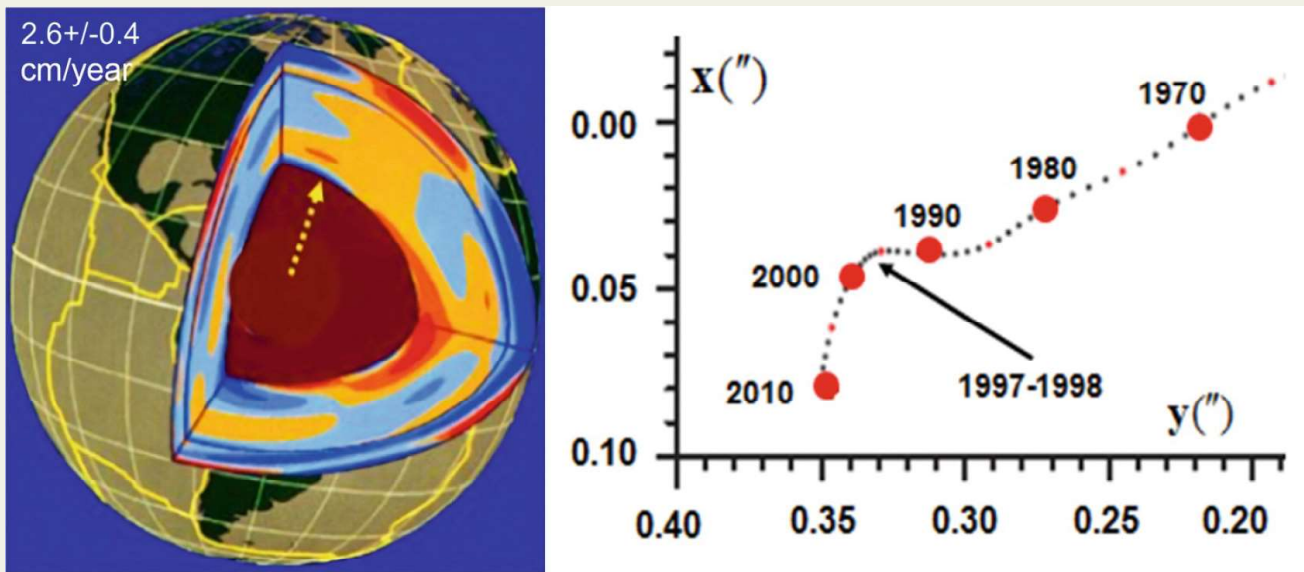


Istovremeno s tim, četiri različita naučna tima, nezavisno jedan od drugog, zabilježila su anomalne promjene u različitim geofizičkim parametrima Zemlje. Na osnovu satelitskih podataka, tim autora sa Moskovskog državnog univerziteta po imenu Lomonosova i Institut za fiziku Zemlje Ruske akademije nauka ustanovili su skok centra mase Zemlje 1998. godine<sup>14</sup> (Sl. 13).

U tom istom periodu, Međunarodna služba za rotaciju Zemlje (IERS) zabilježila je naglo ubrzanje rotacije planete. U to vrijeme, na stanici Medicina u Italiji, naučnici su zabilježili skok sile gravitacije<sup>15</sup>. Istovremeno s tim, primijećena je

i oštra promjena oblika Zemlje<sup>16</sup>, zabilježena pomoću sistema laserskog daljinomjera sa SAD-ovih satelita.

Po mišljenjima doktora fizičko-matematičkih nauka, profesora Yu. V. Barkina, doktora tehničkih nauka, profesora G. Ya. Smolkova<sup>17</sup>, doktora geografskih nauka, profesora M. L. Arushanova<sup>18</sup>, akademik Ruske akademije nauka, počasnog profesora Moskovskog državnog univerziteta s imenom Lomonosova, doktora geološko-mineraloških nauka V. E. Khaina<sup>19</sup>, i mnogih drugih naučnika, skok jezgra postao je uzrokom promjena u svim slojevima Zemlje.



Sl. 13.

**Unutrašnja struktura Zemlje, pravac sekularnog pomjeranja centra mase Zemlje i putanja njegovog pola na površini Zemlje od 1990. – 2010. god., sa rotacijom od skoro 90° u periodu 1997. – 1998. godine u pravcu poluotoka Taimyr.**

Izvor: G. Ya. Smolkov // Heliogeofizičke studije. Izdanje 25, 14–29, 2020. <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=569> (datum pristupa: 01.02.2024.)

Izvor grafikona: Yu. V. Barkin, R. K. Klige, 2012.

<sup>14</sup> Zotov, L. V., Barkin, Yu. V., & Lyubushin, A. A. (2009). Geocenter motion and its geodynamics. In Proceedings of the Conference "Space Geodynamics and Modeling of Global Geodynamic Processes" (pp. 98-101). Siberian Branch of RAS.

<sup>15</sup> Romagnoli, C., Zerbini, S., Lago, L., Richter, B., Simon, D., Domenichini, F., Elmi, C., & Ghirelli, M. (2003). Influence of soil consolidation and thermal expansion effects on height and gravity variations. Journal of Geodynamics, 35(4-5), 521-539. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(03\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(03)00012-7)

<sup>16</sup> Cox, C., & Chao, B. F. (2002). Detection of a large-scale mass redistribution in the terrestrial system since 1998. Science, 297(5582), 831-833. <https://doi.org/10.1126/science.1072188>

<sup>17</sup> Barkin, Yu. V., & Smolkov, G. Ya. (2013). Abrupt changes in trends of geodynamic and geophysical phenomena in 1997-1998. In Proceedings of the All-Russian Conference on Solar-Terrestrial Physics (pp. 16-21). Irkutsk.

<sup>18</sup> Arushanov, M. L. (2023). Causes of Earth's climate change as a result of cosmic impact, dispelling the myth of anthropogenic global warming. Deutsche Internationale Zeitschrift Für Zeitgenössische Wissenschaft, 53, 4-14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7795979>

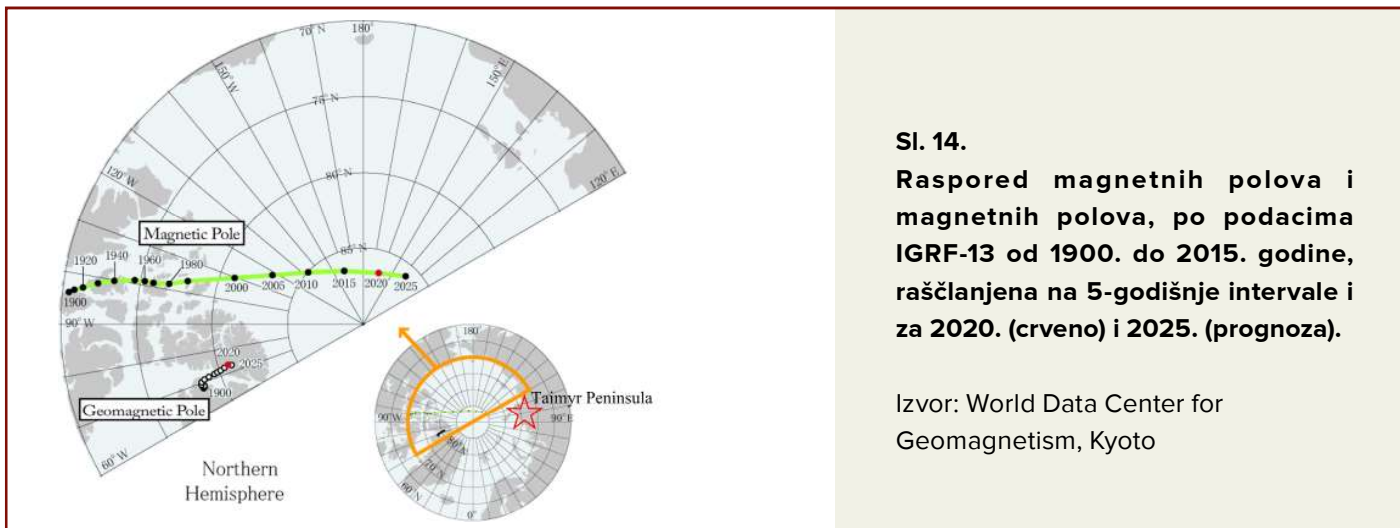
<sup>19</sup> International Committee GCGE GEOCHANGE. (2010). Global environmental changes: Threat to civilization development (Vol. 1). London: GCGE. ISSN 2218-5798

Važno je napomenuti da se upravo u tom smjeru 1995. godine počeo nagli pomak sjevernog magnetnog pola. Od početka prošlog stoljeća kretao se prosječnom brzinom od 10 km/godišnje, a onda je naglo povećao brzinu, dosegnuvši maksimalnih 57 km/godišnje, te promijenio putanju, krenuvši prema Sibiru i poluotoku Taimyr<sup>20</sup> (Sl. 3, 14).

To ukazuje da su se uslovi za pomicanje jezgra u pravcu poluotoka Taimyr počeli stvarati već 1995. godine usljed ukapljivanja vanjskog tečnog jezgra Zemlje. Godine 2013. naučnici sa Univerziteta u Leedsu su ustanovili da su se ove promjene u magnetnom polju počele događati zbog ubrzavanja protoka tečnog željeza u vanjskom jezgru Zemlje<sup>21</sup> (Sl. 15), koje je, vjerojatno, počelo 1995. godine.

Po literarnim podacima, otkrivena je korelacija između učestalosti preokreta magnetskog polja i intenziteta magmatizma plašta<sup>22,23,24</sup>. Pri

tome je poznato da su preokreti magnetnog polja vjerovatno povezani s procesima koji se odvijaju u vanjskom jezgru blizu granice jezgro-plašt<sup>25</sup>. Korelacija između promjene intenziteta magmatizma plašta i učestalosti preokreta magnetnog polja Zemlje ukazuje na to da poremećaji magnetnog polja Zemlje nastaju u vanjskom jezgru zbog promjena u intenzitetu prijenosa topline u bazama perjanica koji se nalaze na granici jezgro-plašt. Povećanje ukupne toplinske snage perjanica nastaje kao rezultat kako nastajanja novih perjanica, tako i povećanja toplinske snage već aktivnih perjanica. Može se pretpostaviti da se geodinamički poremećaji u vanjskom jezgru i plaštu javljaju tokom perioda stvaranja i izlivanja perjanica na površinu<sup>26</sup>.



**Sl. 14.**  
**Raspored magnetnih polova i magnetnih polova, po podacima IGRF-13 od 1900. do 2015. godine, raščlanjena na 5-godišnje intervale i za 2020. (crveno) i 2025. (prognoza).**

Izvor: World Data Center for Geomagnetism, Kyoto

<sup>20</sup>Dyachenko, A. I. (2003). Earth's magnetic poles. MCCME.

<sup>21</sup>Livermore, P. W., Hollerbach, R., & Finlay, C. C. (2017). An accelerating high-latitude jet in Earth's core. *Nature Geoscience*, 10, 62–68. <https://doi.org/10.1038/ngeo2859>

<sup>22</sup>Alain Mazaud, Carlo Laj, The 15 m.y. geomagnetic reversal periodicity: a quantitative test, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 107, Issues 3–4, 1991, Pages 689–696, ISSN 012-821X, [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90111-T](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90111-T)

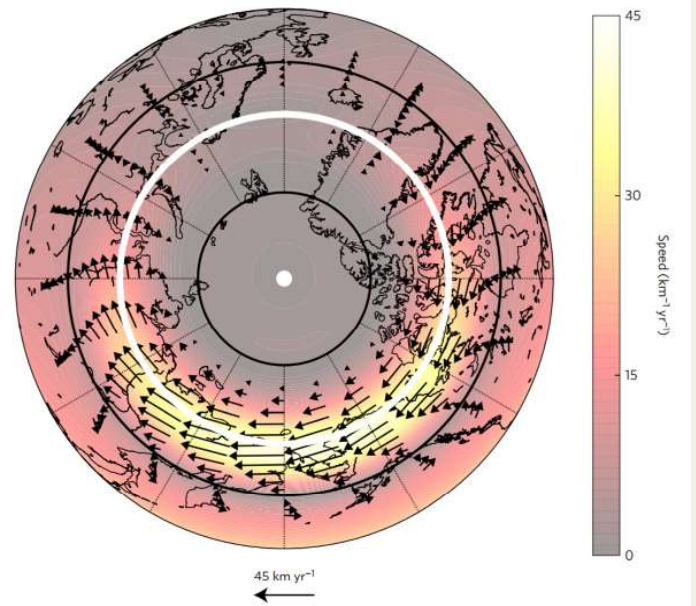
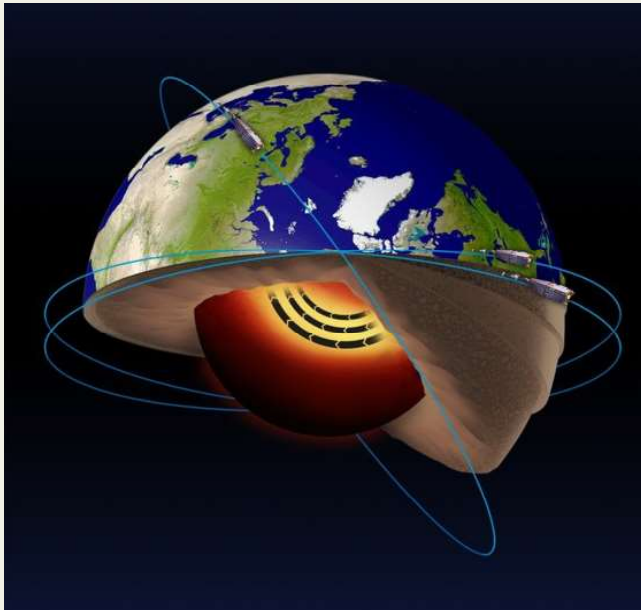
<sup>23</sup>Roger L. Larson, Peter Olson, Mantle plumes control magnetic reversal frequency, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 107, Issues 3–4, 1991, Pages 437–447, ISSN 0012-821X, [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90091-U](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90091-U)

<sup>24</sup>Zonenshain, L.P., Kuzmin, M.I. "Deep Geodynamics of the Earth" // *Geology and Geophysics*, 1993, Vol. 34 (4), pp. 3–13.

<sup>25</sup>Dobretsov, N.L., Kiryashkin, A.G., Kiryashkin, A.A. "Deep Geodynamics". Novosibirsk, Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, GEO Branch, 2001, 408 p.

<sup>26</sup>Kiryashkin, A.A., Kiryashkin, A.G. Interaction of a Thermochemical Plume with Mantle Free-Convective Flows and Its Influence on Mantle Melting and Recrystallization // *Geology and Geophysics*, 2013, Vol. 54, No. 5, pp. 707–721.





**Sl. 15.**

**Analiza podataka ESA-inog Swarm satelita pokazala je prisutnost mlaznog toka u dijelu tekućeg željeza jezgre Zemlje na dubini od 3000 km ispod površine, a također i to, da se mlazni tok ubrzava.**

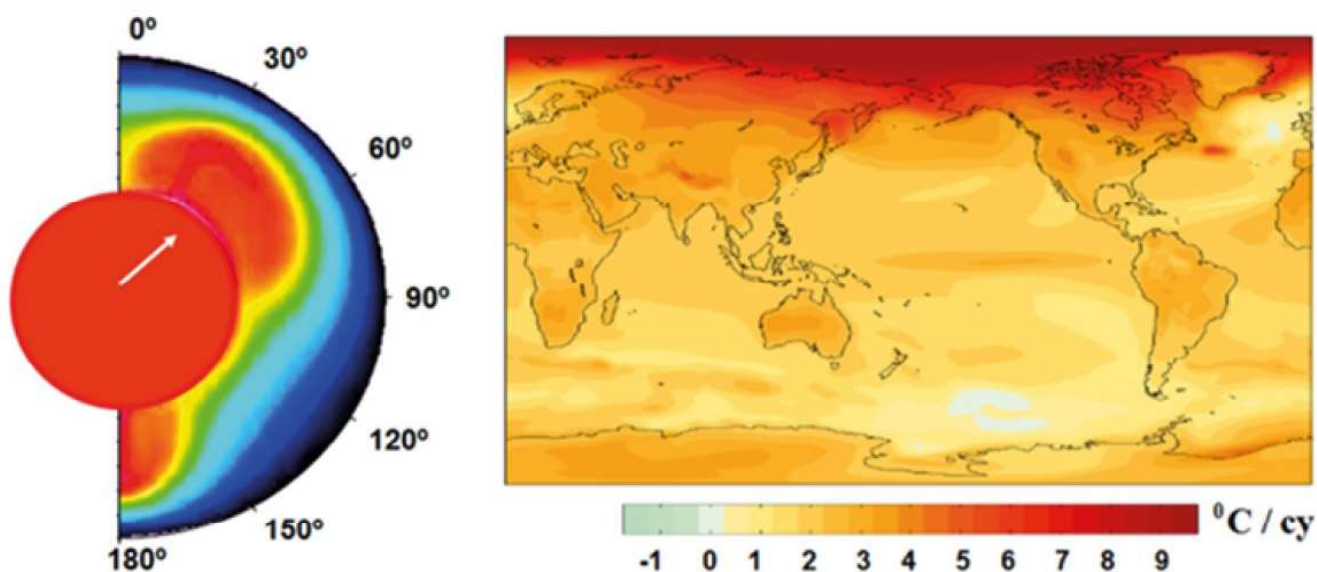
Izvor: EKA

Livermore, P. W., Hollerbach, R., & Finlay, C. C. (2017). An accelerating high-latitude jet in Earth's core. *Nature Geoscience*, 10, 62–68. <https://doi.org/10.1038/ngeo2859>

Na takav način, savremeni drift sjevernog magnetnog pola prema poluotoku Taimyr može biti dodatni dokaz koji ukazuje na promjene u vanjskom tečnom jezgru Zemlje i resko podizanje perjanice od granice jezgro-plašt ispod Sibira.

Tako je, kao rezultat vanjskog kosmičkog utjecaja na jezgro Zemlje 1995. godine počelo zagrijavanje unutrašnjeg jezgra i otapanje vanjskog, što je izazvalo naglo ubrzanje zanošenja sjevernog magnetnog pola. Ukapljivanje vanjskog jezgra bilo je stanje koje

je uzrokovalo 1997. – 1998. godine pomicanje jezgra u pravcu Sibira, prema poluotoku Taimyr. Prema hipotezi koju je iznio doktor nauka, profesor Yu. V. Barkin, pomicanje jezgra izazvalo je asimetrični tok topline u pravcu Sibira (Sl. 16). Važno je napomenuti da se prijenos topline u plaštu odvija prvenstveno kroz konvektivno miješanje. Odnosno, može se konstatovati da je skok jezgra prvenstveno prouzrokovao podizanje magme u pravcu Sibira. Kasnije se počelo primjećivati anomalno zagrijavanje atmosfere u ovom regionu Sibira, koje se svake godine pojačava.



**Sl. 16.**

**Prisilno relativno poskakivanje jezgre i plašta i dijagram asimetrične opskrbe topline gornjih slojeva plašta (lijevo). Linearni trendovi površinskog zagrijavanja (u °C po stoljeću) po podacima NCAR CCSM3 u prosjeku za određeni scenario [http://www.realclimate.org/bitz\\_fig3.png](http://www.realclimate.org/bitz_fig3.png) (zdesna).**

Izvor: Barkin, Yu.V. (2009). Cikličeskie inversionnye izmenenija klimata v severnom i juzhnom polusharijah Zemli [Cyclic Inversion Climate Change in the Northern and Southern Hemispheres of Earth]. *Geology of the Seas and Oceans: Materials of the XVIII International Scientific Conference (School) on Marine Geology*. Vol. III. - Moscow: GEOS. pp. 4-8.

## Sibir i sibirski Arktik se zagrijavaju 3-4 puta brže od ostatka svijeta

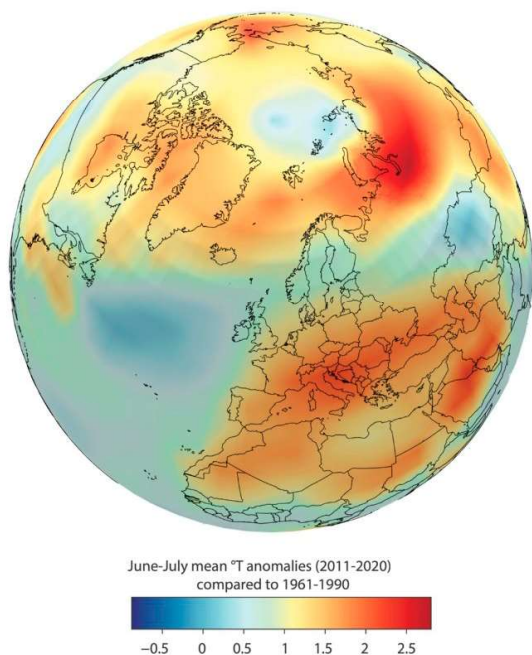
Po podacima raznih organizacija, teritorija Rusije, posebno Arktička regija, doživljava ekstremno zagrijavanje.

Prema naučnicima iz Međuvladinog panela za klimatske promjene (IPCC) 2021. godine, Rusija se zagrijava tri puta brže od ostatka svijeta, a njeni arktički i sibirski regioni zagrijavaju se četiri puta brže od globalnog prosjeka.

Godine 2022. šef Roshidrometa Igor Shumakov izjavio je, navodeći podatke Svjetske meteorološke organizacije<sup>27</sup>, da se teritorija Rusije zagrijava 2,5 puta brže od ostatka planete, pri čemu najbržim tempom raste temperatura sjevernog polarnog regiona zemlje, posebno posljednjih decenija. Sibir spada među one regione sa najjačim zagrijavanjem u svijetu

(Sl. 17), što je bez presedana za posljednjih 7000 godina, na temelju rekonstruiranih klimatskih uvjeta, saglasno dendroklimatskim istraživanjima<sup>28</sup>.

Američki Centar za istraživanje klime Woodwell (WCRC)<sup>29</sup> proveo je veliku studiju kako bi procijenio kako su klimatske promjene utjecale na temperaturu, vlagu tla, dubinu snijega, padavine i druge ključne klimatske parametre u različitim regijama Arktika. Da bi to učinili, naučnici su kombinirali i sistematizirali podatke prikupljene pomoću satelita, aviona, dronova i zemaljskih meteoroloških stanica u posljednjih 40 godina.



### SI 17.

**Prosječne temperaturne anomalije u junu-julu na sjevernoj hemisferi (poluotok Yamal i poluotok Taimyr) tokom posljednje decenije posmatranja (2011. - 2020. god.). Temperature su izražene kao anomalije u odnosu na početnu klimu 1961. – 1990. god. koristeći skup podataka HadCRUT.5.**

Izvor: Hantemirov, R.M., Corona, C., Guillet, S., et al. Current Siberian heating is unprecedented during the past seven millennia. *Nat Commun* 13, 4968 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32629-x>

<sup>27</sup>TASS. (2024, January). Russia's territory is warming 2.5 times faster than the rest of the planet. TASS News Agency. <https://tass.ru/obschestvo/16009287>

<sup>28</sup>Hantemirov, R. M., Corona, C., Guillet, S., et al. (2022). Current Siberian heating is unprecedented during the past seven millennia. *Nature Communications*, 13, 4968. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32629-x>

<sup>29</sup>Watts, J. D., Potter, S., Rogers, B. M., Virkkala, A.-M., Fiske, G., Arndt, K. A., et al. (2025). Regional hotspots of change in northern high latitudes informed by observations from space. *Geophysical Research Letters*, 52, e2023GL108081. <https://doi.org/10.1029/2023GL108081>

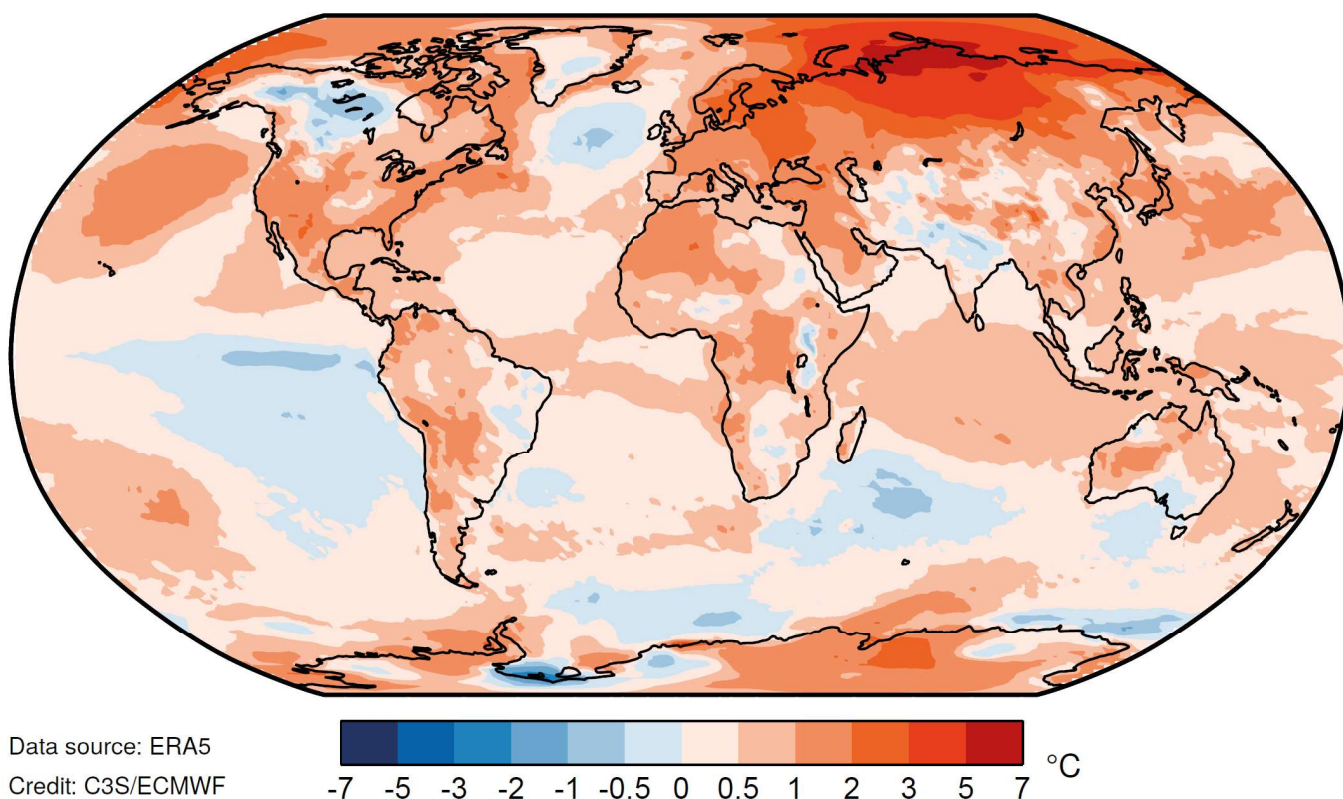
Naknadna analiza ovih podataka omogućila je istraživačima da identifikuju oko dvadesetak klimatskih „vrućih tačaka“. Zatopljenje je najviše pogodilo polarne i centralne regije istočnog Sibira, gdje su prosječne godišnje temperature svake decenije porasle za 1,1°C, što je nekoliko puta više od globalne stope zagrijavanja. Temperatura je rasla još brže u Taimyru: 1,7°C po deceniji. Slično tome, temperature u sibirskoj tajgi rastu od kasnih 1980-ih po stopi za 0,6°C po deceniji.

Toplinski valovi u Sibiru dostigli su alarmantne nove nivoe posljednjih godina, posebno 2020. godine, kada su temperature skočile širom regiona (Sl. 18).

Temperature u Sibiru bile su više od 5°C iznad prosjeka od januara do juna, i do 10°C iznad prosjeka u junu (u odnosu na nivoe iz 1981. - 2010.). Ovaj izuzetno vrući period rezultirao je prekoračenjem lokalnih toplinskih rekorda, uključujući i meteorološku stanicu Verhoyansk, koja je 20. juna zabilježila apsolutni rekord od +38 °C (Sl. 19).

Ruska meteorološka služba saopštila je da je izmjerena temperatura najviša ikada zabilježena sjeverno od Polarnog kruga.

Anomalija površinske temperature zraka 2020. god.  
Referentni period: 1981. - 2010. god.

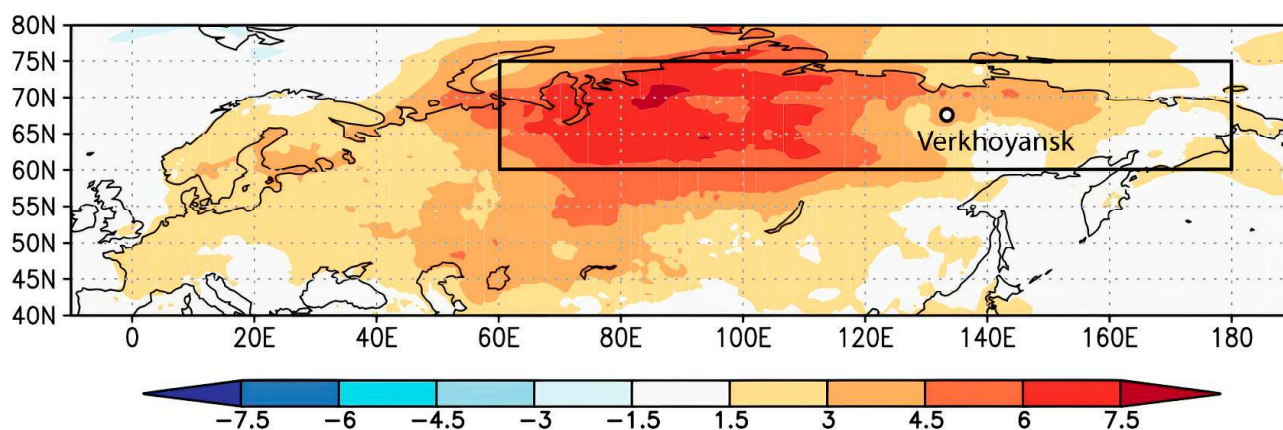


**Sl. 18.**

**Odstupanje temperature u 2020. od prosjeka 1981. – 2010. god.**

Izvor: Copernicus Climate Change Service, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)





### Sl. 19.

**Dugotrajne sibirske vrućine: prosječne temperature za januar-jun 2020. godine u poređenju sa normom (1981. - 2010. god.) u sibirskom regionu i lokaciji grada Verkhoyansk, gdje je u junu zabilježena rekordna dnevna temperatura od +38 °C iznad Polarnog kruga.**

Izvor: Ciavarella, A., Cotterill, D., Stott, P., et al. (2021). Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence. *Climatic Change*, 166, 9. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03052-w>

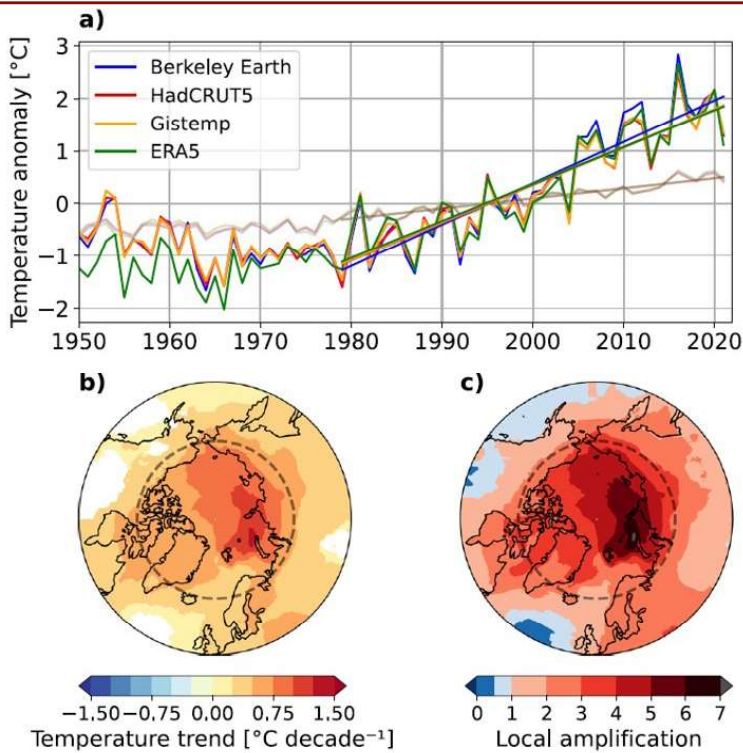
Ovi toplinski valovi nisu stalno prisutni nad Sibirom, već imaju karakter pulsirajućih kolebanja. To je uslovljeno tim, što injekcije magme koje izazivaju ove toplinske valove imaju valni karakter. U atmosferi u kojoj se zračne mase slobodno kreću i miješaju, toplinski valovi mogu se slegnuti nakon nekoliko mjeseci, kao što je to bilo 2020. godine, za razliku od toplinskih valova u vodenim uslovima.

Saglasno istraživanjima iz 2022. godine, sibirski Arktik se zagrijava skoro 4 puta brže nego Zemljina kugla, što je veći omjer nego što se to ranije smatralo u klimatskim modelima, što

je za naučnike krajnje neočekivano<sup>30</sup> (Sl. 20).

Važno je napomenuti da se ovo zagrijavanje Arktičke regije događa upravo na području poluotoka Taimyr. Ova anomalija upravo u vodenoj zoni Sibira može se objasniti činjenicom da je okeanska kora tanja i brže provodi toplinu, a voda ima veći toplinski kapacitet od atmosfere. Stoga je okeanska voda ta koja intenzivno nakuplja i zadržava toplinu iz magmatske perjanice koja se podiže, unatoč činjenici da se uzdizanje perjanice događa ispod kontinentalne kore na relativnoj udaljenosti od obale.

<sup>30</sup>Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment*, 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>



**Sl. 20.**

**Dinamika srednje godišnje temperature na Arktiku. a) Arktičke (66,5°–90° sjev. šir.) (tamne boje) i globalne (svijetle boje) srednje godišnje temperaturne anomalije za period 1950. – 2021. god., izvedene iz različitih skupova opservacijskih podataka. Temperaturne anomalije su izračunate u odnosu na prosječne vrijednosti u periodu od 30 godina, 1981. – 2010. god. Isprekidana linija u (b) i (c) predstavlja arktički krug (66,5° sjev. šir.).**

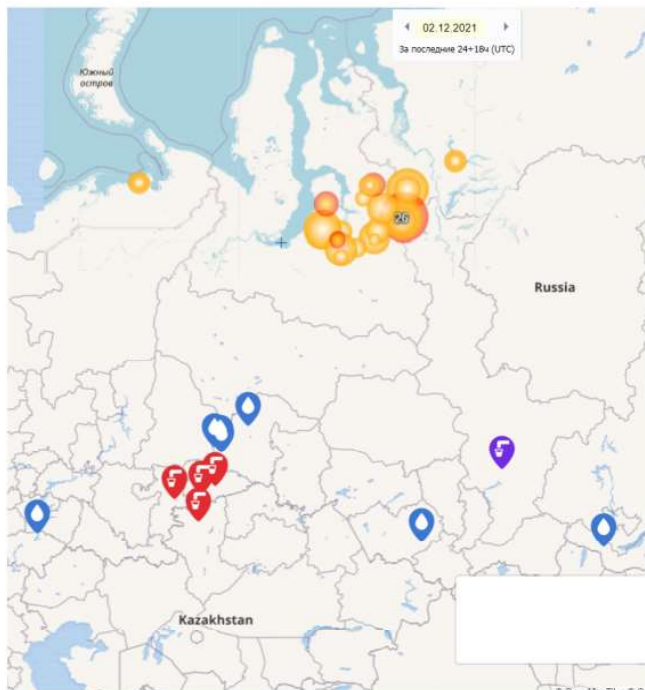
Izvor: Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment*, 3, 168.

<https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>

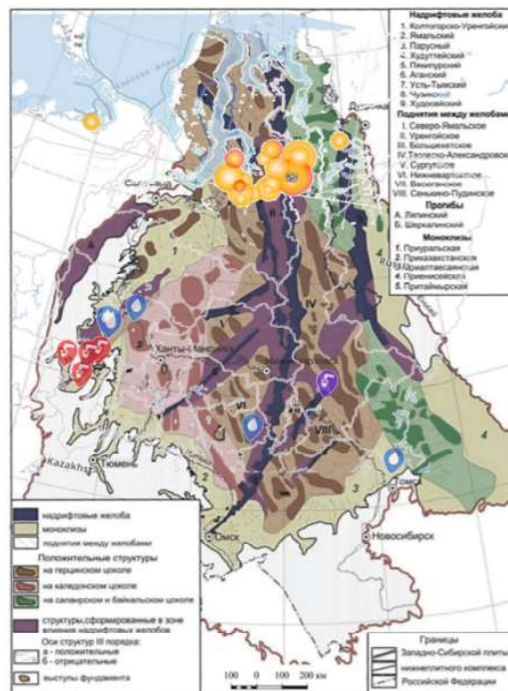
## Indirektni znaci podizanja sibirske perjanice

Kao rezultat prodora magmatske perjanice u zemljinu koru ispod Sibira, ne samo da se zagrijava atmosfera, već se javlja čitav niz drugih anomalija: otapanje vječnog leda odozdo prema gore, povećana seizmička aktivnost u regiji, izdizanje vruće vode na površinu, zbog čega voda ključa u bunarima, neviđeni šumski požari u cijelom Sibiru. Maksimalna lokalizacija požara

pod snijegom počela se javljati posljednjih godina na jugu poluotoka Taimyr, Yamal i Gydan u polarnim regijama. Važan faktor jest da se manifestacije požara pod snijegom („zombi požari“) — kipuće vode u bunarima — uočavaju iznad zona dubokih rasjeda (Sl. 21).



Winter fires under Distribution of fires and thermal springs in Western Siberia (as of 02.12.2021)



Tectonic structure map of the Lower Plate complex of the West Siberian Plate [Geological Structure..., 2005]"

Sl. 21.

Karta položaja zimskih požara pod snijegom u Polarnom krugu 2021. god.





**Fotografije požara pod snijegom u regiji Sverdlovsk**

U sjevernim geografskim širinama dolazi do povećanja emisija metana i vodika iz podzemlja, raste broj kratera od eksplozija prirodnog plina, a u arktičkom pojasu se intenzivira blatni vulkanizam. Zagrijavanje odozdo uzrokuje degradaciju tla vječnog leda i uništavanje plinskih hidrata, što dovodi do

oslobađanja plinova, kratera od eksplozija i povećanja blatnog vulkanizma. Plin koji se oslobađa iz dubina utiče na stanje atmosfere, izazivajući dodatne termalne, geochemijske i elektromagnetne anomalije. Razmotrimo ove procese detaljnije.

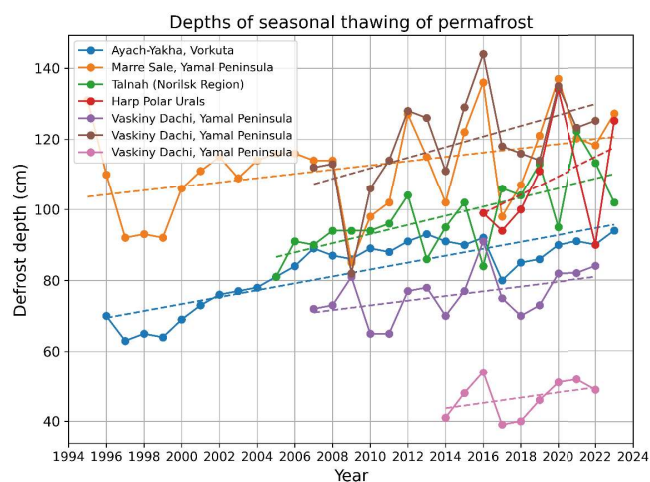
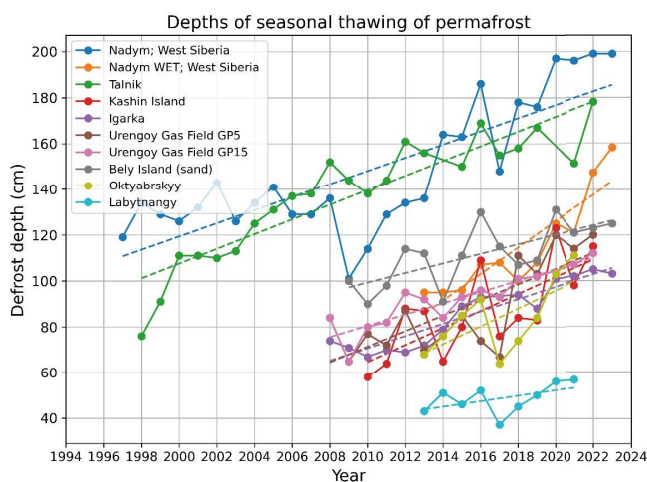
## Topljenje vječnog leda

Još jedan od markera dodatne geotermalne topline koja dolazi iz perjanice plašta je stanje vječnog leda. Autori izvještaja analizirali su podatke o dubini sezonskog odmrzavanja vječnog leda u Rusiji od 1994. do 2023. godine. Baza podataka je sastavljena na osnovu mjerenja izvršenih u okviru međunarodnog programa Praćenja cirkumpolarnog aktivnog sloja i vječnog leda blizu površine (CALM) i dostupna je na web stranici [permafrost.su](https://permafrost.su).

U Rusiji trenutno postoji 58 lokacija koje prate vječni led standardiziranim metodama, a 46 od njih vrši mjerenja više od 10 godina, što omogućava

identifikaciju dugoročnih trendova. Analiza niza podataka omogućila je identifikaciju područja u kojima se uočava stabilan trend povećanja dubine odmrzavanja, što ukazuje na dodatno zagrijavanje te zone.

Identificirane su dvije grupe podataka: lokacije sa očiglednijim trendom povećanja dubine odmrzavanja na dubinama od 40 cm do 200 cm (Sl. 22, a) i lokacije sa manje intenzivnom brzinom odmrzavanja tla vječnog leda na dubinama od 40 cm do 140 cm (Sl. 22, b).



### Sl. 22.

**Dinamika dubine sezonskog odmrzavanja vječnog leda u različitim regijama sa različitim intenzitetom: a) sa izraženijim povećanjem dubine odmrzavanja; b) sa manje izraženim povećanjem dubine odmrzavanja.**

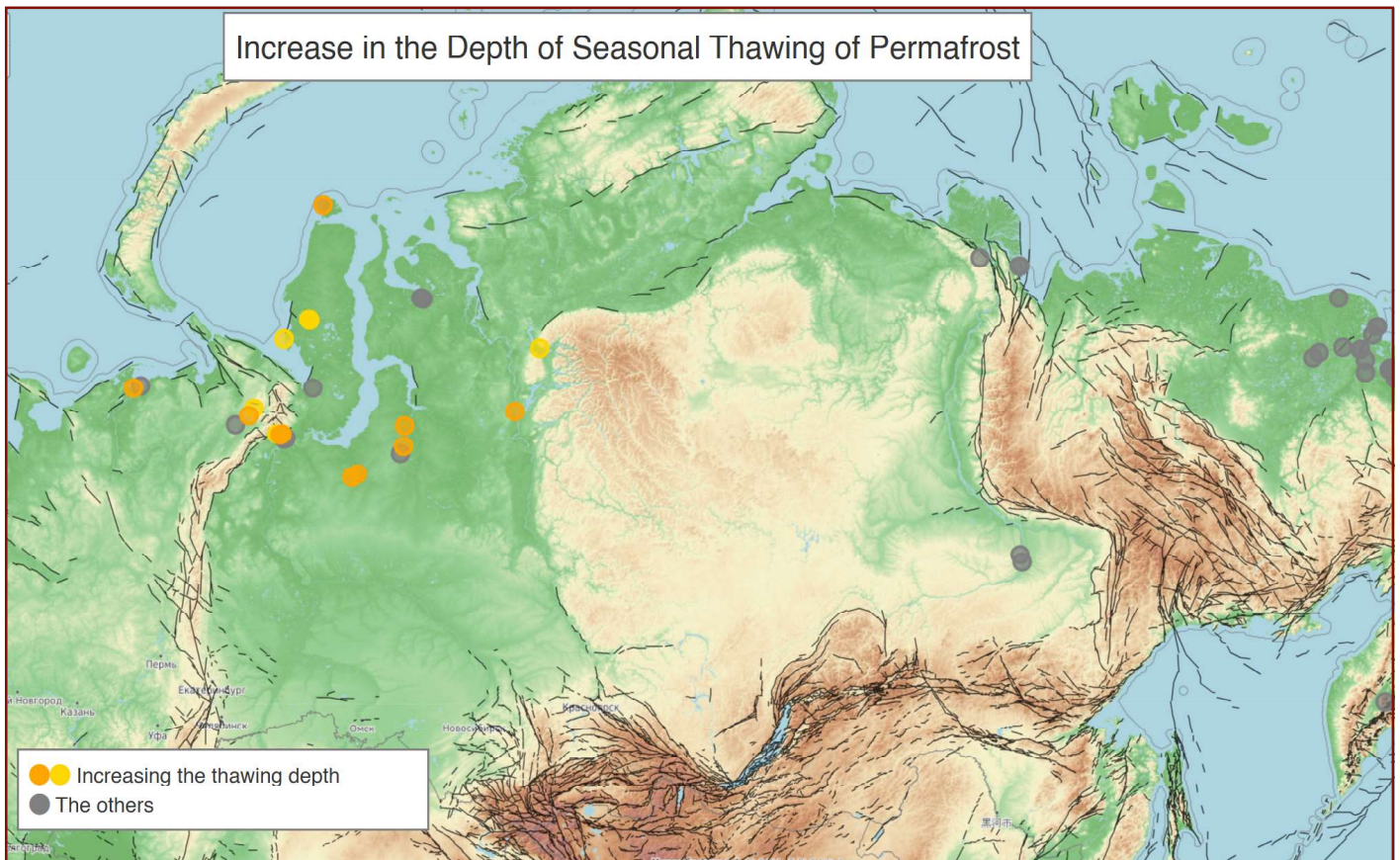
Izvor podataka: <https://permafrost.su>

Mjerenja se vrše u okviru međunarodnog programa cirkumpolarnog monitoringa (CALM):

<https://www2.gwu.edu/~calm>

Radi jasnoće, sve proučavane tačke su ucrtane na kartu i označene narandžastom i žutom bojom (Sl. 23). Važno je napomenuti da su ove tačke uglavnom koncentrisane na određenom području: na sjeveru Zapadnog Sibira, na poluotoku Yamal i južno od poluotoka Gydan i Taimyr.

Takva lokalizacija područja maksimalnog odmrzavanja vječnog leda odgovara području smanjenih brzina seizmičkih valova u plaštu, u pretpostavljenoj zoni širenja glave magmatske perjanice. To je, pak, razlog povećanja temperature tla, uključujući i unutar smrznutog sloja.



**Sl. 23.**

**Mjesta povećanja dubina sezonskog odmrzavanja sloja vječnog leda. Mjesta su označena tačkama: sivo — mjesta na kojima nema primjetnog porasta sezonskog odmrzavanja; žuta — mjesta na kojima se dubina odmrzavanja povećava.**

Izvor podataka: <https://permafrost.su>

Mjerenja se vrše u okviru međunarodnog programa cirkumpolarnog monitoringa (CALM):

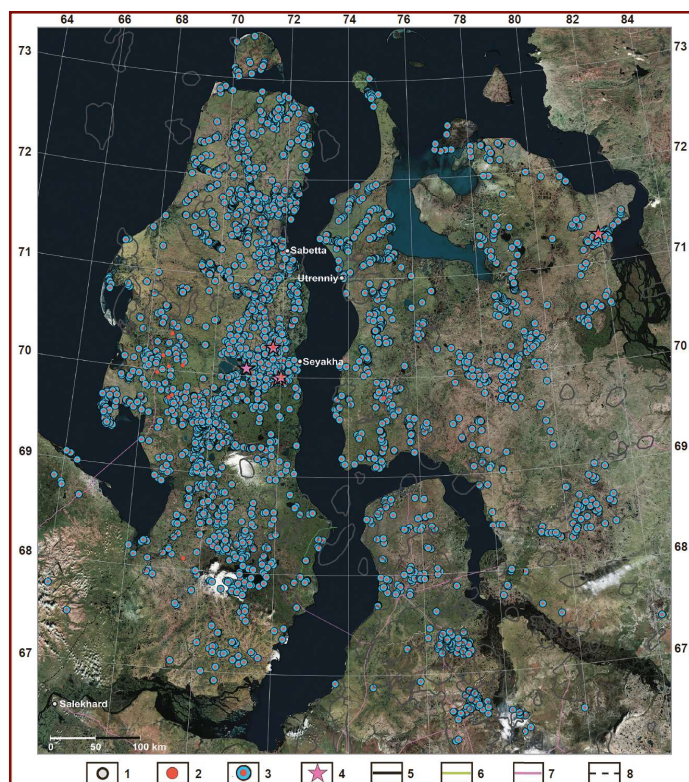
<https://www2.gwu.edu/~calm>



## Očitovanja blatnog vulkanizma

Dodatno zagrijavanje od podizujuće magme dovodi do degradacije vječnog leda i utječe na plinske hidrate sačuvane u tim tlima, oslobađajući velike količine plinova sadržanih u njima. Osim toga, plin migrira iz plinovitih ležišta i visoko zasićenih plinom rezervoara vode, što smanjuje svojstva elastične čvrstoće tla i pospešuje ukapljivanje gline, što dovodi do mogućih procesa blatnog vulkanizma. Blatni vulkanizam — to je geološki proces erupcije smjese plina, vode i ostataka materijala kroz pukotine zemljine kore pod djelovanjem unutarnjeg geostatskog pritiska.

Upravo su to procesi koje su naučnici Ruske akademije nauka (RAN) otkrili na arktičkom poluotoku Yamal<sup>31</sup>. Kao rezultat kompleksa geološko-geofizičkih istraživanja korištenjem podataka daljinskog sondiranja Zemlje u periodu od 2014. do 2022. godine, identificirano je više od 3.000 zona moćnih emisija plinova s formiranjem kratera na dnu termokraških jezera, rijeka i obalnog dijela Karskog mora (Sl. 24).



### Sl. 24.

Raspodjela zona moćnih emisija plina na sjeveru Zapadnog Sibira. Oznake: 1 — naseljena mjesta, 2 — izolirani krateri emisija plina, 3 — krateri emisija plina na dnu rezervoara, 4 — očitovanja blatnog vulkanizma, 5 — konture naftnih i plinskih polja, 6 — naftovodi, 7 — plinovodi, 8 — željeznička pruga. Temelj karte — mozaik satelitskih snimaka baze ESRI

Izvor: Bogoyavlensky, V. I., Nikonov, R. A. & Bogoyavlensky, I. V. New data on intensive Earth degassing in the Arctic in the north of Western Siberia: thermokarst lakes with gas blowout craters and mud volcanoes. AEE 13, 353–368 (2023).

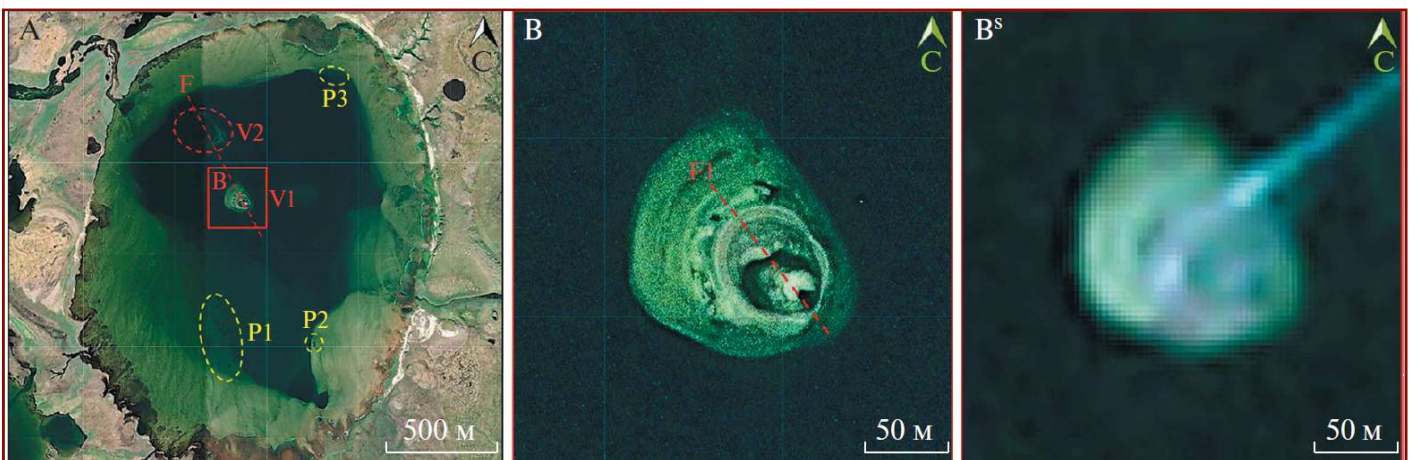
<https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-3-353-368>

<sup>31</sup> Bogoyavlensky, V. I., Nikonov, R. A. & Bogoyavlensky, I. V. New data on intensive Earth degassing in the Arctic in the north of Western Siberia: thermokarst lakes with gas blowout craters and mud volcanoes. AEE 13, 353–368 (2023). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-3-353-368>

Od 2022. do 2023. godine, po podacima daljinskog sondiranja Zemlje, na dnu termokraških jezera Labwarto i Yambuto po prvi put su otkrivene velike blatne vulkanske strukture, koje povremeno pokazuju aktivni blatni vulkanizam<sup>32</sup> (Sl. 25). Termokraško jezero — to je vodeno tijelo koje nastaje kao rezultat otapanja permafrosta. Na taj način, ne samo otapanje jezera, već i ukapljivanje gline duboko pod jezerom ukazuje na duboki izvor

zagrijavanja.

Saglasno autorima istraživanja, ranije širom cirkumarktičke regije tako očigledne blatne vulkanske strukture na dnu termokraških jezera bile su nepoznate.



**Sl. 25.**

**WorldView-2 satelitski snimak termokraškog jezera Labwarto (A) i njegovog uvećanog fragmenta (B) sa dodatkom fragmenta satelitske slike Sentinel-2 (BS). Oznake: P1, P2 i P3 — udubine; V1 i V2 — blatni vulkani; F i F1 su predviđeni rasjedi.**

Izvor: Bogoyavlensky, V. I. New Data on Mud Volcanism in the Arctic on the Yamal Peninsula. Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle 512, 92–99 (2023). <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>

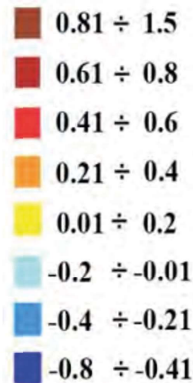
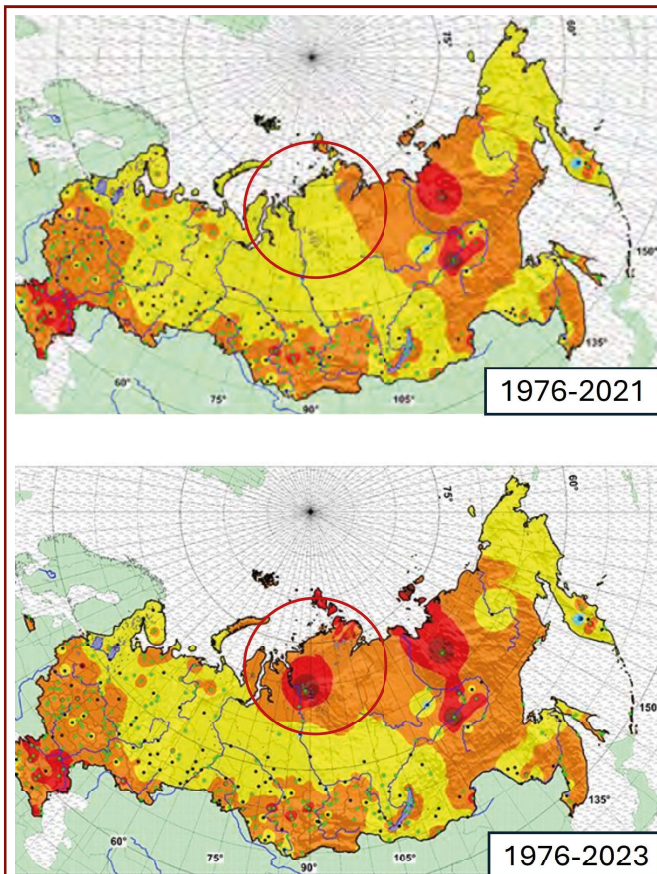
<sup>32</sup> Bogoyavlensky, V. I. NEW DATA ON MUD VOLCANISM IN THE ARCTIC ON THE YAMAL PENINSULA. Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle 512, 92–99 (2023). <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>

## Zagrijavanje tla

Na osnovu podataka Roshidrometa za period 2021. – 2023. godine, analizirane su karte temperature tla na dubinama od 80, 160 i 320 cm. Najinformativnije poređenje bili su temperaturni trendovi za periode 1976. – 2021. i 1976. – 2023. godine (Sl. 26). Između 2021. i 2023. godine na karti trendova pojavila se jasna anomalija južno od poluotoka Gydan i Taimyr, koja se teritorijalno poklapa s područjem smanjenih brzina seizmičkih valova u plaštu, identificiranih

metodama seizmičke tomografije ispod litosfere sibirske regije.

Uzimajući u obzir značajnu dubinu mjerenja (320 cm) i široku pokrivenost osmatranjima (466 meteoroloških stanica u Rusiji), može se pretpostaviti da je otkrivena temperaturna anomalija povezana s povećanjem geotermalne topline zbog podizanja magmatske perjanice.



### Sl. 26.

Karte trendova zagrijavanja tla na osnovu izvještaja Roshidrometa. Gore — od 1976. do 2021. god., dolje — od 1976. do 2023. god.

Izvor:

Roshydromet. (2022). Report on climate features in the Russian Federation for 2021. Moscow: Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

Roshydromet. (2024). Report on climate features in the Russian Federation for 2023. Moscow: Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

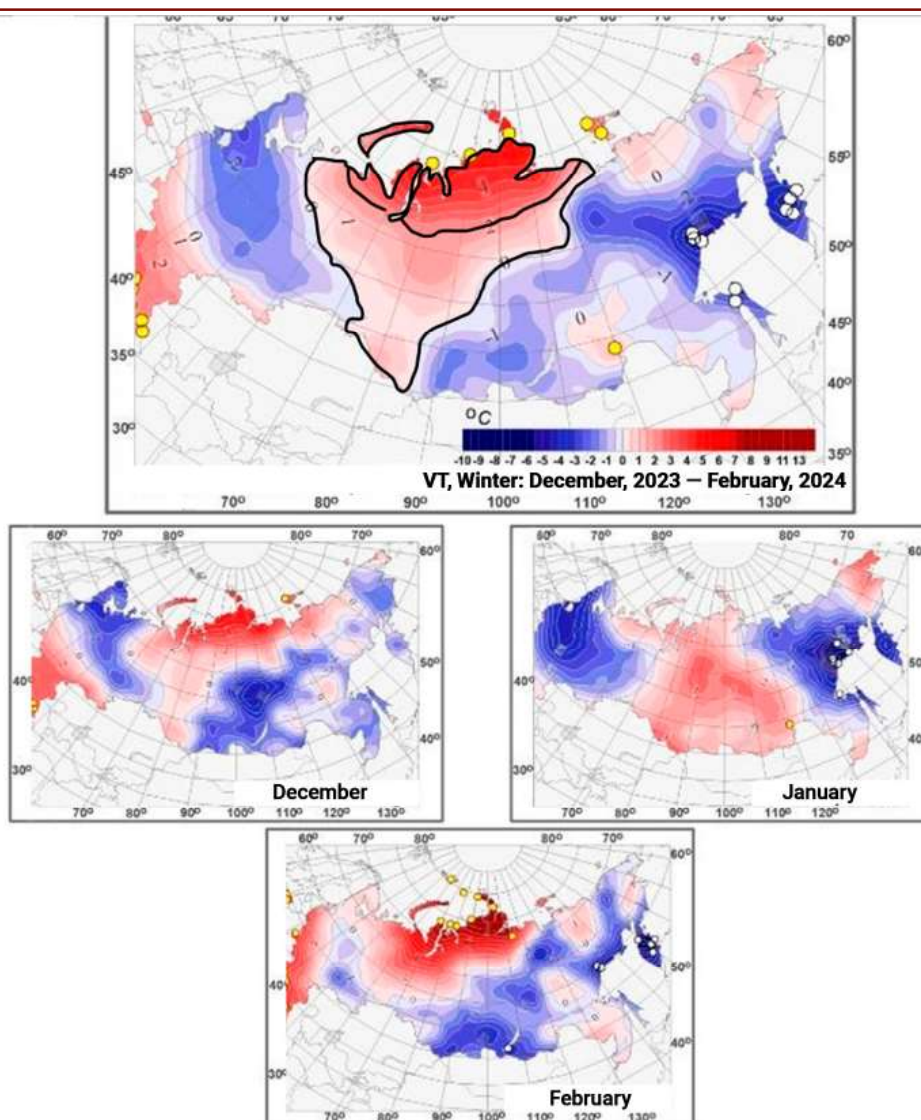


## Temperatura površinskog zraka

Podaci osmatranja temperature za zimski period 2023. – 2024. godine također odražavaju anomalnu prirodu površinskih temperatura zraka (Sl. 27). Karta prosječnih temperaturnih anomalija za period od decembra 2023. do februara 2024. godine pokazuje na području poluotoka Gydan i Taimyr porast temperature

od 2,0 - 4,5 °C u odnosu na normu.

S obzirom na sjeverni položaj ove teritorije, tako značajno povećanje temperature zimi može biti posljedica toplinskog utjecaja perjanice plašta.



### Sl. 27.

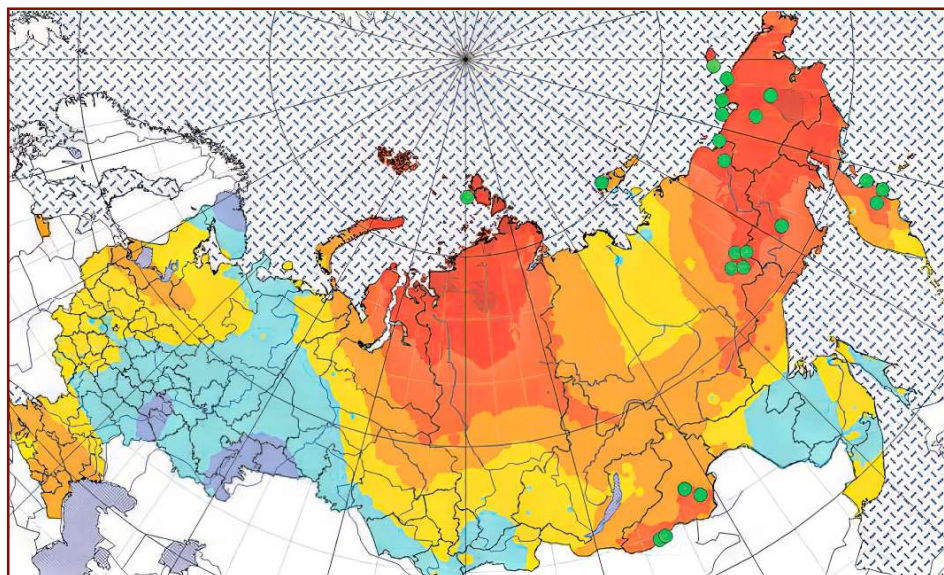
**Polja prosječnih sezonskih i prosječnih mjesečnih anomalija površinske temperature zraka (°C) u Rusiji zimi 2023. - 2024. god.**

Izvor: Roshydromet. (2024). Report on climate features in the Russian Federation for 2023. Moscow: Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.



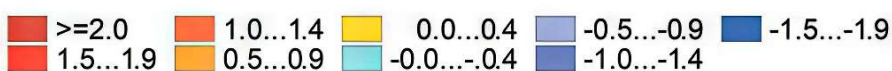
Primijetimo da je analiza karata srednjih mjesečnih temperatura<sup>33</sup> za januar i jul u periodu 2001. – 2022. godine pokazuje stabilnu temperaturnu anomaliju u proučavanom području (sl. 28, 29). Dakle, može se konstatovati

da je ova anomalija uočena ne samo u posljednje 2 godine, već se konzistentno ispoljavala kroz cijeli 23-godišnji period posmatranja, što potvrđuje zaključke o utjecaju prodiranja perjanice na površinske temperature.



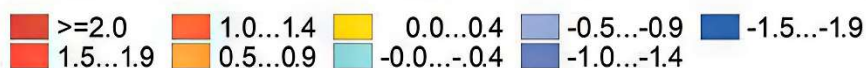
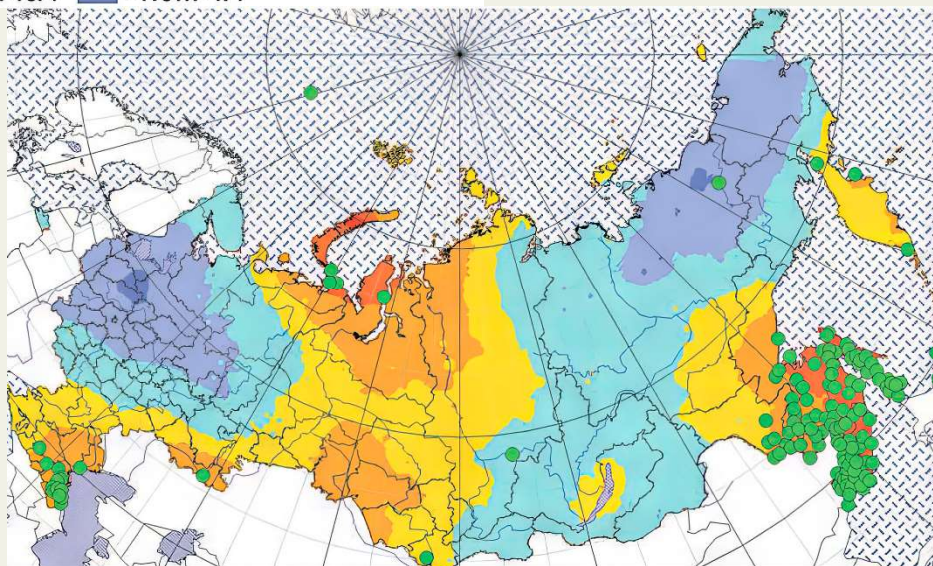
**Sl. 28.**  
**Koeficijenti linearnog trenda (°C/10 godina) srednje mjesečne temperature zraka za period 2001. – 2022. god. (unutar granica Rusije do februara 2022.) – januar.**

Izvor: Sherstyukov, B. G. (2023). Global warming and its possible causes. *Journal of Hydrometeorology and Ecology*, 70, 7-37. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>



**Sl. 29.**  
**Koeficijenti linearnog trenda (°C/10 godina) srednje mjesečne temperature zraka za period 2001. – 2022. god. (unutar granica Rusije do februara 2022.) – jul.**

Izvor: Sherstyukov, B. G. (2023). Global warming and its possible causes. *Journal of Hydrometeorology and Ecology*, 70, 7-37. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>

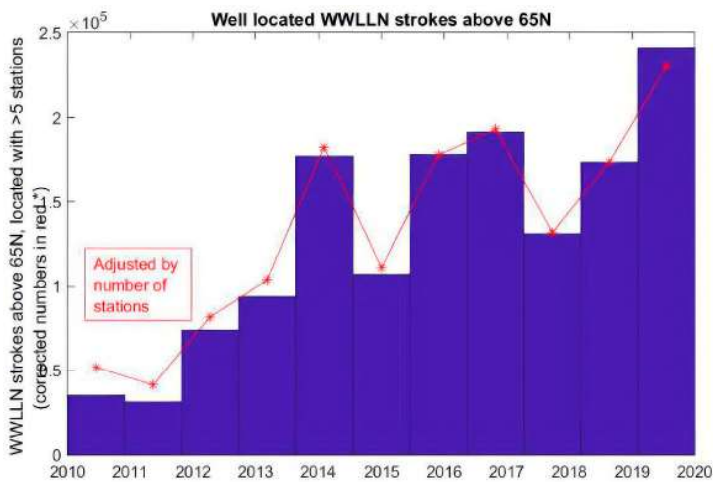


<sup>33</sup> Sherstyukov, B. G. (2023). Global warming and its possible causes. *Journal of Hydrometeorology and Ecology*, 70, 7-37. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>

## Povećanje količine munja

Zabrinutost naučne zajednice izaziva rast količine grmljavina i udara munja na Arktiku. Količina udara munja na Arktiku iznad 65° sjev. šir. utrostručila se od 2010. do 2020. godine<sup>34</sup> (Sl. 30). Posebnost je u tome što je većina ovih udara munja koncentrirana u regionu sjevera Sibira, a u regionu sjevera Kanade i Grenlanda praktično ih nema (Sl. 31, 32).

Munje se kreću prema Sjevernom polu, jer je u augustu 2019. naširoko objavljeno da je otkriveno nekoliko udara munja samo nekoliko stotina kilometara od Sjevernog pola<sup>35</sup>. Većina munja u polarnim regijama (sjeverno od 80° sjev. šir.) svakog ljeta je uzrokovana sa samo nekoliko intenzivnih dana s grmljavinom. Međutim, te grmljavine postale su nova karakteristika regiona, jer je prethodnih godina ovdje grmljavina bilo vrlo



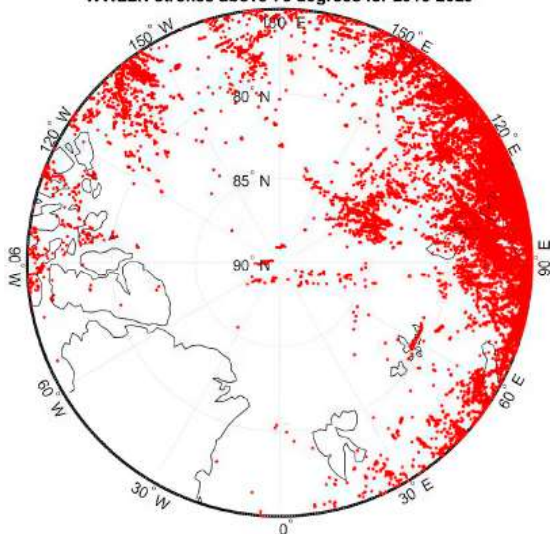
### Sl. 30.

Ispravno zabilježena pražnjenja munja WWLLN iznad 65° sjev. šir. (označeno plavom), a crvena linija na grafikonu prikazuje prilagođavanje na osnovu ukupnog broja WWLLN stanica. WWLLN – Svjetska mreža za detekciju munja (World Wide Lightning Location Network).

Izvor: Holzworth, R. H., Brundell, J. B., McCarthy, M. P., Jacobson, A. R., Rodger, C. J., & Anderson, T. S. (2021). Lightning in the Arctic. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091366.

<https://doi.org/10.1029/2020GL091366>

WWLLN strokes above 75 degrees for 2010-2020



### Sl. 31.

Globalni raspored udara munja WWLLN u junu, julu i avgustu 2010. – 2020. god. Iznad 75° sjev. šir. WWLLN – Svjetska mreža za detekciju munja.

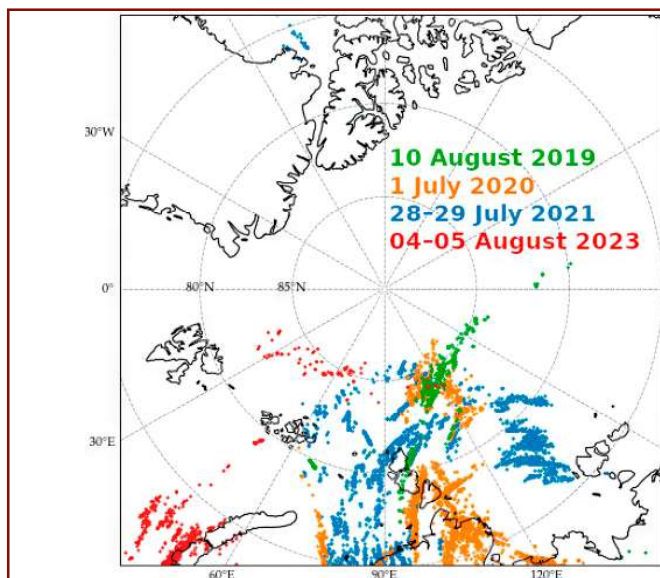
Izvor: Holzworth, R. H., Brundell, J. B., McCarthy, M. P., Jacobson, A. R., Rodger, C. J., & Anderson, T. S. (2021). Lightning in the Arctic. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091366.

<https://doi.org/10.1029/2020GL091366>

<sup>34</sup>Holzworth, R. H., Brundell, J. B., McCarthy, M. P., Jacobson, A. R., Rodger, C. J., & Anderson, T. S. (2021). Lightning in the Arctic. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091366. <https://doi.org/10.1029/2020GL091366>

<sup>35</sup>Samenow, J. (2019, August 12). Lightning struck near the North Pole 48 times on Saturday, as rapid Arctic warming continues. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/weather/2019/08/12/lightning-struck-within-miles-north-pole-saturday-rapid-arctic-warming-continues/>





**Sl. 32.**

**Mjesta munja, koje je otkrila WWLLN u vrijeme grmljavina u periodu 2019. – 2023. god. Zeleno – 2019. god., narančasto – 2020. god., plavo – 2021. god., crveno – 2023. god.**

Izvor: Popykina, A., Ilin, N., Shatalina, M., Price, C., Sarafanov, F., Terentev, A., & Kurkin, A. (2024). Thunderstorms near the North Pole. *Atmosphere*, 15(3), 310.

<https://doi.org/10.3390/atmos15030310>

Razlog za ovu fiksnu lokaciju u posljednjih nekoliko godina su ekstremne ljetne vrućine koje se javljaju na sjeveru Sibira s temperaturama koje dostižu 35°C tokom ljetnih mjeseci. Ali također se sugerira da je povećanje ukupne atmosferske ionizacije u regiji zbog prodora magmatske perjanice također važan faktor u povećanju broja munja. To se događa kao rezultat prijelaza toplinske energije u električnu energiju prema Yutkinovom efektu u procesu eksplozija unutar plašta koje nastaju kada tokovi magme različitih temperatura dođu u kontakt. Kao rezultat toga, iz dubina se oslobađa ogromna količina energije, što dovodi do povećanja statičke napetosti na površini sloja tla, promjene površinskog potencijala, povećanja ionizacije zraka i, kao posljedica, povećanje broja udara munja.

Također se događa oslobađanje značajnog volumena plinova kroz pukotine u kori. To može uticati na formiranje oblaka, kao i na lokalne vremenske uslove. Prodor magme je ključni faktor zagrijavanja površine, povećanja vlažnosti i stvaranja toplinskih anomalija koje dovode do grmljavine i munja.

Budući da nastajanje grmljavina i munja zahtijeva kombinaciju hladnog zraka, toplog zraka i konvektivne nestabilnosti, položaj sibirске perjanice plašta stvara optimalne uslove za njihovo formiranje.

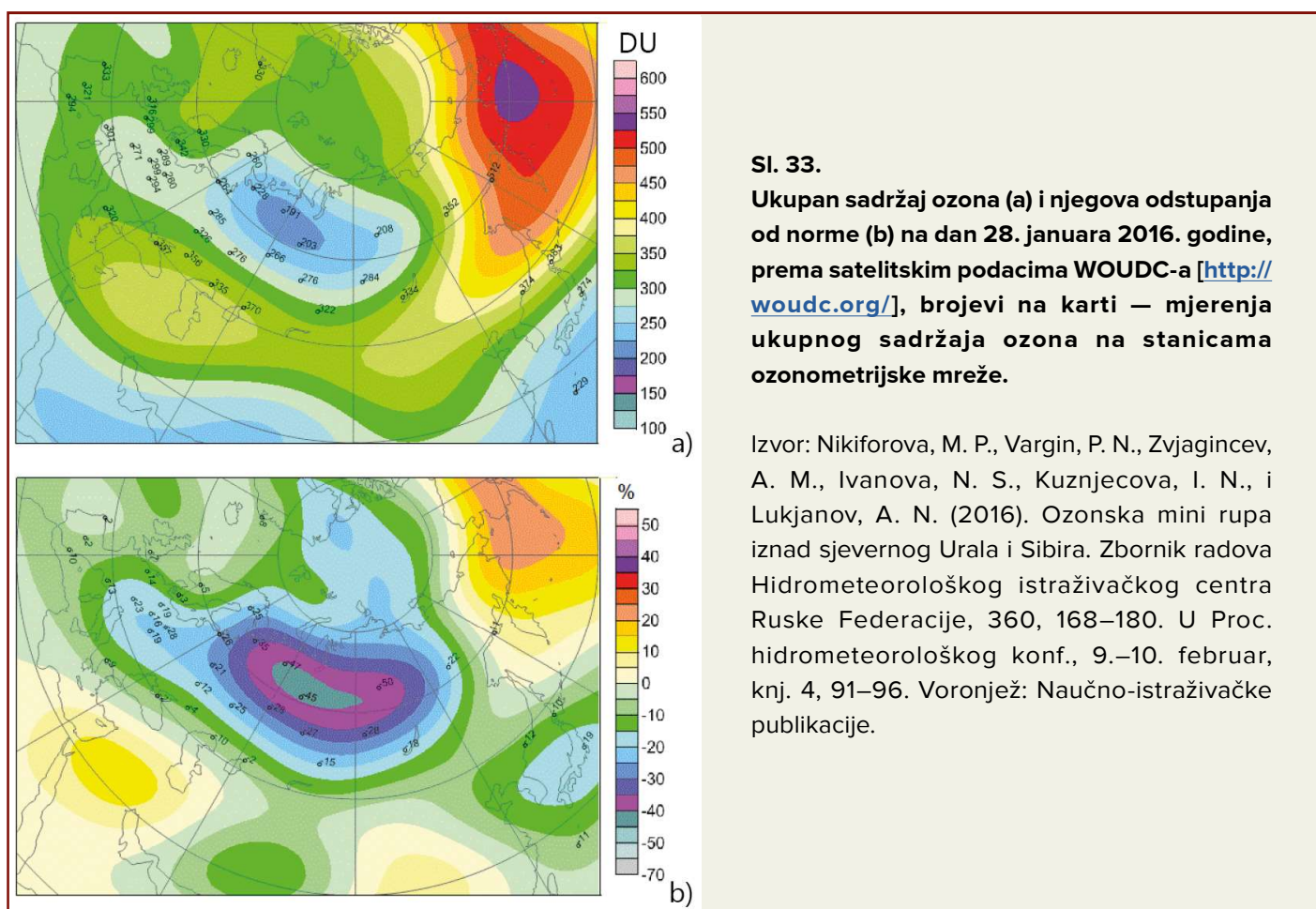
## Oštećenje ozonskog omotača

Magmatska aktivnost u dubinama je praćena oslobađanjem značajne količine vulkanskih plinova, uključujući vodik, metan i ugljični dioksid. Emisije vodika, prema radovima V. L. Syvorotkina<sup>36</sup>, izazivaju uništavanje ozonskog omotača. Budući da porast magme ima pulsirajuću prirodu, otplinjavanje i posljedično uništavanje ozonskog omotača će imati i sporadično, odnosno epizodno očitovanje.

Anomalije ozonskog omotača se uočavaju nad sjeverom Sibira od 1997. - 1998. godine, odnosno nakon pomicanja jezgra Zemlje prema poluotoku Taimyr. Epizode oštećenja ozonskog

omotača opažene su 2011., 2016., 2020. godine<sup>37</sup>. Maksimalni deficit ozona zabilježen je 2016. godine<sup>38</sup>. Krajem januara 2016. godine (prvi put od početka posmatranja 1973. godine) nad sjeverom Urala i Sibiru zabilježena je ozonska anomalija sa ukupnim sadržajem ozona od 190-200 jedinica Dobsona, što je 40 – 45 % manje od prosječnih dugoročnih vrijednosti, sa trajanjem ove pojave do jedne sedmice (Sl. 33).

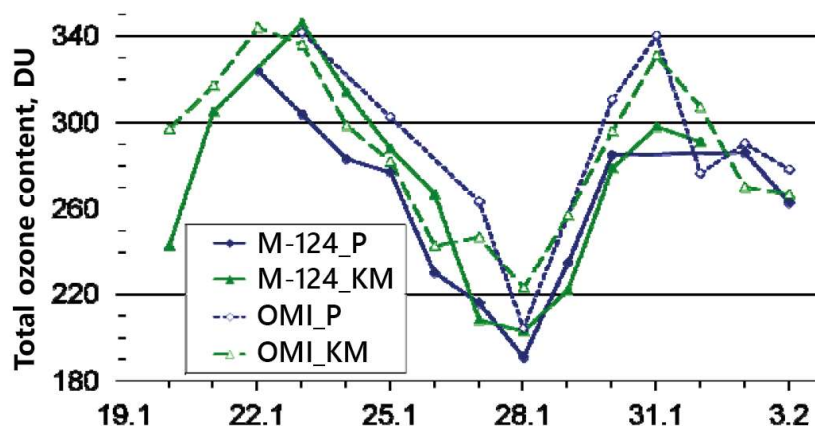
Značajno smanjenje ukupnog ozona također je detektirao instrument OMI na satelitu AURA. (SAD) (Sl. 34).



<sup>36</sup>Syvorotkin, V. L. DEEP DEGASSING IN POLAR REGIONS OF THE PLANET AND CLIMATE CHANGE. APOG (2018) doi:[10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art48](https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art48)

<sup>37</sup>Xia, Y. et al. Significant Contribution of Severe Ozone Loss to the Siberian Arctic Surface Warming in Spring 2020. Geophysical Research Letters 48, e2021GL092509 (2021). <https://doi.org/10.1029/2021GL092509>

<sup>38</sup>Nikiforova, M.P. Extremely low total ozone values over the northern Ural and Siberia in the end of January 2016. AOO (2017) doi:[10.15372/AOO20170102](https://doi.org/10.15372/AOO20170102)



**Sl. 34.**

**Ukupan sadržaj ozona po podacima mjerenja pomoću zemaljskog ozonometra M-124 i instrumenta OMI na satelitu AURA (SAD) na stanicama Pechora (P) i Khanty-Mansiysk (KM) u periodu od 20. januara do 3. februara 2016. godine.**

Izvor: Nikiforova, M. P., Vargin, P. N., Zvyagintsev, A. M., Ivanova, N. S., Kuznetsova, I. N., & Luk'yanov, A. N. (2016). Ozone mini-hole over the Northern Urals and Siberia. Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation, 360, 168–180. In Proc. of the Hydrometeorological Conf., February 9–10, Vol. 4, 91–96. Voronezh: Nauchno-Issledovatel'skie Publikatsii.

Važno je napomenuti da prosječna dugoročna sezonska varijacija ukupnog sadržaja ozona u vantsropskim geografskim širinama sjeverne hemisfere ima minimum u septembru, a maksimum — u martu-aprilu. Ali 2016. godine do degradacije ozona došlo je neobično rano, u januaru 2016. godine, a ukupan sadržaj ozona u tom mjesecu bio je najniži u cijeloj istoriji

instrumentalnih posmatranja.

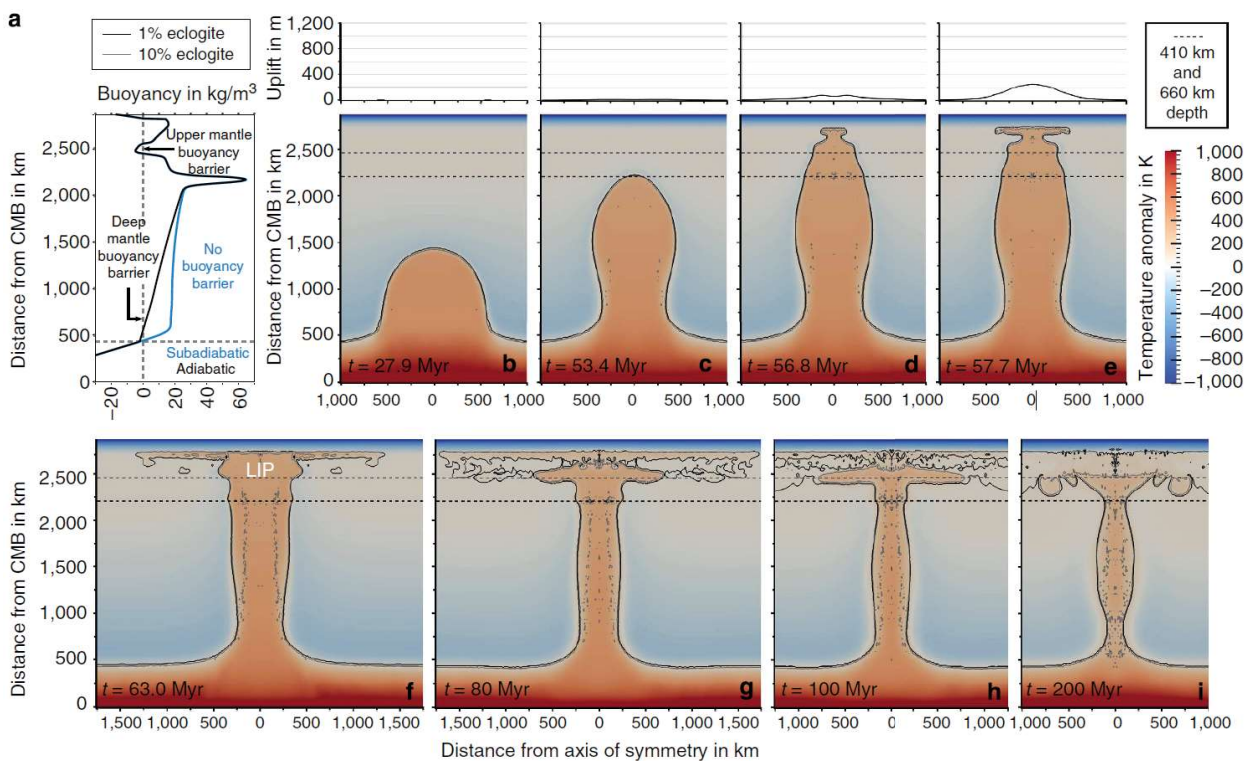
Dakle, degradacija ozonskog omotača nad sibirskim područjem može biti dodatni pokazatelj oslobađanja plinova duž rasjeda kao rezultat napredovanja magmatske perjanice na površinu.



# Struktura, moguće dimenzije i lokalizacija magmatske perjanice na osnovu literarnih i posmatranih podataka

Struktura perjanice može se uslovno usporediti sa gljivom. Ima takozvani rep, koji podiže vrući materijal sa granice jezgra-plašt. Gornji dio perjanice, koji se širi kako se diže — to je glava

perjanice. Kada perjanica dosegne granicu (osnovu) litosfere, naslanjajući se na vatrostalni sloj očvrnutih stijena, glava perjanice počinje se širiti ispod litosfere, poput klobuka gljive (Sl. 35).



## Sl. 35.

**Slika prikazuje model evolucije magmatske perjanice, poput one koja je formirala Sibirske trape prije 250 milijuna godina.**

Grafikon lijevo (a) pokazuje kako se magma uzdiže kroz različite slojeve plašta Zemlje. Glavni dio slike (b-i) — to je neka vrsta “vremenske linije” koja prikazuje faze razvoja perjanice. Prvo se formira “stub” vruće magme koji se uzdiže iz osnove plašta. Postepeno ovaj stub doseže gornje slojeve plašta. Na vrhu se širi, formirajući kapu “u obliku gljive”. S

vremenom perjanica postaje tanja i počinje se raspadati u zasebne dijelove. Boje u dijagramu označavaju temperaturu: Crvena i narandžasta područja — najvruća, plava — hladnija.

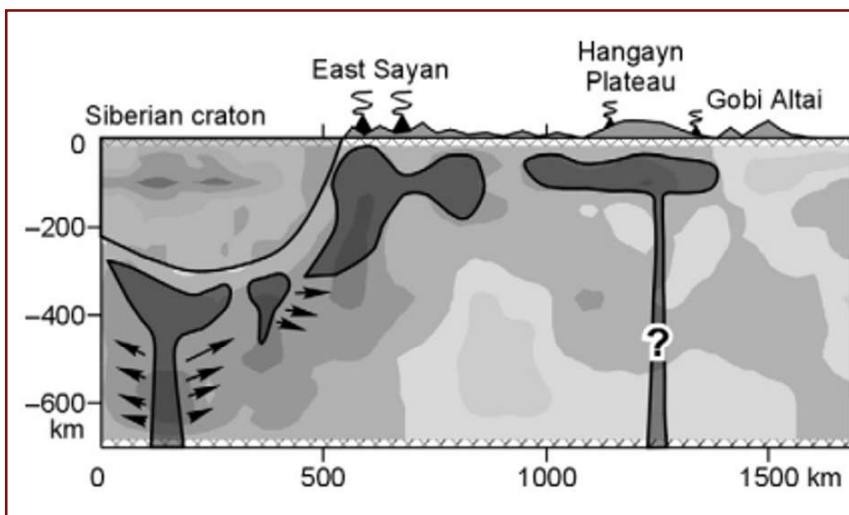
Izvor: Dannberg, J., & Sobolev, S. (2015). Low-buoyancy thermochemical plumes resolve controversy of classical mantle plume concept. *Nature Communications*, 6, 6960. <https://doi.org/10.1038/ncomms7960>

Prema literarnim podacima, kako se perjanica približava litosferi, njen radijus se udvostručuje kako se širi, a brzina naglo opada<sup>39</sup>. Vrući materijal koji dolazi iz “repa” pritiska i sagorijeva litosferu, formira pukotine, a zatim, gdje postoje slabe tačke, formiraju se sekundarne perjanice — gornje magmatske komore već unutar zemljine kore. Slične komore postoje, na primjer, u Yellowstoneu, Campi Flegrei i drugim supervulkanima. To je upravo mjesto gdje može doći do proboja kore i masivne erupcije magme na površinu.

Važno je napomenuti da, prema postojećim idejama, izlazak perjanice na površinu može potrajati desetina miliona godina. Međutim, ti podaci su zasnovani na teorijskim proračunima, dok praktična zapažanja savremene eskalacije geodinamičkih procesa ukazuju na suprotno. Posmatranja procesa u Sibiru ukazuju na to da bi do podizanja perjanice moglo doći u roku od nekoliko decenija.

Na osnovu literarnih podataka<sup>40</sup>, poznato je da je slična magmatska super-perjanica, koja je izazvala brojne bazaltne erupcije u Evroaziji (u Sibiru) na granici perioda perma i trijasa (prije 250 miliona godina), imala sljedeće dimenzije: 4.000 km od zapada na istok i 3.000 km od sjevera na jug. A glava perjanice, kako se pretpostavlja, imala prečnik od 1.000 do 2.000 km.

Poznato je da je Zapadnosibirska ploča mlađa i tanja, debljine 35-40 km. Istočnosibirska platforma je, naprotiv — stara i debela, hladnija, 40-45 km debljine. Nju nazivaju Sibirski kraton. Po podacima seizmičke tomografije, naučnici pretpostavljaju<sup>41</sup>, da se ispod južnog kraja Istočnosibirske platforme trenutno uočavaju nevelike komore magme, koje se šire pod Sibirskim kratonom (Sl. 36), zbog toga što je ploča hladnija.



**Sl. 36.**

**Šematski prikaz toka nevelikih komora magme oko sibirskog kratona (prikazano strelicama na lijevoj strani)**

Izvor: Koulakov, I. Y. (2008). Upper mantle structure beneath Southern Siberia and Mongolia from regional seismic tomography. *Russian Geology and Geophysics*, 49(3), 187-196.

<https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.06.012>

<sup>39</sup> Ernst, R. E., & Buchan, K. L. (2002). Maximum size and distribution in time and space of mantle plumes: evidence from large igneous provinces. *Journal of Geodynamics*, 34, 309-342.

<sup>40</sup> Lvova, E. V. (2010). Tectonics of mantle plumes: Evolution of basic concepts. *Moscow University Geology Bulletin*, 5, 21-29.

<sup>41</sup> Koulakov, I. Y. (2008). Upper mantle structure beneath Southern Siberia and Mongolia from regional seismic tomography. *Russian Geology and Geophysics*, 49(3), 187-196.

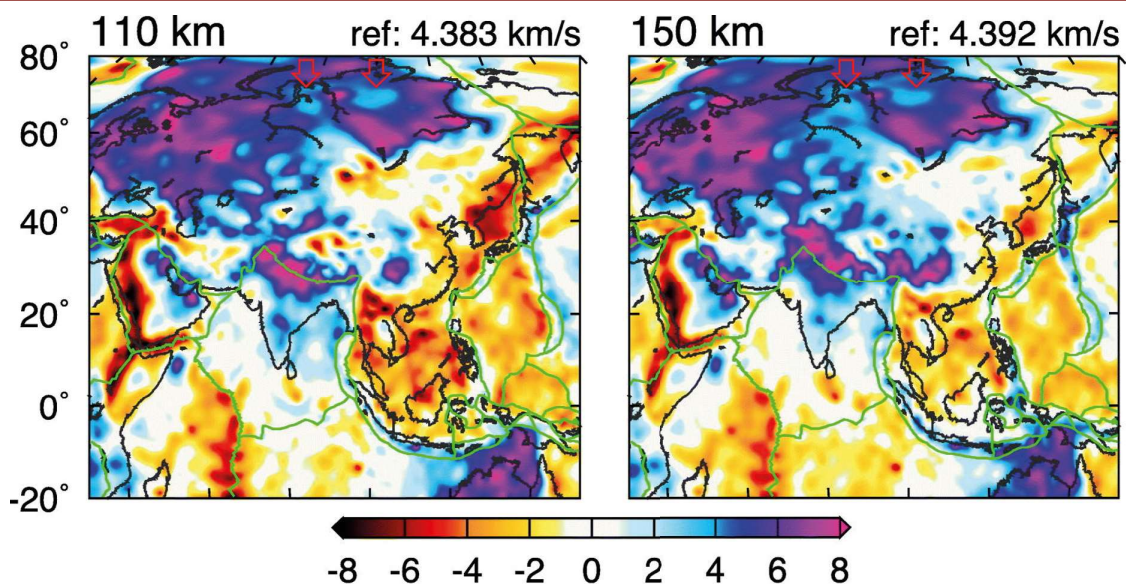
<https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.06.012>

Saglasno hipotezi, trenutno se savremena sibirski perjanica širi ispod baze Istočnosibirske platforme i djelimično ispod Zapadnosibirske ploče. Širenje se može događati, prema literarnim podacima, na dubinama od 50-60 km, a stopa perjanice se navodno najjasnije uočava na dubinama od 100 km. Intruzija sekundarnih perjanica vjerovatno se već dešava na dubinama od 40 km.

Neki seizmo-tomografski modeli pokazuju anomalije sniženih brzina<sup>42</sup> (tečnije okruženje)

na dubinama od 110–150 km, što odgovara tečnijoj sredini u utrobi južno od poluotoka Gydan i Taimyr (sl. 37). To je vidljivo na kartama brzina, prema radu objavljenom u avgustu 2024. godine. Te anomalije se vjerovatno mogu povezati s dva priliva magmatskog materijala, odnosno repovima perjanice (sl. 38).

Ako je ovaj model tačan, tada je promjer svakog repa koji se uzdiže pod Istočnosibirskim kratonom, — oko 600–700 km.



**Sl. 37.**

**Na karti su ljubičastim bojama prikazane brze brzine akustičnih valova (po tvrdim stijenama) i plavim — sporije (tečnije, rastopljene tvari). Anomalije smanjenih brzina seizmičkih valova, koje odgovaraju zonama tečnijeg materijala plašta, obilježene su sa dvije crvene strelice.**

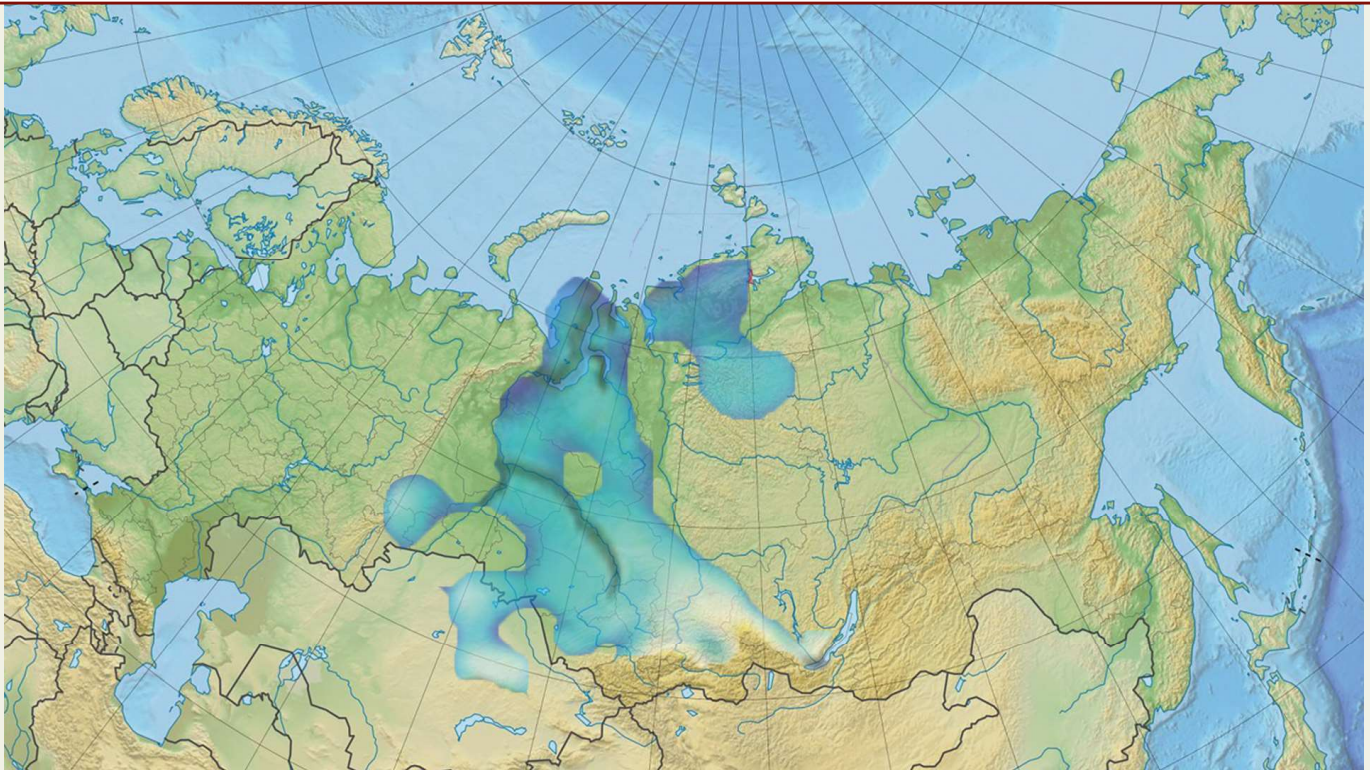
Izvor: Dou, H., Xu, Y., Lebedev, S., Chagas de Melo, B.,

van der Hilst, R. D., Wang, B., & Wang, W. (2024). The upper mantle beneath Asia from seismic tomography, with inferences for the mechanisms of tectonics, seismicity, and magmatism. *Earth-Science Reviews*, 255, 104841.

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104841>

<sup>42</sup>Dou, H., Xu, Y., Lebedev, S., Chagas de Melo, B., van der Hilst, R. D., Wang, B., & Wang, W. (2024). The upper mantle beneath Asia from seismic tomography, with inferences for the mechanisms of tectonics, seismicity, and magmatism. *Earth-Science Reviews*, 247, 104595. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104595>

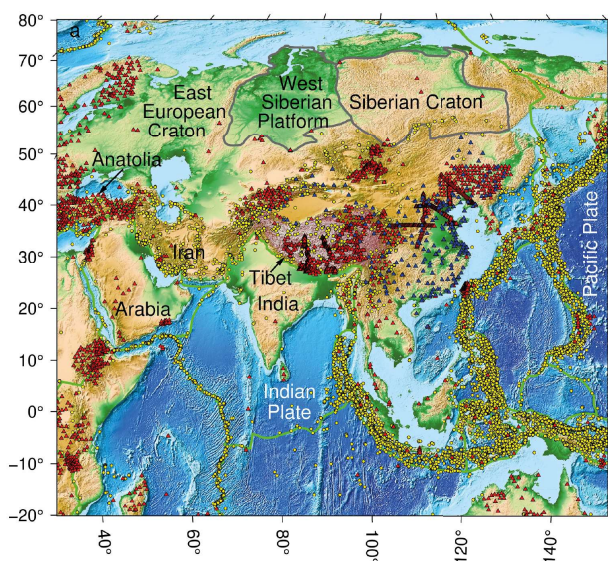




**Sl. 38.**  
**Na fizičku kartu Rusije ucrtane su i prilagođene anomalije sniženih seizmičkih brzina, po podacima Dou i dr., 2024**

No, važno je napomenuti da je seizmo-tomografska analiza Sibira, predstavljena u radu (Dou i dr., 2024), koristila podatke sa manje od 10 seizmičkih senzora (sl. 39), koji su svi smješteni duž granica ploča i praktički ih nema unutar Zapadnog i Istočnog Sibira. U

analizi su korišteni podaci iz svih javno dostupnih širokopojasnih zapisa o zemljotresima od 1994. do 4. septembra 2023. godine. Poređenja radi: na karti su crvenim trokutima označeni senzori, korišteni u analizi za Aziju, njihov broj se kreće u hiljadama.



**Sl. 39.**  
**Raspored senzora (crveni trokuti) koji se koriste u seizmo-tomografskoj analizi.**

Izvor: Dou, H., Xu, Y., Lebedev, S., Chagas de Melo, B., van der Hilst, R. D., Wang, B., & Wang, W. (2024). The upper mantle beneath Asia from seismic tomography, with inferences for the mechanisms of tectonics, seismicity, and magmatism. *Earth-Science Reviews*, 247, 104595.

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104595>

Još jedno istraživanje, koje su proveli kineski naučnici 2023. godine, potvrđuje to, da se sada pod uticajem magme pod Sibirom topi i stanjuje kora<sup>43</sup> (sl. 40). Ovaj proces napreduje i smanjuje čvrstoću ploče. U ovom radu autori predstavljaju model električne provodljivosti plašta za sjevernu Aziju, konstruiran na osnovu geomagnetskih podataka. Model pokazuje veliku anomaliju visoke električne provodljivosti koja se nalazila u prelaznoj zoni plašta pod Sibirskim trapama u vrijeme njihove erupcije. Naučnici su to protumačili kao termičku anomaliju sa tragovima topljenja u području postojeće Permske anomalije (sl. 41).

Općenito, seizmo-tomografski modeli koji istražuju dubine od 40 do 110 km u regiji Istočno-sibirskog kratona pokazuju rezultate

koji se međusobno razlikuju. Istovremeno, za teritoriju Sibira postoji jasan nedostatak seizmoloških podataka za izradu tačnih modela.

Savremeni tomografski modeli grade se na osnovu seizmičkih podataka prikupljenih u dužem vremenskom periodu — oko 30 godina. Sa stanovišta klasičnih ideja o razvoju perjanica plašta, koji traje milionima godina, period od 30 godina smatra se izuzetno kratkim. Međutim, dostupni podaci ukazuju da su se upravo u tom periodu dogodile ključne promjene u strukturi sibirske perjanice.

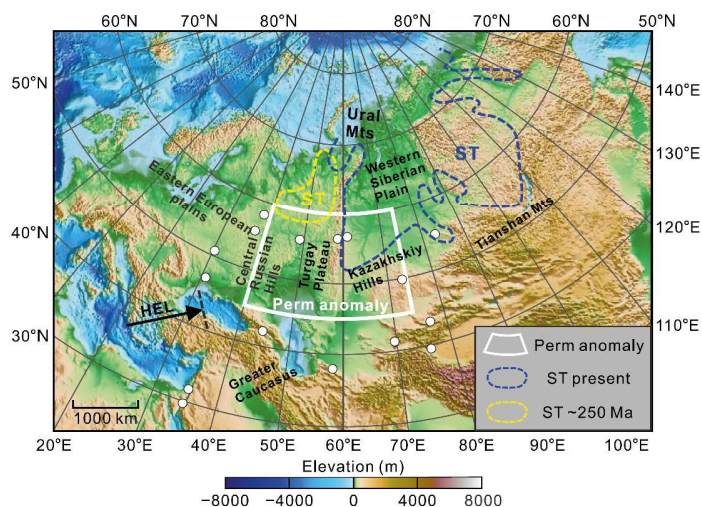
Ova zapažanja dovode do razumijevanja potrebe za revizijom postojećih ideja o brzini razvoja perjanica plašta i metodama njihovog proučavanja.

#### Sl. 40.

Bijele tačke predstavljaju stanice čiji su C-odgovori korišteni u ovom istraživanju. Raspon Permske anomalije prikazan je zonom ocrtanom bijelim linijama. Trenutne (plave) i prošle (žute) lokacije Sibirskih trapi označene su isprekidanim linijama.

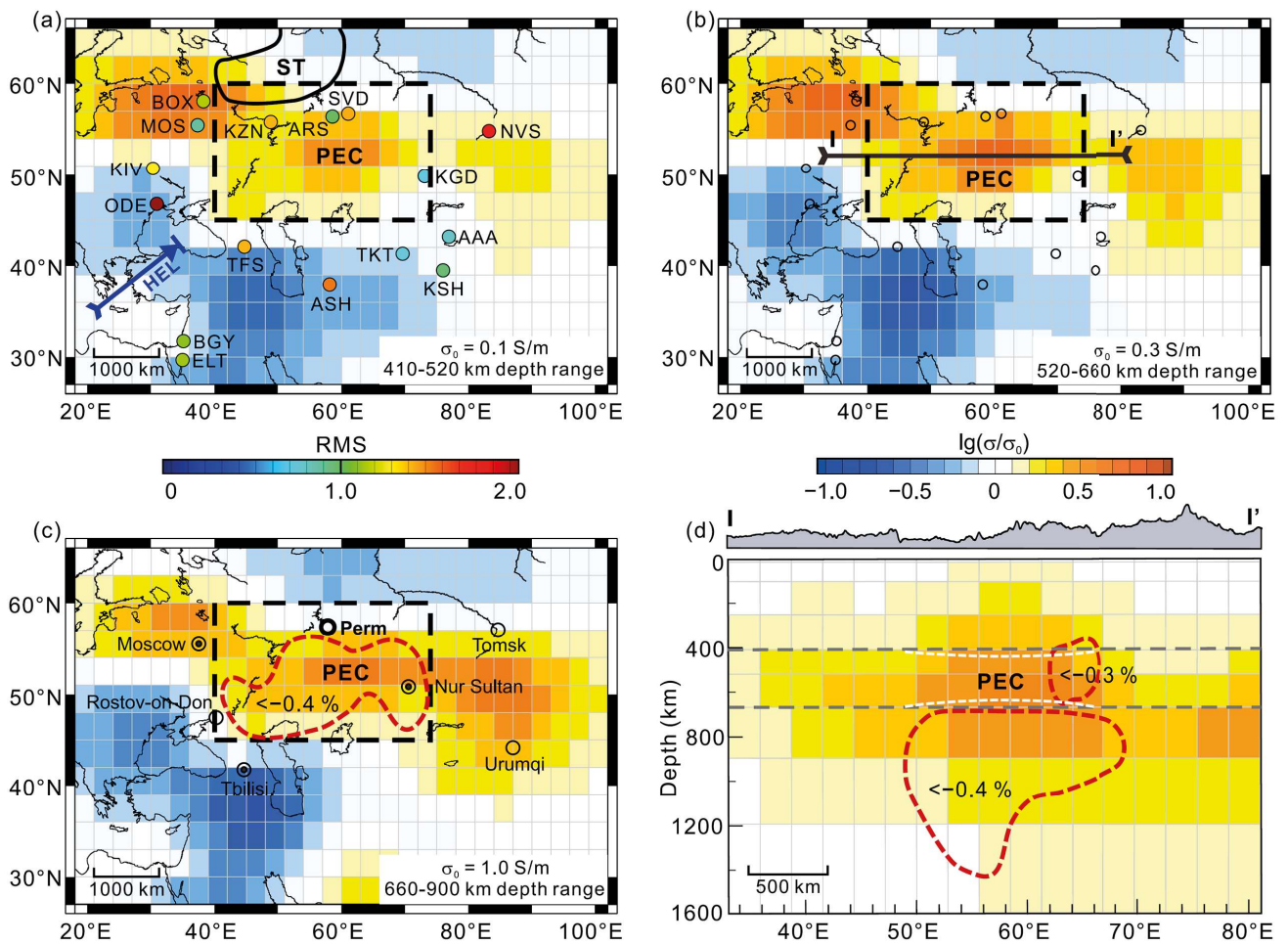
Izvor: Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J., & Weng, A. (2023). Remnant of the late Permian superplume that generated the Siberian Traps inferred from geomagnetic data. *Nature Communications*, 14, 1311.

<https://doi.org/10.1038/s41467-023-37053-3>



<sup>43</sup>Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J., & Weng, A. (2023). Remnant of the late Permian superplume that generated the Siberian Traps inferred from geomagnetic data. *Nature Communications*, 14, 1311. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37053-3>





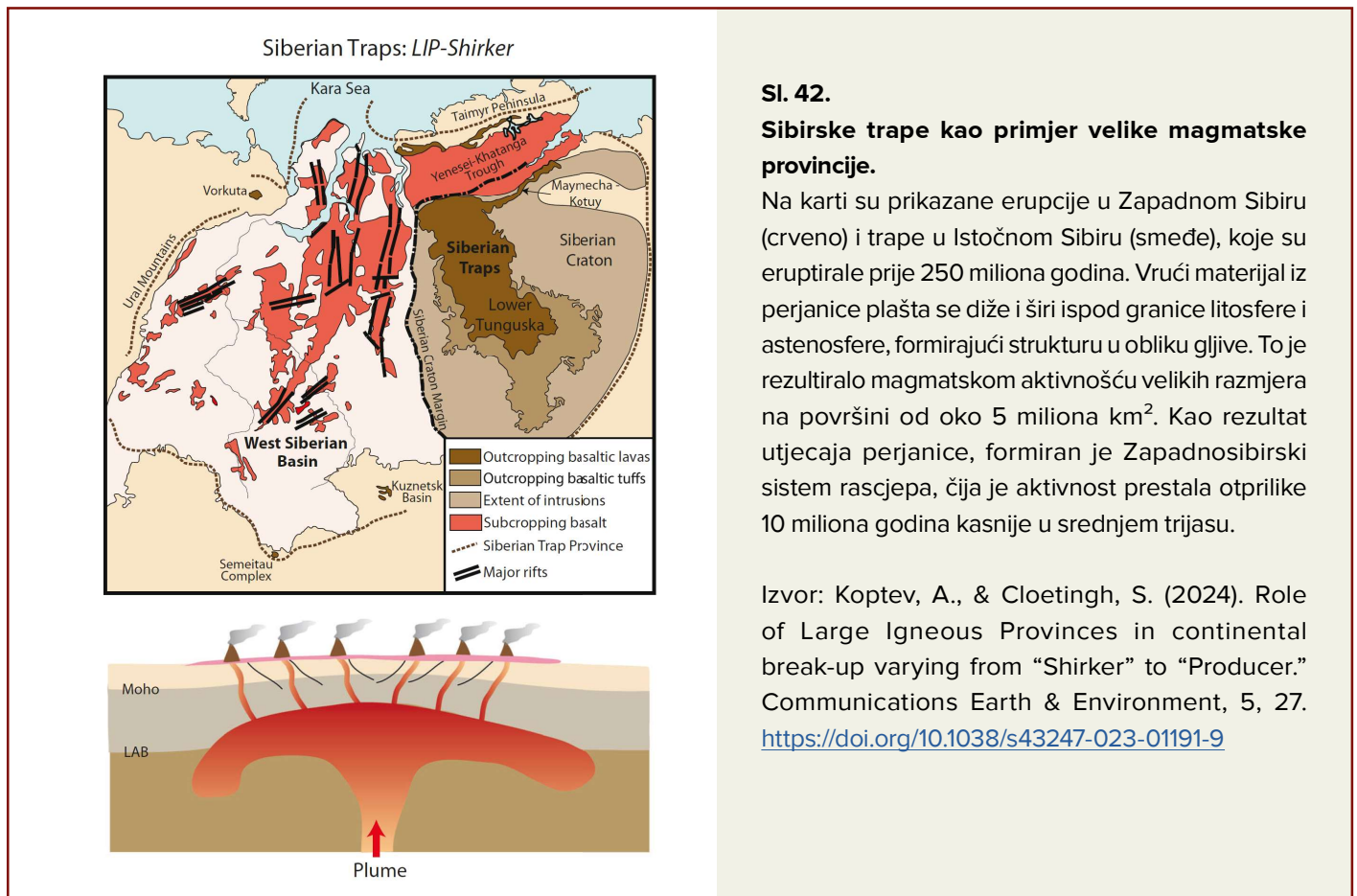
**Sl. 41.**

**Naučnici sa Univerziteta Jilin i Univerziteta Shijiazhuang Tiedao koristili su podatke geomagnetnog polja (geomagnetic field data) sa 16 stanica u sjevernoj Aziji kako bi izračunali električnu provodljivost plašta na različitim dubinama. Otkrili su značajno povećanje provodljivosti u odnosu na globalnu prosječnu provodljivost u regiji pod Sibirskim trapama (žuto-smeđa područja na slikama). Naučnici su ustanovili da su ova područja na dubinama od 400 do 900 km u prosjeku za 250 stepeni toplija od okolnog plašta. U tim područjima prisutan je udio rastopljenog plašta.**

Izvor: Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J., & Weng, A. (2023). Remnant of the late Permian superplume that generated the Siberian Traps inferred from geomagnetic data. *Nature Communications*, 14, 1311. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37053-3>

Vrijedi napomenuti da su se prethodna izlivanja prije 250 miliona godina (na prijelazu iz perioda Perma i Trijasa) također dogodila u istom regionu. Epicentar zemljotresa se nalazio

pod Istočnosibirskim kratonom (ispod visoravni Putarana), a erupcije su se dogodile po cijelom Zapadnom i Istočnom Sibiru. (sl. 42).

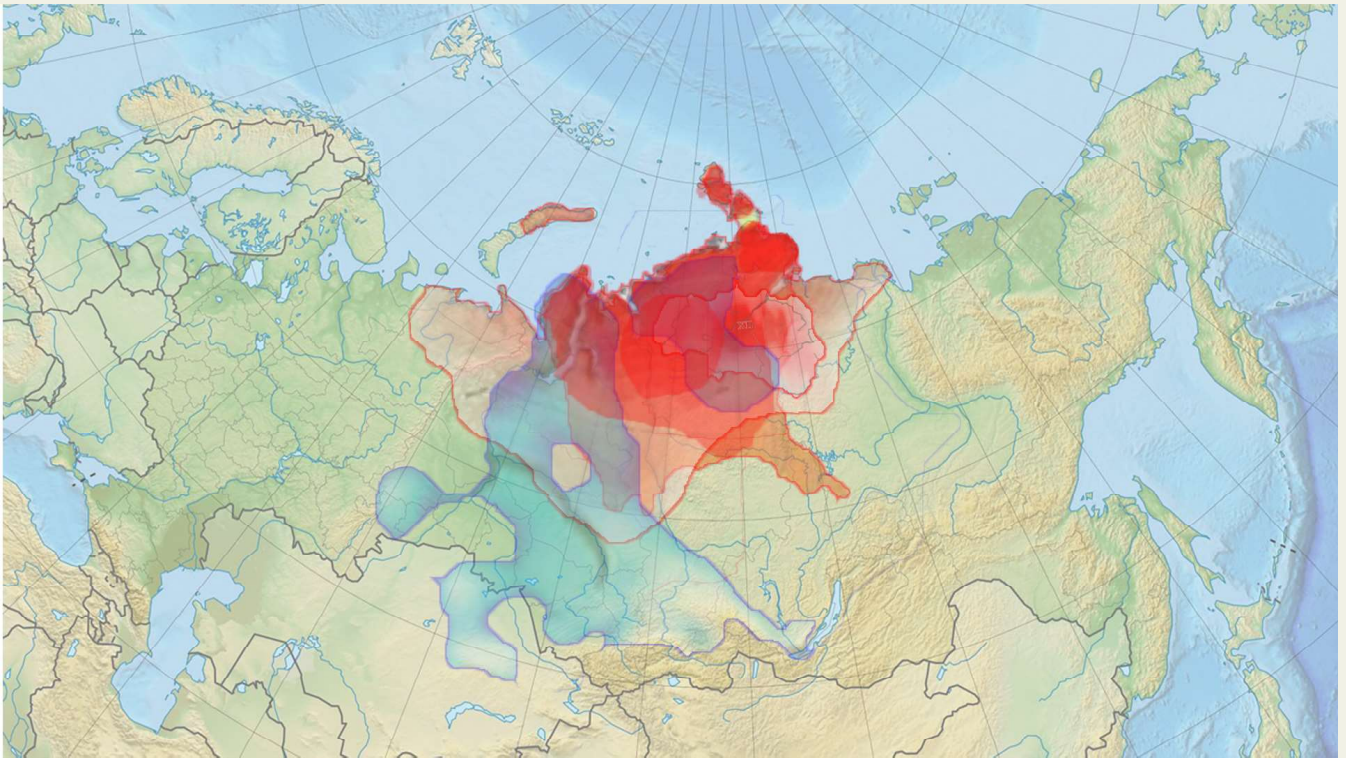


## Lokalizacija magmatske perjanice

Ako generaliziramo gornju analizu podataka o anomalijama temperature tla, dubini odmrzavanja vječnog leda, površinskim temperaturama, anomalijama niske seizmičke brzine u plaštu i

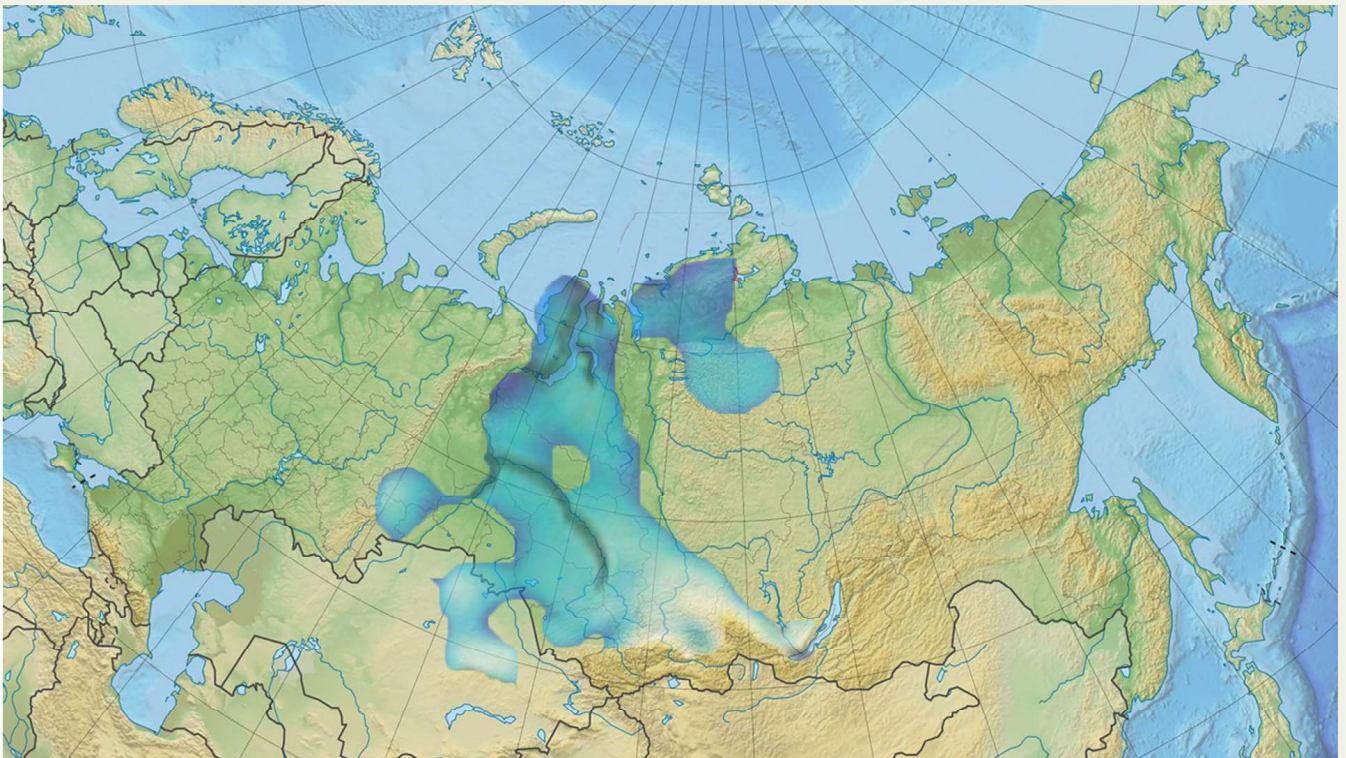
magnetskoj anomaliji, to će nam omogućiti da odredimo trenutni položaj i veličinu perjanice (sl. 43).





**SI. 43.**

**A. Karta sa preklapanjem glavnih anomalija prema različitim parametrima, koji su dati u nastavku:**

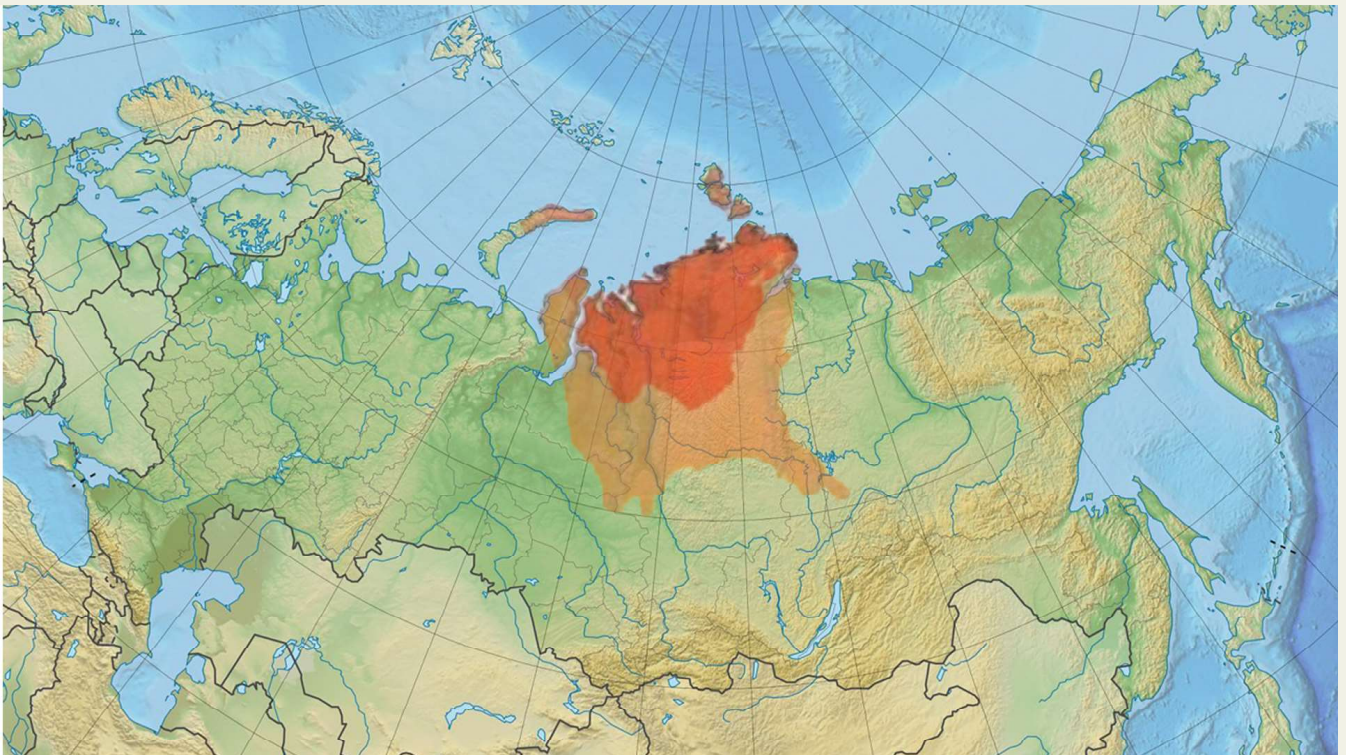


**B. Karta anomalija sa smanjenim brzinama (tečnije supstance) na dubini od 110 km prema seizmotomografiji, prema podacima Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J., & Weng, A. (2023)**



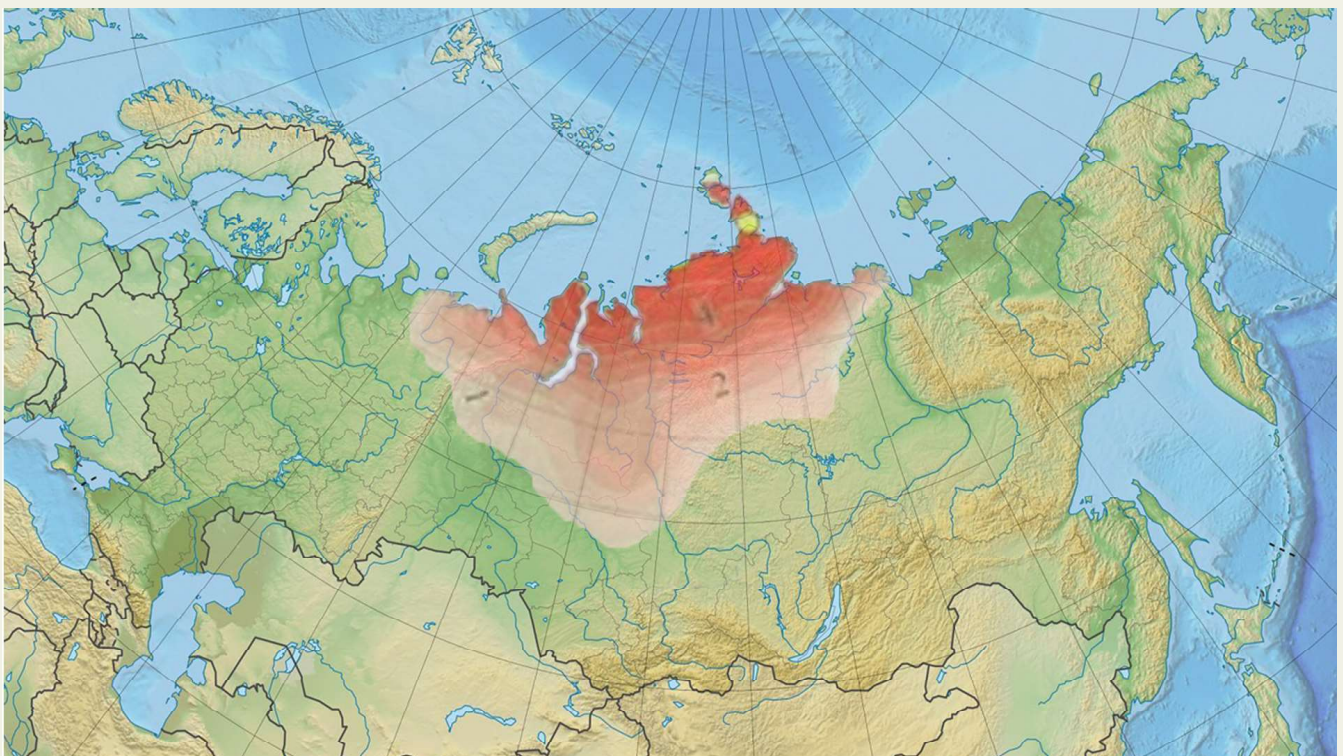


**C. Nova anomalija zagrijavanja tla u poređenju trendova za periode 1976. – 2021. i 1976. – 2023. Godine po podacima Roshidrometa, (2021, 2023)**

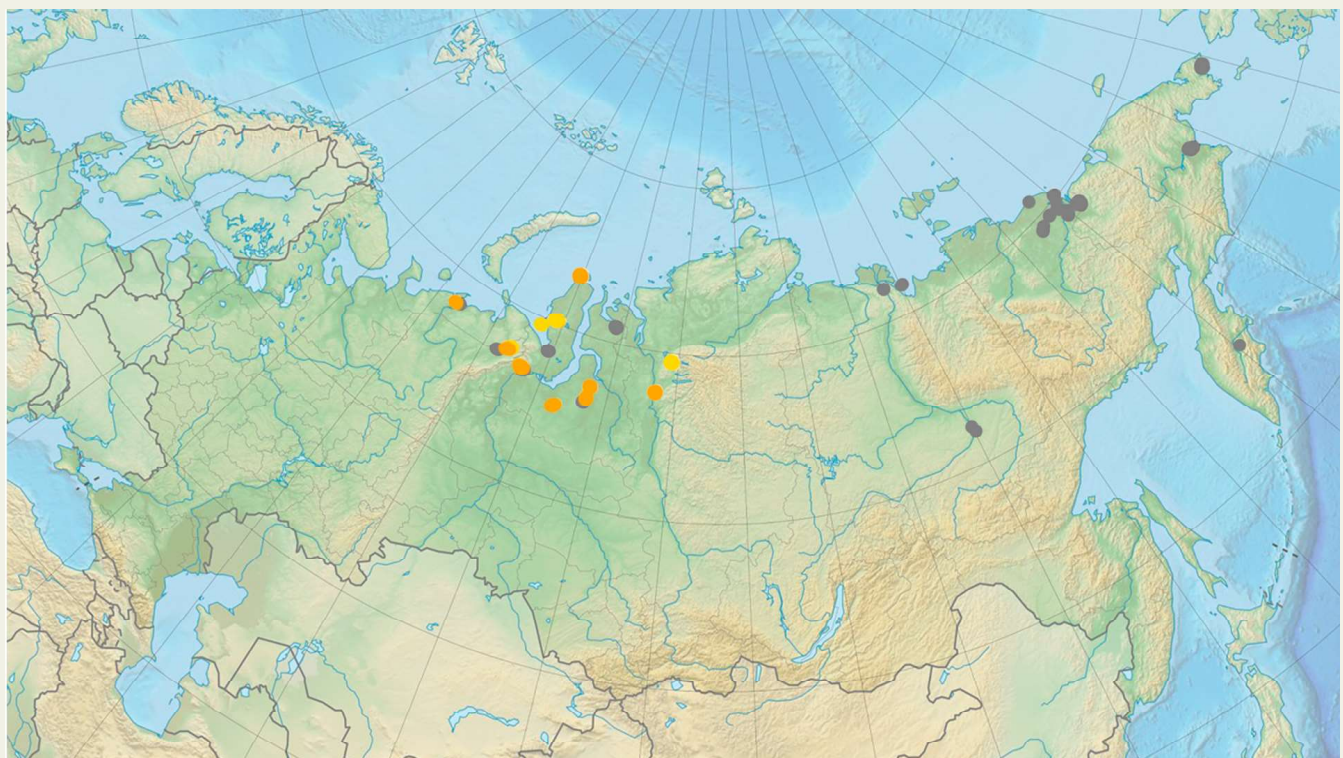


**D. Trend prosječne mjesečne temperature zraka za januar 2001. - 2021. godine, po podacima Sherstyukova, (2023)**





**E. Prosječna sezonska temperatura od decembra 2023. do februara 2024. Po podacima Roshidrometa, (2024)**



**F. Mjesta povećanja dubine sezonskog odmrzavanja sloja permafrosta. Izvor podataka: <https://permafrost.su/>**



Saglasno hipotezi, uzlazni dio perjanice nalazi se južno od poluotoka Gydan i Taimyr i ima nekoliko grana. Promjer glave perjanice procjenjuje se na 1.200–1.500 km, a zona širenja magmatskih tokova može doseći 2.500–3.000 km. Ova regija pokriva tektonske strukture Zapadnosibirske ploče i Istočnosibirskog kratona.

Trenutno, glava perjanice utječe na bazu Istočnosibirskog kratona, šireći magmatske tokove ispod njegove teritorije. Ovaj proces

vjerojatno utječe na povećanje seizmičke aktivnosti u području rubnih dijelova ploče, na primjer u zoni Bajkala, pa čak i na Uralu. Razlog ovakvih anomalija u rubnim dijelovima ploča je destabilizacija ploča zbog omekšavanja donje astenosfere i blagog izdizanja središnjeg dijela sibirskog bloka zemljine kore, odnosno tektonskih struktura Zapadnosibirske ploče i Istočnosibirskog kratona, zajedno s tektonskom strukturom Verkhoyansk-Chukotskog naboranog sistema.

## **Porast seizmičke aktivnosti kao znak destabilizacije ploča zbog aktivnosti sibirske magmatske perjanice**

Metodologija analize seizmičke aktivnosti uključivala je preuzimanje i posebnu obradu podataka dobijenih sa web stranice Međunarodnog seizmološkog centra (International Seismological Centre — ISC). Budući da podaci sadrže različite izvore iz različitih zemalja i istraživačkih instituta, kao i različite vrste magnitude (M<sub>w</sub>, M<sub>s</sub>, M<sub>b</sub>, M<sub>L</sub>, M<sub>D</sub>, itd.), rađen je specifičan algoritam obrade podataka za odabir odgovarajuće vrste magnitude iz različitih izvora (vidi Dodatak 1). Osnovna ideja algoritma za obradu bila je odabir srednje vrijednosti među najčešćim tipovima magnitude za svaki događaj, budući da su različiti izvori prijavili različite vrste magnitude i vrijednosti u ISC bazu podataka za svaki događaj. Ova obrada u prosjeku rezultira nevelikim smanjenjem magnitude u odnosu na maksimalnu prenesenu vrijednost, ali iskustvo je pokazalo da srednji algoritam osigurava

adekvatno ponašanje Gutenberg-Richterovog zakona i drugih pravilnosti i prilično se slaže s podacima iz drugih seizmoloških baza podataka, kao što su IRIS i USGS.

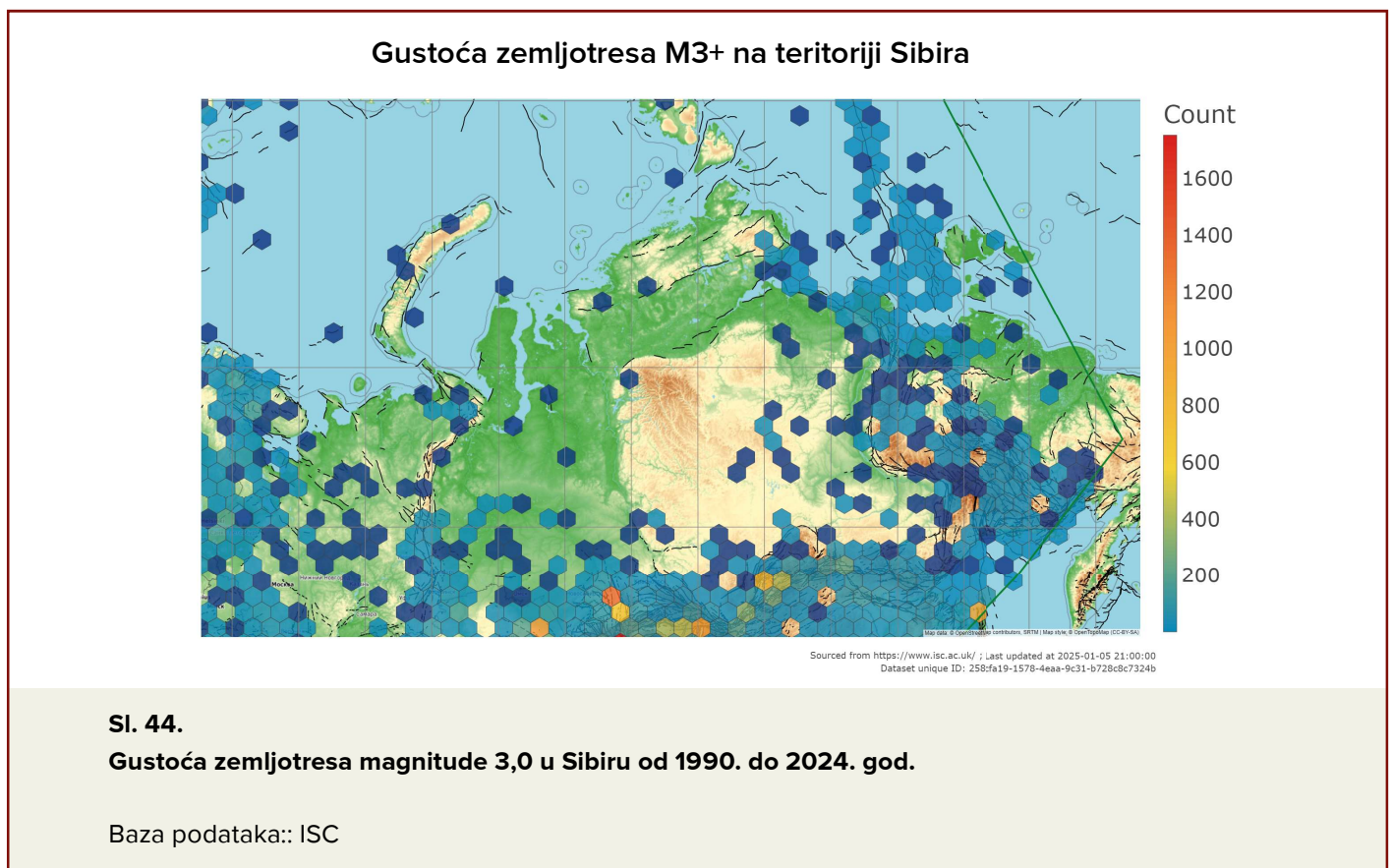
Podaci dobijeni kao rezultat algoritma filtrirani su prema tipovima događaja u bazi podataka ISC (vidi Dodatak 1) kako bi se isključili događaji uzrokovani ljudskom aktivnošću tokom rudarskih operacija: eksplozije, moguće eksplozije, pucanja stijena itd. Takođe, s obzirom da u Rusiji postoji mnogo rudarskih preduzeća, ISC baza podataka je upoređena sa podacima Ujedinjene geofizičke službe Ruske akademije nauka<sup>44</sup> od januara 2025. godine, koji navode sve poznate eksplozije i pucanja stijena na teritoriji Rusije. Ovi događaji su također isključeni kako bi se osiguralo da nijedan događaj koji je u skladu s eksplozijama ne ostane u rezultirajućim podacima.

<sup>44</sup>Federal Research Center, Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences <http://www.ceme.gsras.ru/zr/contents.html>

Razmotrimo rezultate analize podataka u području izdizanja magmatske perjanice i rubnih dijelova velikih tektonskih blokova na koje on ima direktan utjecaj. Budući da se Sibirski kraton smatra relativno stabilnom aseizmičkom platformom, pojava čak i malog broja zemljotresa unutar njegovih granica bila bi anomalija.

Na Sl. 44 prikazana je gustoća rasporeda zemljotresa na teritoriji Rusije. U području Sibira najveća koncentracija potresa prirodno se uočava

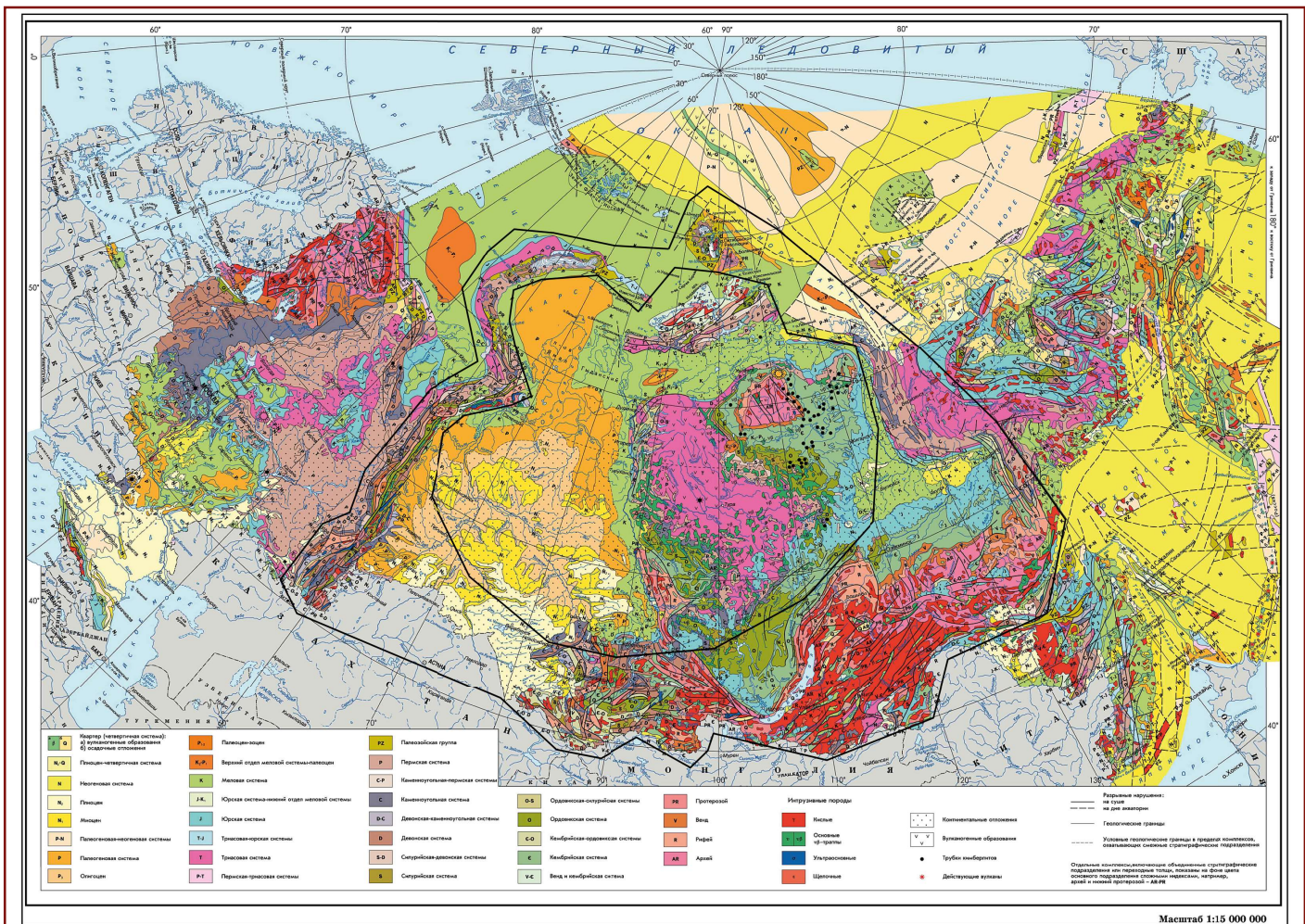
u naboranim područjima: greben Verkhoyansk na istoku, greben Gakkel na sjeveru, planine Ural na zapadu i regija Altai-Sayan na jugu. Pojedinačni događaji prisutni su i na teritoriji samog Sibira: nekoliko zemljotresa magnitude oko 4,0 zabilježeno je južno od poluotoka Taimyr. Razmotrimo detaljnije dinamiku zemljotresa u lokalnim područjima u području sibirske perjanice i susjednim regijama.



Po geološkim strukturama istaknuta su područja na kojima perjanica plašta može imati različite učinke (Sl. 45). Odabrano je područje same perjanice, gdje bi se udar mogao povezati sa prodiranjem i pritiskom magme i fluidne

faze (magnatskih plinova). U rubnim dijelovima Istočnosibirske platforme i Zapadnosibirske ploče, perjanica će vjerojatnije utjecati na seizmičnost zbog destabilizacije položaja gustih blokova zemljine kore.





**Sl. 45.**

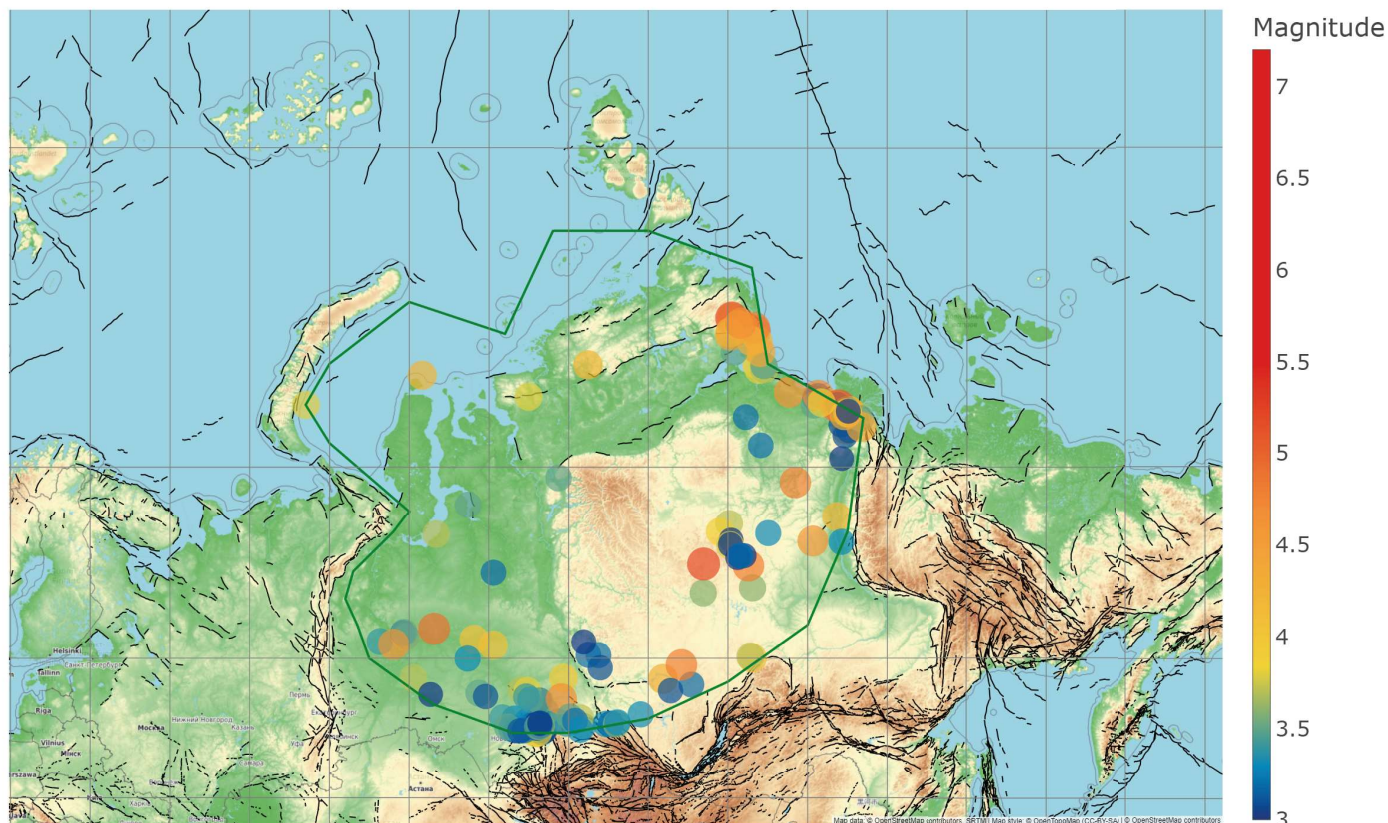
**Po geološkim strukturama odabrani poligon u području ulaska i širenja sibske perjanice (unutrašnji crni poligon) za analizu seizmičnosti. Vanjski crni poligon odgovara oblasti ivica efekata pritiska sibske perjanice na ploče.**

Dakle, razmotrimo zemljotrese u središnjem dijelu sibirske perjanice. Na sl. 46 predstavljena je karta rasporeda zemljotresa magnitude od 3,0 i više. Zemljotresi su zabilježeni na jugu poluotoka Taimiyr. Posebno je alarmantno što su se nedavno, u avgustu i septembru 2024. godine, na tom području dogodila dva zemljotresa magnitude 3,5 odnosno 3,8. Zemljotresi sličnih magnituda zabilježeni su

na južnom dijelu poluotoka Gydan (M 3,5) i na poluotoku Yamal (M 3,7 i M 4,2) na dubini od 10 km. Ti zemljotresi su zabilježeni u zoni lokalizacije glave sibirske perjanice, što je alarmantan trend o kojem će biti riječi u nastavku.



## Zemljotresi M3+, područje sibirske perjanice



Sourced from <https://www.isc.ac.uk/> ; Last updated at 2025-01-05 21:00:00  
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

### Sl. 46.

**Karta zemljotresa magnitude 3,0 i više u području sibirske perjanice od 1990. do 2024. god.**

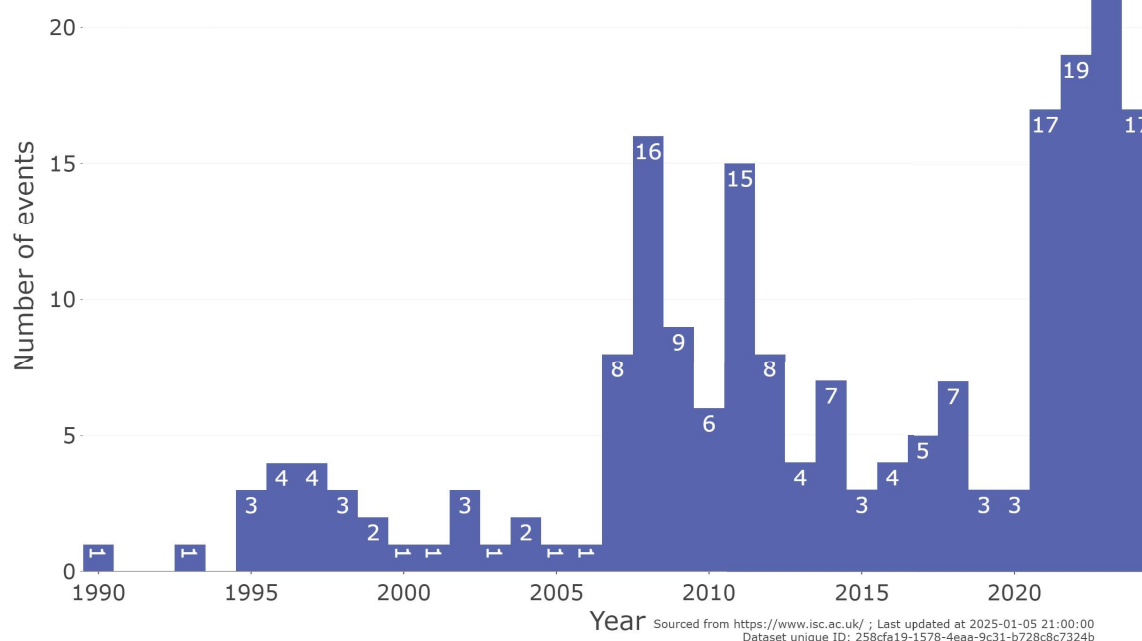
Baza podataka: ISC.

U istaknutom području sibirske perjanice, od 1990. do 2024. godine zabilježeno je ukupno 205 zemljotresa magnitude 3,0 ili više. Godine 1995. uočen je porast broja zemljotresa (Sl. 47), što je u skladu s globalnim trendom povećanja seizmičnosti iz 1995. godine povezanim s magmatskom aktivacijom. Od 2007. godine došlo je do značajnog povećanja broja zemljotresa uz postepeno smanjenje seizmičke

aktivnosti. Od 2021. godine broj zemljotresa je ponovo naglo porastao, premašivši prethodne godišnje brojke. Dakle, u području sibirske perjanice, uočeno je valno povećanje seizmičke aktivnosti. Posljednjih godina zabilježen je konstantno veći broj događaja nego što je to ranije bilo tipično za ovo područje.



### Zemljotresi M3+, područje sibirske perjanice



#### SI. 47.

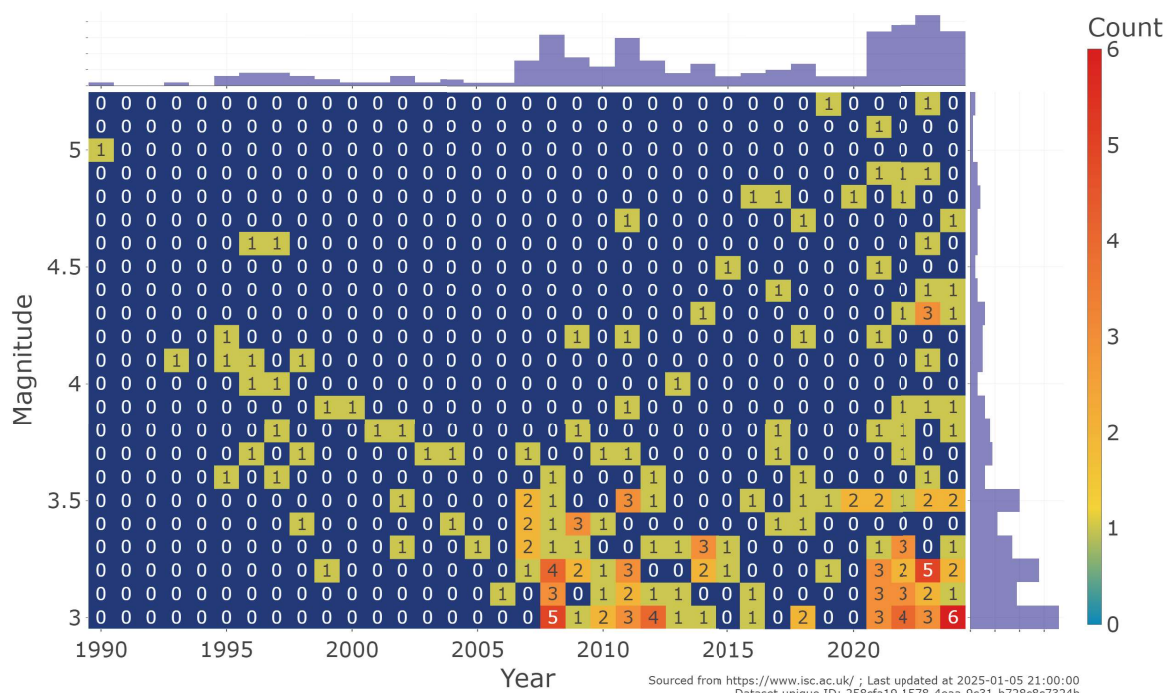
**Količina zemljotresa magnitude od 3,0 i više u području sibirske perjanice od 1990. do 2024. god.**

Baza podataka: ISC

Poslije zemljotresa magnitude 5,0 1990. godine, došlo je do postepenog smanjenja magnitude i broja zemljotresa (Sl. 48). Od 1990. do 2007. godine zabilježena su samo 3 zemljotresa magnitude veće od 4,5. Od 2007. godine dolazi do postepenog povećanja magnitude zemljotresa. Prvi put u zabilježenoj

istoriji praćenja, zemljotresi magnitude 5,1 i 5,2 su se pojavili od 2019. godine. Svi zemljotresi magnitude 4,5 ili više locirani su unutar perjanice (sl. 49), a neki od njih su ograničeni na stabilna područja gdje nema poznatih rasjeda.

### Zemljotresi M3+, područje sibirske perjanice

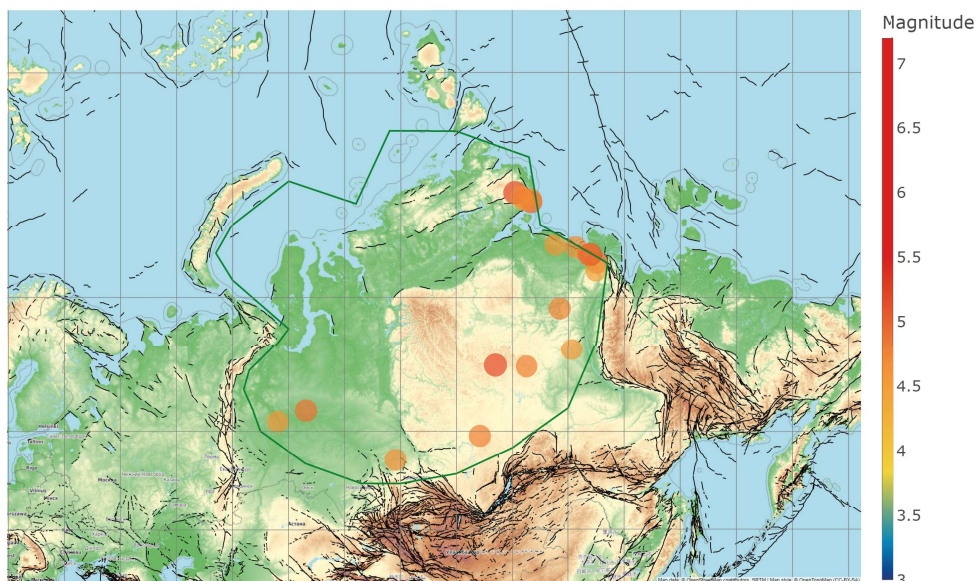


**Sl. 48.**

**Raspored zemljotresa koji su se dogodili u području sibirske perjanice od 1990. do 2024. god., po magnitudi.**

Baza podataka: ISC

### Zemljotresi M4.5+, područje sibirske perjanice



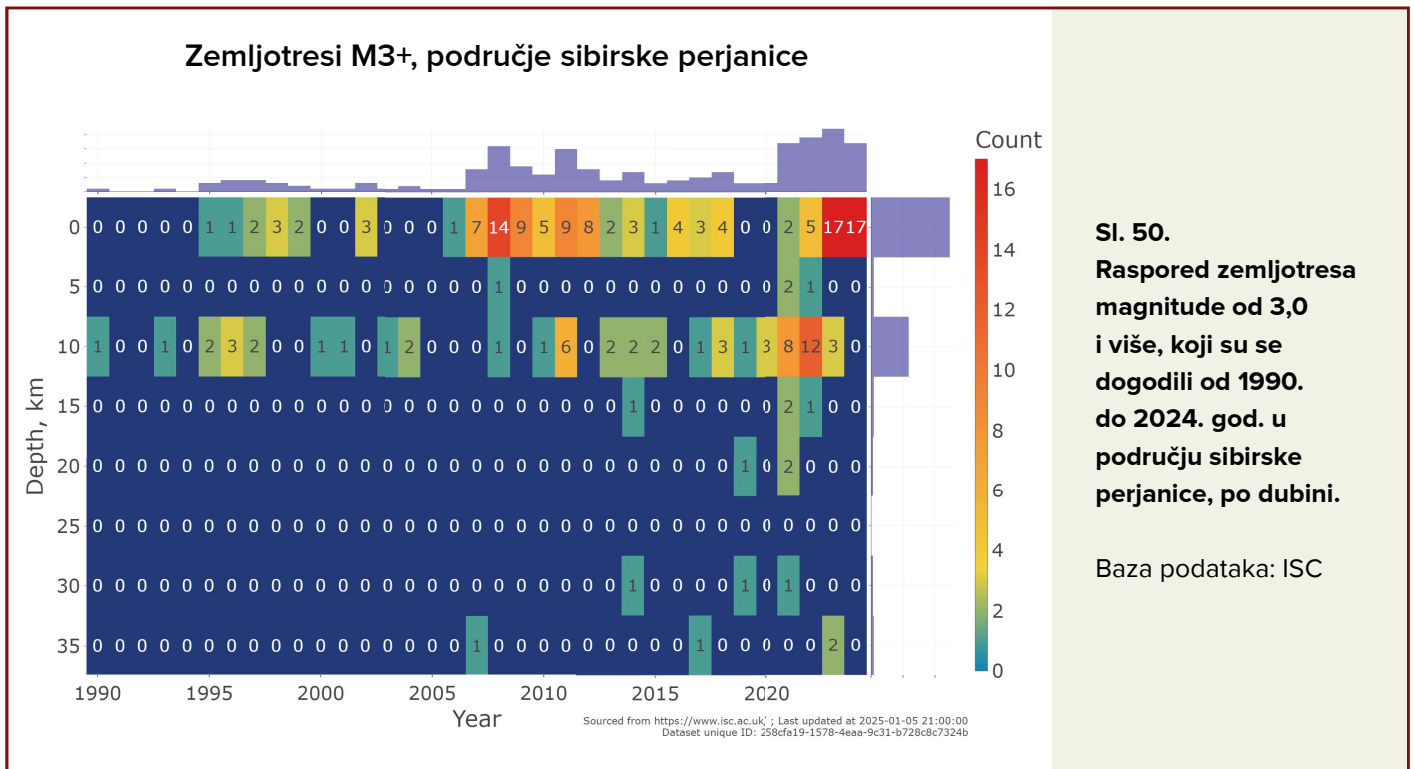
**Sl. 49.**

**Karta zemljotresa magnitude od 4,5 i više u području sibirske perjanice od 1990. do 2024. god.**

Baza podataka: ISC

Također, 2007. godine zabilježen je prvi zemljotres magnitude 3,7 na dubini od 33 km u blizini Moho granice (sl. 50). Nakon 2014. godine, zemljotresi u području osnove zemljine

kore na dubini od 30-35 km počeli su se mnogo češće javljati, a njihova magnituda je dostizala do 5,0. Svi su bili raspoređeni duž periferije pretpostavljenog izvora perjanice.



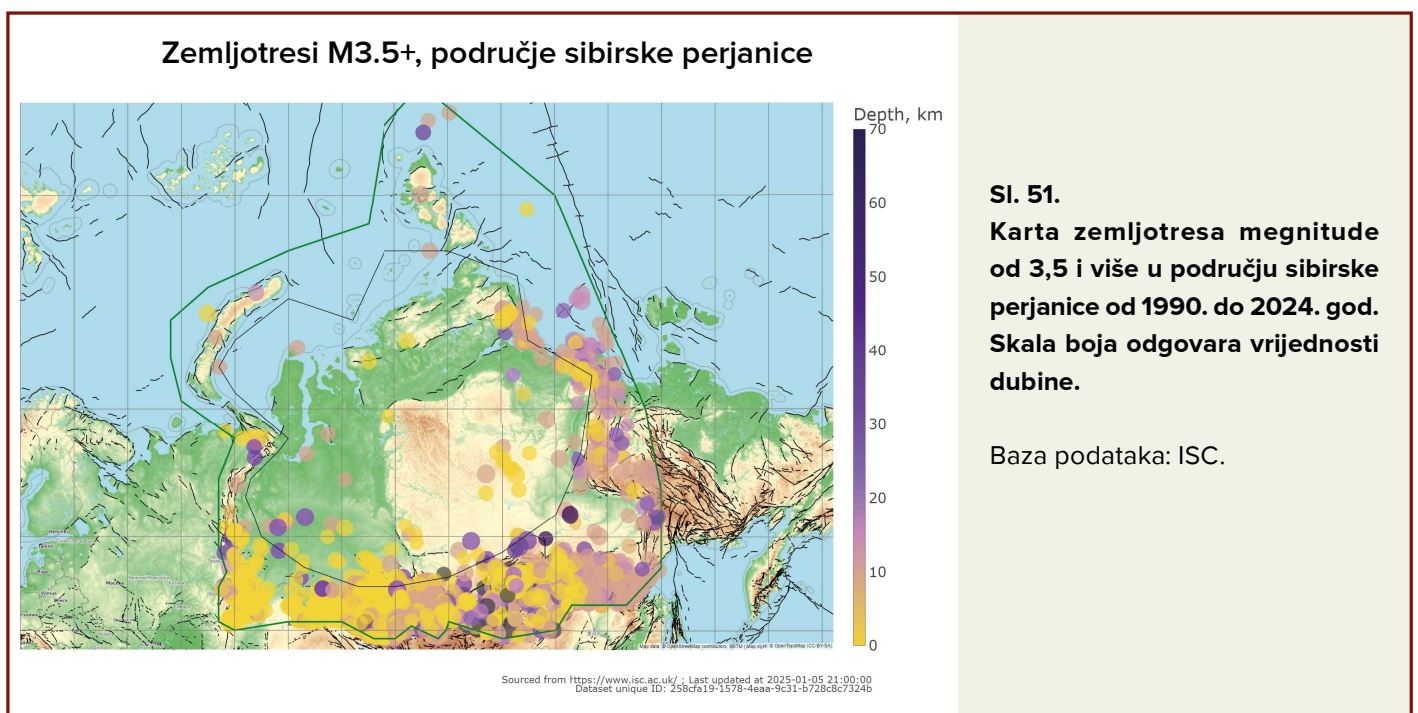
Prikazana analiza zemljotresa u području pretpostavljene lokacije sibirске perjanice pokazuje valno povećanje seizmičnosti: broj zemljotresa raste, njihove magnitude se povećavaju, a zemljotresi su se pojavili na većim dubinama. To ukazuje na procese deformacije ploče pod uticajem kolosalnog pritiska magme odozdo. Napredak ovih procesa neminovno će dovesti do erupcije sibirске perjanice u bliskoj budućnosti iz sljedećih razloga.

Temelj Istočnosibirskog kratona cementiran je magmatskim i metamornim stijenama, koje

stvaraju gustu monolitnu koru formiranu kao rezultat erupcija koje su se dogodile prije 250 miliona godina. Pojava jakih zemljotresa magnitude 7,0 i više u ovoj regiji značit će da platformske strukture Sibirskog kratona doživljavaju deformacije koje premašuju graničnu čvrstoću stijena. Da biste razumjeli kako se monolitni Sibirski kraton može rastrgati pritiskom perjanice, razmotrite primjer pucanja stakla neposredno prije nego što se raspadne na komadiće.

U ovom trenutku, kako bi se razumjela stvarna situacija napredovanja perjanice i stanje čvrstoće zemljine kore u području magmatske sibirске perjanice, krajnje je neophodno instalirati dodatne seizmičke senzore, po mogućnosti u bušotinama na dubini od nekoliko kilometara. Ovo će omogućiti detaljnu seizmo-tomografsku analizu zemljine kore i plašta i kontinuirano praćenje položaja i aktivnosti perjanice (pogledajte odjeljak “Scenario 3. Planirano kontrolirano otplinjavanje”).

Slijedi obratiti pažnju na raspodjelu zemljotresa po dubini u području sibirске perjanice i njezinih rubnih zona (Sl. 51). Zemljotresi na dubinama blizu Moho granice (više od 30 km) i u samom plaštu javljaju se uglavnom u područjima naboranih područja, a može se vidjeti da oni uokviruju područje pretpostavljene lokacije sibirске perjanice.

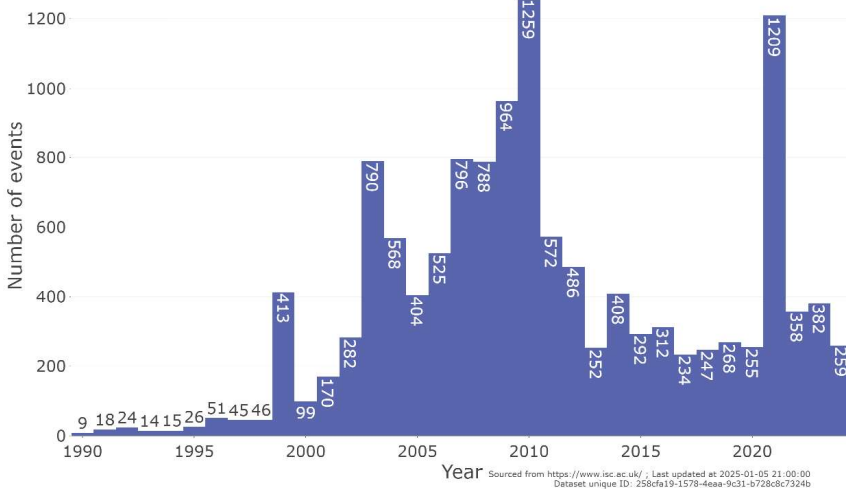


Razmotrimo seizmičku aktivnost samo u rubnim dijelovima sibirске perjanice. Geološki, ova područja pripadaju naboranim pojasevima, seizmički aktivnim regijama, čija seizmičnost može biti uzrokovana kako tektonskim pokretima, tako i utjecajem magmatske perjanice. Grafikon broja zemljotresa pokazuje mješovitu sliku preklapanja različitih faktora seizmičnosti (Sl. 52). U pojedinim godinama primjećuju se značajni skokovi seizmičke aktivnosti. Za preciznije razumijevanje prirode ovih procesa, potrebno je razmotriti svaki region posebno.

Posmatrajući zonu Verhojanskih naboranih struktura i rasjeda na dnu Laptevskog mora (Sl. 53) vidimo da su se jaki izboji zemljotresa magnituda od 3,0 dogodili 2013 i od 2021. – 2022. godine (Sl. 54). Takvi izboji karakteristični su za faze intruzije magme, koje uzrokuju značajne poremećaje u kontinuitetu zemljine kore i oslobađanje fluidne faze kroz pukotine u stijenama i obližnje rasjede. Takva očitovanja prati i porast broja zemljotresa malih magnituda i nastavak rojeva zemljotresa, a ponekad čak i serija rojeva.



### Zemljotresi M3+ u rubnim dijelovima sibirске perjanice

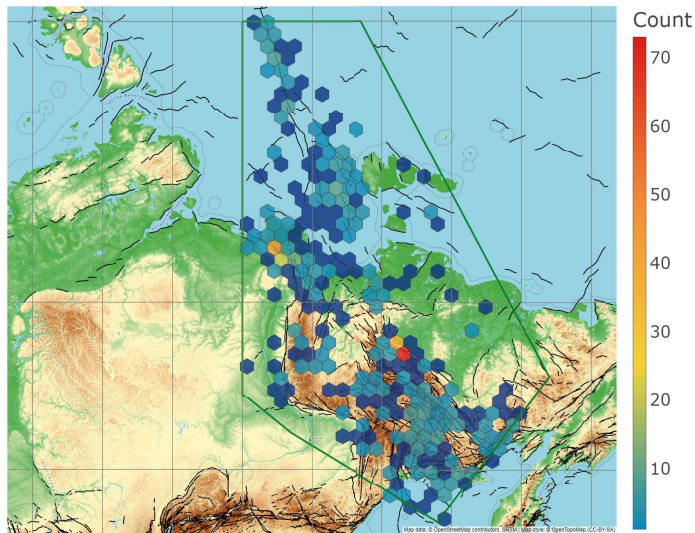


#### SI. 52.

Količina zemljotresa magnitude od 3,0 i više na rubnim dijelovima sibirске perjanice od 1990. do 2024. god. Isključeni su zemljotresi unutar poligona (SI. 47).

Baza podataka: ISC.

### Gustoća zemljotresa M3+, sjeveroistočni dio

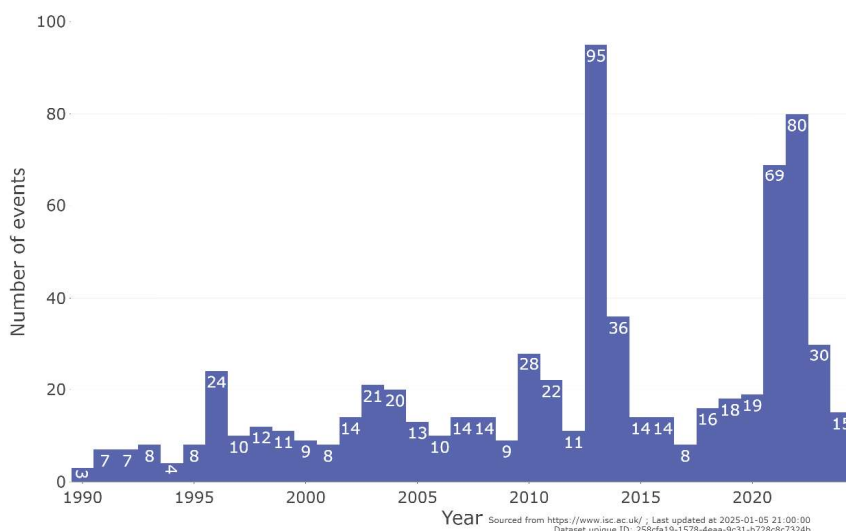


#### SI. 53.

Gustoća zemljotresa magnitude od 3,0 ili više u odabranom dijelu sjeveroistočnog ruba Sibirskog bloka zemljine kore od 1990. do 2024. god. Crnom su prikazane linije rasjeda.

Baza podataka: ISC

### Gustoća zemljotresa M3+, sjeveroistočni dio



#### SI. 54.

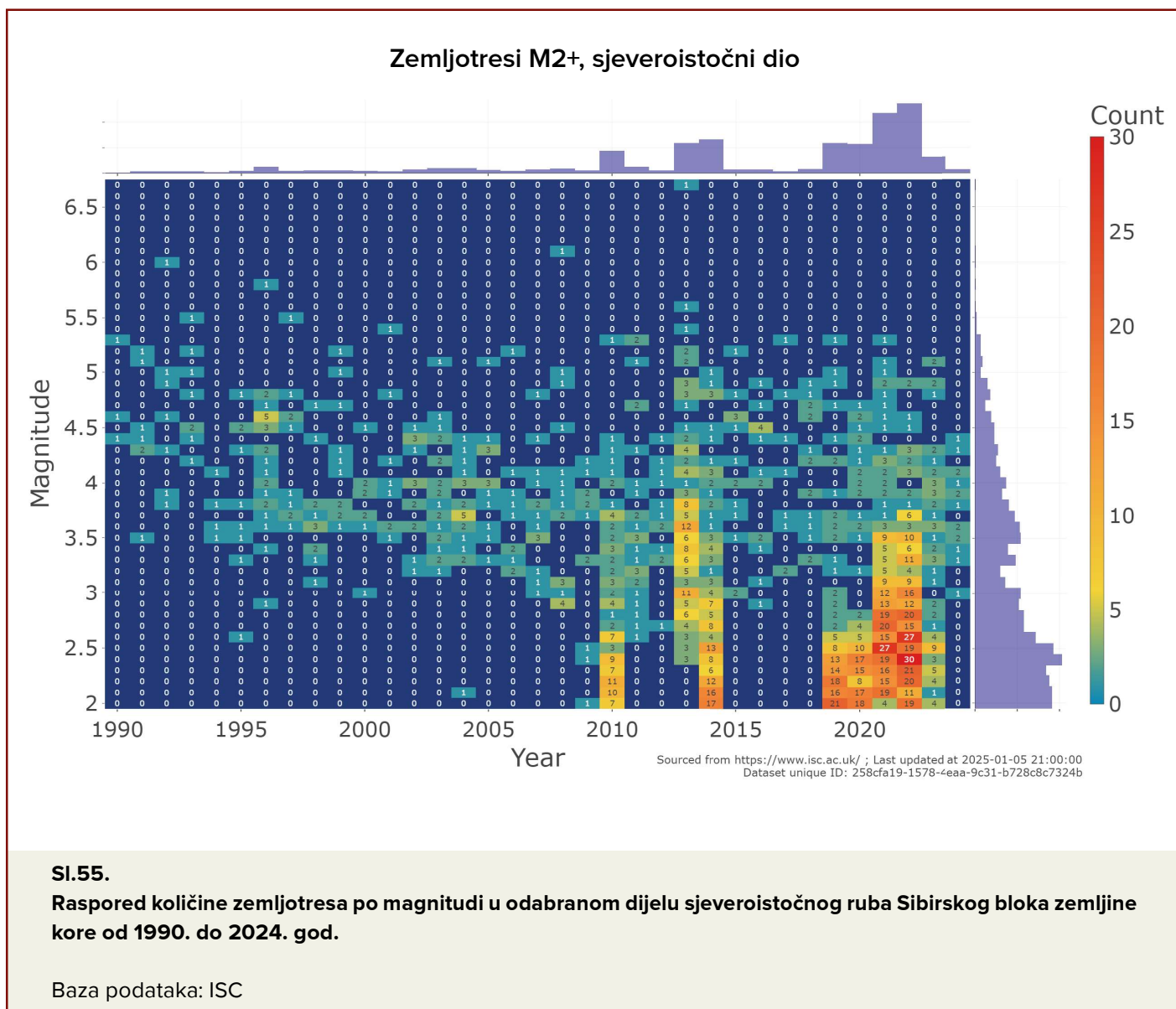
Grafikon količine zemljotresa magnitude od 3,0 ili više u odabranom dijelu sjeveroistočnog ruba Sibirskog bloka zemljine kore od 1990. do 2024. god.

Baza podataka: ISC

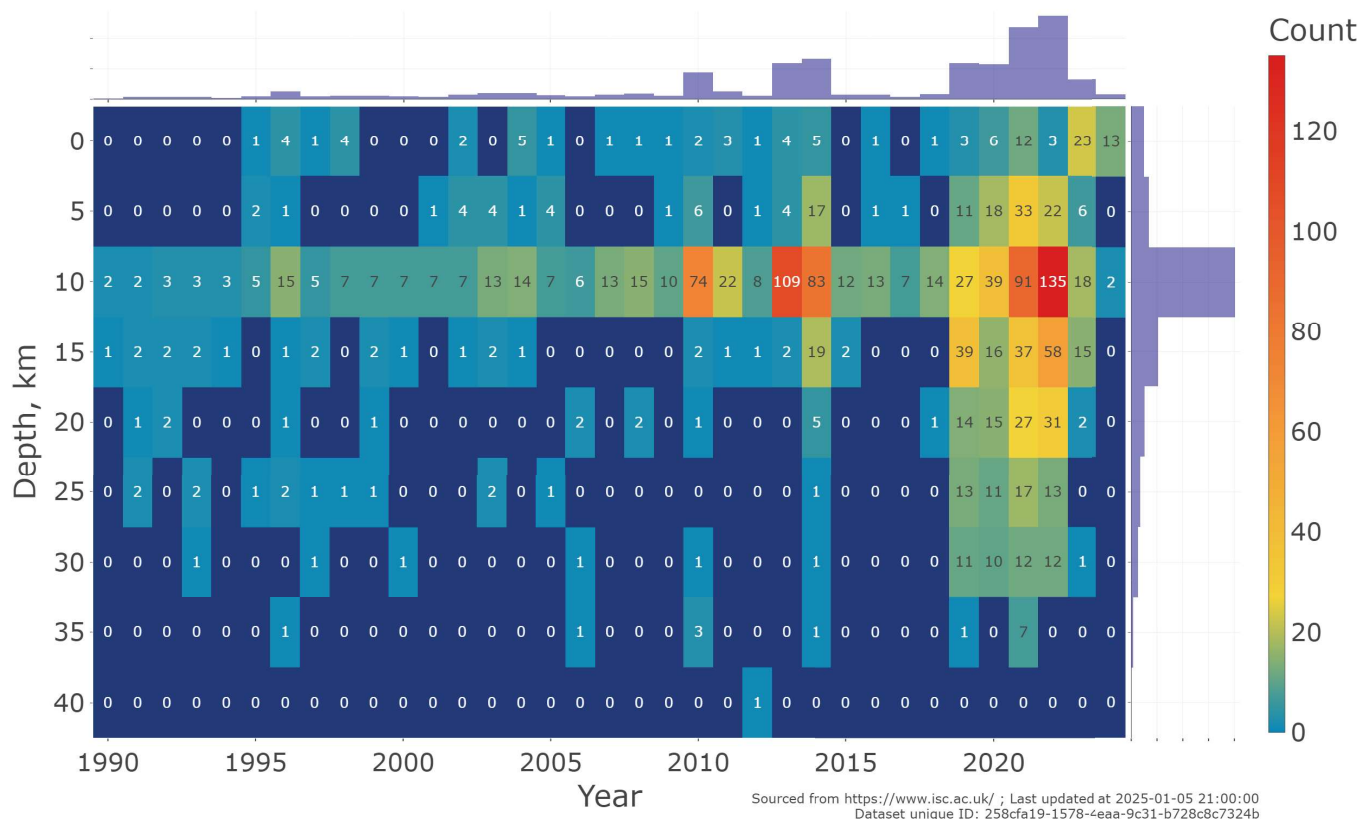
Istraživanje magnituda zemljotresa u tom području pokazuje porast količine zemljotresa magnitude 2,0 do 3,5 u 2010. i 2013. - 2014. godine i značajno povećanje njihovog broja od 2019. godine (Sl. 55). Od 2019. godine također se značajno povećao i broj zemljotresa koji pogađaju zemljinu koru skoro do temelja, do dubine od 35 km (Sl. 56). U 2013. godini, regija

je doživjela svoj prvi zemljotres magnitude 6,7, što jasno ukazuje na dug period nagomilavanja stresa ili oslobađanja akumuliranih magmatskih fluida.

Odvojeno razmotrimo grupu zemljotresa u jugoistočnom pravcu od poluotoka Taimyr (Sl. 57).



### Zemljotresi M2+, sjeveroistočni dio

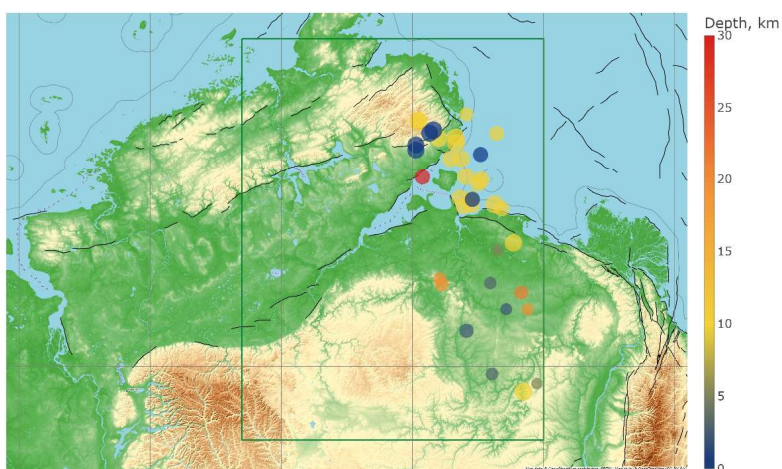


#### Sl. 56.

Raspored količine zemljotresa magnitude 2,0 i više po dubini u odabranom dijelu sjeveroistočnog ruba Sibirskog bloka zemljine kore od 1990. do 2024. god.

Baza podataka: ISC

### Zemljotresi M2+, sjeveroistočno od poluotoka Taimyr



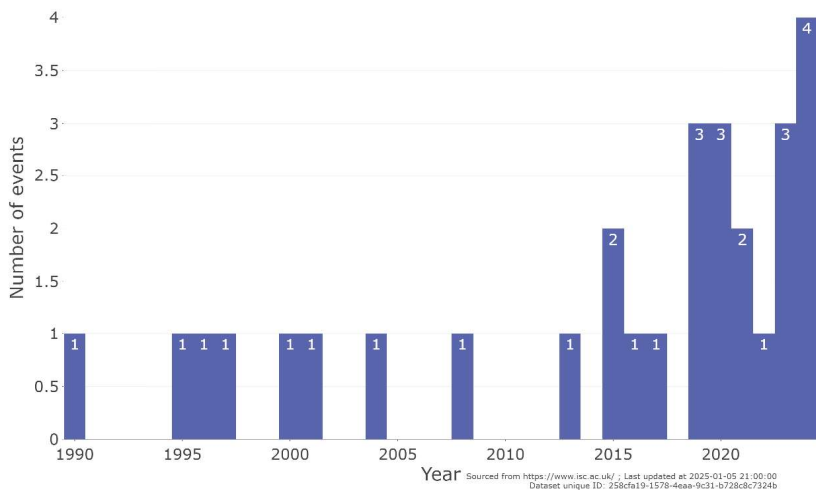
#### Sl. 57.

Karta rasporeda zemljotresa magnitude od 2,0 na odabranom dijelu, na sjeveroistoku od poluotoka Taimyr od 1990. do 2024. god.

Baza podataka: ISC

U periodu 2019. – 2020. godine također je došlo do porasta seizmičke aktivnosti malih i srednjih magnituda (Sl. 58, 59).

### Zemljotresi M3+, sjeveroistočno od poluotoka Taimyr

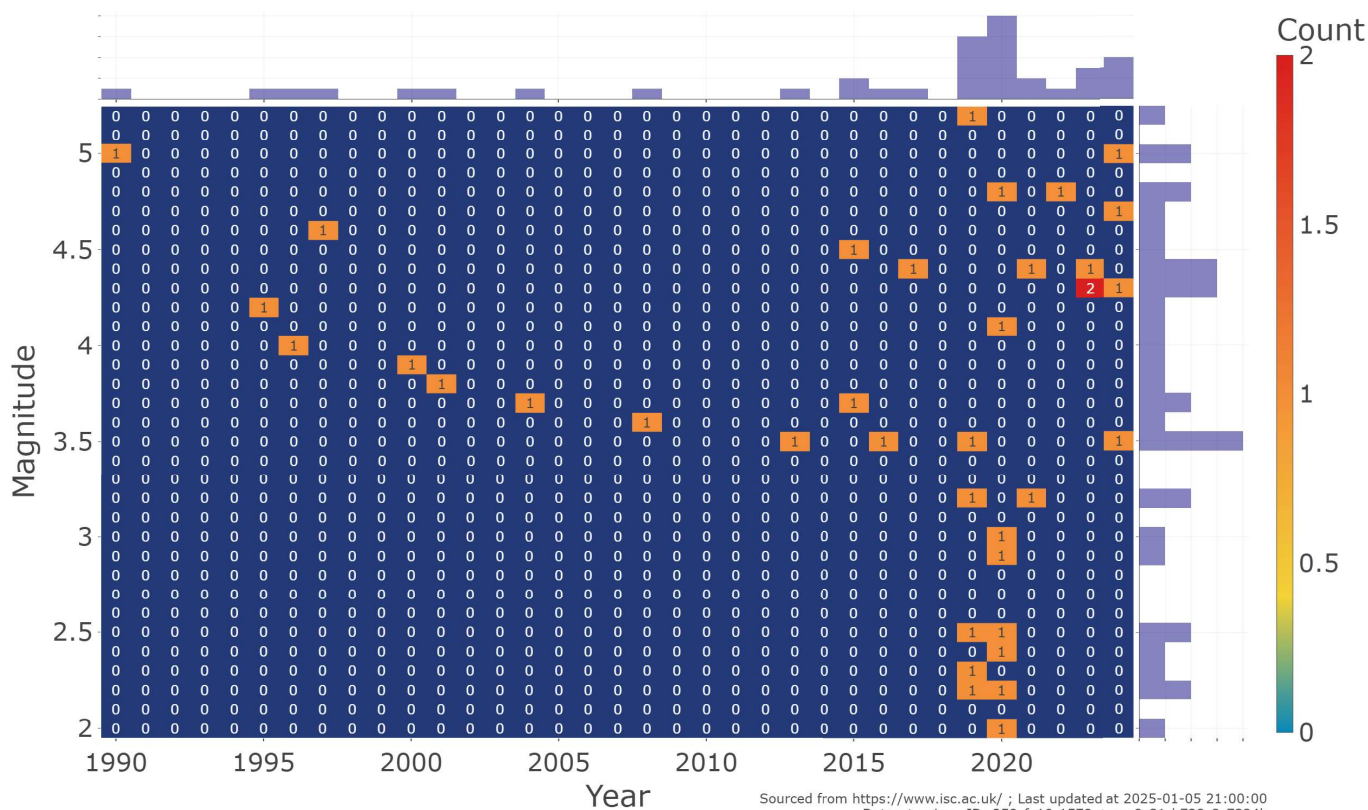


Sl. 58.

Grafikon količine zemljotresa magnitude 3,0 i više na odabranom dijelu, na sjeveroistoku od poluotoka Taimyr.

Baza podataka: ISC

### Zemljotresi M2+, sjeveroistočno od poluotoka Taimyr



Sl. 59.

Raspored količine zemljotresa po magnitudi na odabranom dijelu, na sjeveroistoku od poluotoka Taimyr, od 1990. do 2024. god.

Baza podataka: ISC

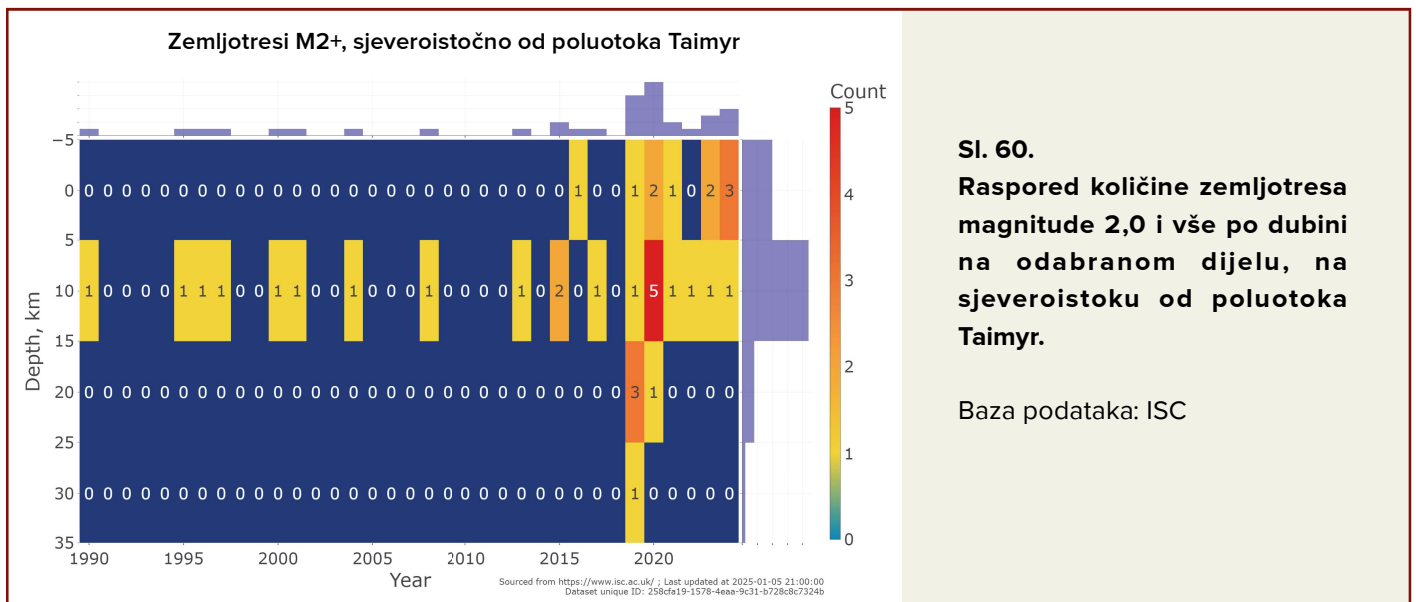


Također, u periodu 2019. – 2020. godine uočeno je povećanje dubine pojave zemljotresa sve do temelja zemljine kore (Sl. 60) u istim vremenskim periodima kao i u području Verhojanske naborane strukture.

Treba naglasiti da se ova zona nalazi u području utjecaja glave sibirske perjanice, te unatoč malom broju zemljotresa, pokazuje sličan trend povećanja dubine i broja zemljotresa kao u Verhojanskim naboranim strukturama, samo

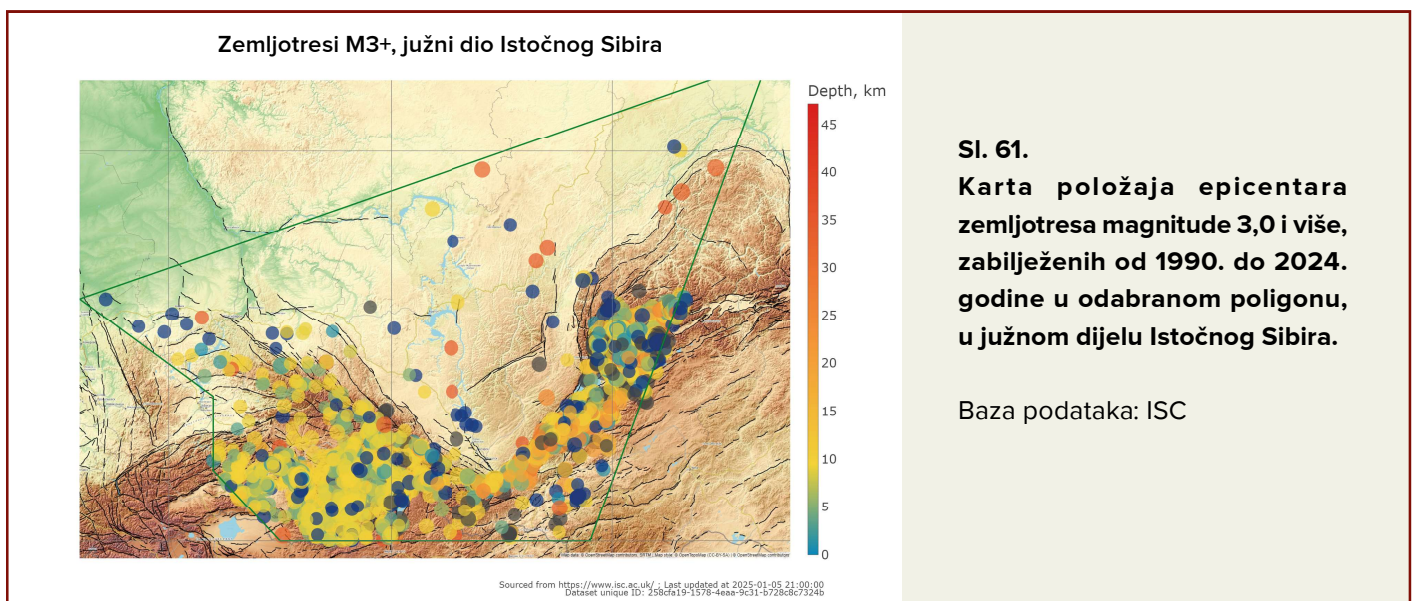
počevši od 2019. godine.

Južni dio teritorije koja se razmatra uključuje Altai-Sayan nabor i Baikalsku regiju. (Sl. 61). To je tektonski pokretno i seizmički aktivno područje. Ovdje je došlo do porasta zemljotresa 1999. i 2021. godine (Sl. 62). Magnitude zemljotresa su u porastu od 2007. godine, čak su dostigle 6,8 2021. godine. (Sl. 63).



**Sl. 60.**  
**Raspored količine zemljotresa magnitude 2,0 i više po dubini na odabranom dijelu, na sjeveroistoku od poluotoka Taimyr.**

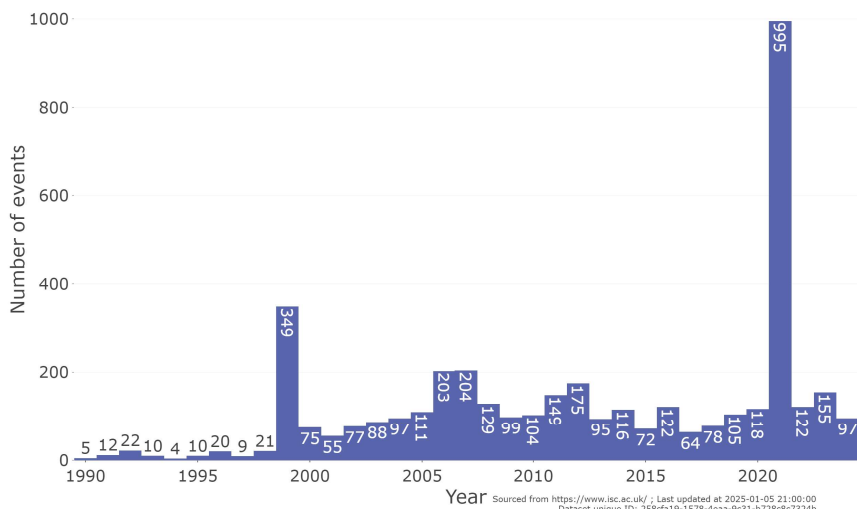
Baza podataka: ISC



**Sl. 61.**  
**Karta položaja epicentara zemljotresa magnitude 3,0 i više, zabilježenih od 1990. do 2024. godine u odabranom poligonu, u južnom dijelu Istočnog Sibira.**

Baza podataka: ISC

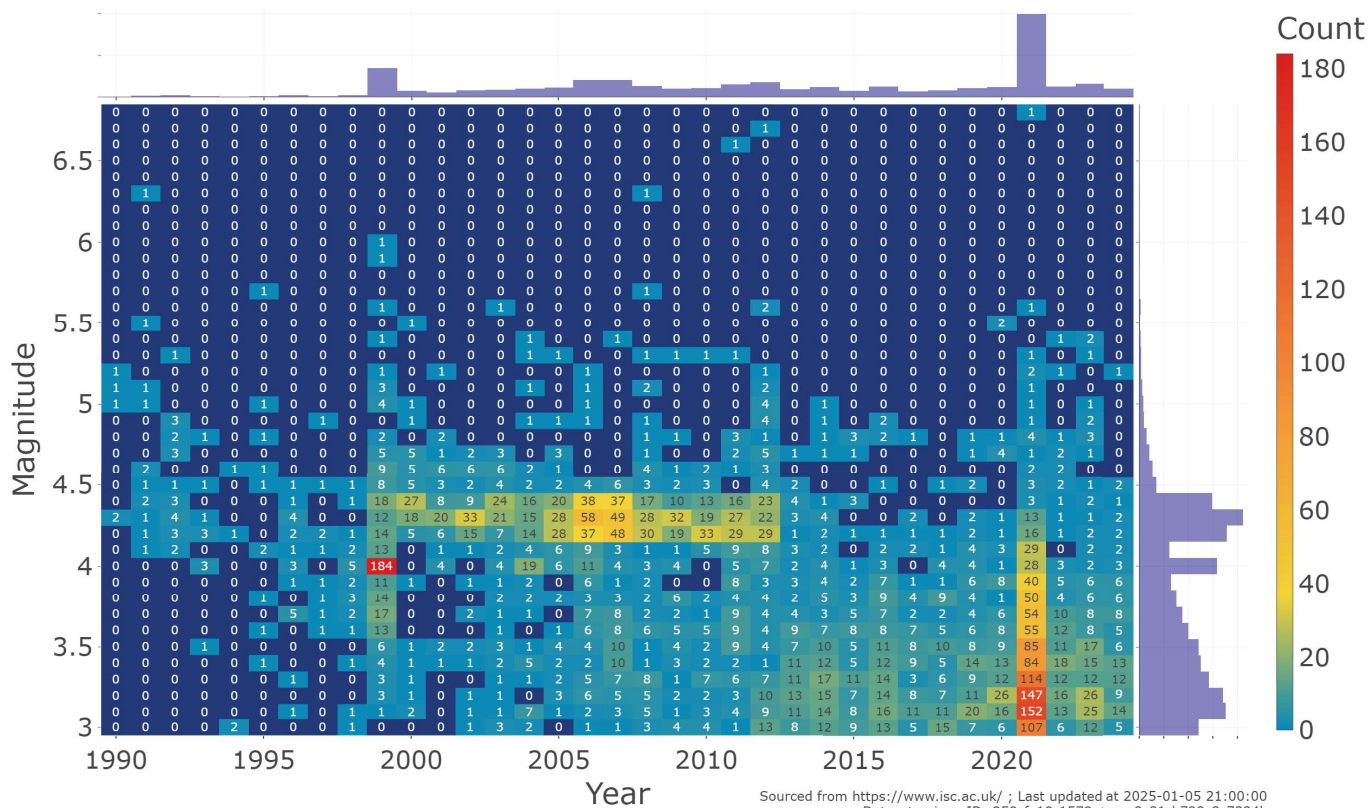
### Zemljotresi M3+, južni dio istočnog Sibira



**Sl. 62.**  
Količina zemljotresa magnitude od 3,0 i više na teritoriji južnog dijela Istočnog Sibira.

Baza podataka: ISC

### Zemljotresi M3+, južni dio istočnog Sibira



**Sl. 63.**

Raspored zemljotresa u odabranom poligonu u južnom dijelu Istočnog Sibira, od 1990. do 2024. god. Po magnitudi.

Baza podataka: ISC

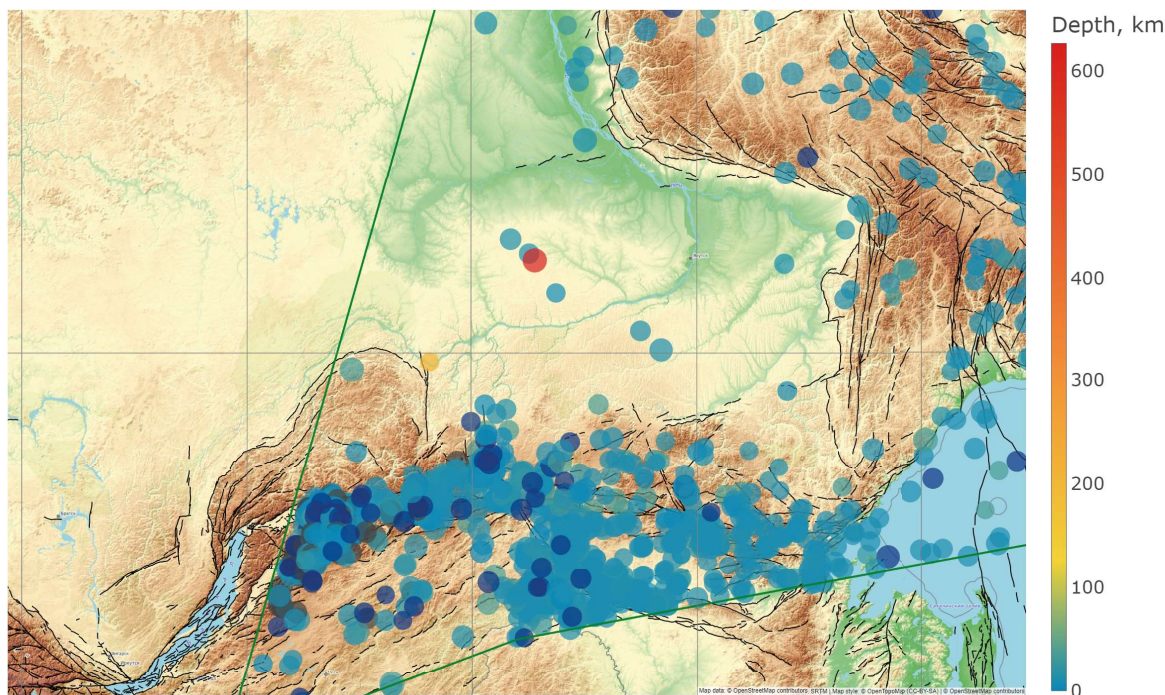
Važno je napomenuti pojavu zemljotresa u plaštu ispod Sibirskog kratona. Još 1998. godine zabilježen je zemljotres magnitude 3,3 na dubini od 211 km u području sineklize Vilyui. To je bila iznenađujuća činjenica, ali mnogo jedinstveniji događaj — to je zemljotres značajne magnitude 5,1 već na dubini od 627 km 2023. godine u toj istoj regiji (Sl. 64).

Samo po sebi, očitovanje dubokofokusne seizmičnosti ispod platformski stabilnog bloka zemljine kore jedinstven je događaj. Tradicionalno se pretpostavlja da se takvi zemljotresi unutar plašta događaju uz takozvane zone subdukcije, ali najbliža takva zona nalazi se daleko odavde, hiljadama kilometara, i ne može imati nikakav uticaj.

Autori izvještaja smatraju da su zemljotresi

dubokog žarišta uzrokovani ogromnim eksplozijama unutar plašta koje nastaju kada relativno topliji tokovi magme dođu u kontakt sa relativno hladnijim tokovima. Saglasno seizmo-tomografskom modelu, na mjestu nastanka oba dubokofokusna zemljotresa uočavaju se anomalije u brzinama seizmičkih valova koje odgovaraju relativno viskoznijim i tekućim tokovima, što vjerovatno odražava njihove temperaturne razlike. Tako su se ova dva zemljotresa u plaštu dogodila na dodirnim točkama između relativno hladnih i relativno toplih tokova plašta (Sl. 65), što je izazvalo oslobađanje velike količine energije koji je generirala akustične valove koje su seizmičkim sensorima zabilježeni kao zemljotresi. Ovo jednoznačno ukazuje na značajnu aktivnost tokova plašta u ovoj oblasti.

### Položaj dubokih zemljotresa u Sibiru

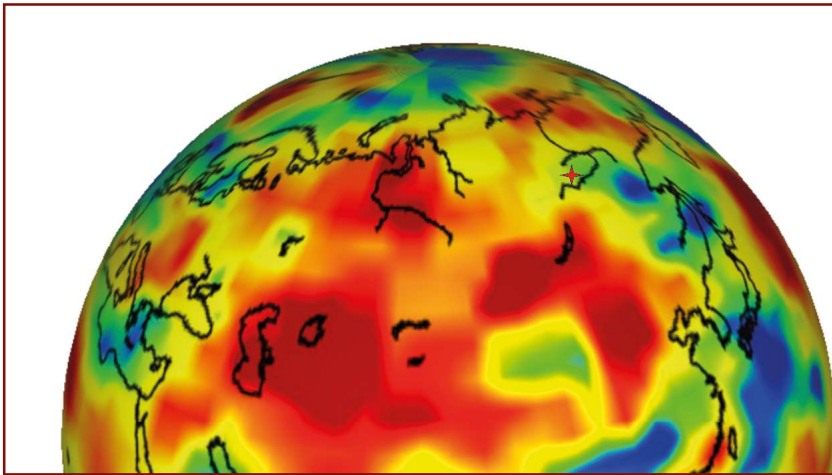


Sourced from <https://www.isc.ac.uk/> - Last updated at 2025-01-05 21:00:00  
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

#### Sl. 64.

Na karti je označen epicentar dubokofokusnog zemljotresa magnitude 5,1 na dubini od 627 km (crvena oznaka) pod Sibirskom platformom 2023.





**Sl. 65.**

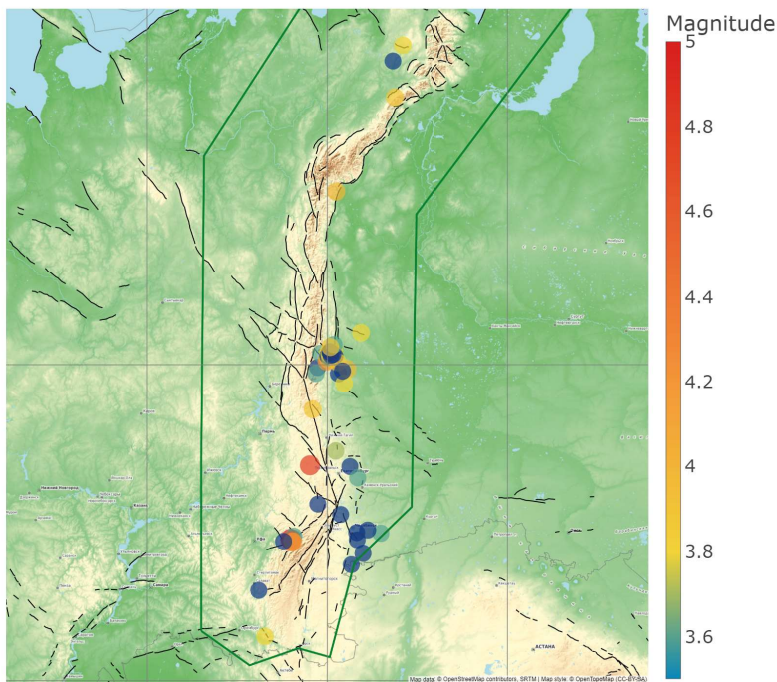
Zone smanjenih brzina prolaska seizmičkih valova u plaštu na dubini od oko 600 km. Hipocentar zemljotresa magnitude 5,1 2023. godine pada u zonu kontakta relativno toplih i relativno hladnih područja plašta.

Izvor: <https://members.elsi.jp/~hiroki.ichikawa/gst/gallery/gallery.html>

Ljuljanje rubnih dijelova Sibirskog bloka uzrokuje porast seizmičke aktivnosti u regiji Urala. Podaci za analizu su filtrirani kako bi isključili pucanje stijena nastalih rudarskim aktivnostima. Također je odabrana magnituda

od 3,5 kako bi se osiguralo da su isključeni događaji uzrokovani ljudskim djelovanjem. (Sl. 66, 67). Stoga, uočeno valovito povećanje seizmičnosti odražava prirodne procese.

**Zemljotresi M3.5+ na Uralu**



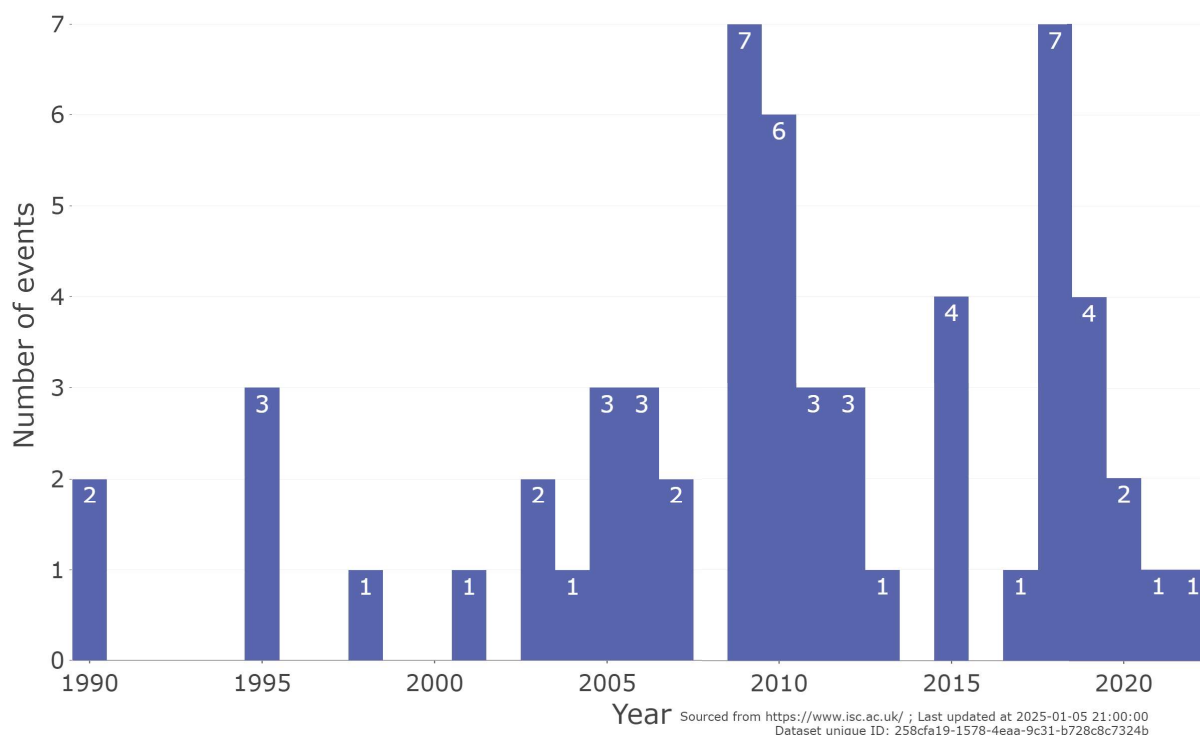
Sourced from <https://www.isc.ac.uk/>; Last updated at 2025-01-05 21:00:00  
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

**Sl. 66.**

Karta rasporeda epicentara zemljotresa magnitude od 3,5 i više, zabilježenih u regiji Urala od 1990 .do 2022. god.



### Zemljotresi M3.5+ na Uralu



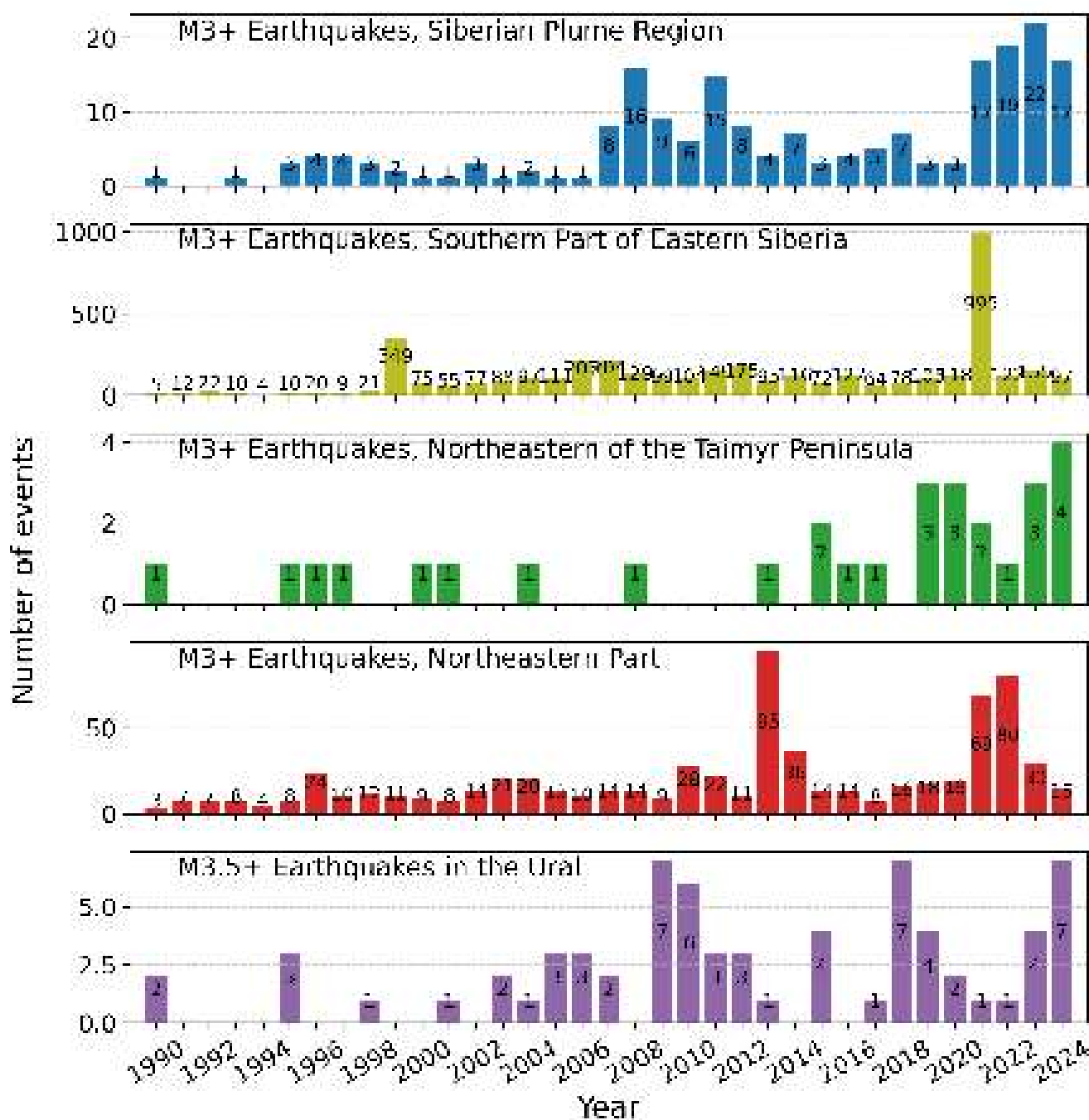
**Sl. 67.**

**Količina zemljotresa magnitude od 3,5 i više, zabilježenih u regiji Urala od 1990 .do 2022. god.**

Osim toga, u regiji su zabilježeni zemljotresi magnitude od 4,0 do 5,0, što je također pokazatelj prirodnog porasta zemljotresa. (Sl.

68). Porast seizmičnosti u regionu Urala ne događa se planski, već valovito, što je prirodan obrazac.



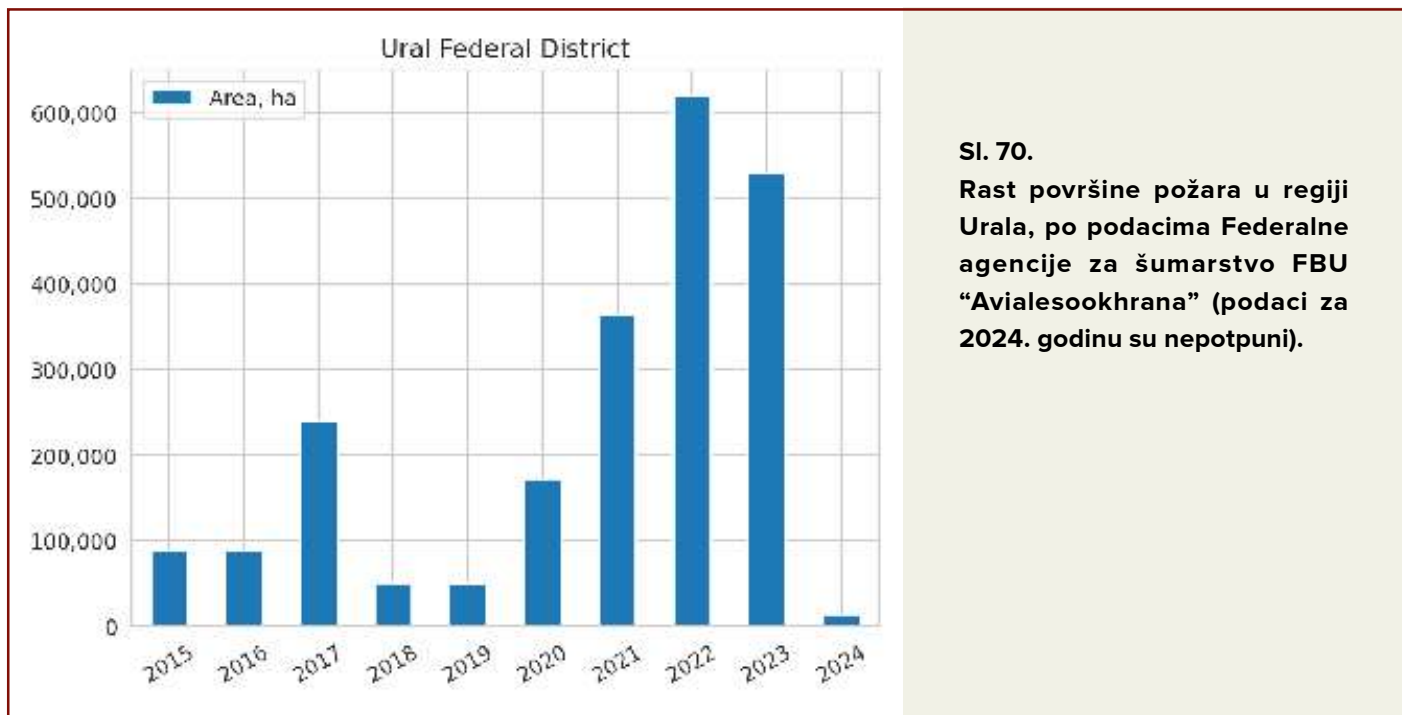


**SI. 69.**

Raspored vrhunaca seizmičke aktivnosti u regiji Verkhoyansk (istočno od Sibirske platforme), južnom dijelu istočnog Sibira, Uralu (zapadno od istočnog Sibira) i u centralnom dijelu Sibira (uključujući Zapadnosibirsku ploču i Istočnosibirsku platformu) po godinama. Zemljotresi jačine 3,0 i više.

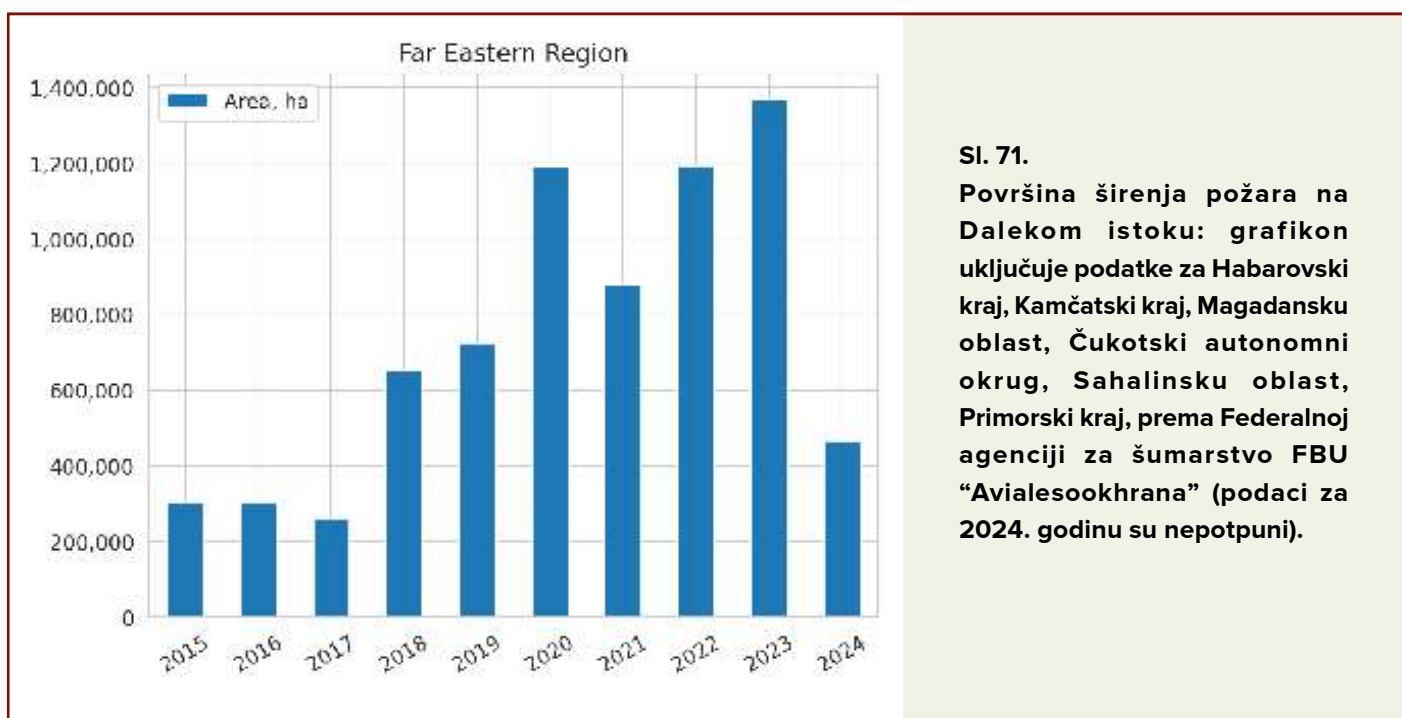
Baza podataka: ISC





**Sl. 70.**  
Rast površine požara u regiji Urala, po podacima Federalne agencije za šumarstvo FBU “Avialesookhrana” (podaci za 2024. godinu su nepotpuni).

Površina obuhvaćena požarima u regiji Dalekog istoka također raste eksponencijalno, što grafikon jasno pokazuje. (Sl. 71).



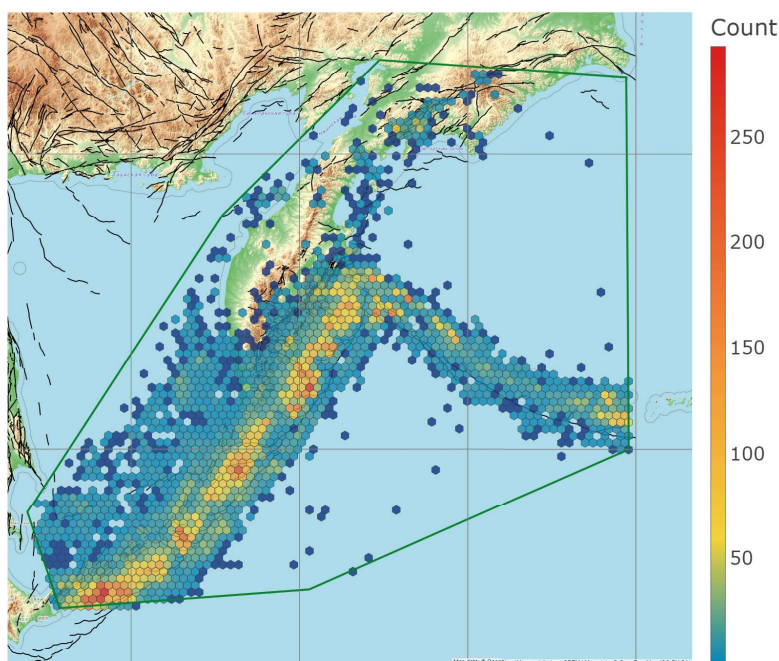
**Sl. 71.**  
Površina širenja požara na Dalekom istoku: grafikon uključuje podatke za Habarovski kraj, Kamčatski kraj, Magadansku oblast, Čukotski autonomni okrug, Sahalinsku oblast, Primorski kraj, prema Federalnoj agenciji za šumarstvo FBU “Avialesookhrana” (podaci za 2024. godinu su nepotpuni).

Dakle, slični procesi porasta požara dešavaju se i na drugoj strani Sibirskog i Dalekoistočnog bloka zemljine kore, na granici sa Pacifičkom pločom.

Pretpostavlja se da intruzija sibirske perjanice utiče i na Kurilsko-Kamčatsku regiju kao krajnje područje kontinentalnog bloka kore pod pritiskom perjanice. Analiza seizmičkih podataka u regionu Kamčatke i Kurilskih otoka

pokazuje primjetan porast broja zemljotresa magnitude 4,0 i više (Sl. 72, 73). Region je dio Pacifičkog vatrenog prstena (Sl. 74) i, shodno tome, pokazuje trend povećanja seizmičnosti, u skladu sa tendencijama ove tektonske strukture. Međutim, većina izboja seizmičnosti ima neovisan karakter. To može ukazivati na to da sibirska perjanica ima svoj utjecaj na regiju Kamčatke i Kurilskih otoka.

**Gustoća zemljotresa M4+ na poluotoku Kamčatka i Kurilskim otocima**



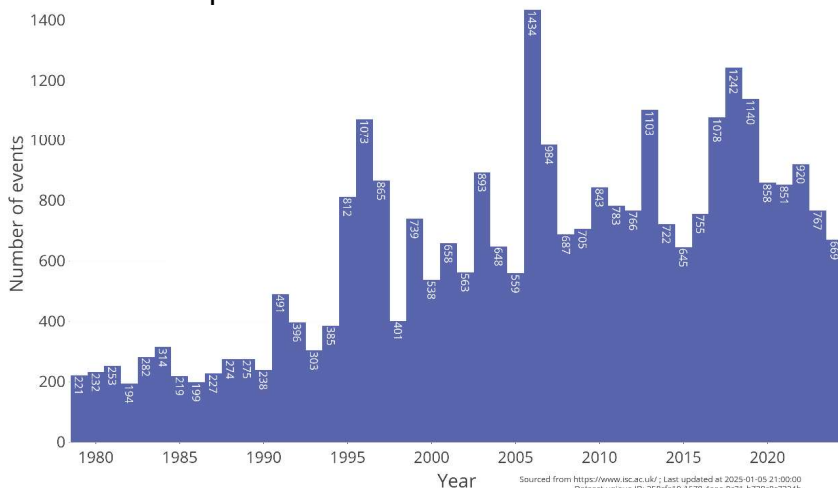
Sourced from <https://www.isc.ac.uk/> ; Last updated at 2025-01-05 21:00:00  
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

**Sl. 72.**

**Gustoća zemljotresa magnitude od 4,0 i više u rajonu poluotoka Kamčatka i Kurilskih otoka, 1979. – 2024. god.**

Baza podataka: ISC.

**Gustoća zemljotresa M4+ na poluotoku Kamčatka i Kurilskim otocima**



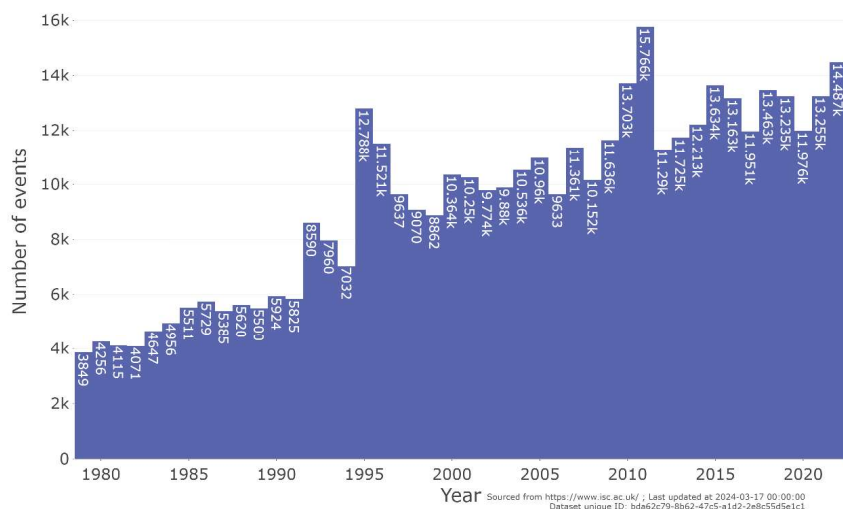
Sourced from <https://www.isc.ac.uk/> ; Last updated at 2025-01-05 21:00:00  
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

**Sl. 73.**

**Porast količine zemljotresa magnitude 4,0 i više u rajonu poluotoka Kamčatka i Kurilskih otoka, 1979. – 2024. god.**

Baza podataka: ISC.

M4+ zemljotresi u Vatrenom prstenu 1979. - 2022. god.



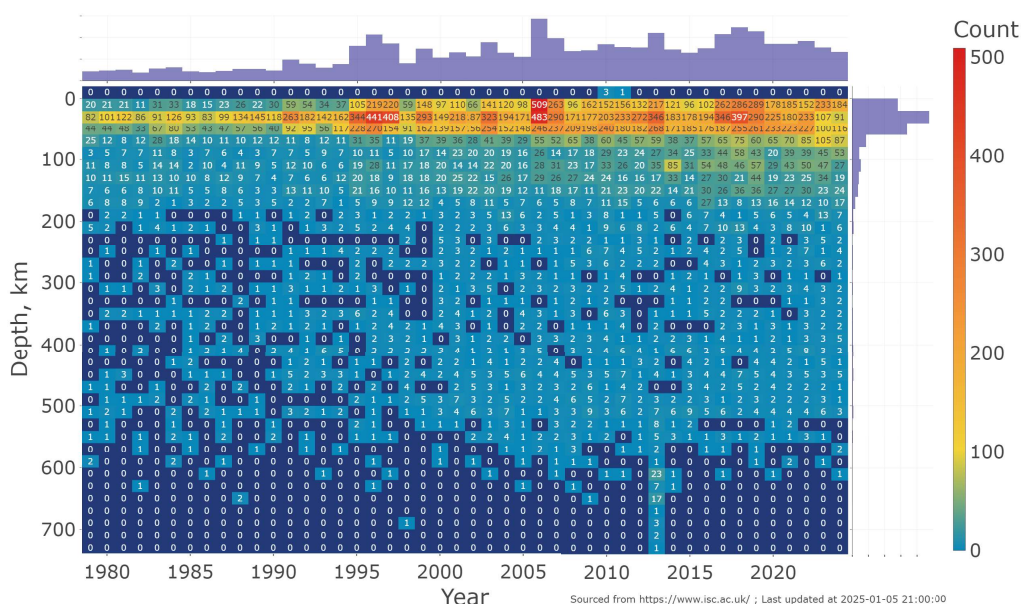
Sl. 74. Porast količine zemljotresa magnitude 4,0 i više u rajonu Vatrenog prstena, 1979. – 2022. god.

Baza podataka: ISC.

Vrijedi napomenuti da se u Kurilsko-Kamčatskoj regiji također primjećuje povećanje dubine zemljotresa (Sl. 75). To ukazuje da spoj litosfernih ploča postaje pokretniji zbog utjecaja sibirske magmatske perjanice. Očekuje se povećanje aktivnosti vulkana u Kurilsko-Kamčatskoj regiji, a također i pojava anomalija brzog uspona duboke

magme, brze promjene njenog sastava tokom vulkanskih erupcija prema više mafičnoj magmi. Sličnu promjenu sastava na dublju demonstrirao je vulkan Bezmyanny tokom erupcije 2017. godine<sup>45</sup>.

M4+ zemljotresi na poluotoku Kamčatka i Kurilskim otocima



Sl. 75. Raspored zemljotresa magnitude 4,0 i više, zabilježenih na odabranom poligonu, u rajonu poluotoka Kamčatka i Kurilskih otoka od 1979. do 2024. god., po dubini. Baza podataka: ISC.

<sup>45</sup>V.O. Davydova, V.D. Shcherbakov, P.Yu. Plechov, I.Yu. Koulov, Petrological evidence of rapid evolution of the magma plumbing system of Bezmyanny volcano in Kamchatka before the December 20th, 2017 eruption, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 421, 2022, 107422, ISSN 0377-0273, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107422>



Povećanje seizmičnosti, požari i anomalije u vulkanskoj aktivnosti — to i jesu rubni efekti izdizanja Sibirskog bloka zemljine kore, koji je pod pritiskom prodora sibirske perjanice.

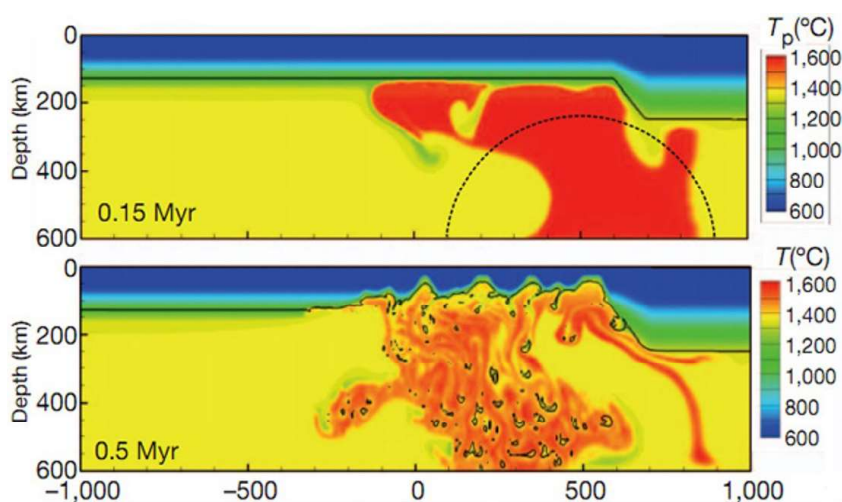
Povećanje seizmičke aktivnosti ne samo u Sibiru, već posebno na rubovima Zapadnosibirske ploče i Istočnosibirskog kratona, ukazuje da je podizanje ploče kao rezultat pritiska odozdo magmatske perjanice već počelo. Ovo ukazuje na veliki i značajan uticaj magmatske perjanice na ploču.

Tradicionalni modeli pretpostavljali su da bi perjanice plašta, pri podizanju i zagrijavanju, trebale stvarati značajno izdizanje površine do 2 km visine prije trenutka proboja magme. Ne

postoje geološki dokazi za tako dramatično izdizanje u regiji Sibirskih trapi, formiranih prodorom magmatske perjanice prije 250 miliona godina.

Na osnovu proučavanja magmatskih stijena Sibirskih trapi, naučnici sa instituta u Rusiji, Njemačkoj i Francuskoj su ustanovili<sup>46</sup>, da je, umesto da se diže u obliku mjehura, perjanica postepeno erodirala litosferu odozdo (sl. 76).

Kada je erozija u zoni kontakta između rastopljenog materijala perjanice i stijena gornjeg plašta dostigla dubinu od 50 km, počelo je masovno izlivanje i erupcija lave na površinu.



#### Sl. 76.

##### Rekonstrukcija početnih faza formiranja Sibirskih trapa.

Po vertikalnoj osi — dubina(km). Raznim bojama prikazana je temperatura stijena. Početni položaj vrha perjanice plašta prikazan je tačkastim polukrugom. Perjanica se približava donjoj granici litosfere (puna crna linija) i „širi se“ ispod nje. Dolje — vrh perjanice, uslijed erozije (vidljivi su u utrobu uranjajući fragmenti litosfere) probija sebi put kroz gornji plašt do zemljine kore. To odgovara početku glavne faze ‘trap’ magmatizma.

Izvor: Stephan V. Sobolev, Alexander V. Sobolev, Dmitry V. Kuzmin, Nadezhda A. Krivolutsкая, Alexey G. Petrunin, Nicholas T. Arndt, Viktor A. Radko, Yuri R. Vasiliev. Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes // Nature. 2011. V. 477. P. 312–316.

<sup>46</sup> Sobolev, S. V., Sobolev, A. V., Kuzmin, D. V., Krivolutsкая, N. A., Petrunin, A. G., Arndt, N. T., Radko, V. A., & Vasiliev, Y. R. (2011). Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes. Nature, 477, 312-316. DOI: 10.1038/nature10385

Savremena aktivnost perjanice vjerovatno slijedi taj isti mehanizam. Stoga se značajno podizanje površine samo na jednom mjestu prilikom prodiranja glave perjanice ne očekuje, ali ovaj mehanizam ne isključuje masivno regionalno uzdizanje cijele Istočnosibirske platforme za neku neveliku veličinu. Međutim, prema tektonofizičkom modeliranju, čak i takvo manje uzdizanje bilo bi dovoljno da izazove prodore magme, oslobađajući rastopljeni materijal pod visokim pritiskom, što bi dovelo do ogromne katastrofe.

Mjesto pretpostavljenog rasporeda centra glave perjanice — područje sjeverno od visoravni Putorana, oko 225 km sjeveroistočno od Norilska. Proboji će također zahvatiti i svu Zapadnosibirsku tanku ploču, gdje će se raspasti stari šavovi — pukotine i duboki rasjedi u zemljinoj kori.



## Dokazi neizbježnosti erupcije sibirске perjanice

Razlozi zbog kojih proboj magme savremene sibirске perjanice ima visoke rizike u ovom trenutku vezani su za sljedeće uslove.

U posljednjih 30 godina na Zemlji je došlo do postepenog povećanja geofizičkih anomalija, koje su direktna posljedica vanjskih utjecaja koji povećavaju toplinsku energiju u području jezgra planete. Međutim, trenutna situacija je radikalno drugačija od prethodnog perioda: **krajem 2024. planeta je ušla u fazu povećanog energetskog uticaja na jezgro planete. A, na osnovu proračuna, do 2030. godine će se približiti maksimalnoj fazi.**

Kritični faktor koji pogoršava situaciju postalo je globalno zagađenje okeana zbog antropogenih faktora, uključujući ugljovodike, mikro- i nanoplastiku. Ovaj antropogeni faktor značajno je promijenio svojstva toplinske provodljivosti okeanske vode, narušavajući njenu sposobnost da efikasno uklanja toplinu iz unutrašnjosti Zemlje. Okean, koji je istorijski služio kao glavni termoregulator planete, izgubio je značajan dio svoje funkcije provođenja topline. To rezultira abnormalnom akumulacijom toplinske energije u plaštu, što dovodi do njegovog intenzivnog topljenja više nego ikada prije u istoriji Zemlje.

Geofizička istraživanja pokazuju neviđeni porast broja dubokofokusnih zemljotresa, koji su direktan pokazatelj aktivnog topljenja plašta. Otopljena magma, povećavajući zapreminu, stvara kolosalan pritisak na zemljinu koru. Ovaj proces se može usporediti sa postepenim napuhavanjem

balona — u nekom trenutku pritisak će premašiti granicu čvrstoće kore.

Sibirsko područje je posebno osjetljivo na ove procese zbog svoje specifične geološke strukture: upravo ovdje se uzdiže moćna magmatska perjanica — uzlazni tok rastopljenog materijala plašta, izazvan pomicanjem jezgra u tom smjeru 1997. - 1998. godine. Povećanje temperaturnih anomalija u Sibiru pokazuje da volumen magme ispod Sibirskog kratona nastavlja eksponencijalno rasti. Na osnovu geoloških podataka i savremenih zapažanja, može se sa visokim stepenom pouzdanosti konstatovati da je sibirska perjanica u kritičnoj fazi spremnosti za erupciju.

Posebnu zabrinutost izaziva ta činjenica, što se istovremeno sa sibirskom perjanicom razvija kritična situacija u području Marijanske brazde. Ovo je najdublja tačka okeanskog dna, gde je kora najtanja i najranjivija. I ovdje dolazi do izdizanja užarene magme, a kao posljedica toga dolazi i do značajnog povećanja seizmičke aktivnosti. Na ovom mjestu postoji realna prijetnja probijanja okeanskog dna i scenarija pogibelji planete.

Postoje dva moguća scenarija za razvoj događaja. Prvi — to je proboj sibirске perjanice, koji se može dogoditi u bilo kojem trenutku zbog rastućeg pritiska magme. Drugi — puknuće zemljine kore u Marijanskoj brazdi, koje može prethoditi sibirskoj katastrofi. Sibirska perjanica neće eksplodirati samo ako prvo eksplodira Marijanska brazda.



Geološka historija Marsa pokazuje nam moguće posljedice takvog scenarija: marijanska brazda ostaje nijemim svjedokom takve katastrofe, kada je proboj perjanice pod okeanom doveo do globalnih posljedica za svu planetu.

Prema proračunima koji uzimaju u obzir trenutne trendove rasta geofizičke aktivnosti, kritična tačka proboja Marijanske brazde mogla bi biti dostignuta do 2036. godine. Međutim, važno je shvatiti da je ovo razdoblje uslovno. Zemljina kora u Sibiru možda neće moći izdržati rastući pritisak značajno ranije. U sadašnjim zbivanjima, proboj sibirске perjanice ili puknuće zemljine kore u Marijanskoj brazdi izgleda kao neizbježna posljedica procesa koji se odvijaju u utrobi Zemlje. Jedina neizvjesnost leži u tačnom vremenu i

mjestu katastrofe, ali ne i u samoj činjenici njenog približavanja.

Dalje ćemo razmotriti tri moguća scenarija za razvoj događaja sa sibirskom perjanicom.

Prvi scenario — jednokratna erupcija sibirске perjanice. Doći će do iznenadnog, jednokratnog proboja sibirске perjanice.

Drugi scenario — postepena erupcija sibirске perjanice. Doći će do spore i postepene erupcije lave u Sibiru, slično formiranju Sibirskih trapa.

Treći scenario — planirano kontrolirano otplinjavanje. Moguće je u slučaju, ako čovječanstvo preduzme neophodne mjere za otplinjavanje sekundarnih magmatskih žarišta sibirске perjanice u zemljinoj kori.

## Scenario 1.

### Jednokratna erupcija sibirске perjanice

Da bi se procijenila očekivana šteta od jednokratne erupcije sibirске perjanice, može se pribjeći metodi poređenja s primjerima iz geološke povijesti. Međutim, vrijedi uzeti u obzir da slični uvjeti koji trenutno postoje na Zemlji, odnosno podudarnost najjačeg ciklusa od 24.000 godina i antropogenog zagađenja „glavnog sistema za hlađenje planete“ – okeana – nikada prije nisu postojali. Iz tog razloga se iznenadni proboj sibirске perjanice smatra najvjerovatnijim događajem ako čovječanstvo ne preduzme nikakve korake da smanji rizik od ovog proboja.

Za procjenu snage erupcija vulkana koristi se volumen izbačenog materijala. Tako, na

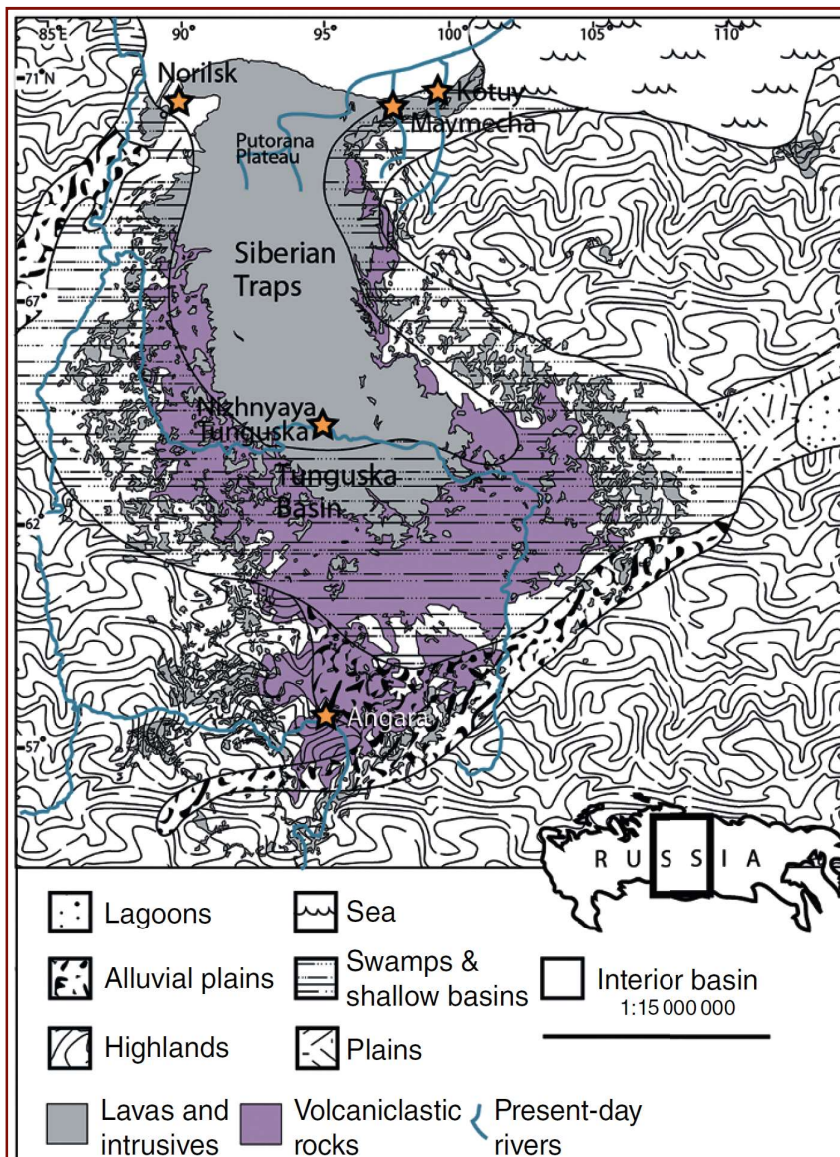
primjer, u vrijeme jedne od najmoćnijih erupcija supervulkana Yellowstone prije 2,1 milion godina volumen izbačene magme iznosio je 2.500 km<sup>3</sup>, što je utvrđeno zahvaljujući proučavanju naslaga tufa u Sjevernoj Americi<sup>47</sup>. U vrijeme te erupcije emisije pepela i plinova porasle su na visinu od 50 km, dostižući gornju granicu stratosfere. Po obimu ta je erupcija bila uporediva s erupcijom supervulkana Toba na ostrvu Sumatra, koja se dogodila prije oko 72.000-74.000 godina, što je bila najsnažnija erupcija u posljednjih 25 miliona godina.

<sup>47</sup> Swallow, E. J., Wilson, C. J. N., Charlier, B. L. A., & Gamble, J. A. (2019). The Huckleberry Ridge Tuff, Yellowstone: evacuation of multiple magmatic systems in a complex episodic eruption. *Journal of Petrology*, 60, 1371-1426. <https://doi.org/10.1093/petrology/egz034>

U vrijeme erupcija Sibirskih trapa prije oko 250 miliona godina, količina izbačenog materijala iznosila je, prema različitim procjenama, 3 do 4 miliona km<sup>3</sup> lave i tufa<sup>48</sup> (Sl. 77). Odnosno, erupcija Sibirskih trapa bila je 1000 puta veća po zapremini izbačenog materijala od najsnažnije erupcije Yellowstone kaldere ili supervulkana Toba.

**potencijalne erupcije sibirske perjanice, njezino aktiviranje bi moglo dovesti do erupcije čija bi snaga bila 1000 puta veća od poznatih istorijskih događaja kao što su erupcije Yellowstone kaldere ili supervulkana Toba.**

**Dakle, s obzirom na jednokratnu prirodu**



**Sl. 77.** Karta paleogeografije Sibirskih trapa, koja pokazuje opseg glavnih vulkanoklastičnih izlivanja i lokaliteta. Po podacima Malicha i dr. (1974), Polozova i dr. (2010), Blacka i dr. (2015), s kasnopermskom paleogeografijom pojednostavljenom iz Czamske i dr. (1998).

Izvor: Black, B., Mittal, T., Lingo, F., Walowski, K., & Hernandez, A. (2021). Assessing the Environmental Consequences of the Generation and Alteration of Mafic Volcaniclastic Deposits During Large Igneous Province Emplacement. In R. E. Ernst, A. J. Dickson, & A. Bekker (Eds.), Geophysical Monograph Series (pp. 117-131). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119507444.ch5>

<sup>48</sup>Black, B., Mittal, T., Lingo, F., Walowski, K., & Hernandez, A. (2021). Assessing the Environmental Consequences of the Generation and Alteration of Mafic Volcaniclastic Deposits During Large Igneous Province Emplacement. In R. E. Ernst, A. J. Dickson, & A. Bekker (Eds.), Geophysical Monograph Series (pp. 117-131). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119507444.ch5>

Pretpostavlja se, ako dođe do samo jednokratnog proboja sibirске perjanice, ta će erupcija imati eksplozivni karakter, te formirati jednu kalderu. Saglasno hipotezi, očekuje se da će kaldera od erupcije sibirске perjanice imati površinu od 75.000 km<sup>2</sup>, oblast takve površine imat će radijus od 150 km (ili, na primjer, 380 km sa 250 km). U vrijeme erupcije Sibirskih trapa prije 250 miliona godina površina teritorije preplavljena lavom, prema literarnim podacima<sup>49</sup>, iznosila je od 4 do 7 miliona km<sup>2</sup> <sup>50</sup>. Slične teritorije mogu biti zahvaćene erupcijama i ovoga puta.

Mišljenje da tokovi lave predstavljaju najveću prijetnju među vulkanskim fenomenima je pogrešno. U stvari, pepeo je često glavni uzrok smrtonosnih posljedica. Za supervulkane, koje karakterizira visoka eksplozivnost, značajan dio magme ne uspijeva se pretvoriti u lavu. Umjesto toga, raspada se u eksploziji, stvarajući ogromne količine sićušnih čestica vulkanskog pepela — užarenih fragmenata oštrog i nazubljenog kamenja koje se prenosi kroz atmosferu. Kada se udiše, ovaj pepeo stvara mješavinu nalik cementu u plućima čovjeka, što dovodi do neizbjegne smrti.

Pretpostavlja se da će tokom erupcije sibirске perjanice radijus kretanja takvog vrućeg pepela biti približno 9.000 km, odnosno pokrivati će površinu od oko 255 miliona km<sup>2</sup>. Budući da je površina cijele površine Zemlje — nešto više od 510 miliona km<sup>2</sup>, radijus uništenja pepelom, koji se ne može udahnuti, pokriti će polovinu planete:

ova teritorija će biti oko 50% površine Zemlje.

Na takav način, pri jednokratnom proboju sibirске perjanice očekuju se tri smrtonosna radijusa.

**Prva (centralna) zona utjecaja** — to je područje polumjera 150 km sa centrom u sjeverozapadnom dijelu visoravni Putorana, gdje se pretpostavlja formiranje kaldere (Sl. 78). U ovu zonu ulaze gradovi Norilsk, Dudinka i Talnakh u Krasnojarskom kraju. Pri aktivaciji perjanice unutar te zone doći će do trenutnog uništenja svih objekata zbog udarnog vala i užarenih piroklastičnih tokova u početnoj fazi erupcije.

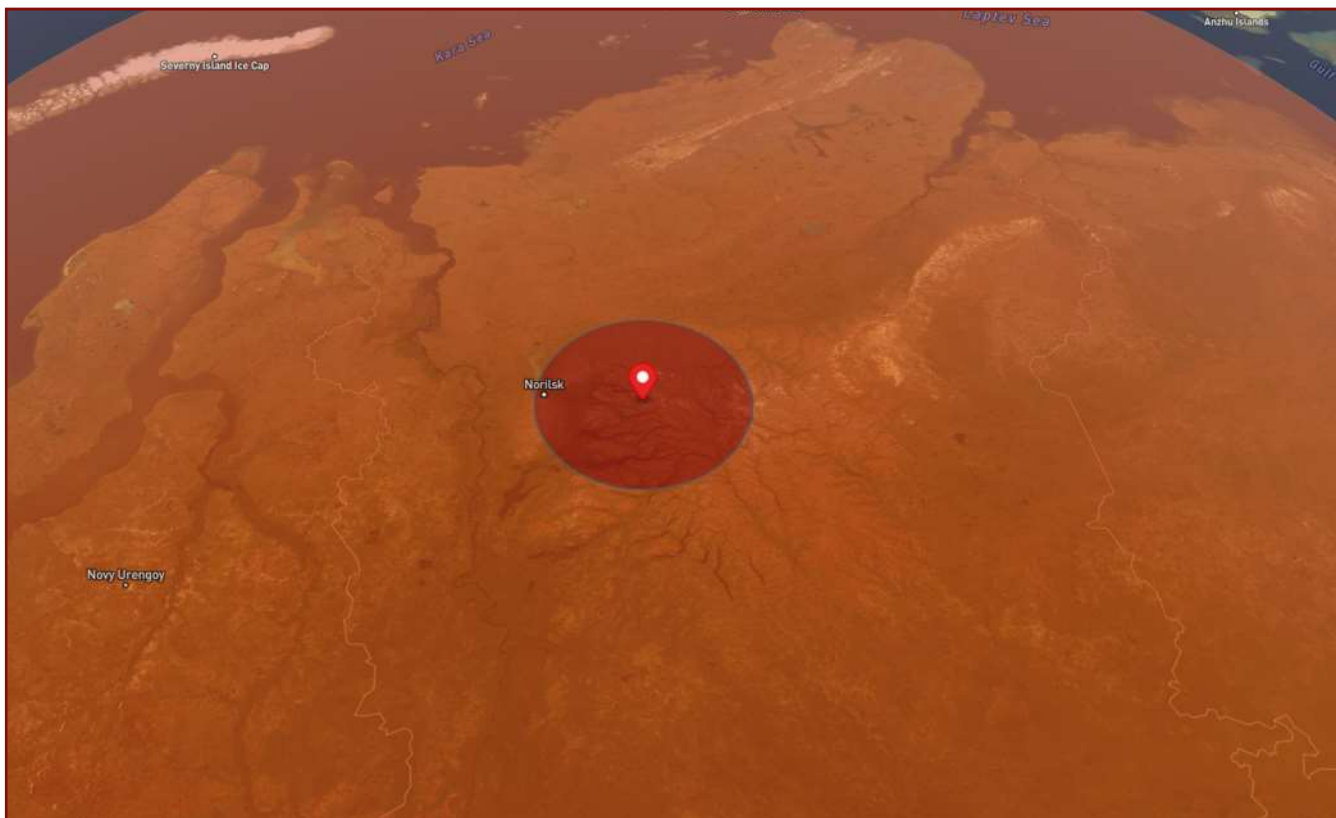
**Druga zona utjecaja** (radijusa 1.500 km) — to je područje rasprostiranja lave i teških vulkanskih materijala (sl. 79). Pokrivat će ogromnu teritoriju sjevernog Sibira, uključujući teritorije Jamalo-Neneckog autonomnog okruga, poluotoka Taimyr, dio Hanti-Mansijskog autonomnog okruga, sjever Krasnojarskog kraja, zapadni dio Jakutije i sjeveroistok europskog dijela Rusije. U ovaj radijus potpadaju takvi veliki gradovi, kao Igarka, Novy Urengoy, Nadym, Salehard, Vorkuta, Naryan-Mar, Mirny, Kogalym, Lesosibirsk, Surgut, Krasnoyarsk, Khanty-Mansiysk, Tomsk, Nizhnevartovsk.

Tokom prvih sati erupcije ovo područje će biti izloženo brzim (do 700 km/h) tokovima užarenog plina, pepela i lave. Ovi tokovi će uništiti sva živa bića i prekriti teritoriju debelim slojem vulkanskog materijala, zatrpavajući gradove i prirodne resurse.

<sup>49</sup> Fedorenko, V. A., Lightfoot, P. C., Naldrett, A. J., Czamanske, G. K., Hawkesworth, C. J., Wooden, J. L., & Ebel, D. S. (1996). Petrogenesis of the Flood-Basalt Sequence at Noril'sk, North Central Siberia. *International Geology Review*, 38(2), 99-135. <https://doi.org/10.1080/00206819709465327>

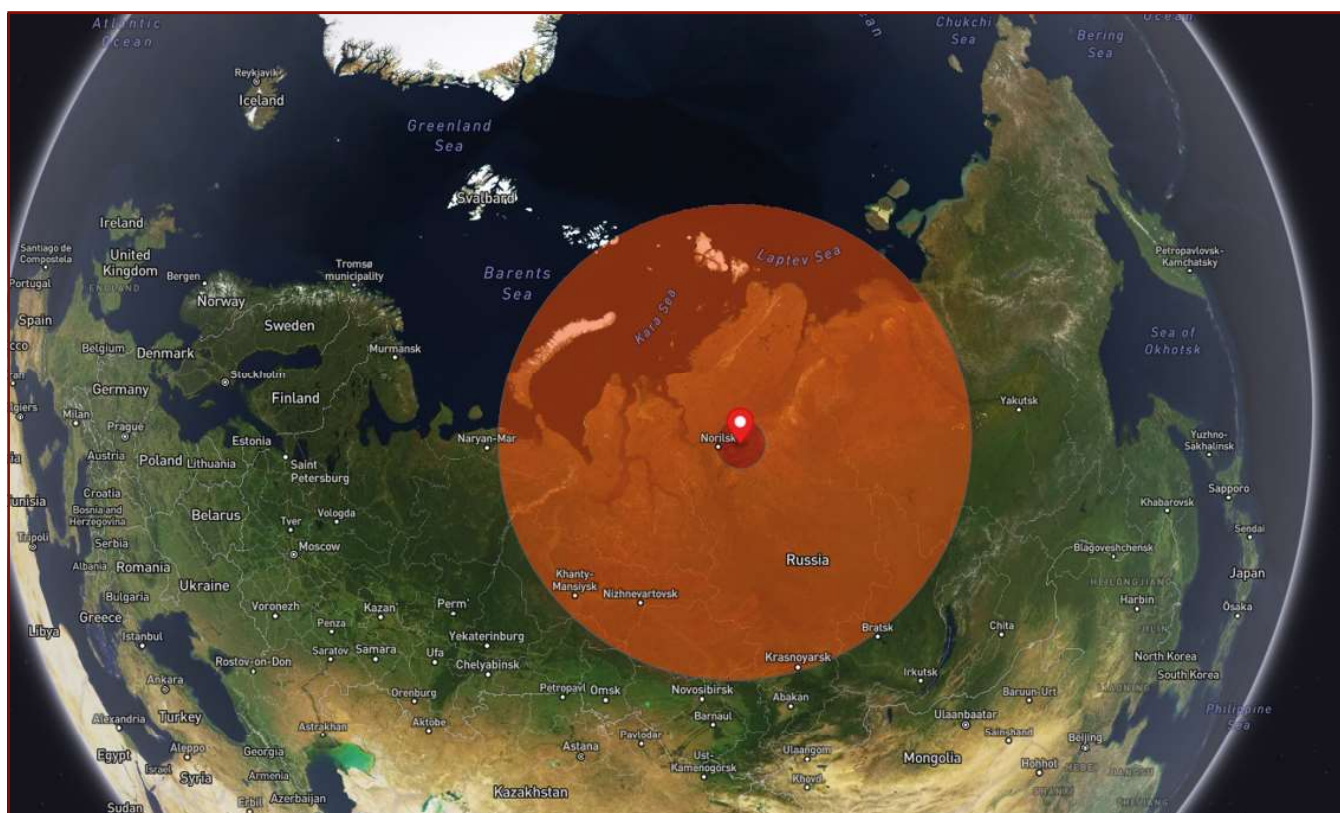
<sup>50</sup> Ivanov, A.V., He, H., Yan, L., Ryabov, V.V., Shevko, A.Y., Palesskii, S.V., Nikolaeva, I.V., 2013. Siberian Traps large igneous province: Evidence for two flood basalt pulses around the Permo-Triassic boundary and in the Middle Triassic, and contemporaneous granitic magmatism. *Earth-Science Reviews*, 122, pp.58–76. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.001>





**Sl. 78.**

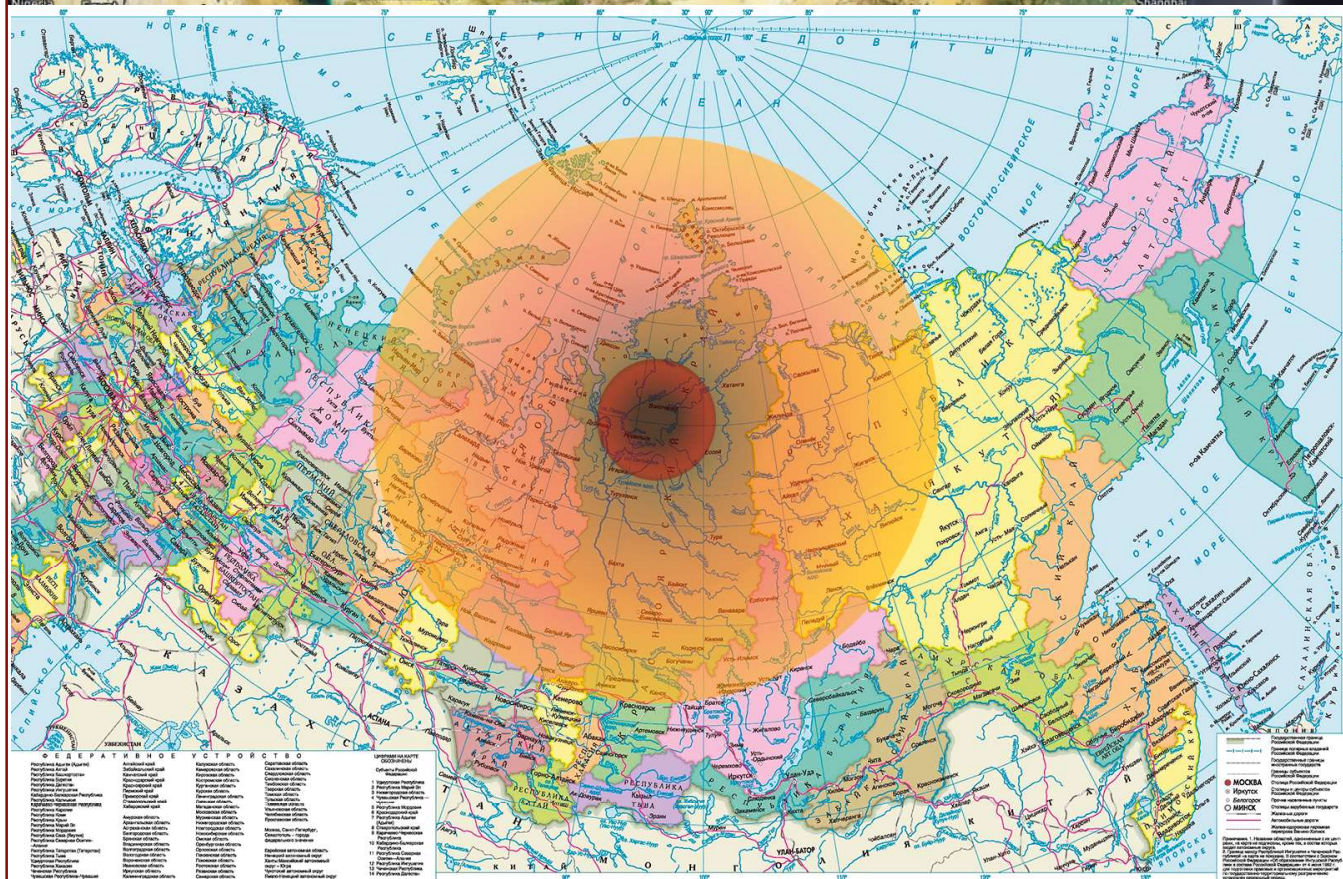
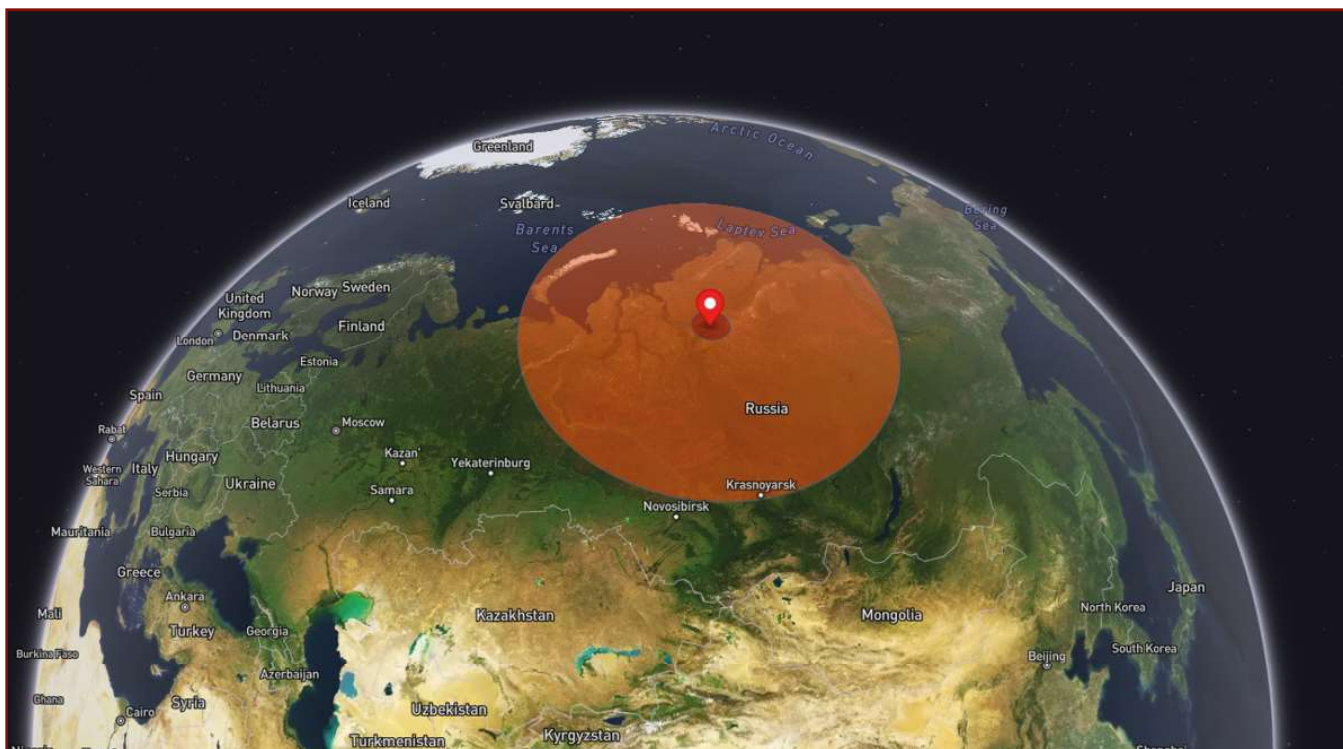
Crvenom je prikazana zona formiranja kaldere sa približnim radijusom od oko 150 km



**Sl. 79.**

Narančastom je prikazana zona razlijevanja lave i izbacivanja teških piroklastičnih frakcija – radijus približno oko 1.500 km





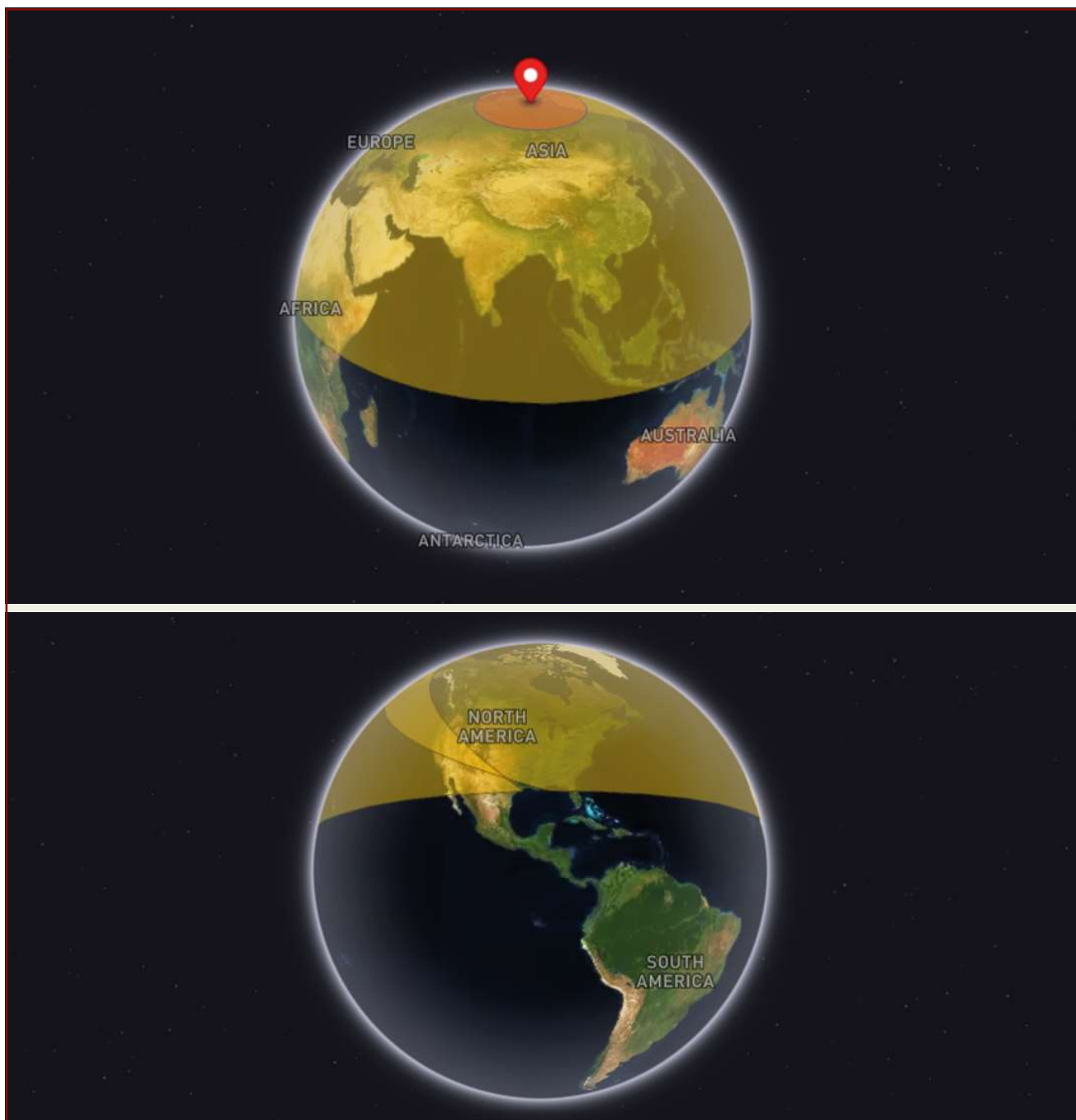
**Sl. 79.**

**Narančastom je prikazana zona razlijevanja lave i izbacivanja teških piroklastičnih frakcija — radijus približno oko 1.500 km**

**Treća zona utjecaja** (radijusa oko 9.000 km) — to je područje rasprostiranja fino raspršenih piroklastičnih materijala i vulkanskog pepela, koje pokriva približno 50% površine Zemlje (Sl. 80).

U početnoj fazi (prvi dan nakon erupcije) maksimalnom utjecaju emisija pepela bit će izvrgnute teritorije Ruske Federacij, kontinentalne

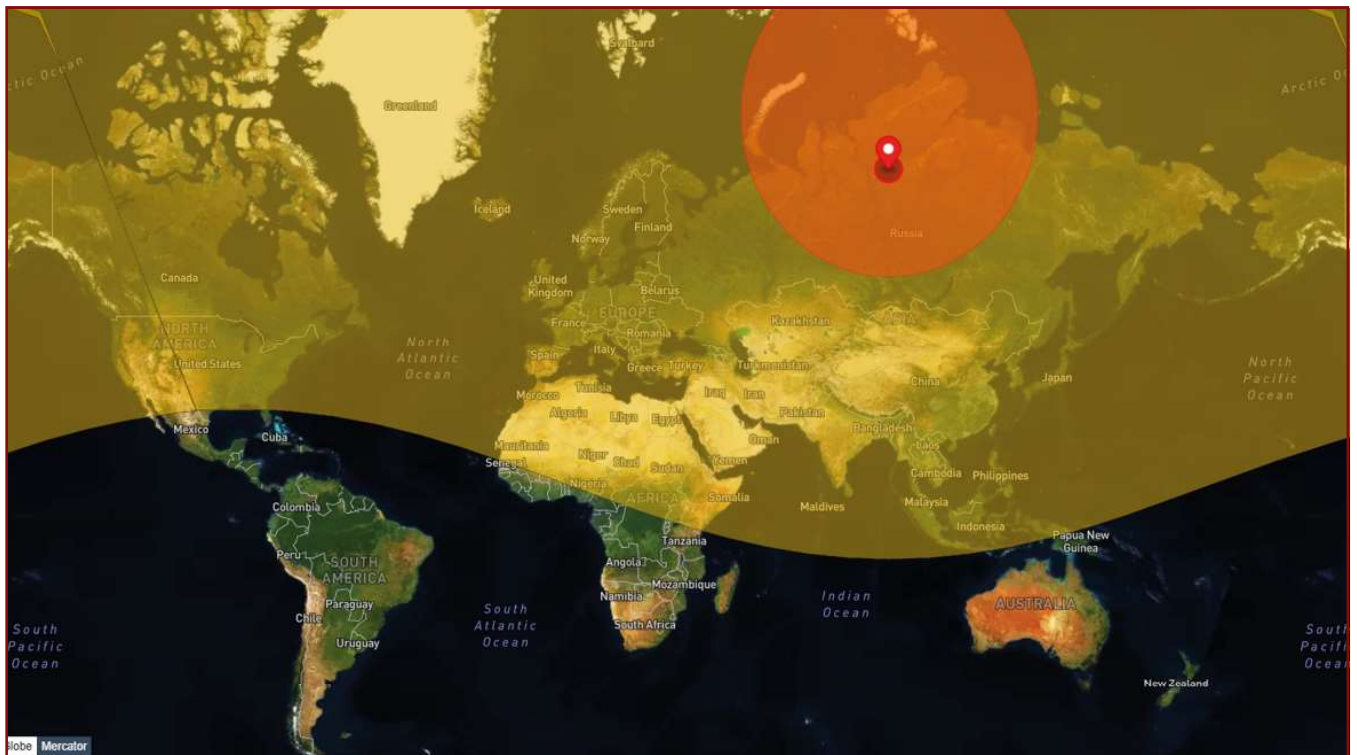
Azije, Evrope, Arapskog poluotoka, sjevernog dijela Afričkog kontinenta i Sjeverne Amerike. U toku narednih 7–10 dana predviđa se da će se mase pepela proširiti po Australskom kontinentu, Južnoj Americi i Antarktiku.



Sl. 80.

Žutom je prikazano područje rasprostiranja finog vulkanskog pepela — radijus približno oko 9.000 km





**Sl. 80.**

**Žutom je prikazano područje rasprostriranja finog vulkanskog pepela — radijus približno oko 9.000 km**

Istraživanja geoloških procesa pokazuju da će aktiviranje sibirske perjanice izazvati čitav niz dodatnih katastrofalnih događaja. Očekuje se snažan udarni val, zemljotresi izuzetne jačine (magnituda oko 10), formiranje razornih tsunamija i moguće buđenje drugih velikih vulkanskih sistema Zemlje. Energija oslobođena tokom erupcije može pokrenuti lančanu reakciju, što dovodi do aktivacije supervulkana i velikih vulkanskih područja po

cijeloj planeti. Ovi zaključci su zasnovani na matematičkim proračunima energetskih procesa i njihovog utjecaja na zemljinu koru.

Dalje ćemo razmotriti dodatne faktore rizika koji prijete čovječanstvu kao rezultat jednokratnog proboja sibirske perjanice.

## Udarni val

Po podacima iz otvorenih izvora, erupcija supervulkana Yellowstone mogla bi osloboditi energiju od oko 900.000 megatona i uzrokovati zemljotres magnitude 11,2. Budući da je skala magnitude logaritamska (svako povećanje za jednu jedinicu znači 32 puta povećanje energije), erupcija sibirske perjanice, koja je 1.000 puta snažnija od Yellowstonea, mogla bi uzrokovati potres magnitude 13,2. Ovo je 350.000 puta jače od najsnažnijeg zabilježenog zemljotresa — Velikog čileanskog zemljotresa (magnitude 9,5, 1960.) — i uporedivo sa padom velikog asteroida.

Oslobođena energija reda  $10^{24}$  J će stvoriti snažan udarni val na globalnoj razini. U središtu erupcije, pritisak će biti toliko visok da će stijene momentalno ispariti i biti izbačene u gornje slojeve atmosfere. Nadzvučni udarni val za nekoliko minuta prouzročit će uništenje na udaljenosti od hiljada kilometara, slično padu Tunguskog meteorita, ali mnogo snažnije.

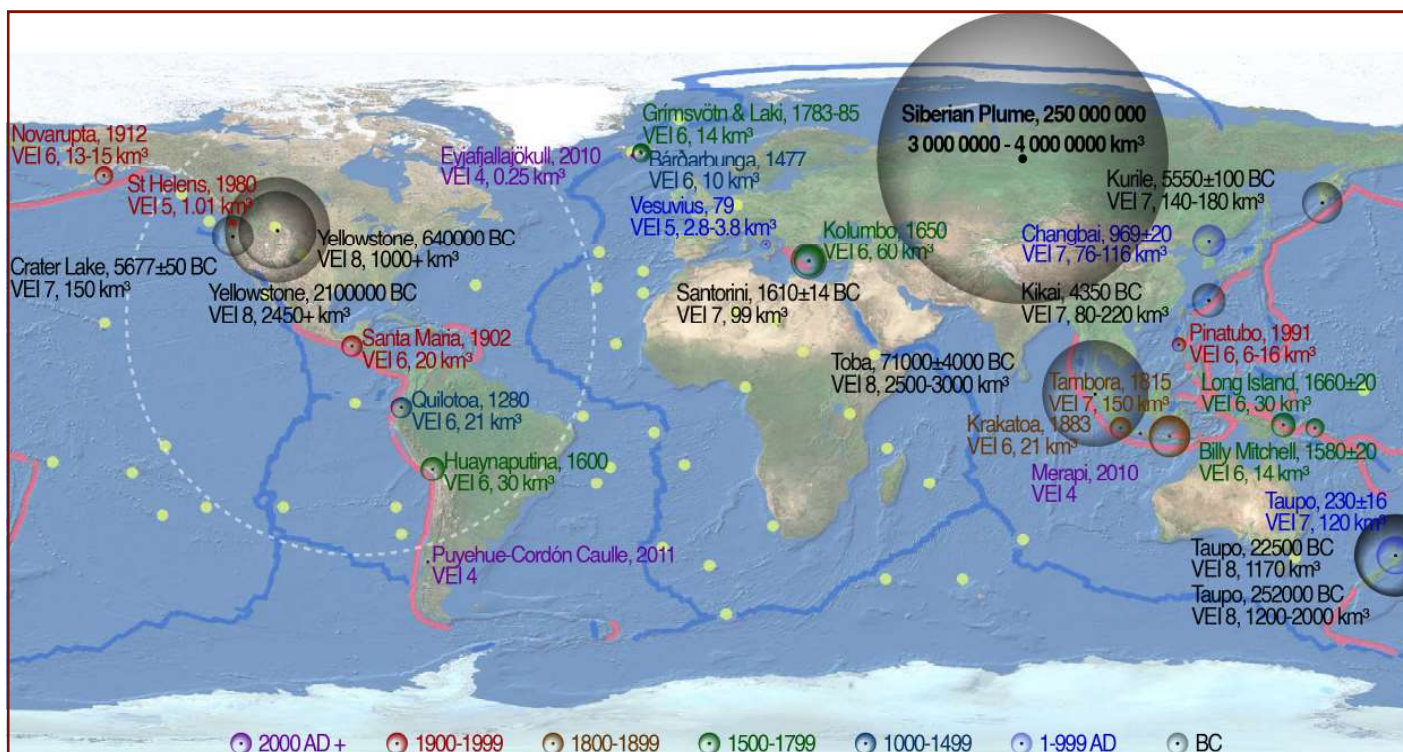
U sibirskoj tajgi će izbiti požari velikih razmjera, a ogromne teritorije će se naći pod debelim slojem vulkanskog pepela. Doći će do brzog topljenja vječnog leda na hiljade kilometara, praćenog oslobađanjem stakleničkih plinova. Pejzaž će biti podložan uništavanju velikih razmjera uz aktiviranje rasjeda u zemljinoj kori. Seizmički valovi će proputovati čitavu planetu, izazivajući nove zemljotrese jačine preko 10 poena.

Ogromni tsunamiji visoki stotinama metara će se pojaviti u Arktičkom okeanu, koji će prijetiti obalama Rusije, Kanade, Grenlanda i Skandinavije. Sekundarni tsunamiji će pogoditi obale Indonezije, Japana, Australije, Sjeverne i Južne Amerike. Globalni atmosferski poremećaji dovest će do stvaranja super-moćnih uragana i oluja.

## Aktivacija supervulkana i vulkanskih sistema

Seizmički valovi od erupcije proširiće se ne samo kroz zrak i površinu Zemlje, već i duboko u plašt. Budući da su svi supervulkani međusobno povezani rastopljenim slojevima plašta, seizmički valovi takve jačine od erupcije sibirske perjanice će vjerovatno izazvati lančanu reakciju erupcija drugih supervulkana u toku prvog dana (Sl.

81). Očekuje se aktiviranje najvećih vulkanskih sistema, uključujući kaldere Yellowstone i Long Valley (Sjeverna Amerika), Flegrejska polja (Apeninski poluotok), Toba (Sundski arhipelag), Aira (Japanski otoci) i vulkanski kompleks Taupo (Novi Zeland).



### Sl. 81.

**Dijagram predstavlja globalnu kartu velikih vulkanskih erupcija, klasificiranih po vremenskim periodima, od pretkambrija do danas**

Veličina simbola je proporcionalna zapremini eruptiranog materijala (u km<sup>3</sup>). Karta prikazuje vremenski slijed erupcija sa VEI ≥4, a najistaknutiji događaji su Toba (71.000±4.000 god. pr. n. e., 2.500–3.000 km<sup>3</sup>), Yellowstone (640.000 god. pr. n. e., >1.000 km<sup>3</sup>) i Tambora (18.015 km<sup>3</sup>). Slične erupcije očekuju se i u slučaju eksplozije sibirske perjanice, koja će biti najveći događaj (3-4 miliona km<sup>3</sup>). Crvene linije označavaju granice tektonskih ploča, pokazujući prostornu korelaciju sa lokacijom velikih erupcija.

Osim erupcija supervulkana, vjerovatno će početi erupcije mnogih vulkana duž Pacifičkog vatrenog prstena i drugih seizmički aktivnih područja. Postoji velika vjerovatnoća obnove vulkanske aktivnosti na vulkanima kao što su Fujiyama (Japan), Krakatoa i Merapi (Indonezija), Vezuv i Etna (Italija), Popocatepetl (Meksiko), vulkanske grupe Kamčatke, Andski i Aljaski vulkanski pojasevi, kao i vulkanski sistemi Zapadne Antarktike.

Očekuje se ponovno aktiviranje vulkanskih struktura koje su dugo mirovale, uključujući stratovulkan Ararat (anadolska visoravan), vulkanski masiv Elbrus (regija Kavkaza), vulkan Laacher See (Centralna Evropa), stratovulkane Kilimanjaro i Nyiragongo (istočnoafrički sistem rascjepa) i vulkanski sistemi Arapskog poluotoka.



## Kisele kiše

Katastrofalne emisije vulkanskog pepela i sumpor-dioksida kao rezultat erupcije će uzrokovati da padavine širom planete poprime oblik kiselih kiša. Da bismo ilustrirali razmjere emisija, uzmimo u obzir erupciju supervulkana Yellowstone prije 630.000 godina, koja je izbacila oko 500 megatona sumpor-dioksida u atmosferu. Skaliranje ovih podataka uzimajući u obzir snagu hipotetičke erupcije sibirske perjanice sugerira zapreminu emisije sumpor-dioksida od oko 1.500.000 megatona (ili  $1,5 \times 10^{12}$  tona), što je oko milion puta više od emisija Tambore 1815. („godina bez ljeta”). Vrijedi naglasiti da ovaj proračun ne uzima u obzir emisije iz drugih vulkana koji bi se mogli aktivirati kao dio lančane reakcije.

Takva koncentracija emisije sumpor-dioksida će uzrokovati globalno stvaranje čestica aerosola u stratosferi, koje će se postepeno ispirati iz atmosfere tokom decenija u vidu kiselih kiša. Predviđa se da će glavni period kiselih padavina trajati od 3 do 10 godina, u zavisnosti od klimatskih procesa i atmosferske cirkulacije. Regije bliže epicentru takvih emisija, kao što je sadašnji Sibir, bile bi izložene padavinama sa pH manjim od 1,5, što je slično razblaženoj sumpornoj kiselini.

Ovo će uništiti vegetaciju, uključujući korijenje,

lišće i granje, a također će ispirati minerale iz tla, čineći ga neprikladnim za održavanje života. Vodeni ekosistemi će također postati visoko kiseli, a vodena tijela će se pretvoriti u kisela jezera sa pH 2-3, što će ih učiniti toksičnim za većinu oblika života.

Osim toga, kiselina koja ulazi u vodoopskrbu učinit će vodu za piće neprikladnom za potrošnju bez složene filtracije. Infrastruktura, uključujući zgrade od cementa, mramora i metala, biće podložna ubrzanom koroziji sulfatnim jedinjenjima.

Međutim, maksimalna koncentracija kiselih kiša trajat će samo prvih mjeseci nakon erupcije, nakon čega će se padavine postepeno lokalizirati u pojedinim regijama. S početkom vulkanske zime većina padavina će se pretvoriti u snijeg, što će smanjiti kiselinsko opterećenje ekosistema, ali će do ovog trenutka globalno uništenje flore i faune uzrokovano kiselim padavinama već biti nepovratno.

Oštećenje ekosistema imat će primjetan utjecaj na prirodne i antropogene procese mnogo prije nego što počne globalno zahlađenje.

## Vulkanska zima

Kumulativni utjecaj erupcije sibirske perjanice, zajedno sa istovremenim aktiviranjem više vulkana, imaće kolosalan katastrofalan efekat, što će rezultirati promjenama u globalnim klimatskim i ekološkim uslovima. Velike emisije vulkanskog pepela, plinova (posebno sumpor-dioksida —  $\text{SO}_2$ ) i aerosola u atmosferu stvorit će nepremostivu barijeru sunčevom zračenju na decenije.

Visoke koncentracije sulfatnih aerosola u stratosferi odrazit će većinu sunčevog zračenja, što će uzrokovati poremećaj u energetskej ravnoteži planete. Očekuje se naglo smanjenje primanja topline, što će dovesti do ekstremnog hlađenja klime, stanja koje bi se moglo opisati kao “hipervulkanska zima”. Kao rezultat ovakvih procesa, Zemlja će se pretvoriti u „ledenu kuglu“, gdje će uslovi za održavanje života biti očuvani samo u ograničenim područjima, uglavnom u ekvatorijalnoj zoni.

Procjene potencijalnog uticaja su zasnovane na istorijskim podacima o značajnim erupcijama. Na primjer, tokom maksimalne erupcije Yellowstonea prije 2,1 milion godina, temperatura planete je pala u prosjeku za 3 - 5°C. Prema proračunima, tokom erupcije sibirske perjanice, čiji je razmjer višestruko veći od spomenutog događaja, prosječna temperatura na Zemlji će pasti za ~24 – 31°C.

U polarnim zonama očekuje se pad temperature za 28 - 36°C ili više, što će dovesti do potpunog zamrzavanja ključnih vodenih tijela,

uključujući sjeverni Atlantik i velika područja Tihog okeana. U srednjim geografskim širinama doći će do pada temperature od 24 - 31°C, što će uništiti svu vegetaciju i uzrokovati masovnu smrt organizama.

Okeanski ekosistemi će biti dramatično poremećeni. Zamrzavanje će početi na površini i priobalnim područjima okeana, što će uzrokovati izumiranje morske biote na globalnom nivou. U ekvatorijalnim regijama, temperature će pasti za 20 - 27°C, zbog čega će čak i tropske zone biti previše hladne za život.

Praktično cijela kopnena površina će postati neplodna zbog globalne hladnoće, zasjenjenja i prestanka fotosinteze. Lanci ishrane će biti poremećeni, što će dovesti do kolapsa poljoprivrede i masovnog izumiranja kako flore i faune, tako i većeg dijela čovječanstva. Održati će se pojedinačni mikrobni ekosistemi prilagođeni ekstremnim uslovima.

Sulfatne aerosoli dugoročno će se nalaziti u stratosferi, nastavljajući blokirati sunčevu svjetlost decenijama. Međutim, efekti “hipervulkanske zime” će se osjećati još mnogo duže. Čak i nakon što se pepeo i aerosoli stalože, biće potrebno stotine ili čak hiljade godina da planeta obnovi svoju prirodnu klimu i ekološku ravnotežu, s obzirom na zamrzavanje okeana, formiranje glečera i radikalne promjene u biosferi.

## Zaključci za scenario 1.

### Jednokratna erupcija sibirske perjanice

Jednokratna erupcija sibirske perjanice bila bi katastrofalni geološki i klimatski događaj, uzrokujući globalne promjene u atmosferi, hidrosferi i biosferi. Snažna eksplozija na visoravni Putorana odmah bi uništila sve u radijusu od 150 km, formirajući džinovsku kalderu, a piroklastični tokovi i lava bi pokrili područje u radijusu od 1500 km, pretvarajući Sibir u spaljenu pustinju. Polovina površine planete biće prekrivena slojem pepela.

Zemljotres magnitude do 13,2, uzrokovan eksplozijom perjanice, stvorit će destruktivne seizmičke valove koji će se proširiti planetom, aktivirajući linije rasjeda, sekundarne zemljotrese i megatsunamije visoke stotine metara, plaveći obalne zone kontinenata.

Emisije od 1,5 miliona megatona  $\text{SO}_2$  bi izazvale kisele kiše sa pH ispod 1,5, uništavajući tlo, vegetaciju i vodene ekosisteme. Vodena tijela će postati nenastanjiva, a zemljište će brzo izgubiti svoju plodnost. Kolaps fotosinteze i lanaca ishrane dovest će do masovnog izumiranja flore,

faune i, shodno tome, ljudske civilizacije.

Masovno aktiviranje supervulkana, uključujući Yellowstone, Campi Flegrei i Toba, pogoršat će globalne klimatske promjene povećanjem emisija vulkanskog pepela, sumpor-dioksida ( $\text{SO}_2$ ) i aerosola. Njihova akumulacija u stratosferi blokirat će sunčevu svjetlost, uzrokujući planetarno hlađenje (“hipervulkanska zima”) i pad temperature za desetine stepeni. U polarnim regijama temperatura će pasti za 28 – 36°C, u umjerenim — za 24 – 31°C, a u tropima — za 20 – 27°C, što će uzrokovati zamrzavanje okeana, prestanak cirkulacije okeana, kolaps ekosistema i stvaranje džinovskih glečera na kopnu.

Uticaj “hipervulkanske zime” učiniće Zemlju praktično nenastanjivom, a za obnavljanje prirodnih uslova biće potrebne hiljade do milione godina. Ovaj događaj će biti najveće izumiranje u geološkoj istoriji planete.



## Scenario 2.

### Postepena erupcija sibirске perjanice

Drugi scenario erupcije sibirске perjanice ne uključuje jednokratnu eksploziju, već postepeni niz erupcija plinova i tokova lave kroz rasjede i oslabljene zone zemljine kore. Ovaj proces se može uporediti sa formiranjem Sibirskih trapi, koje se dogodilo na kraju permskog perioda prije 250 miliona godina u istom regionu.

Formiranje sibirskih 'trap' provincija bila je najveća manifestacija kopnenog vulkanizma. U to vrijeme, Zemlja je doživjela najveću ekološku katastrofu u svojoj istoriji — permsko-trijasko

masovno izumiranje, tokom kojeg je nestalo do 90% morskih i 70% kopnenih vrsta (Sl. 82, 83).

Geološki podaci<sup>51</sup> ukazuju na to da su sibirске erupcije na teritoriji Istočnosibirskog kratona mogle biti neobično eksplozivne (Campbell i dr. 1992), a debljina piroklastičnih naslaga dostizala je 800 metara (Khain 1985). Snaga eksplozije bila je tolika da je izbacila sedimentne stijene ponekad sa dubine od 10 km.



**Sl. 82.**  
**Umjetnički prikaz erupcija u Sibiru tokom permsko-trijaskog izumiranja.**

Ilustracija: Image by Tigran Nshanyan

**Sl. 83.**  
**Umjetnički prikaz: lystrosaurus, koji je preživio masovno izumiranje, dominira devastiranim krajolikom, ilustrujući promjenjivi ekosistem nakon permsko-trijaske krize.**

Ilustracija: Julio Lacerda



<sup>51</sup>Beerling, D.J., Harfoot, M., Lomax, B. & Pyle, J.A., 2007. The stability of the stratospheric ozone layer during the end-Permian eruption of the Siberian Traps. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365, pp.1843–1866. Available at: <http://doi.org/10.1098/rsta.2007.2046>

Vulkanska aktivnost u regiji odvijala se u nekoliko faza, radikalno mijenjajući geološki pejzaž. U početku je magma prodirala u sedimentni sloj, formirajući razna intruzivna tijela kao što su pragovi. Priroda erupcija se tada promijenila u eksplozivnu, što je dovelo do oslobađanja ogromne količine piroklastičnog materijala i stvaranja moćnih vulkanskih naslaga. Kulminacija ovog procesa bilo je izlivanje kolosalnih količina bazaltne lave, koje su iznosile stotine hiljada kubnih kilometara. Ukupna zapremina vulkanskih stijena, uključujući intruzije, piroklastične naslage i tokove lave, procjenjuje se na približno 3 miliona km<sup>3</sup>. Važno je napomenuti da ova brojka odražava samo stijene koje su preživjele do danas, te se sa sigurnošću može reći da je početni razmjer erupcija bio mnogo veći, ali je kasnije bio podložan eroziji.

Formiranje Sibirskih trapa rezultiralo je kolosalnim emisijama ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>), sumpor-dioksida (SO<sub>2</sub>), klorovodika (HCl) i drugih isparljivih tvari. Ovi plinovi su dramatično povećali efekat staklene bašte i izazvali brzo zagrijavanje nakon vulkanske zime. Atmosferske koncentracije CO<sub>2</sub> dostigle su 8.000 ppm, što je 20 puta više od savremenih nivoa. Kao rezultat toga, temperatura tropskih mora porasla je sa 22 - 25°C na 30°C, a okeani su se počeli zakiseljavati, ubijajući organizme sa karbonatnim skeletima.

Ukupna emisija sumpora iznosila je do 7.800 gigatona, hlora — do 8.700 gigatona i fluora — do 13.600 gigatona<sup>52</sup>.

Vulkanski pepeo i aerosoli blokirali su sunčevu svjetlost, poremetili fotosintezu, izazvali masivno isčezavanje šuma i poremetili lance ishrane, pogoršavajući izumiranje i biljnih i životinjskih vrsta.

Ekološka kriza tog vremena služi kao dokaz razmjera mogućih posljedica čak i uz postepenu erupciju sibirske perjanice.

Saglasno istraživanjima, period erupcija koji je započeo prije 250 miliona godina uzrokovan je izdizanjem perjanice plašta — snažnog toka magme koji se diže iz dubina Zemlje na području savremene visoravni Putorana. Ponavljanje takvog scenarija danas bi dovelo do formiranja ogromnih platoa lave — jednih od najvećih geoloških formacija na planeti, koje bi uništile gotovo sav život u radijusu od nekoliko hiljada kilometara, pokrivajući teritorije Sibira i susjednih regija. Geološki zapisi pokazuju da su se takve katastrofe, praćene izlivanjem džinovskih bazaltnih polja<sup>53</sup>, događale ne jednom, izazivajući svaki put masovna izumiranja velikih razmjera (Sl. 84).

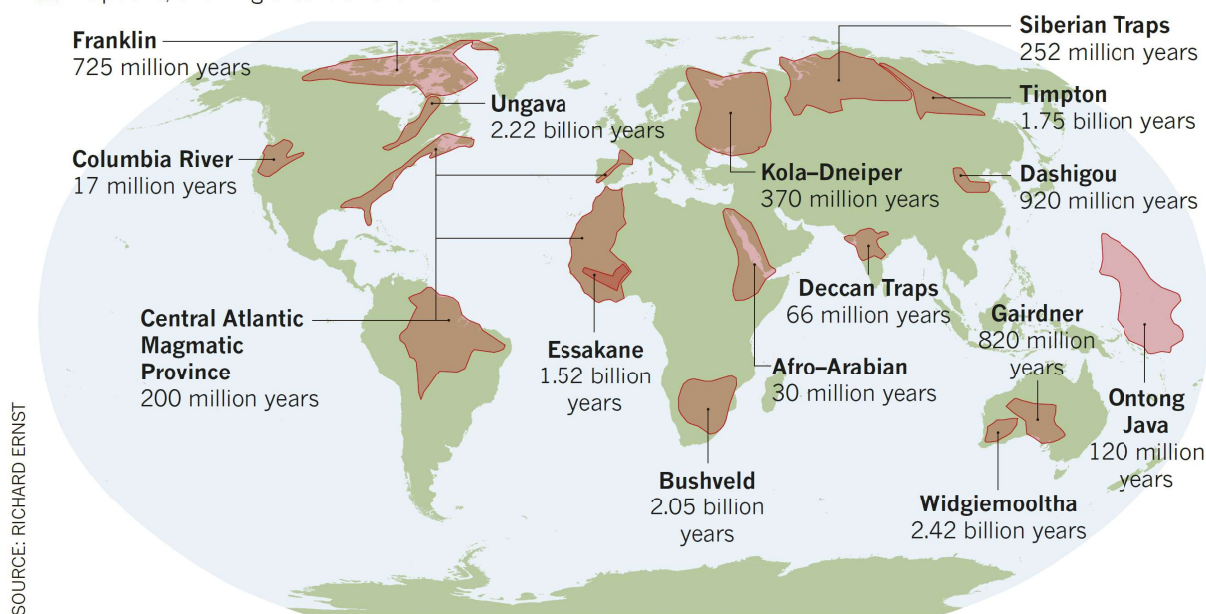
<sup>52</sup>Benjamin A. Black, Linda T. Elkins-Tanton, Michael C. Rowe, Ingrid Ukstins Peate, Magnitude and consequences of volatile release from the Siberian Traps, *Earth and Planetary Science Letters*, Volumes 317–318, 2012, Pages 363-373, ISSN 0012-821X, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.12.001>

<sup>53</sup>Witze, A. (2017). Earth's lost history of planet-altering eruptions revealed. *Nature*, 543, 295-296. <https://doi.org/10.1038/543295a>

## EARTH'S BIGGEST ERUPTIONS

Scientists have extended the geological record of massive volcanic eruptions, uncovering evidence for world-changing events that occurred more than 2 billion years ago.

■ Eruptions, showing extent of lava flow



### Sl. 84.

Na slici je predstavljena karta najvećih vulkanskih erupcija u istoriji Zemlje, pokazujući geografske lokacije i starosti visoravni lave koje su nastale kao rezultat ovih događaja.

Ilustracija: Richard Ernst

Source: Witze, A. (2017). Earth's lost history of planet-altering eruptions revealed. *Nature*, 543, 295-296.

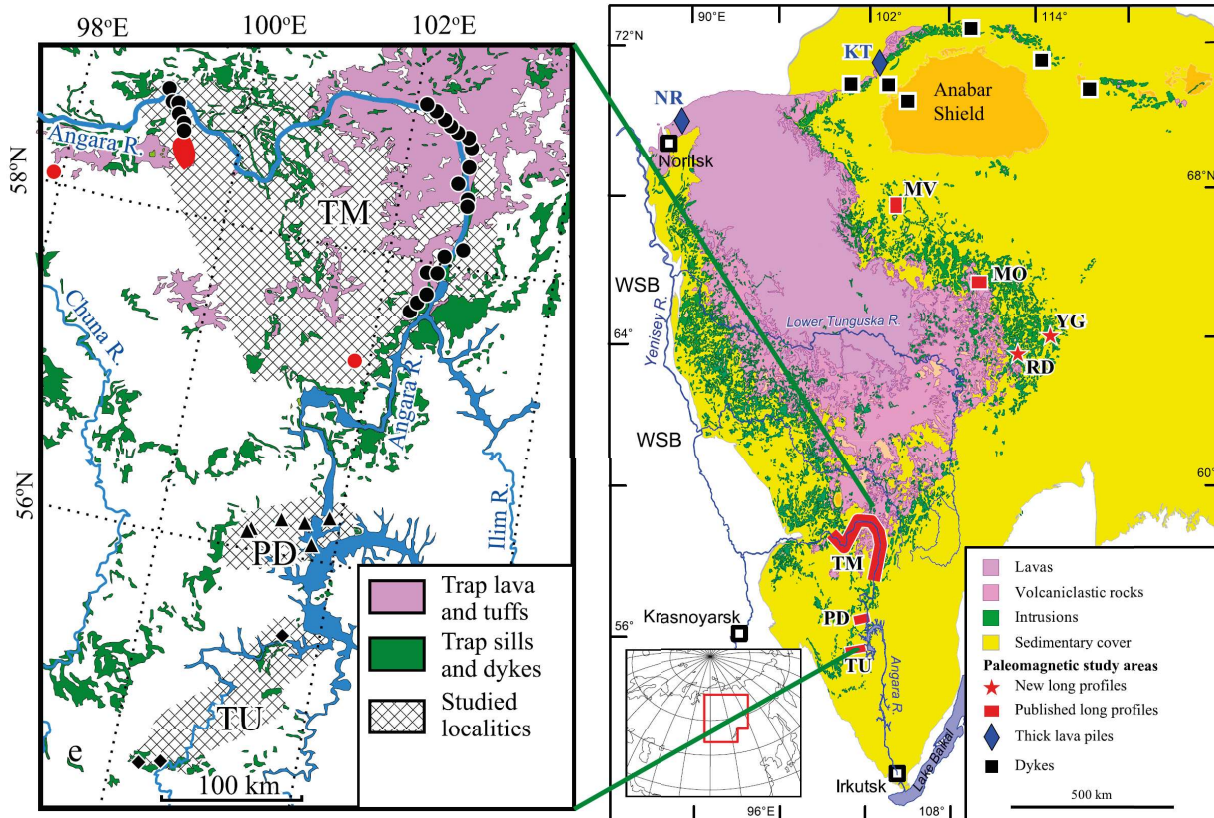
<https://doi.org/10.1038/543295a>

Kao i u prethodnim geološkim epohama, magma će se dizati iz plašta, probijajući se kroz pukotine u zemljinoj kori, slično kao meka materija koja prodire kroz gusti filter. Ovaj proces će dovesti do pregrijavanja površine, stvaranja brojnih intrakrustalnih magmatskih intruzija i topljenja litosfere.

Na slici 85. prikazana je raspoređenost efuzivnih stijena u Sibiru: ljubičastom bojom su prikazani tokovi lave, a zelenom — magmatska

tijela očvrstnuta u zemljinoj kori. Zelene zone na karti pokazuju kako je magma, dok je erodirala zemljinu koru, formirala pukotine i prodirala duž ovih oslabljenih zona. Takav povećani pritisak magme mogao bi ponovo pokrenuti sličan proces.





**Sl. 85.**

**Desno: Pregledna karta Sibirske 'trap' provincije (pojednostavljena i izmijenjena po Svensen i dr., 2009). Na preglednoj karti različitim bojama su označene glavne geološke strukture: rozom su prikazani tokovi lave, zelenom — intruzivna tijela, žutom — sedimentni pokrivač. Lijevo: na detaljnoj karti lijevog dijela slike predstavljen je raspored 'trap' magmatizma: ljubičastom bojom su prikazani lava i tufovi, zelenom — pragovi i nasipi.**

Izvor: Konstantinov, K. M., Bazhenov, M. L., Fetisova, A. M., & Khutorskoy, M. D. (2014). Paleomagnetism of trap intrusions, East Siberia: Implications to flood basalt emplacement and the Permo–Triassic crisis of biosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, 394, 242–253.

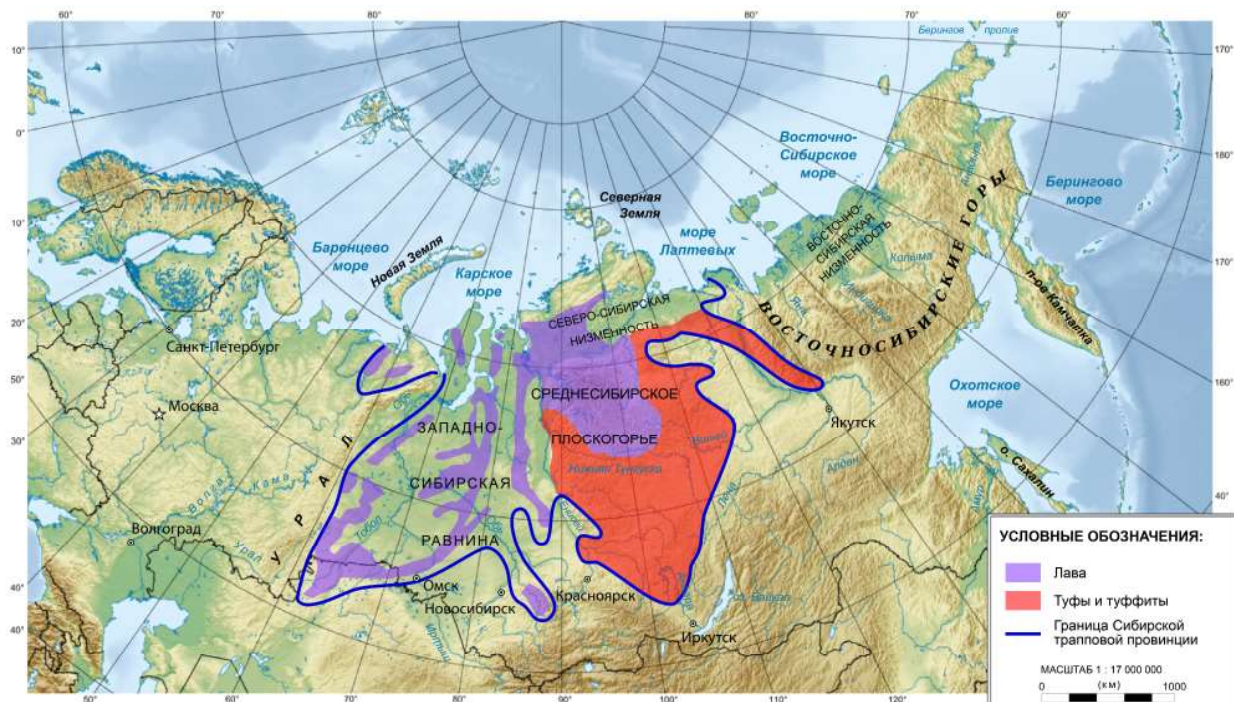
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.03.029>

Scenario postupene erupcije uporediv je sa jednokratnom eksplozijom sibirske perjanice, ali je rastegnuto u vremenu. Ovo se može zamisliti kao niz vulkana koji eruptiraju svake sedmice, zajedno sa iznenadnim pukotinama kroz koje će bazaltna lava teći po cijelom Zapadnom Sibiru.

Na karti (sl. 86) područja tokova lave označena su ljubičastom bojom. U području gušće i stabilnije kore Istočnosibirske platforme, lave su se širile po tom području, a na području Zapadnog Sibira, koji se odlikuje tanjom, mlađom i heterogenijom korom, erupcije su se javljale duž izduženih depresija ili pukotina. Crvene površine

na karti označavaju zone tufa koje se sastoje od cementiranih piroklastičnih krhotina i pepela.

Treba napomenuti da će se erupcije u Istočnom i Zapadnom Sibiru razlikovati. Ispod Istočnog Sibira, magma se sudara sa gustim arhejskim kratonom, stvarajući značajnu barijeru. Dok se diže, magma „jede“ stijene domaćina, hladi se i postaje zasićena isparljivim komponentama, što može dovesti do eksplozivnih erupcija s visokim emisijama pepela i mogućim stvaranjem kisele viskozne magme.



#### SI. 86.

**Karta sibirске 'trap' provincije. Na karti su predstavljene glavne geološke strukture, uključujući područja tokova lave (ljubičasta boja) i tufova i tufita (purpurna boja). Plave linije označavaju granice Sibirске 'trap' provincije.**

Source: [wikipedia.org](http://wikipedia.org), po podacima Masaitis, 1983. god.

Dok se ispod Zapadnog Sibira, gdje je kora tanka i mlada, pretpostavlja rasprostranjenost izlivanja tečne bazaltne lave.

Očekuje se da će površina pokrivena tokovima lave i tufovima biti oko 7 miliona km<sup>2</sup> u Zapadnom i Istočnom Sibiru, što je uporedivo sa teritorijom moderne Australije. Međutim, područja koja su podložna degradaciji vjerovatno će premašiti desetine miliona kvadratnih kilometara. Ova područja će biti izložena požarima velikih razmjera, eroziji zbog kiselih kiša, padavinama pepela, klizištima i blatnim tokovima koji nose vulkanske sedimente. Sav vječni led u Sibiru bit će podložan uništenju.

Stoji napomenuti da se na poluotoku Taimyr, zapadno od visoravni Putorana, nalaze najveća svjetska nalazišta nikla, bakra i metala platinske grupe, koje je razvila kompanija "Nornickel". Ova

ležišta su magmatskog porijekla i nastala su prije oko 250 miliona godina tokom erupcija sibirске 'trap' magmatske provincije, što je doprinijelo formiranju jedinstvenih klastera rude. Visoka koncentracija nikla u magmama tog vremena vjerovatno je bila povezana s uklanjanjem tvari iz Zemljinog jezgra na površinu.

Trenutno postoji povećanje magmatske perjanice u Sibiru, čije je ubrzanje uzrokovano pomakom jezgra 1998. godine u pravcu poluotoka Taimyr, koje je ustanovio doktor nauka Jurij Barkin. U bliskoj budućnosti postoji veliki rizik da se sibirska perjanica probije u područje grada Norilaska, na istom mjestu gdje se to dogodilo prije 250 miliona godina.

Dalje ćemo razmotriti posljedice ovog scenarija za Rusiju i svijet.

## Posljedice postepenog prodora sibirske perjanice za Rusiju

Postoje istraživanja koja precizno određuju lokaciju astenosferskih rastopljenih slojeva u litosferi južnog dijela Sibira, što se objašnjava tankom korom ovog područja. Međutim, sjeverni dio Sibira ostaje gotovo neistražen na seizmičkim kartama, što predstavlja „praznu tačku“ u proučavanju donje kore i plašta. Ovo onemogućava predviđanje lokacija prvih prodora lave i erupcija magme zasićene plinovima, posebno imajući u vidu nedostatak potpunog praćenja utrobe u zoni sibirske perjanice.

Poznato je da će prvi znaci predstojeće katastrofe biti češći zemljotresi i lokalne emisije plinova duž rubova sibirskog bloka zemljine kore. Pri kretanju magme ka površini početi će brzo topljenje vječnog leda, što može dovesti do uništenja infrastrukture na smrznutim tlima. Također, nakon zagrijavanja tla moguće su eksplozije plinskih hidrata (metana u strukturi leda), što će uzrokovati pojavu velikih kratera i uništavanje naseljenih mjesta.

Masivni požari će postati neizbježni zbog oslobađanja metana, pregrijavanja tla i oslobađanja vulkanskih plinova. Naslage ugljikovodika u Sibiru i ugljenim bazenima poput Kuzbasa mogu se zapaliti, kao što se dogodilo u periodu perm-trijasa<sup>54</sup>, kada su ležišta uglja bila podvrgnuta termičkom zagrijavanju do 600°C.

Erupcije će početi iznenada, pokrivajući mnoga mjesta na širokom području. Zemljotresi magnitude 7 - 8, pukotine i rasjedi dovešće

do izlivanja lave na stotine hiljada kvadratnih kilometara. U područjima oko tokova lave doći će do masovne smrti biljaka, životinja i ljudi zbog otrovnih emisija koje stvaraju otrovni “koktel” u atmosferi.

Milioni ljudi će umrijeti u prvim danima, a vulkanski pepeo će uništiti transportne veze, taložiti se na puteve i pruge, narušavajući vidljivost i uništavajući infrastrukturu. Avijacija će također biti potpuno obustavljena zbog opasnosti koju pepeo predstavlja za motore aviona i helikoptera.

Otapanje vječnog leda dodatno će pogoršati situaciju: komunikacioni putevi, cjevovodi, zgrade i komunalije će početi da se urušavaju. Mnogi gradovi će ostati bez pristupa vodi, hrani i struji, što će uzrokovati humanitarnu krizu. Masovna evakuacija bit će nemoguća u većem dijelu područja erupcije jer će lava, plinovi, požari i kisele kiše učiniti transportne rute neupotrebljivim. Panika će zahvatiti milione ljudi. Evakuacija miliona stanovnika Sibira dovešće do socijalne nestabilnosti i masovnih nemira.

Ekonomija zemlje će pretrpjeti katastrofalne gubitke: proizvodnja nafte, plina, uglja, dijamanta i metala će prestati zbog fizičkog uništenja infrastrukture, što će dovesti do gašenja preduzeća, nestašice sirovina i električne energije. Vulkanska aktivnost će uništiti prirodne resurse regiona, uključujući naftu i ugalj, uništavajući ključna ekonomska dobra zemlje.

<sup>54</sup>Elkins-Tanton, L. T., Grasby, S. E., Black, B. A., Veselovskiy, R. V., Ardakani, O. H., & Goodarzi, F. (2020). Field evidence for coal combustion links the 252 Ma Siberian Traps with global carbon disruption. *Geology*, 48(10), 986-991. <https://doi.org/10.1130/G47365.1>



Decenijama nakon erupcije, Sibir će ostati zona ekološke katastrofe. Katastrofa koja će zadesiti Rusiju nepovratno će promijeniti njenu geografiju, ekonomiju i društvo. Samo 25% teritorije zemlje će ostati naseljivo, ali će se suočiti sa ogromnim pritiskom ekoloških i društvenih kriza.

Ekonomski položaji, historijski spomenici i većina prirodnih resursa će biti izgubljeni, a Sibir će postati nepogodan za postojanje moderne civilizacije.

## **Posljedice postepenog prodora sibirske perjanice za cijeli svijet**

Globalne posljedice erupcije sibirske perjanice pogodit će cijeli svijet, a to će se dogoditi u nekoliko etapa.

U prvim danima prestaju saobraćajne veze kroz Sibir između Evrope i Azije, a vazdušni saobraćaj će biti obustavljen zbog vulkanskog pepela u atmosferi. Ovi procesi će poremetiti globalnu logistiku, uzrokujući veliku prehrambenu krizu, budući da će Rusija, kao jedan od vodećih izvoznika hrane, prestati isporučivati pšenicu i druge proizvode. Prekid izvoza nafte, plina i drugih sirovina iz Rusije dovešće do poskupljenja, energetske krize i ekonomske nestabilnosti u mnogim zemljama. Globalna ekonomija će se suočiti sa lančanom reakcijom finansijskih i socijalnih šokova.

Oblaci pepela i aerosola sumpora će izazvati globalni efekat zatamnjenja, smanjujući količinu sunčeve svjetlosti koja dopire do planete. To će dovesti do "vulkanske zime" s padom temperature za 2 - 3°C. Kisele kiše i zagađenje tla oštetit će poljoprivredu ne samo u Rusiji, već i u cijelom svijetu. Masovna glad, nestašica vode, toksični zrak i kolaps klimatskog sistema dovešće do postepene smrti milijardi ljudi i životinja. Za nekoliko godina društveni sistemi će se urušiti.

Vremenom će se vulkanski pepeo početi taložiti, ali će doći do dramatičnih klimatskih promjena. Oslobođanje metana i ugljičnog dioksida zbog topljenja vječnog leda dovest će do povećanja efekta staklene bašte. Temperature će početi postupno rasti za 5 - 10°C, što će dovesti do nestabilne klime koju karakteriziraju oštre temperaturne fluktuacije. Uništenje ozonskog sloja će povećati nivoe ultraljubičastog zračenja na sjevernoj hemisferi, pogoršavajući posljedice erupcija.

Bez obzira na udaljenost od Sibira, Evropa će se suočiti s ozbiljnim posljedicama erupcije sibirske perjanice: pepeo će prekriti sjevernu i istočnu Evropu, izazivajući brojne respiratorne bolesti među stanovništvom. Kisele kiše će uništiti šume, urbanu infrastrukturu i poljoprivredno zemljište. Nakon faze privremenog zahlađenja, početak će naglo zatopljenje, praćeno sušama na jugu i poplavama u srednjoj i sjevernoj Evropi.

Masovna migracija iz Rusije, Azije i Bliskog istoka će izazvati demografsku krizu i pojačati konkurenciju za resurse. Evropske zemlje će se morati nositi sa stalnim ekološkim, ekonomskim i društvenim izazovima.

Azija, koja se nalazi najbliže epicentru erupcija, primiti će glavni udarac na sebe. Zagađenje zraka prašinom i pepelom će uzrokovati gušenje i kisele kiše, posebno u Kini, Mongoliji i Kazahstanu. Poljoprivreda u sjevernoj Kini, ključnoj regiji za hranu, bit će uništena nedostatkom sunčeve svjetlosti i pogoršanjem kvaliteta tla.

Usponi i padovi temperature će uništiti infrastrukturu i poljoprivredne sisteme širom kontinenta. Postepeni porast temperature okeana dovest će do deoksigenacije vode, što

će uništiti morske ekosisteme i dovesti do kraha ribarstva.

Kako vrijeme bude prolazilo, posljedice tekućih erupcija će postati samo destruktivnije. Klimatske i ekološke krize će se pogoršati, čovječanstvo će izgubiti mnoge savremene tehnologije i znanja, prolazeći kroz duboki zastoj u razvoju. Svjetska civilizacija će biti na ivici kolapsa.

## **Dugoročne posljedice postepenog proboja sibirske perjanice za planetu**

Postepena erupcija sibirske perjanice će izazvati masivne dugoročne posljedice koje će radikalno promijeniti planetu na milione godina. Atmosfera će biti izložena globalnom zagađenju toksičnim supstancama, što će dovesti do stvaranja kiselih kiša planetarnih razmjera i uništavanja ozonskog omotača.

Okeani će postati kritično zakiseljeni, što će uzrokovati masovnu smrt morskih organizama. Ovi procesi će dovesti do kolapsa morskih ekosistema, prekida globalnih lanaca ishrane i kolapsa cjelokupnog morskog biodiverziteta.

Na kopnu će masovno izumiranje postati neizbježno zbog toksičnih emisija u atmosferu, uništavanja ekosistema tla i nestanka većine

biljaka. Gubitak oprašivača će dovesti do kolapsa kopnenih ekosistema. Očekuje se da će izumiranje zahvatiti između 75 i 95% svih postojećih vrsta.

Kao rezultat, erupcije će izazvati složenu klimatsku, biološku i geološku krizu koja će potpuno transformisati biosferu Zemlje. Ovaj proces će dovesti do kolapsa ljudske civilizacije, smrti milijardi ljudi i vraćanja preživjelih raštrkanih grupa ljudi na nivo razvoja kamenog doba. Razmjere ove katastrofe biće uporedive sa najvećim masovnim izumiranjem u istoriji Zemlje, što će otvoriti novu evolucijsku fazu biosfere za najmanje milione godina.

## Scenario 3.

# Planirano kontrolirano otplinjavanje

## Postojeće metode vulkanskog geoinženjeringa

S obzirom na sve veći stres ispod Zapadno-Sibirskog ploče i Istočnosibirskog kratona koji je povezan sa porastom sibirske perjanice, neophodno je poduzeti hitne mjere kako bi se moguće katastrofalne posljedice minimizirale. Jedno od takvih rješenja je kontrolirano oslobađanje pritiska lave i plinova iz sekundarnih magmatskih komora, odnosno **planirano kontrolirano otplinjavanje**

Savremena naučna istraživanja smatraju otplinjavanje komora magme obećavajućom metodom za sprečavanje velikih erupcija. Ovaj pristup daje osnovu za primjenu vulkanskih geoinženjerskih tehnologija ne samo na vulkanima ili supervulkanima, već i za upravljanje aktivnošću magmatskih perjanica. Koncept kontroliranog otplinjavanja se ogleda u brojnim naučnim publikacijama i patentima koje su razvili stručnjaci iz različitih zemalja.

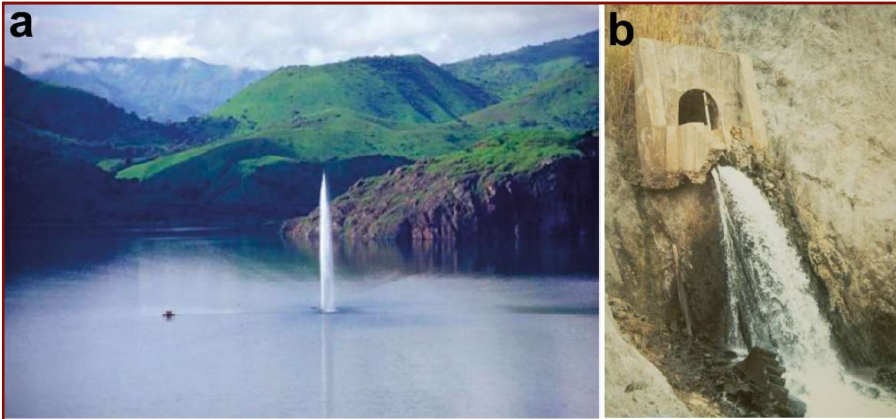
Teorijske osnove vulkanskog geoinženjeringa postavljene su počevši s 20. stoljećem, a praktični eksperimenti su vođeni tokom posljednjeg stoljeća. Metode vulkanske intervencije uključivale su bušenje kratera, isušivanje vulkanskih jezera, stvaranje kanala za odvod

lave, hlađenje tokova lave morskom vodom, bombardiranje tokova lave i ispumpavanje stakleničkih plinova (ugljični dioksid i metan) (Sl. 87).

Od 1960-ih, Geološka služba SAD-a (USGS) bušila je područja jezera lave na vulkanu Kilauea na Havajima kako bi preusmjerila lavu. Slične inicijative provode se u Japanu, Islandu i Italiji. Na primjer, Japan je testirao tehnologije za smanjenje pritiska u komorama magme, a Island je imao uspješno iskustvo preusmjeravanja lave na otoku Heimaey, gdje su tokovi hlađeni vodenim topovima. U Italiji se razvijaju sistemi ranog upozorenja i tehnike upravljanja protokom lave; primjerom može poslužiti eksplozivno uništenje barijera lave na Etni 1983. godine.

Danas se održavaju međunarodne naučne konferencije i simpozijumi o dubokom bušenju u zonama vulkanske i geotermalne aktivnosti, čime se proširuju izgledi za korištenje vulkanskog geoinženjeringa za sprječavanje erupcija i smanjenje njihovih posljedica na globalnom nivou.





Sl. 87.

a) Otplinjavanje ugljičnog dioksida iz jezera Nyos, Kamerun, prema Halbwachs i dr. (2020).

b) Odvodni tunel u zidu kratera vulkana Kelud, Indonezija (Globalni vulkanski program, slika GVP-01120).

c) Klizno bušenje magmatskog džepa u Krafli, Island, 2009. god. (slika GO Friðleifsson/IDDP)

d) Hlađenje tokova lave ubrizganom morskom vodom u Heimaeyu, Island 1973., Tristin H. Benediktsson.

Izvor: Cassidy, M., Sandberg, A., & Mani, L. (2023). The Ethics of Volcano Geoengineering. *Earth's Future*, 11(10), e2023EF003714.

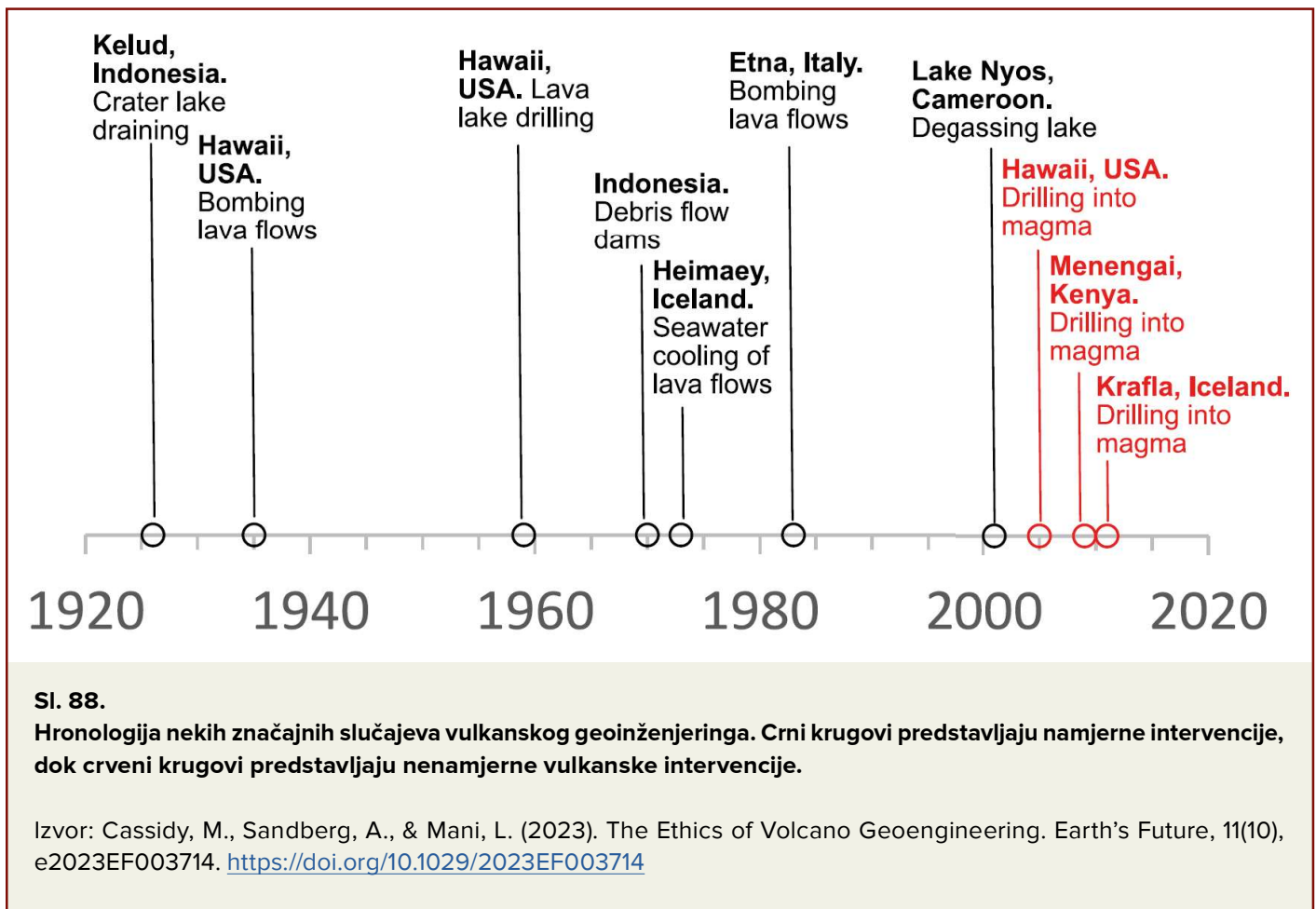
<https://doi.org/10.1029/2023EF003714>



Na dijagramu (Sl. 88) je predstavljena hronologija najznačajnijih slučajeva vulkanskog geoinženjeringa. Crni krugovi predstavljaju namjerne intervencije, a crveni — nenamjerne utjecaje na vulkansku aktivnost.

Postoje i patentirane metode za planirano otplinjavanje i smanjenje rizika od vulkanskih i supervulkanskih erupcija.

Na primjer, princip jedne od tehnologija, koju su patentirala dvojica ruskih stručnjaka, sastoji se u sprečavanju nekontrolirane lavinaste vulkanske erupcije pomoću kosih bušotina i regulacije pritiska u magmatskim komorama. (Sl. 89).





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007112443/03, 04.04.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.04.2007

(45) Опубликовано: 10.01.2009 Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2098850 C1, 10.12.1997. SU 1193223  
A, 23.11.1985. RU 2073769 C1, 20.02.1997. RU  
2057839 C1, 10.04.1996. RU 2231092 C2,  
20.06.2004. SU 1699979 A1, 23.12.1991. US  
4319648 A, 16.03.1982.Адрес для переписки:  
109145, Москва, Жулебинский б-р, 1, кв. 82,  
Г.К.Мкртумяну

(72) Автор(ы):

Мкртычян Олег Альбертович (RU),  
Мкртумян Георгий Каропетович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Мкртычян Олег Альбертович (RU),  
Мкртумян Георгий Каропетович (RU)

## (54) СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЛАВИНООБРАЗНОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам предотвращения неконтролируемого - лавинообразного извержения вулканов и организации контролируемого транспортирования магмы для ее использования при строительстве. Обеспечивает повышение эффективности способа. Сущность изобретения: по способу управляют давлением во вторичных магматических очагах под вулканами, проявляющими сольфатарную активность. Для этого производят наклонное

бурение каналов в основание вторичного магматического очага. В этот очаг подают сжатый газ. Повышают давление во вторичном магматическом очаге и замедляют поступление в него магмы из первичного очага. При этом осуществляют добычу и транспортирование магмы для строительства, накопившейся во вторичном магматическом очаге, через пробуренные каналы. При этом не допускают достижения критической величины давления, при которой происходит лавинообразное извержение.

5 0 8 C 1

RU 2 3 4 3 5 0 8 C 1

## SI. 89.

**Patent: Metoda za sprečavanje lavinastih vulkanskih erupcija.**

Pronalazak se odnosi na metode za sprečavanja nekontrolisanih lavinastih vulkanskih erupcija i organizacija kontrolisanog transporta magme za njenu upotrebu u građevinarstvu. Ovo povećava efikasnost pristupa.

**Sušтина pronalaska:** metoda se koristi za kontrolu pritiska u sekundarnim magmatskim komorama ispod vulkana koji pokazuju solfatartnu aktivnost. Da bi se to postiglo, vrši se koso bušenje kanala u podnožju sekundarne magmatske komore. U ovu komoru se dovodi komprimirani plin. Povećava se pritisak u sekundarnoj magmatskoj komori i usporava protok magme u nju iz primarne komore. Istovremeno se magma nakupljena u sekundarnoj magmatskoj komori ekstrahira i transportira za gradnju kroz izbušene kanale. Istovremeno, ne dozvoljavaj se pritisku da dostigne kritičnu vrijednost pri kojoj dolazi do erupcije nalik lavini.

Izvor: <https://patentimages.storage.googleapis.com/0e/4a/51/11fd6e028d2813/RU2343508C1.pdf>



Drugu tehnologiju razvio je američki izumitelj (Sl. 90). Tehnologija opisuje metode ispumpavanja magme iz vulkanskih komora magme, poput one u supervulkanu Yellowstone, kako bi se spriječila moguća katastrofalna erupcija.

Osnovna ideja je stvoriti umjetne kanale (cijevi) za izvođenje magme na površinu, gdje se može prerađivati i koristiti, primjerice, za proizvodnju energije.

(12) **United States Patent**  
**Stratford**

(10) **Patent No.:** **US 7,284,931 B2**  
(45) **Date of Patent:** **Oct. 23, 2007**

(54) **MAGMA EVACUATION SYSTEMS FOR THE PREVENTION OF EXPLOSIONS FROM SUPERVOLCANOES**

(76) Inventor: **Brian Stapleton Stratford**, 40 Field Ris , Little ver, Derby DE23 1DE (GB)

(\* ) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

3,357,505 A *	12/1967	Armstrong et al. ....	175/16
3,396,806 A *	8/1968	Benson .....	165/45
3,693,731 A *	9/1972	Armstrong et al. ....	175/16
3,957,108 A *	5/1976	Van Huisen .....	165/45
3,967,675 A *	7/1976	Georgii .....	166/302
3,991,817 A *	11/1976	Clay .....	165/45
4,134,462 A *	1/1979	Clay .....	175/16
4,776,169 A *	10/1988	Coles, Jr. ....	165/45

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

(21) Appl. No.:	<b>10/230,549</b>	GB	2362410	11/2001
(22) Filed:	<b>Aug. 29, 2002</b>	JP	070071020 A	3/1995
		JP	100076104 A	3/1998
		JP	100077952 A	3/1998
(65) <b>Prior Publication Data</b>		JP	100078497 A	3/1998

US 2003/0145592 A1 Aug. 7, 2003

(30) **Foreign Application Priority Data**  
Feb. 4, 2002 (GB) ..... 0202465.1

(51) **Int. Cl.**  
*E21B 36/00* (2006.01)  
*E21B 43/24* (2006.01)

(52) **U.S. Cl.** ..... 405/131; 405/258.1; 405/303; 166/302; 166/57

(58) **Field of Classification Search** ..... 405/52, 405/258.1, 130, 131, 303; 165/45; 166/302, 166/304, 57-62  
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,115,194 A \* 12/1963 Adams ..... 376/273

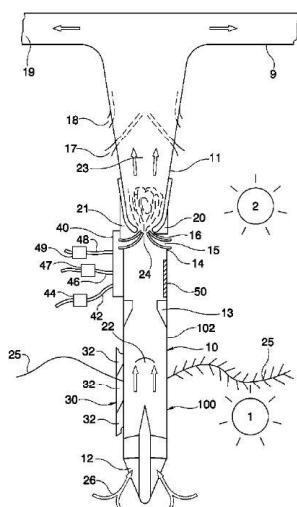
\* cited by examiner

*Primary Examiner*—Tara L Mayo  
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Woodard, Emhardt, Moriarty, McNett & Henry LLP

(57) **ABSTRACT**

An apparatus controls the evacuation of volcanic magma to prevent explosions. Magma evacuation is through a single evacuation tube that heats the magma flow within the tube to prevent stickiness of the magma in the tube. The heating may use small combustion chambers to heat steam, which in turn heats and stabilizes the magma flow. Stability is aided by central cooling, where needed, using water jets from nozzles located at the wall of the tube.

**25 Claims, 2 Drawing Sheets**



**Sl. 90.**

**Patent: Sistemi za evakuaciju magme za sprječavanje eksplozija supervulkana.**

Uređaj kontrolira pumpanje vulkanske magme kako bi spriječio eksplozije. Magma se ispumpava kroz jednu odvodnu cijev, u kojoj se tok magme zagrijava kako se ne bi zalijepila u cijevi. Male komore za izgaranje mogu se koristiti za opskrbu parom, koja zauzvrat zagrijava i stabilizira tok magme. Po potrebi stabilnost se održava centralnim hlađenjem vodenim mlazom iz mlaznica smještenih na stijenka cijevi.

Izvor:

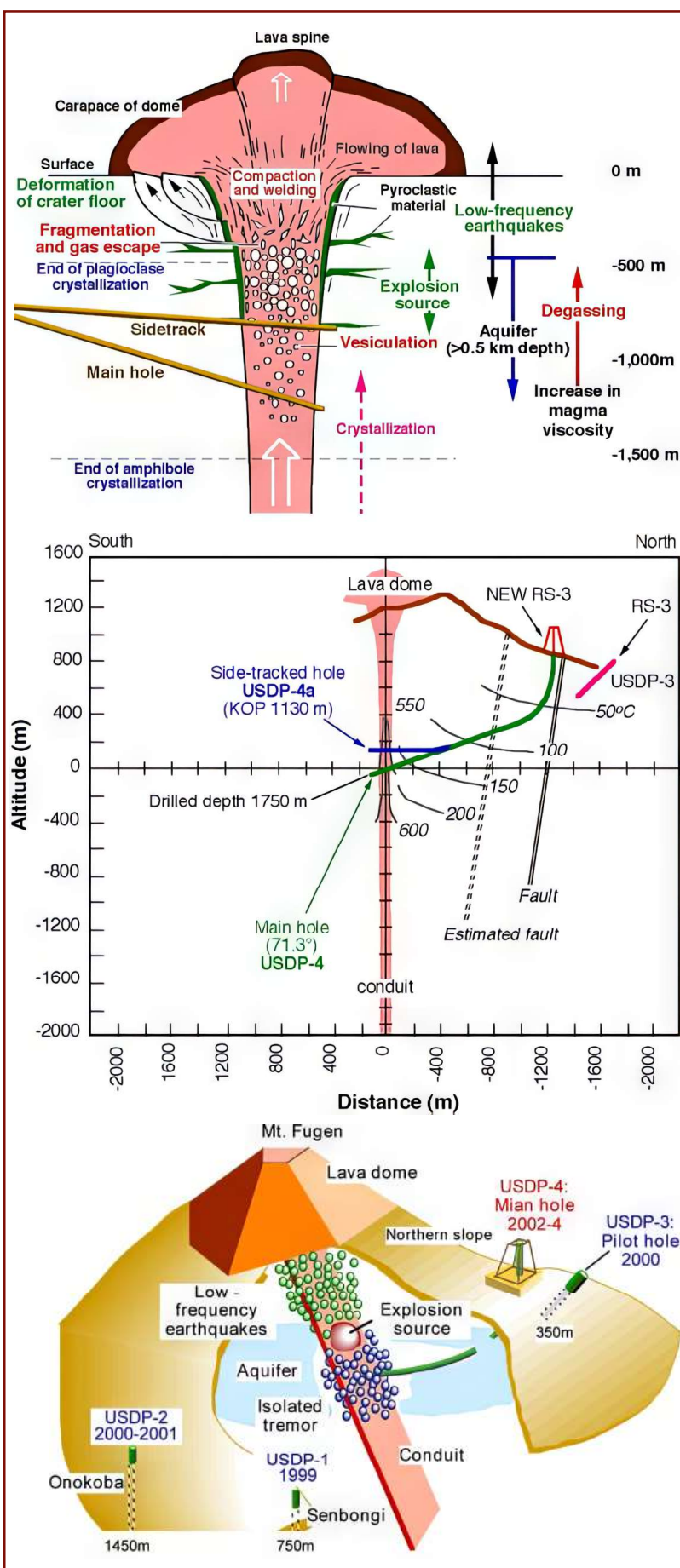
<https://patentimages.storage.googleapis.com/5f/dc/0d/7b5b99d61d1a75/US7284931.pdf>

Također, primjer uspješnog otplinjavanja je japanski projekat “[Naučno bušenje vulkana Unzen](#)” (USDP). Ovo je šestogodišnja inicijativa, pokrenuta u aprilu 1999. godine, za proučavanje istorije rasta, podzemne strukture i procesa uspona magme vulkana Unzen (Sl. 91). Prva faza uključivala je bušenje dvije bušotine na obroncima vulkana i izradu modela njegove

strukture. Druga faza bila je fokusirana na bušenje u kanalu magme od erupcija 1990. - 1995. godine kako bi se analizirao mehanizam otplinjavanja. Da bi se postiglo uspješno bušenje, razvijena je strategija koja uključuje vertikalno bušenje praćeno povećanjem nagiba bušotine (Sl. 92).







**Sl. 92.**

**a) Slika kupole lave i gornjeg dijela okna vulkana Unzen.** Efikasno otplinjavanje pjenaste magme dogodilo se prilikom njenog cijepanja i kalcinacije u gornjem dijelu okna. Proučavano je stanje šahta bušenjem glavnog okna (USDP-4) 2003. godine, a kontinuirano uzorkovanje jezgre izvršeno je bušenjem bočnog okna (USDP-4a) 2004. godine.

Izvor: USDP Project. Institut za istraživanje zemljotresa, Univerzitet u Tokiju. Datum pristupa: 31. decembar 2024 <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/Yoran2003/sec4-5-eng.htm#:~:text=USDP%20consists%20of%20two%20phases%20>

**b) Trajektorije bušenja šahti. Od tačaka New RS-3 i RS-3 planirano je bušenje glavnog i bočnih debla, odnosno pilot bušotine.**

Izvor: USDP Project. Institut za istraživanje zemljotresa, Univerzitet u Tokiju. Podaci preuzeti 31. decembra 2024. sa web stranice <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/Yoran2003/sec4-5-eng.htm#:~:text=USDP%20consists%20of%20two%20phases%20>

**c) Trodimenzionalna shema bušenja šahti**

Izvor: Centar za istraživanje vulkanskih tečnosti. Pregled sistema šahti vulkana Unzen. Institut za istraživanje zemljotresa, Univerzitet u Tokiju. Podaci preuzeti 31. decembra 2024. sa web stranice <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/VRC/vrc/usdp/conduit.html>



Danas čovječanstvo ima dovoljan tehnološki i inženjerski potencijal za prodor u vulkanske sisteme, ali svaki slučaj planiranog otplinjavanja zahtijeva najpažljiviju pripremu, analizu velikog niza podataka i najpreciznije proračune. Čak i u ovom slučaju, rizici ostaju.

Navedeni primjeri testirani su na običnim vulkanima, koji se zasigurno razlikuju po veličini od razmjera gigantske magmatske perjanice u Sibiru. Ova perjanica predstavlja prijetnju daleko veću od čak i jednog supervulkana, uporedivu sa energijom eksplozija hiljadu kaldera Yellowstonea. Međutim, rasprava o ovom problemu postala je aktuelna upravo zato jer postoje potencijalni pristupi za njegovo rješavanje.

Uz pravilan pristup, čovječanstvo je sposobno razviti program za otplinjavanje magmatskih perjanica zasnovan na globalnom razvoju stručnjaka. Njegov glavni cilj bit će minimiziranje posljedica izdizanja sibirske perjanice smanjenjem pritiska lave i plinova u sekundarnim magmatskim komorama, što će spriječiti nekontrolirane erupcije velikih razmjera.

Realizacija takvog programa zahtijevat će blisku međunarodnu saradnju i konsolidaciju napora naučnika i inženjera iz cijelog svijeta. Samo jedinstven pristup će omogućiti da razvoj efikasnih rješenja usmjerenih na osiguranje sigurnosti cijelog čovječanstva.

## **Primjer programa planiranog otplinjavanja sibirske perjanice**

Program može uključivati istovremeni razvoj nekoliko oblasti:

### **1. Stvaranje mreže za praćenje**

1.1 Neophodno će biti stvoriti mrežu visoko osjetljivih senzora i satelitskih osmatranja za praćenje seizmičke i termalne aktivnosti u regiji. Ovo će omogućiti pravovremeno otkrivanje sekundarnih magmatskih komora.

1.2 Trebat će provesti detaljno mapiranje sekundarnih magmatskih komora korištenjem metoda seizmičkog istraživanja. Bit će važno unaprijed procijeniti pritisak i zapreminu magme u svakoj sekundarnoj komori.

1.3 Zatim će biti neophodno izbušiti istražne

i nadzorne bušotine i ugraditi senzore pritiska, temperature i seizmičke aktivnosti u anomalnim zonama.

### **2. Razvoj tehnologije za kontrolirano otplinjavanje i blokiranje magmatskih kanala**

2.1 Biće neophodno izraditi plan za bušenje dubokih kosih bušotina (do 8 km dubine) u sigurnim zonama. Za dostizanje sekundarnih izvora biće potreban detaljan proračun putanja kosih bušotina. Biće neophodno koristiti tehnologije bušenja koje su otporne na visoke temperature i pritiske, odnosno korišćenje materijala otpornih na toplinu za jačanje zidova bušotina, stvaranje sistema za praćenje pritiska i temperature u bušotinama.

2.2 Potrebno je razviti proces za uklanjanje plinova i lave kroz etapnu kontrolu pritiska u sekundarnim komorama pomoću sistema. Ovo zahtijeva kontrolu brzine otplinjavanja kako bi se spriječili iznenadni padovi pritiska i korištenje kompresorskog sistema za kontrolu pritiska plina. Biće potreban sistem za filtriranje i hlađenje kako bi se spriječile emisije toksičnih tvari u atmosferu. Uklanjanje lave i plinova će se vršiti sve dok se pritisak u svakom od žarišta ne stabilizira.

2.3 Zatim će biti neophodno izraditi plan ciljanih nuklearnih eksplozija kako bi se zatvorili slojevi iznad sekundarne magmatske komore. Ovo će spriječiti da prekomjerna magma dopre do površine i minimizirati emisije pepela.

Postepeno oslobađanje pritiska osigurati će stabilnost Sibira i zaštititi glavne naseljene punktove, sa mogućim izuzetkom Norilsk i okolnih naseljenih punktova.

2.4 U procesu odvoda lave iz komora biće neophodno kontrolirati, po mogućnosti, njeno izlivanje. Preduzeti napore za njeno usmjeravanje kroz specijalno pripremljene kanale u smjeru arktičkih mora. Razviti program korištenja magme za gradnju (na primjer, za stvaranje umjetnih otoka ili jačanje obale).

### **3. Evakuacija stanovništva**

Biće potrebno implementirati sistem ranog upozorenja i izraditi planove evakuacije za slučajeve nepredviđenih situacija. To će zahtijevati i plansku organizaciju sigurne evakuacije stanovništva iz rizičnih zona i njegovu adaptaciju, socijalno osiguranje, uzimajući u obzir mogućnost dugoročnog preseljenja.

### **4. Očuvanje infrastrukture**

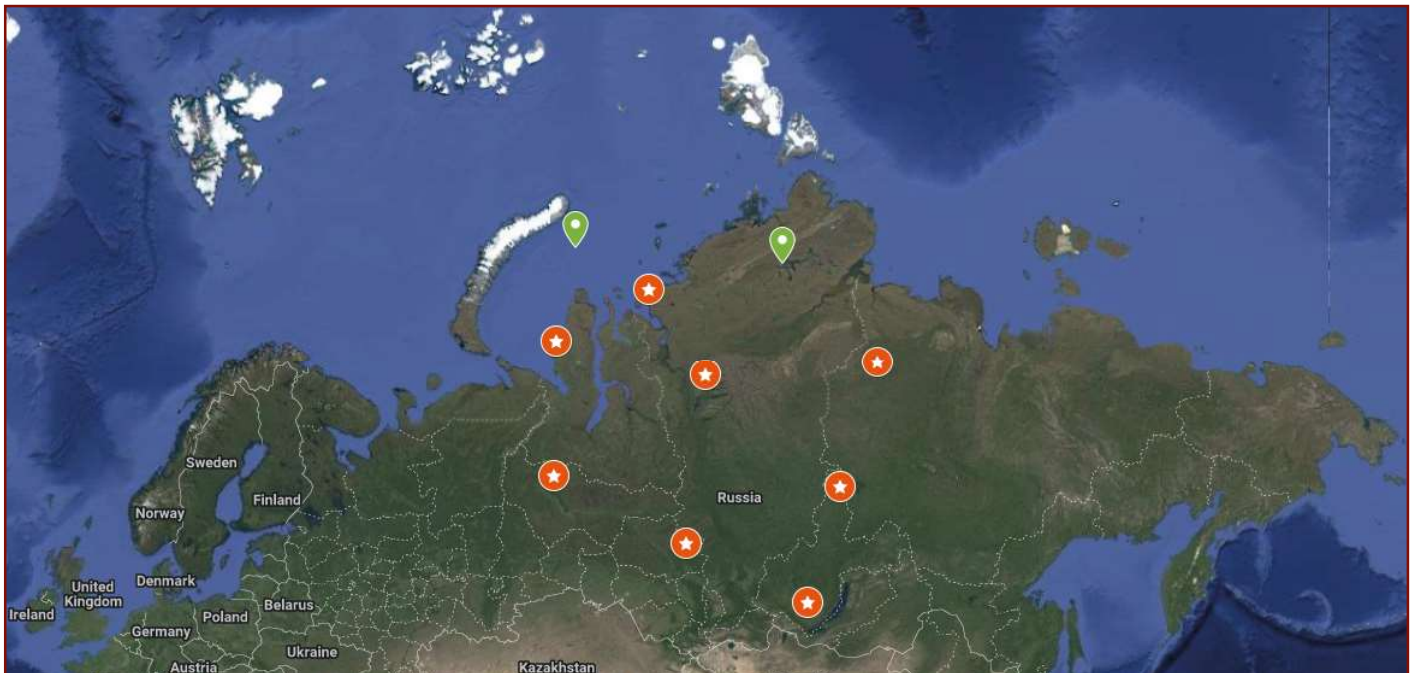
Neophodno je izraditi planove za zaštitu i evakuaciju strateških sredstava iz područja opasnosti od poplave lavom. Stvaranje rezervnih skladišta u sigurnim područjima za evakuirane strateške resurse regiona, kao što su nafta, plin, obojeni i plemeniti metali, rude, gnojiva, hrana, voda i lijekovi.

## Opravdanost izbora lokacije naučno-istraživačkih bušotina za praćenje dinamike savremene magmatske perjanice Sibira

Za shvaćanje koliko brzo i u kom pravcu se događa prodor perjanice i širi njena glava, prodiranje kroz pukotine u zemljinu koru, prvi korak je praćenje geotermalnih i geofizičkih parametara na dubini. Za ovakva istraživanja potrebno je bušiti nove bušotine i vršiti redovna mjerenja temperature, pritiska, uzorkovanja

sastava plinova i markera pojačanja magmatskih procesa, seizmičke buke i drugih parametara.

Za ova istraživanja namijenjeno je 10 tačaka za bušenje naučno-istraživačkih bušotina (Sl. 93, 94).



### Sl. 93.

Preliminarne lokacije 10 preporučenih tačaka bušenja za naučno-istraživačke bušotine



Borehole name	Locality or nearby infrastructure	Coordinates X (Latitude)	Coordinates Y (Longitude)	Area
Ц 1	Talnakh District, Norilsk, Krasnoyarskiy Krai	69.4459423	88.7670478	Taymyr Peninsula
3C3 2	Kharasavey field, Yamal Peninsula	71.1849618	66.9830117	Western Siberia
3Ю3 3	Kislorskoye field, Beloyarsky District, Khanty-Mansi Autonomous Okrug	63.6572613	66.5569363	Western Siberia
Ю3 4	Tsentralny settlement in Verkhneketsky District, Tomsk Region	58.9454	86.0127	Western Siberia
Ю 5	Chichkova village, Chichkovskoye municipal formation, Ust-Udinsky District, Irkutsk Region	54.19598	103.7021	Eastern Siberia
ЮВ 6	Nakanno village in Katangsky District, Irkutsk Region	62.89873	108.45027	Eastern Siberia
В 7	Zhilinda village in Olenyoksky District, Yakutia	70.1528916	113.9261131	Eastern Siberia
С3 8	Dikson settlement in Taymyrsky Dolgano-Nenetsky District, Krasnoyarskiy Krai	73.50246	80.5498	Taymyr Peninsula
СВ 9	Lead-zinc deposit to the northwest of Lake Taymyr, Taymyr Peninsula	74.52147	100.02184	Eastern Siberia
С3 10	Rogozinskaya-1 site, Kara Sea	75.16298	69.74128	Western Arctic Platform

**Sl. 94.**

Tabela 10 preporučenih bušotina za naučno-istraživačko bušenje radi praćenja napredovanja sibirске perjanice, uključujući naziv bušotine, koordinate, obližnja naselja ili infrastrukturu, geološku strukturu sekcije

Kriterijumi za odabir ovih bušotina zasnivali su se na sljedećim principima:

**1. Lokacija bušotina u odnosu na najveće ukrštanje termalnih i geodinamičkih anomalija povezanih sa postavljanjem i širenjem glave perjanice.** Na osnovu ovog principa planirana je jedna bušotina u zoni centralnog dijela pretpostavljenog izdizanja perjanice, 7 bušotina planirano je po obodu pretpostavljenog širenja magme. Još jedna bušotina planirana je u regiji Baikala, u pravcu pretpostavljenog aktivnog kretanja magme ispod temelja Istočnosibirskog kratona. Planirana je još jedna bušotina u regionu Karskog mora kako bi se pratilo napredovanje perjanice ispod okeanske kore arktičkog pojasa.

**2. Raspored bušotina je odabran optimalno za daljnji rad seizmičke tomografije, kako bi informacije sa seizmičkih senzora u bušotinama, nakon naknadne konverzije, dale najjasniju 3D sliku.** Odnosno, tako da se mreža seizmičkih senzora u bušotinama nalazi optimalno za seizmičku tomografiju podzemne površine.

**3. Mjesta bušotina su odabrana uzimajući u obzir mogućnost isporuke opreme za bušenje i osiguravanje pristupnih puteva (transportna dostupnost).** S obzirom da sjever Zapadnog i Istočnog Sibira ima izuzetno teško prohodne teritorije, močvarne predjele, malo puteva i ekstremne klimatske uslove, izbor lokacija za bušenje bio je baziran na lokaciji postojeće infrastrukture za sprovođenje naučnih istraživanja: broju puteva, naseljenim mestima i operativnim lokacijama za bušenje. Odabrane su dvije tačke na trenutno operativnim naftnim poljima u vlasništvu Gazproma i Rosnefta, a ostale se nalaze u područjima u blizini nalazišta nafte, plina i drugih minerala. Treba napomenuti da ako je nemoguće bušiti bušotine u navedenim koordinatama, dozvoljeno je pomjeriti bušotine za 10-20 km u bilo kojem smjeru.

Preporučene metode ispitivanja u bušotinama. Za sveobuhvatno praćenje i proučavanje perjanice plašta, potrebno je prikupiti sljedeće parametre sa senzora u naučno-istraživačkim bušotinama.

- 1. Praćenje temperature:** mjerenje temperatura na različitim dubinama radi analize termalnih anomalija i pojačavanja geotermalnog toka kao rezultat kretanja magme u područja širenja perjanice.
- 2. Pritisak:** određivanje pritiska u bušotini za procjenu promjena u hidrodinamičkim uslovima kao rezultat aktivnosti magme i fluidne faze.
- 3. Uzorkovanje plinova:** uzorkovanje plinova koji dolaze iz dubokih slojeva radi proučavanja njihovog sastava i mogućeg uticaja magmatske aktivnosti.
- 4. Seizmička istraživanja:** ugradnja kako standardnih, tako i širokopojasnih seizmičkih senzora za snimanje seizmičke aktivnosti kako bi se napravila detaljna seizmička tomografija zemljine kore i plašta za kontinuirano praćenje stanja perjanice.
- 5. Sastav formacijskih fluida:** proučavanje sastava formacijskih fluida kako bi se utvrdilo moguće termalno ili magmatsko punjenje.
- 6. Geomehanička istraživanja:** mjerenje napregnutosti u stijenama radi analize stanja naprezanja litosfere koja doživljava deformacije uslijed prodora perjanice.
- 7. Elektromagnetne metode:** provođenje elektromagnetnih istraživanja za snimanje promjena u električnim svojstvima medija povezanih s intruzijom magme.

Prikupljeni podaci poslužiće kao osnova za konstruiranje sveobuhvatnog modela dinamike perjanice plašta, kao i za procjenu njenog uticaja na geološke procese u Sibiru.

## Karakteristike bušenja i blokiranja magmatskih kanala u vrijeme planiranog otplinjavanja

Osnovni cilj bušenja bušotina tokom planiranog otplinjavanja biće smanjenje pritiska u sekundarnim magmatskim komorama perjanice, sprječavanje eksplozija magme i organiziranje kontroliranog oslobađanja plina i lave.

U početnoj fazi bušenje će se izvoditi uz učešće operatera, jer na maloj dubini proces predstavlja standardni tehnološki zadatak sa minimalnim rizicima za osoblje. U tu svrhu će se koristiti tradicionalne mašine za bušenje, opremljene sistemima za praćenje temperature i pritiska, što će omogućiti kontrolu procesa i pravovremeno reagiranje na odstupanja od norme.

Prilikom dostizanja kritične dubine i približavanja aktivnim zonama magmatskog sistema, rizik za ljude se značajno povećava. U ovoj fazi rad će morati biti potpuno automatiziran. Koristiće se specijalizirane mašine za bušenje sa automatskom kontrolom. Procesom bušenja će se upravljati daljinski pomoću softvera koji analizira ulazne podatke u realnom vremenu i prilagođava radnju opremu.

Kako bi poboljšali tačnost kontrole, operateri će koristiti tehnologije virtualne stvarnosti koje pružaju detaljnu kontrolu opreme bez da se fizički nalaze u opasnoj zoni. To će smanjiti vjerojatnost nesreća povezanih s ispuštanjem plinova pod visokim pritiskom ili uništavanjem opreme udarnim valom.

Praćenje stanja bušećeg kompleksa i okoliša vršit će se pomoću dronova i robota. Dronovi opremljeni kamerama, termovizirima i senzorima snimat će curenje plina, termalne anomalije i seizmičku aktivnost. Roboti koji rade direktno u

zoni bušenja će prikupljati podatke o temperaturi, pritisku i hemijskom sastavu okoline, prenoseći ih u automatizovane kontrolne centre. Ove tehnologije će minimizirati prisustvo ljudi u područjima visokog rizika i osigurati visok nivo točnosti i sigurnosti.

Nakon što je bušenje završeno, sljedeća faza uključuje kontrolirano otplinjavanje — postepeno oslobađanje pritiska i uklanjanje velikih količina lave. U završnim fazama, nakon značajnog smanjenja volumena magme i plinova, može biti potrebno izvršiti kontroliranu eksploziju kako bi se zatvorili putevi uspona magme. Jedna od predloženih metoda uključuje usmjerenu nuklearnu eksploziju u izbušenoj rupi. Njezina svrha je ublažavanje tektonskih naprezanja i stvaranje stabilnih strukturnih barijera koje blokiraju magmatske kanale.

Ovaj pristup podrazumijeva uništavanje stijena u zonama visokog naprezanja, nakon čega slijedi njihova fuzija i hlađenje pod utjecajem toplinske energije. Ovo će poslužiti za formiranje monolitne barijere koja može u potpunosti ili djelomično blokirati pristup magmi na površinu. Termodinamička sila također može smanjiti tektonski stres, smanjujući vjerovatnoću daljnjih erupcija.

Implementacija nuklearnih eksplozija zahtijeva visok nivo tačnosti u proračunima, uključujući procjenu litostatskog pritiska, tvrdoće i gustoće stijena, kao i karakteristika magmatske taline. Ovi faktori se moraju uzeti u obzir kako bi se postigla maksimalna efikasnost metode i minimizirali mogući rizici.



## **Odabir optimalnog vremena za bušenje bušotina u vrijeme planiranog otplinjavanja**

Trenutno je glavna pažnja naših stručnjaka usredotočena na proučavanje optimalnih vremenskih okvira bušenja za planirano otplinjavanje. Iako je prerano donositi konačne zaključke, preliminarni proračuni već ukazuju na mogućnost tačnog odabira najpovoljnijeg vremena za početak otplinjavanja. Dobiveni rezultati pokazuju da se, ako je vrijeme pravilno odabrano, rizik od mogućih komplikacija može smanjiti za nekoliko puta.

Tokom procesa bušenja neophodno je uzeti u obzir ne samo fizičke i mehaničke karakteristike stijena, uključujući njihovu čvrstoću i lomljivost, već i vremenske parametre povezane s nebeskom mehanikom. Proračuni se moraju zasnivati na analizi položaja Zemlje na ekliptici,

mjesečevoj fazi, lokaciji glavnih planeta kao što je Jupiter i trenutni nivoi sunčeve aktivnosti. Osim toga, važan faktor je praćenje dubokofokusnih zemljotresa u području budućeg bušenja, jer oni mogu značajno povećati lokalnu seizmičku aktivnost.

U ovom trenutku je formirana opća ideja o mehanizmu i ključnim obrascima procesa, ali ti podaci zahtijevaju daljnju višestruku provjeru. Dobijeni rezultati ne samo da moraju biti pažljivo ponovo provjereni od strane našeg naučnog tima, već i potvrđeni nezavisnim studijama i modelima drugih stručnjaka.

## **Scenariji rezultata provedbe planiranog otplinjavanja sibirske perjanice**

Pri provedbi planiranog otplinjavanja sibirske perjanice moguća su tri glavna scenarija, izračunata uzimajući u obzir dvije faze projekta: ranu i kasniju fazu. Pogledajmo ih detaljnije.

### **1. Minimalna šteta za teritoriju Rusije**

U slučaju ako proces otplinjavanja i ispuštanja viška lave iz sekundarnih magmatskih komora modelira međunarodni tim stručnjaka, a proračuni budu pažljivo i precizno obavljani uzimajući u obzir sve geološke karakteristike, obje faze otplinjavanja će se odvijati bez

nezgoda i komplikacija. Tada će se šteta na teritoriji Rusije svesti na minimum: gubitak će iznositi 5 - 7% površine zemlje, u ekstremnim slučajevima do 10% (radijus oštećenja oko 500 - 600 km). U okviru ovog scenarija moguće je osigurati zaštitu velikih gradova Krasnojarskog kraja, a pogibelj ljudi može se izbjeći. Štaviše, pretpostavlja se da bi, ako se događaji razviju povoljno, tok lave mogao biti preusmjeren prema arktičkim morima, što bi Rusiji omogućilo da poveća svoju teritoriju na račun širenja obale.

## **2. Prosječna šteta za teritoriju Rusije**

U okvirima ovog scenarija pretpostavlja se da će rana faza otplinjavanja biti uspješna, ali nepredviđene komplikacije kao što su iznenadna eksplozija plina ili protok lave mogu se pojaviti u kasnijim fazama. Budući da će do tada dio plinova i lave već biti ispušten, posljedice će biti manje destruktivne. Može doći do izlivanja tekuće bazaltne lave, tipično za Island ili Havaje, ili umjereno eksplozivne erupcije. U tom slučaju, mogući gubitak teritorije će se povećati na 25 - 30% (oko 4 - 5 miliona km<sup>2</sup>). Posljedice bi mogle utjecati na gradove u radijusu od 1.000 km od aktivne zone. Međutim, ovaj scenario neće dovesti do globalne civilizacijske katastrofe ili nepovratnog uništenja na teritoriji Rusije. Čovječanstvo će se moći nositi s novim klimatskim i ekološkim izazovima.

## **3. Maksimalna šteta za Rusiju i cijeli svijet**

Ovaj scenario pretpostavlja da će kasna inicijativa ili nedovoljna kvalifikacija specijalista dovesti do ozbiljnih problema. Nedostatak istraživanja, pogrešni proračuni ili bušenje kroz meku ili napuknutu stijenu mogu poremetiti operaciju. Ako se komplikacija dogodi u ranoj fazi otplinjavanja, kada je pritisak u žarištima najveći, to može izazvati jedan od dva katastrofalna ishoda: trenutnu eksploziju čitavog sistema sibirske perjanice ili sporo izlivanje lave velikih razmjera, slično formiranju Sibirskih trapi.

Uprkos potencijalnim rizicima, vjerojatnoća takvog razvoja je izuzetno mala, jer je teško zamisliti realizaciju ovako složenog projekta bez odgovarajuće međunarodne pripreme.

Optimistični i najvjerojatniji scenario uključuje gubitak samo 5 - 7% ruske teritorije uz minimalnu štetu. Čak i u slučaju komplikacija u kasnijim

fazama, šteta se može povećati na 25 - 30%, što ostaje znatno povoljnije od posljedica nedjelovanja. Rizik od ozbiljnijeg uništenja tokom planiranog procesa degazacije za Rusiju ili za cijeli svijet je zanemarljiv.

Realizacija planiranog otplinjavanja će Rusiji pružiti jedinstveno iskustvo u upravljanju globalnim geodinamičkim rizicima, što će ojačati njenu poziciju međunarodnog naučnog i tehnološkog lidera. Uspješna realizacija projekta će pokazati sposobnost zemlje da se nosi sa izazovima planetarnih razmjera, doprinoseći jačanju globalne saradnje u oblasti prevencije prirodnih katastrofa. To će ne samo stabilizirati domaću političku i društvenu situaciju, već će ojačati međunarodnu saradnju u rješavanju globalnih problema.

Kontrolirano otplinjavanje sibirske perjanice moglo bi utjecati ne samo na lokalno područje već i na druge vulkanske sisteme kao što su Yellowstone i stratovulkani širom svijeta. Magmatski rezervoari i njihova dinamika čine jedinstvenu međusobno povezanu globalnu mrežu, koja funkcioniše kao jedinstven geomehanički mehanizam. Kontrolirano smanjenje pritiska jednog segmenta može smanjiti sistem stresa u rezervoarima magme, spriječavajući lančane reakcije i erupcije. Ovo se može smatrati smanjenjem pritiska u automobilskoj gumi: smanjenje pritiska u jednom njenom dijelu omogućava preraspodjelu opterećenja i izbjegavanje pucanja u područjima pod kritičnim opterećenjem. Sličan pristup otplinjavanju mogao bi pomoći stabilizaciji magmatskih sistema na globalnoj razini.

Na takav način, planirano kontrolirano otplinjavanje u svakom slučaju ostaje jedina šansa za spas i Rusije i čitavog čovječanstva, što je neuporedivo isplativije i razumnije od nedjelovanja. Ovaj scenario bi izbjegao globalnu katastrofu i dao čovječanstvu vremena da razvije daljnja rješenja.

Međutim, uprkos značajnim izgledima, uspješna realizacija čak i optimističnog

scenarija bit će izazov impresivnih razmjera. Potrebno je djelovati odmah, jer odlaganje povećava vjerojatnoću katastrofalnih događaja. Iznenadjujuće, realizacija ovakvog projekta može naići na protivljenje unutar Rusije, s obzirom na potencijalne rizike od uništenja infrastrukture i slabljenja kontrole nad strateškim resursima.



## ■ Zaključci

Sibirska perjanica predstavlja globalnu geodinamičku prijetnju uporedivu po obimu s hiljadu katastrofalnih erupcija najvećih supervulkana. Ako dođe do nekontrolirane erupcije, to bi moglo imati posljedice planetarnih razmjera, uključujući početak ledenog doba, uništenje ekosistema, uništenje infrastrukture i gubitak čovječanstva. Ovi rizici diktiraju potrebu preduzimanja preventivnih mjera u vidu planiranog otplinjavanja magmatskog sistema sibirske perjanice.

Nedjelovanje stvara prijetnju spontanim, nekontroliranim erupcijama, čije će posljedice biti katastrofalne ne samo za Rusiju, već i za cijelu planetu. Kontrolirano smanjenje pritiska u komorama magme pomoći će izbjeći najgore scenarije i dati čovječanstvu životno neophodno vrijeme za razvoj dugoročnih rješenja.

Osim toga, integracija tehnologije generatora atmosferske vode u svakodnevnu upotrebu zajedno sa otplinjavanjem sibirske perjanice stvorit će nove mogućnosti za uspostavljanje ekološke ravnoteže. Ovo će pomoći da se okean očisti od plastike, ojača ciklus vode i povрати termalna ravnoteža planete. Sveobuhvatna implementacija ovakvih rješenja može stabilizirati klimatsku situaciju i osigurati

budućnost cijelom čovječanstvu, oslobađajući vrijeme za pronalaženje rješenja za problem vanjskih kozmičkih utjecaja koji izazivaju katastrofalne događaje tokom 12.000-godišnjeg ciklusa.

Ovi zadaci zahtijevaju hitnu međunarodnu saradnju između naučnika iz različitih disciplina, uključujući kvantne fizičare, za razvitak i realizaciju sveobuhvatnih rješenja. Međutim, geopolitički i vojni sukobi ometaju takvu saradnju. Ono što je potrebno je globalni moratorij na ratove i preusmjeravanje vojnih resursa na ublažavanje katastrofa i humanitarne napore. Čovječanstvu je ostalo svega 4 - 6 godina relativno stabilnog vremena da preduzme potrebne mjere.

Ako se stvore uslovi za otvorenu saradnju, tada naučnici neće krenuti od nule, jer već postoje stvarni razvoji i razumijevanje uzročno-posljedičnih veza u tom pravcu. Neuspjeh čovječanstva da postavi prioritet globalnom jedinstvu i naučnoj saradnji imat će nepovratne posljedice po život na Zemlji.

## ■ Prilog 1

Metodologija analize seizmičke aktivnosti uključivala je preuzimanje i posebnu obradu podataka dobijenih sa web stranice Međunarodnog seizmološkog centra (International Seismological Centre — ISC). Budući da podaci sadrže različite izvore iz različitih zemalja i istraživačkih instituta, kao i različite tipove magnituda (Mw, Ms, Mb, ML, MD, itd.), izvršen je određeni algoritam obrade podataka kako bi se odabrala odgovarajuća vrsta magnitude iz različitih izvora. Koristili smo dva različita pristupa:

1. U tekstu nazvani **specijalni algoritam srednjih vrijednosti magnitude**. Metoda uključuje odabir željene procjene veličine i uključivanje događaja u uzorak ako je željena procjena unutar traženog raspona magnitude. Odabiremo željenu procjenu magnitude pretragom među procjenama za sljedeće tipove magnitude (po redosljedu): Mw, ML, MS, Mb, MD, MV.

Ako postoji uzorak magnituda za jedan događaj za preferirani tip, tada se uzimaju sve procjene magnitude odabranog tipa za taj događaj za izračunavanje medijane.

Tada se za njih nađe medijana. Ako ne postoji procjena bilo kojeg od gore navedenih preferiranih tipova za dati događaj (što je rijetko, samo nekoliko posto događaja u cijeloj bazi podataka), tada se odabire bilo koja procjena veličine sa vrijednošću koja odgovara medijani

izračunatoj iz svih tipova magnitude za taj događaj.

2. U tekstu nazvani **algoritam maksimalnih vrijednosti magnitude**. Odabire se procjena magnitude s najvećom vrijednošću među svim procjenama magnitude za dati događaj.

Prvi algoritam u prosjeku rezultira malim smanjenjem magnitude u odnosu na maksimalnu prenesenu vrijednost, ali iskustvo je pokazalo da algoritam medijane daje adekvatno ponašanje Gutenberg-Richterovog zakona i drugih zakonitosti i prilično se slaže s podacima iz drugih seizmoloških baza podataka, kao što su US Geological Survey (USGS) i Joint Research Institutes for Seismology (IRIS).

Drugi algoritam omogućava procjenu broja zemljotresa registriranih od strane bilo kojeg istraživačkog instituta čija je vrijednost veća od odabrane. Ova analiza nam omogućava da vidimo trend u broju zemljotresa u odabranom opsegu magnitude.

**Svi grafovi predstavljeni u odjeljku “Porast seizmičke aktivnosti kao znak destabilizacije ploča zbog aktivnosti sibirske magmatske perjanice”, konstruirani su korištenjem prvog algoritma — posebnog algoritma za srednje vrijednosti magnitude (Sl. 44–75).**

Nakon odabira magnitude, dobijeni podaci su filtrirani prema tipovima događaja u ISC bazi podataka kako bi se isključili događaji uzrokovani ljudskom aktivnošću tokom rudarskih operacija: eksplozije, moguće eksplozije, pucanje stijena, itd. Isključeni su sljedeći tipovi događaja:

km = known mine explosion — poznata minska eksplozija

sm = suspected mine explosion — pretpostavljena minska eksplozija

kh = known chemical explosion (Not standard IMS) — poznata hemijska eksplozija (nestandardni IMS)

sh = suspected chemical explosion (Not standard IMS) — pretpostavljena hemijska eksplozija (nestandardni IMS)

kx = known experimental explosion — poznata eksperimentalna eksplozija

sx = suspected experimental explosion — sumnjiva eksperimentalna eksplozija

kn = known nuclear explosion — poznata nuklearna eksplozija

sn = suspected nuclear explosion — sumnjiva nuklearna eksplozija

Takođe, s obzirom da na teritoriji Rusije postoji mnogo rudarskih preduzeća, baza podataka ISC je upoređena sa podacima Jedinствене геοфизичке службе Руске академije наука за januar 2025. године, који указују на све познате експлозије и пуцање стјена у Русији. Ови догађаји су такође искључени како би се осигурало да ниједан догађај који је у складу с експлозијамa не остане у резултирајућим подацима.

## Spisak literature

Arushanov, M. L. (2023). Climate dynamics: Space factors. LAMBERT Academic Publishing.

Arushanov, M. L. (2023). Causes of Earth's climate change as a result of cosmic impact, dispelling the myth of anthropogenic global warming. *Deutsche Internationale Zeitschrift Für Zeitgenössische Wissenschaft*, 53, 4-14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7795979>

Barkin, Y.V. and Lyubushin, A.A. (2007) 'Movement of the Earth's geocenter and its geodynamic content', in Sagitov Readings 2007, Moscow State University, Moscow, 31 January-1 February [Online]. Available at: [http://Infm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/chteniya/sagi2007/SAGITOV\\_BARKIN\\_2007.pdf](http://Infm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/chteniya/sagi2007/SAGITOV_BARKIN_2007.pdf)

Barkin, Yu. V. (2009). Cyclic inversion changes of climate in the Northern and Southern hemispheres of the Earth. In *Geology of Seas and Oceans: Proceedings of the XVIII International Scientific Conference on Marine Geology* (Vol. 3, pp. 4-8). GEOS.

Barkin, Yu. V. (2011). Synchronous jumps in activity of natural planetary processes in 1997-1998 and their unified mechanism. In *Geology of Seas and Oceans: Proceedings of the XIX International Scientific Conference on Marine Geology* (Vol. 5, pp. 28-32). GEOS.

Barkin, Yu. V., & Smolkov, G. Ya. (2013). Abrupt changes in trends of geodynamic and geophysical phenomena in 1997-1998. In *Proceedings of the All-Russian Conference on Solar-Terrestrial Physics* (pp. 16-21). Irkutsk.

Barkin, Yu. V. (2014, September 16). Geofizicheskie sledstviya otnositel'nykh smeshcheniy i kolebaniy yadra i mantii Zemli [Geophysical consequences of relative displacements and oscillations of the Earth's core and mantle]. Institute of Physics of the Earth, Moscow.

Beerling, D.J., Harfoot, M., Lomax, B. & Pyle, J.A., 2007. The stability of the stratospheric ozone layer during the end-Permian eruption of the Siberian Traps. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 365, pp.1843–1866. Available at: <http://doi.org/10.1098/rsta.2007.2046>

Black, B.A., Elkins-Tanton, L.T., Rowe, M.C., Ukstins Peate, I., 2012. Magnitude and consequences of volatile release from the Siberian Traps. *Earth and Planetary Science Letters*, 317–318, pp.363–373. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.12.001>

Black, B., Mittal, T., Lingo, F., Walowski, K., & Hernandez, A. (2021). Assessing the Environmental Consequences of the Generation and Alteration of Mafic Volcaniclastic Deposits During Large Igneous Province Emplacement. In R. E. Ernst, A. J. Dickson, & A. Bekker (Eds.), *Geophysical Monograph Series* (pp. 117-131). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119507444.ch5>

Bogoyavlensky, V.I., Nikonov, R.A. & Bogoyavlensky, I.V., 2023. New data on intensive Earth degassing in the Arctic in the north of Western Siberia: thermokarst lakes with gas blowout craters and mud volcanoes. *AEE*, 13, pp.353–368. Available at: <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-3-353-368>

Bogoyavlensky, V.I., 2023. New data on mud volcanism in the Arctic on the Yamal Peninsula. *Doklady Rossiyskoy Akademii Nauk. Nauki o Zemle*, 512, pp.92–99. Available at: <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>

Brown, S. K., Croswell, H. S., Sparks, R. S. J., Cottrell, E., Deligne, N. I., Guerrero, N. O., ... & Takarada, S. (2014). Characterisation of the Quaternary eruption record: analysis of the Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions (LaMEVE) database. *Journal of Applied Volcanology*, 3(5). <https://doi.org/10.1186/2191-5040-3-5>

Bryson, R. A. (1989). Late quaternary volcanic modulation of Milankovitch climate forcing. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 115-125. <https://doi.org/10.1007/bf00868307>



Campbell I.H, Czamanske G.K, Fedorenko V.A, Hill R.I& Stepanov V. 1992 Synchronism of the Siberian Traps and the Permian–Triassic boundary. *Science*. 258, 1760–1763.doi:10.1126/science.258.5089.1760.

Cassidy, M., Sandberg, A., & Mani, L. (2023). The Ethics of Volcano Geoengineering. *Earth's Future*, 11(10), e2023EF003714. <https://doi.org/10.1029/2023EF003714>

Castro, J., & Dingwell, D. (2009). Rapid ascent of rhyolitic magma at Chaitén volcano, Chile. *Nature*, 461, 780-783. <https://doi.org/10.1038/nature08458>

Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., & Mann, M. E. (2020). Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37, 137–142. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>

Ciavarella, A., Cotterill, D., Stott, P., et al. (2021). Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence. *Climatic Change*, 166, 9. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03052-w>

Nikiforova, M. P., Vargin, P. N., Zvyagintsev, A. M., Ivanova, N. S., Kuznetsova, I. N., & Luk'yanov, A. N. (2016). Ozone mini-hole over the Northern Urals and Siberia. *Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation*, 360, 168–180. In *Proc. of the Hydrometeorological Conf.*, February 9–10, Vol. 4, 91–96. Voronezh: Nauchno-Issledovatel'skie Publikatsii.

Cox, C., & Chao, B. F. (2002). Detection of a large-scale mass redistribution in the terrestrial system since 1998. *Science*, 297(5582), 831–833. <https://doi.org/10.1126/science.1072188>

Davydova, V.O., Shcherbakov, V.D., Plechov, P.Yu., Koulakov, I.Yu., 2022. Petrological evidence of rapid evolution of the magma plumbing system of Bezymianny volcano in Kamchatka before the December 20th, 2017 eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 421, 107422. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107422>

D'Auria, L., Koulakov, I., Prudencio, J., et al. (2022). Rapid magma ascent beneath La Palma revealed by seismic tomography. *Scientific Reports*, 12, 17654. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21818-9>

Dannberg, J., & Sobolev, S. (2015). Low-buoyancy thermochemical plumes resolve controversy of classical mantle plume concept. *Nature Communications*, 6, 6960. <https://doi.org/10.1038/ncomms7960>

Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L., & Bauer Gottwein, P. (2021). Polar Drift in the 1990s Explained by Terrestrial Water Storage Changes. *Geophysical Research Letters*, 48(7). <https://doi.org/10.1029/2020gl092114>

Dobretsov, N.L., Kirdyashkin, A.G. & Kirdyashkin, A.A., 2001. *Deep Geodynamics*. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, GEO Branch, 408 p.

Dou, H., Xu, Y., Lebedev, S., Chagas de Melo, B., van der Hilst, R. D., Wang, B., & Wang, W. (2024). The upper mantle beneath Asia from seismic tomography, with inferences for the mechanisms of tectonics, seismicity, and magmatism. *Earth-Science Reviews*, 247, 104595. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104595>

Dyachenko, A. I. (2003). *Earth's magnetic poles*. MCCME.

Elkins-Tanton, L. T., Grasby, S. E., Black, B. A., Veselovskiy, R. V., Ardakani, O. H., & Goodarzi, F. (2020). Field evidence for coal combustion links the 252 Ma Siberian Traps with global carbon disruption. *Geology*, 48(10), 986-991. <https://doi.org/10.1130/G47365.1>

Ernst, R. E., & Buchan, K. L. (2002). Maximum size and distribution in time and space of mantle plumes: evidence from large igneous provinces. *Journal of Geodynamics*, 34, 309-342.

Federal Research Center, Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, n.d. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/contents.html>

Fedorenko, V. A., Lightfoot, P. C., Naldrett, A. J., Czamanske, G. K., Hawkesworth, C. J., Wooden, J. L., & Ebel, D. S. (1996). Petrogenesis of the Flood-Basalt Sequence at Noril'sk, North Central Siberia. *International Geology Review*, 38(2), 99-135. <https://doi.org/10.1080/00206819709465327>

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Halldórsson, S. A., Marshall, E. W., Caracciolo, A., et al. (2022). Rapid shifting of a deep magmatic source at Fagradalsfjall volcano, Iceland. *Nature*, 609, 529-534. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04981-x>

Hantemirov, R. M., Corona, C., Guillet, S., et al. (2022). Current Siberian heating is unprecedented during the past seven millennia. *Nature Communications*, 13, 4968. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32629-x>

Holzworth, R.H., Brundell, J.B., McCarthy, M.P., Jacobson, A.R., Rodger, C.J. & Anderson, T.S., 2021. Lightning in the Arctic. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091366. Available at: <https://doi.org/10.1029/2020GL091366>

International Committee GCGE GEOCHANGE. (2010). *Global environmental changes: Threat to civilization development (Vol. 1)*. London: GCGE. ISSN 2218-5798

Ivanov, A.V., He, H., Yan, L., Ryabov, V.V., Shevko, A.Y., Palesskii, S.V., Nikolaeva, I.V., 2013. Siberian Traps large igneous province: Evidence for two flood basalt pulses around the Permo-Triassic boundary and in the Middle Triassic, and contemporaneous granitic magmatism. *Earth-Science Reviews*, 122, pp.58–76. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.001>

Khain V.E *Geology of the USSR, Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde*. 1985 Berlin-Stuttgart, Germany:Gebrüder Bornträger.

Kirdyashkin, A.A. & Kirdyashkin, A.G., 2013. Interaction of a Thermochemical Plume with Mantle Free-Convective Flows and Its Influence on Mantle Melting and Recrystallization. *Geology and Geophysics*, 54(5), pp.707–721

Kiyosugi, K., Loughlin, S. C., Siebert, L., & Takarada, S. (2014). Characterisation of the Quaternary eruption record: analysis of the Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions (LaMEVE) database. *Journal of Applied Volcanology*, 3(5). <https://doi.org/10.1186/2191-5040-3-5>

Konstantinov, K. M., Bazhenov, M. L., Fetisova, A. M., & Khutorskoy, M. D. (2014). Paleomagnetism of trap intrusions, East Siberia: Implications to flood basalt emplacement and the Permo–Triassic crisis of biosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, 394, 242-253. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.03.029>

Koptev, A., & Cloetingh, S. (2024). Role of Large Igneous Provinces in continental break-up varying from “Shirker” to “Producer.” *Communications Earth & Environment*, 5, 27. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01191-9>

Koulakov, I. Y. (2008). Upper mantle structure beneath Southern Siberia and Mongolia from regional seismic tomography. *Russian Geology and Geophysics*, 49(3), 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.06.012>

Larson, R.L. & Olson, P., 1991. Mantle plumes control magnetic reversal frequency. *Earth and Planetary Science Letters*, 107(3–4), pp.437–447. Available at: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90091-U](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90091-U)

Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J., & Weng, A. (2023). Remnant of the late Permian superplume that generated the Siberian Traps inferred from geomagnetic data. *Nature Communications*, 14, 1311. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37053-3>

Livermore, P. W., Hollerbach, R., & Finlay, C. C. (2017). An accelerating high-latitude jet in Earth's core. *Nature Geoscience*, 10, 62–68. <https://doi.org/10.1038/ngeo2859>

Lvova, E. V. (2010). *Tectonics of mantle plumes: Evolution of basic concepts*. Moscow University Geology Bulletin, 5, 21-29.

- Mazaud, A. & Laj, C., 1991. The 15 m.y. geomagnetic reversal periodicity: a quantitative test. *Earth and Planetary Science Letters*, 107(3–4), pp.689–696. Available at: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90111-T](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90111-T)
- Mikhailova, R. S. (2014). Strong earthquakes in the mantle and their influence in the near and far zone. *Geophysical Survey RAS*. <http://www.emsd.ru/conf2013lib/pdf/seism/Mihaylova.pdf>
- Mikhailova, R. S., Ulubieva, T. R., & Petrova, N. V. (2021). The Hindu Kush earthquake of October 26, 2015 with Mw=7.5, 10<sup>7</sup>: Previous seismicity and aftershock sequence. *Earthquakes in Northern Eurasia*, 24(2015), 324-339. <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.31>
- Nikiforova, M.P., 2017. Extremely low total ozone values over the northern Ural and Siberia in the end of January 2016. AOO. Available at: doi:10.15372/AOO20170102
- Ostle, C., Thompson, R. C., Broughton, D., Gregory, L., Wootton, M., & Johns, D. G. (2019). The rise in ocean plastics evidenced from a 60-year time series. *Nature Communications*, 10(1622). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09506-1>
- Popykina, A., Ilin, N., Shatalina, M., Price, C., Sarafanov, F., Terentev, A., & Kurkin, A. (2024). Thunderstorms near the North Pole. *Atmosphere*, 15(3), 310. <https://doi.org/10.3390/atmos15030310>
- Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment*, 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- Roger L. Larson, Peter Olson, Mantle plumes control magnetic reversal frequency, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 107, Issues 3–4, 1991, Pages 437-447, ISSN 0012-821X, [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90091-U](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90091-U)
- Romagnoli, C., Zerbini, S., Lago, L., Richter, B., Simon, D., Domenichini, F., Elmi, C., & Ghirotti, M. (2003). Influence of soil consolidation and thermal expansion effects on height and gravity variations. *Journal of Geodynamics*, 35(4-5), 521-539. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(03\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(03)00012-7)
- Roshydromet. (2022). Report on climate features in the Russian Federation for 2021. Moscow: Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.
- Roshydromet. (2024). Report on climate features in the Russian Federation for 2023. Moscow: Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.
- Samenow, J. (2019, August 12). Lightning struck near the North Pole 48 times on Saturday, as rapid Arctic warming continues. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/weather/2019/08/12/lightning-struck-within-miles-north-pole-saturday-rapid-arctic-warming-continues/>
- Sawyer, D. E., Urgeles, R., & Lo Iacono, C. (2023). 50,000 yr of recurrent volcanoclastic megabed deposition in the Marsili Basin, Tyrrhenian Sea. *Geology*, 51(11), 1001-1006. <https://doi.org/10.1130/G51198.1>
- Sherstyukov, B. G. (2023). Global warming and its possible causes. *Journal of Hydrometeorology and Ecology*, 70, 7-37. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>
- Smirnov, S. Z., et al. (2021). High explosivity of the June 21, 2019 eruption of Raikoke volcano (Central Kuril Islands): Mineralogical and petrological constraints on the pyroclastic materials. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 418, 107346. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107346>
- Smolkov, G. Ya. (2018). Exposure of the solar system and the earth to external influences. *Physics & Astronomy International Journal*, 2(4), 310-321. <https://doi.org/10.15406/paij.2018.02.00104>
- Smolkov, G. Y. (2020). Heliogeophysical research. *Heliogeophysical Research*, 25, 14-29. <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=569>

Sobolev, S. V., Sobolev, A. V., Kuzmin, D. V., Krivolutskaya, N. A., Petrunin, A. G., Arndt, N. T., Radko, V. A., & Vasiliev, Y. R. (2011). Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes. *Nature*, 477, 312-316.

Sobolev, S.V., Sobolev, A.V., Kuzmin, D.V., Krivolutskaya, N.A., Petrunin, A.G., Arndt, N.T., Radko, V.A. & Vasiliev, Y.R., 2011. Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes. *Nature*, 477, pp.312–316. Available at: DOI: 10.1038/nature10385

Swallow, E. J., Wilson, C. J. N., Charlier, B. L. A., & Gamble, J. A. (2019). The Huckleberry Ridge Tuff, Yellowstone: evacuation of multiple magmatic systems in a complex episodic eruption. *Journal of Petrology*, 60, 1371-1426. <https://doi.org/10.1093/petrology/egz034>

Syvorotkin, V.L., 2018. Deep degassing in polar regions of the planet and climate change. APOG. Available at: doi:10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art48

TASS. (2024, January). Russia's territory is warming 2.5 times faster than the rest of the planet. TASS News Agency. <https://tass.ru/obschestvo/16009287>

USDP project. (n.d.). In Earthquake Research Institute, The University of Tokyo. Retrieved December 31, 2024, from <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/Yoran2003/sec4-5-eng.htm#:~:text=USDP%20consists%20of%20two%20phases%20>

Viterito, A. (2022). 1995: An important inflection point in recent geophysical history. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 29(5). <https://doi.org/10.19080/ijesnr.2022.29.556271>

Volcanic fluid research center. (n.d.). Understanding of the conduit system at Unzen Volcano. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo. Retrieved December 31, 2024, from <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/VRC/vrc/usdp/conduit.html>

Watts, J.D., Potter, S., Rogers, B.M., Virkkala, A.-M., Fiske, G., Arndt, K.A., et al., 2025. Regional hotspots of change in northern high latitudes informed by observations from space. *Geophysical Research Letters*, 52, e2023GL108081. Available at: <https://doi.org/10.1029/2023GL108081>

Why the Tongan eruption will go down in the history of volcanology. (2022). *Nature*, 602, 376-378. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00394-y>

Witze, A. (2017). Earth's lost history of planet-altering eruptions revealed. *Nature*, 543, 295-296. <https://doi.org/10.1038/543295a>

Xia, Y. et al., 2021. Significant contribution of severe ozone loss to the Siberian-Arctic surface warming in spring 2020. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL092509. Available at: <https://doi.org/10.1029/2021GL092509>

Zonenshain, L.P. & Kuzmin, M.I., 1993. Deep Geodynamics of the Earth. *Geology and Geophysics*, 34(4), pp.3–13.

Zonenshain, L.P., Kuzmin, M.I. \*Deep Geodynamics of the Earth\* // \*Geology and Geophysics\*, 1993, Vol. 34 (4), pp. 3–13.

Zotov, L. V., Barkin, Yu. V., & Lyubushin, A. A. (2009). Geocenter motion and its geodynamics. In Proceedings of the Conference “Space Geodynamics and Modeling of Global Geodynamic Processes” (pp. 98-101). Siberian Branch of RAS.