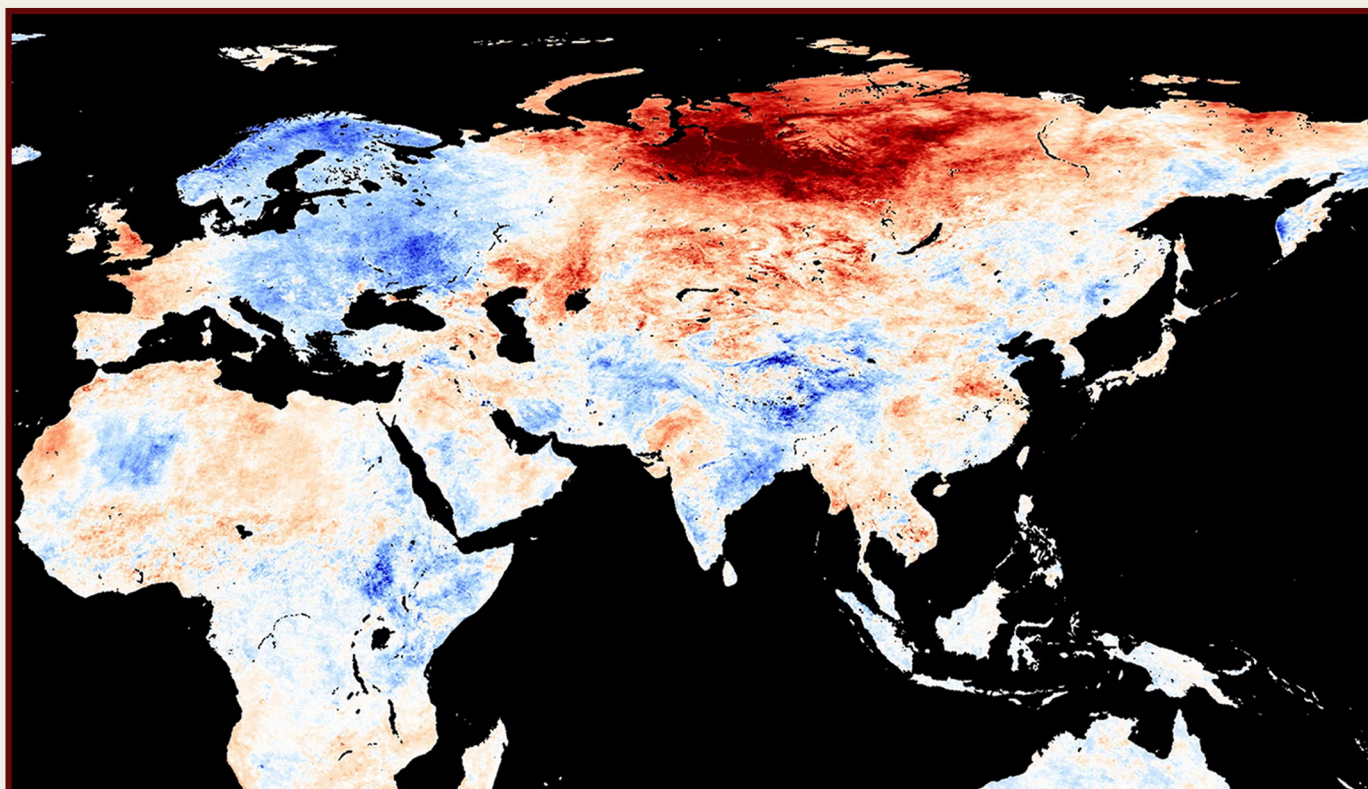


# O HROZBĚ PRŮLOMU

## MAGMATICKÉHO CHOCHOLU NA SIBIŘI

### A ZPŮSOBECH ŘEŠENÍ TOHOTO PROBLÉMU



# **O HROZBĚ PRŮLOMU**

**MAGMATICKÉHO CHOCHOLU NA SIBIŘI  
A ZPŮSOBECH ŘEŠENÍ TOHOTO PROBLÉMU**



# OBSAH

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Stručný popis geodynamického modelu změny klimatu na Zemi v aktuálním časovém období .....                                | 4   |
| Posun jádra směrem k Sibiři v roce 1998 .....                                                                             | 16  |
| Sibiř a sibiřská Arktida se oteplují 3-4krát rychleji než zbytek světa .....                                              | 21  |
| Nepřímé známky vzestupu sibiřského chocholu .....                                                                         | 25  |
| Tání permafrostu .....                                                                                                    | 27  |
| Projevy bahenního vulkanismu .....                                                                                        | 29  |
| Ohřev půdy .....                                                                                                          | 31  |
| Teplota přízemního vzduchu .....                                                                                          | 32  |
| Nárůst počtu blesků .....                                                                                                 | 34  |
| Úbytek ozonové vrstvy .....                                                                                               | 36  |
| Struktura, možná velikost a lokalizace magmatického chocholu na základě publikovaných a pozorovaných údajů .....          | 38  |
| Lokalizace magmatického chocholu .....                                                                                    | 44  |
| Nárůst seismické aktivity jako známka destabilizace tektonických desek .....                                              | 48  |
| Zdůvodnění nevyhnutelnosti erupce sibiřského chocholu .....                                                               | 72  |
| Scénář 1. Okamžitá erupce sibiřského chocholu .....                                                                       | 73  |
| Aktivace supervulkánů a vulkanických systémů .....                                                                        | 80  |
| Kyselý dešť .....                                                                                                         | 82  |
| Sopečná zima .....                                                                                                        | 83  |
| Scénář 2. Postupná erupce sibiřského chocholu .....                                                                       | 85  |
| Důsledky postupného průlomu sibiřského chocholu pro Rusko .....                                                           | 90  |
| Důsledky postupného průlomu sibiřského chocholu pro celý svět .....                                                       | 91  |
| Dlouhodobé důsledky postupného průlomu sibiřského chocholu pro planetu .....                                              | 92  |
| Scénář 3. Plánovaná řízená degazace .....                                                                                 | 93  |
| Stávající metody vulkanického geoinženýrství .....                                                                        | 93  |
| Příklad programu plánované degazace sibiřského chocholu .....                                                             | 100 |
| Zdůvodnění volby umístění vědecko-výzkumných vrtů pro sledování dynamiky současného magmatického chocholu na Sibiři ..... | 102 |
| Charakteristiky vrtání a blokování magmatických kanálů při plánované degazaci .....                                       | 105 |
| Volba optimální doby vrtání vrtů během plánovaných degazačních operací .....                                              | 106 |
| Předpokládané výsledky plánované degazace sibiřského chocholu .....                                                       | 106 |
| Závěry .....                                                                                                              | 109 |
| Příloha 1 .....                                                                                                           | 110 |
| Odkazy .....                                                                                                              | 112 |

# Stručný popis geodynamického modelu klimatických změn na Zemi v aktuálním období

V posledních 30 letech zažívá Země bezprecedentní a synchronní nárůst klimatických změn, anomálií a extrémních jevů ve všech vrstvách planety a jejích geofyzikálních parametrech. Postup těchto změn se exponenciálně zrychluje. Komplexní analýza vědeckých dat ukazuje, že hlavními příčinami růstu anomálií ve všech zemských vrstvách jsou astronomické cykly, které se v celé Sluneční soustavě odehrávají každých 12 000 let.

Hypotézu o vnějším astronomickém vlivu potvrzuje pozorování podobných klimatických, geodynamických a magnetických anomálií na jiných planetách Sluneční soustavy a jejich satelitech, které se v současném období objevují synchronně se změnami na Zemi. Například na Uranu, Jupiteru a Venuši je zaznamenán nárůst rychlosti větru a velikosti hurikánů. Na Marsu je

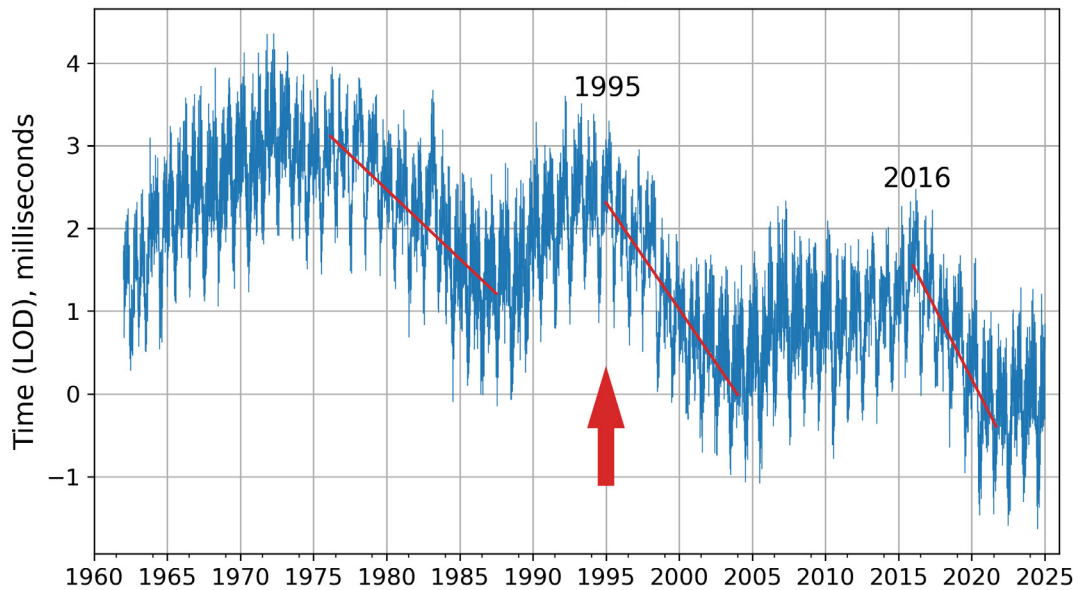
současně pozorováno tání ledových čepiček na pólech a na Venuši a Marsu pokračuje nárůst sopečné činnosti. Kromě toho se na Marsu zvyšuje seismická aktivita, což naznačuje výskyt anomální geodynamické aktivity.

Kritické změny v zemském systému v důsledku astronomické cykličnosti 12 000 let v současném cyklu začaly v roce 1995, kdy byly zaznamenány významné geofyzikální anomálie, včetně prudkého zrychlení rotace Země (obr. 1), a posunu její osy<sup>1</sup> (obr. 2), počátku prudkého driftu severního magnetického pólu<sup>2</sup> (obr. 3). Tyto změny naznačují významné změny v zemském jádru.

<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.

### Odchylka v délce dne



**Obr. 1**

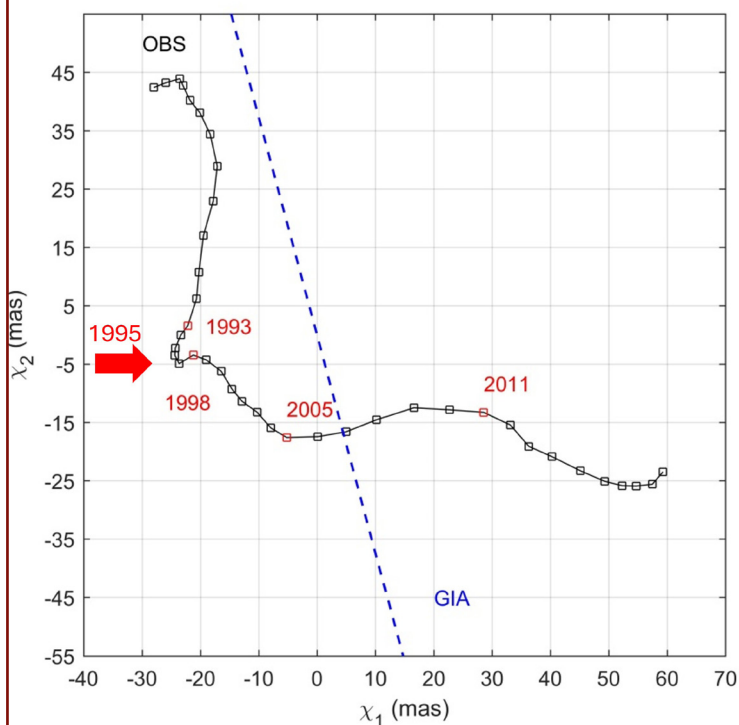
**Odchylka délky dne v milisekundách pro období 1962-2023.**

Zdroj dat: Centrum orientace Země v Pařížské observatoři (IERS Earth Orientation Centre of the Paris Observatory).

Délka dne – parametry orientace Země:

[https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOPC04\\_14\\_62-NOW\\_IAU1980-LOD&id=223](https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOPC04_14_62-NOW_IAU1980-LOD&id=223)

Červené čáry na obrázku jsou trendové čáry, které ukazují, jak rychle se den zkracuje. Například čára vlevo je mírnější, zatímco čára vpravo, čára zrychlení od roku 2016, je již téměř svislá, což znamená, že den se zkracuje mnohonásobně rychleji, což znamená, že planeta rotuje rychleji.



**Obr. 2**

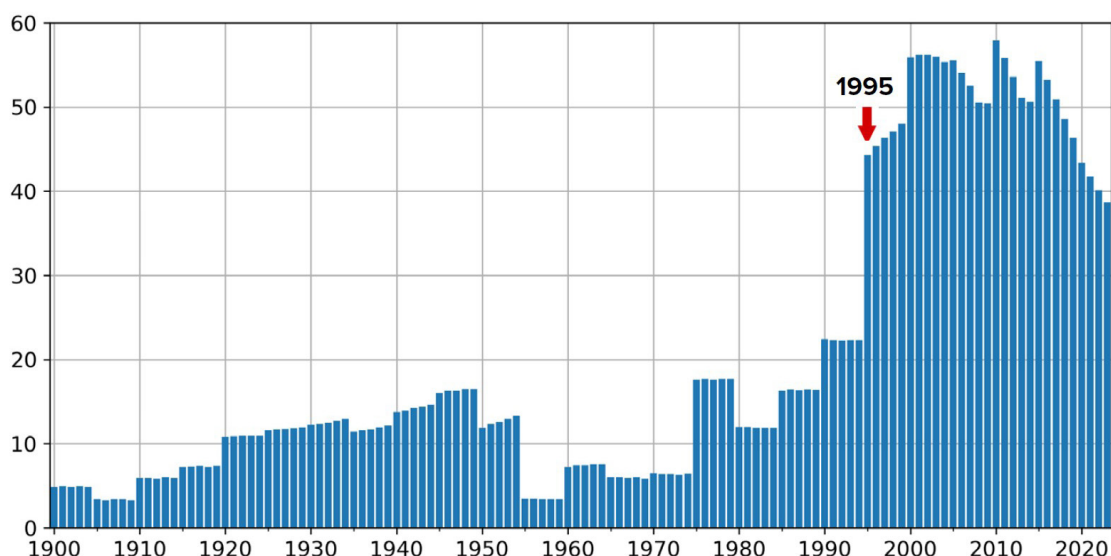
**Dlouhodobá trajektorie pozorované excitace po odstranění ročních a chandlerových cyklů metodou klouzavých průměrů (černá čára se čtverečky) a směr polárního driftu v důsledku GIA (modrá přerušovaná čára).**

Velikost intervalu pro výpočet klouzavého průměru byla stanovena na 84 měsíců, což je nejmenší společný násobek 12 měsíců (roční cyklus) a 14 měsíců (Chandlerův cyklus), jak uvádí studie Liu et al. (2017).

Zdroj:

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>

### Rychlost pohybu severního magnetického pólu



**Obr. 3**

**Rychlost pohybu severního magnetického pólu (km/rok)**

Zdroj: Údaje NOAA o poloze severního magnetického pólu

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

Podle této hypotézy se Sluneční soustava v tomto okamžiku začala dostávat do zóny, v níž vnější kosmický vliv začal významně působit na planety, konkrétně na jejich jádra. Změny, ke kterým došlo v zemském jádru v roce 1995, naznačují nárůst zahřívání vnějšího jádra, z čehož se dá usuzovat, že do zemského jádra začala proudit dodatečná energie. Takové hluboké změny v zemském jádru vyžadují energetické vstupy kvadrilionkrát větší než veškerá energie, kterou kdy lidská civilizace vyprodukovala během své existence.

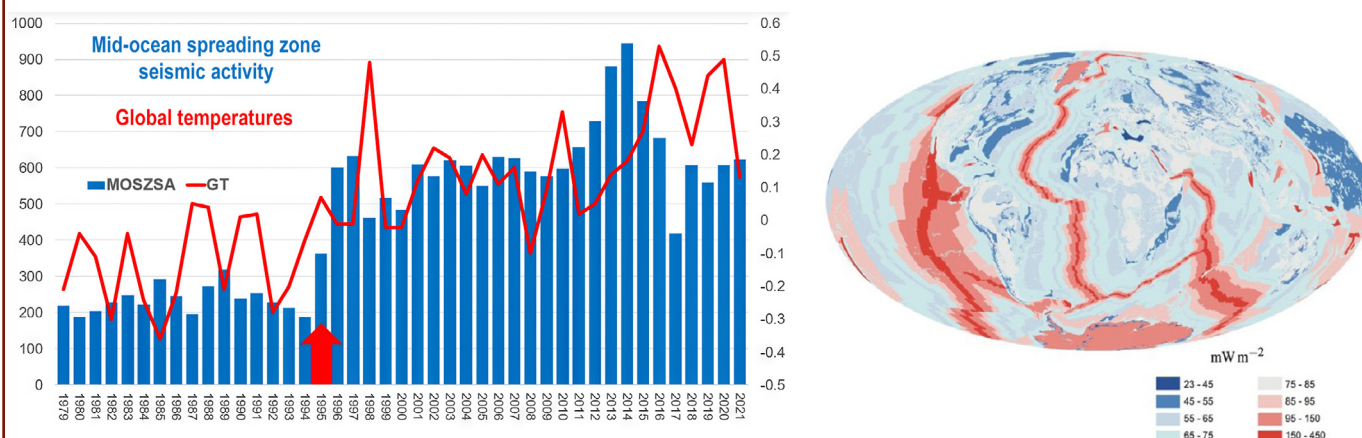
Působení vnějšího vlivu na zemské jádro vedlo k aktivaci procesů spojených s tavením pláště a výstupem magmatu k povrchu, což vyvolalo řetězovou reakci seismické a vulkanické aktivity a přispělo ke zvýšenému ohřevu z nitra a k nárůstu

klimatických katastrof po celém světě.

Tak například od roku 1995 dochází k výraznému nárůstu seismické aktivity, který se projevuje zvýšením frekvence, magnituda a energie zemětřesení. Tento trend je pozorován jak na kontinentech, tak na oceánském dně (obr. 4) a zahrnuje regiony, které dříve nevykazovaly seismickou aktivitu, což ukazuje na globální charakter těchto změn.

Je důležité si uvědomit, že nárůst počtu zemětřesení s magnitudem 5,0 a vyšším není způsoben zdokonalením technologií seismického monitorování (obr. 5), ale odráží skutečné změny v geodynamickém systému Země. Souhrnné údaje Mezinárodního seismologického střediska potvrzují, že počet zemětřesení se za posledních 25 let výrazně zvýšil a nadále roste (obr. 6).

## Nárůst počtu zemětřesení na dně oceánu podél středooceánských hřbetů



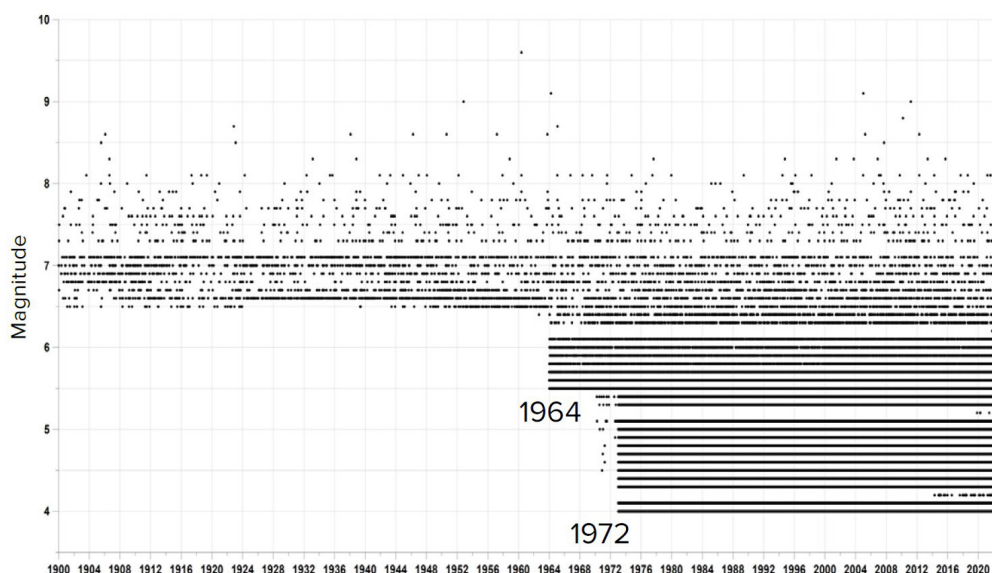
### Obr. 4

**Současný nárůst počtu zemětřesení na dně oceánu a globální teploty atmosféry (vlevo). Geotermální ohřev středooceánských hřbetů (vpravo), Davies & Davies, 2010.**

Zdroj: Davies & Davies, 2010; 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>

Diagram ilustruje prudký nárůst počtu zemětřesení v roce 1995 na dně oceánu podél středooceánských hřbetů a úzkou korelaci seismicity dna oceánu s teplotami atmosféry, což ukazuje na dodatečný hlubinný zdroj ohřevu jak oceánu, tak i atmosféry.

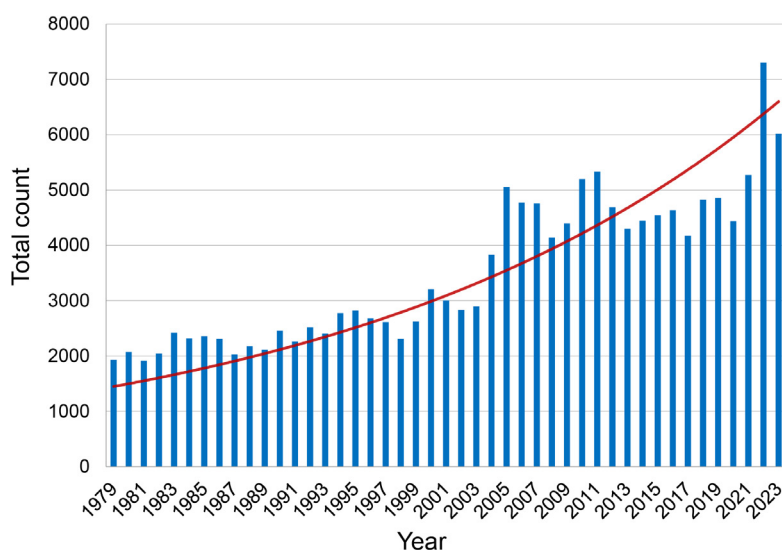


### Obr. 5

**V grafu jsou černými tečkami znázorněna zemětřesení různé síly v jednotlivých letech.**

Do roku 1964 byla zaznamenána pouze zemětřesení s magnitudem od 6,5 a vyšším. Od roku 1964 (s instalací citlivějších snímačů) – od 5,5 a výše. Od roku 1972 – od 4.0 a výše, bez ohledu na umístění.

### Zemětřesení M5+, 1979 - 2023, ISC



**Obr. 6**

**Zemětřesení s magnitudem 5,0 a vyšším v letech 1979 až 2023 podle databáze ISC.**

Data byla vybrána pomocí algoritmu maximálních hodnot magnitudy obsažených v databázi ISC pro každou událost (viz příloha 1).

Kromě toho je pozorován nárůst seismické aktivity v blízkosti sopek, včetně supervulkánů, jako jsou Yellowstone v USA, Campi Flegrei v Itálii, Taupo na Novém Zélandu a dalších sopkách, které vybuchovaly v minulých cyklech před 12 000 lety. Rovněž roste celkový počet dní sopečných erupcí, což je doprovázeno anomálními erupcemi, při nichž je vyvrhovaná láva přehřátá a má netypické složení, které je charakteristické pro magma z hlubších vrstev pláště<sup>3,4,5,6,7</sup>.

Za zmínku stojí zejména nárůst počtu zemětřesení s hlubokým ohniskem, ke kterým dochází v hloubkách větších než 300 km, někdy dosahujících až 750 km pod zemským povrchem.

K těmto jevům nedochází v zemské kůře, ale v plášti, kde se plášťový materiál obvykle spíše plasticky deformuje, než aby se lámal, což činí charakter těchto zemětřesení neobvyklým.

Protože k těmto zemětřesením dochází za podmínek extrémního tlaku a vysokých teplot, lze usoudit, že tyto silné exploze jsou energeticky srovnatelné se současným výbuchem mnoha atomových bomb uvnitř zemského pláště. Zemětřesení s hlubokým ohniskem navíc často vyvolávají silná zemětřesení v zemské kůře a zvyšují tak jejich ničivý dopad<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>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>

<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>

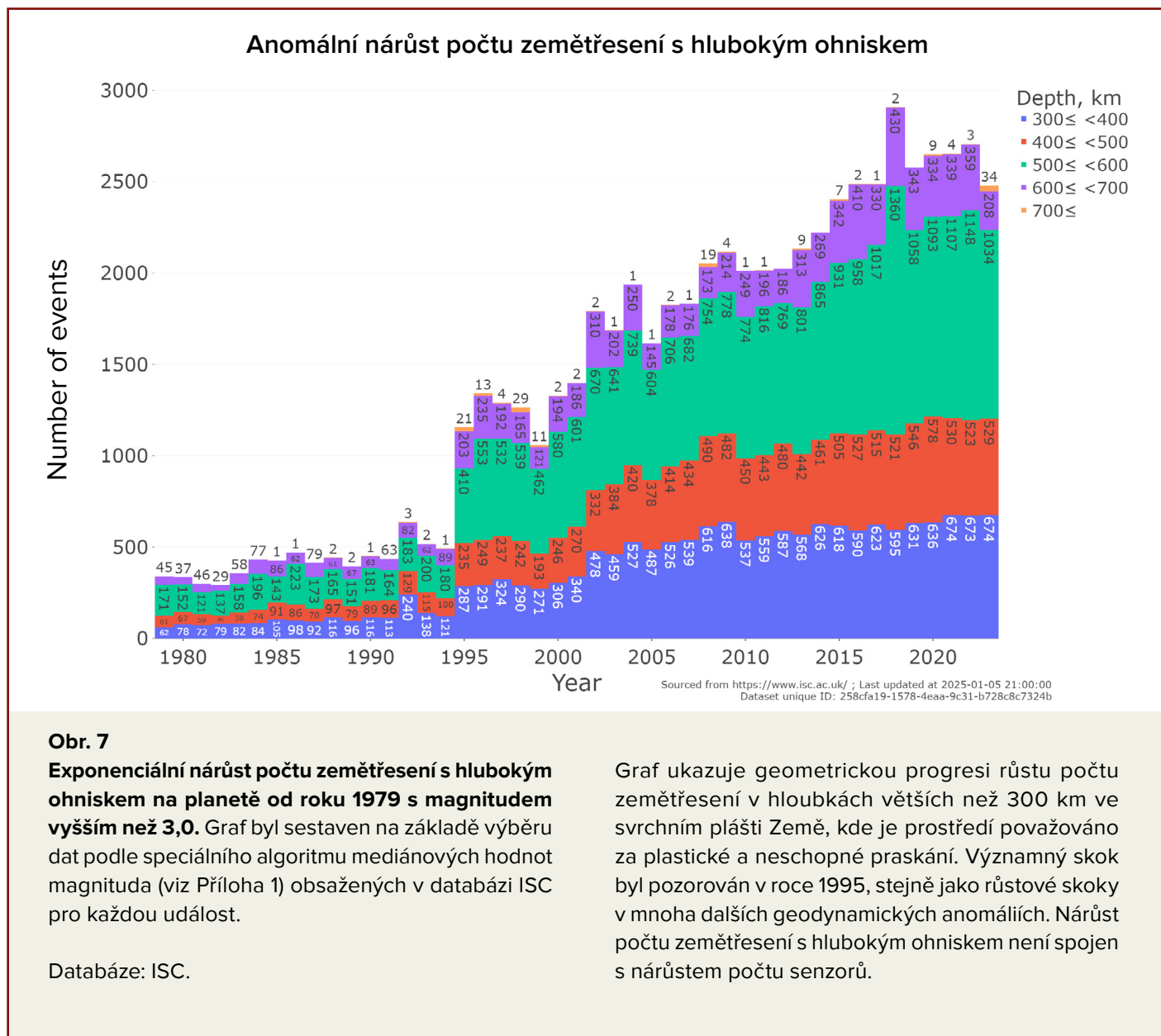
<sup>8</sup>Mikhailova, R. S. (2014). Strong earthquakes in the mantle and their influence in the near and far zone. *Geophysical Survey RAS*. <http://www.emsd.ru/conf2013lib/pdf/seism/Mihaylova.pdf>

<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, 10~7: Previous seismicity and aftershock sequence. *Earthquakes in Northern Eurasia*, 24(2015), 324-339. <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.31>

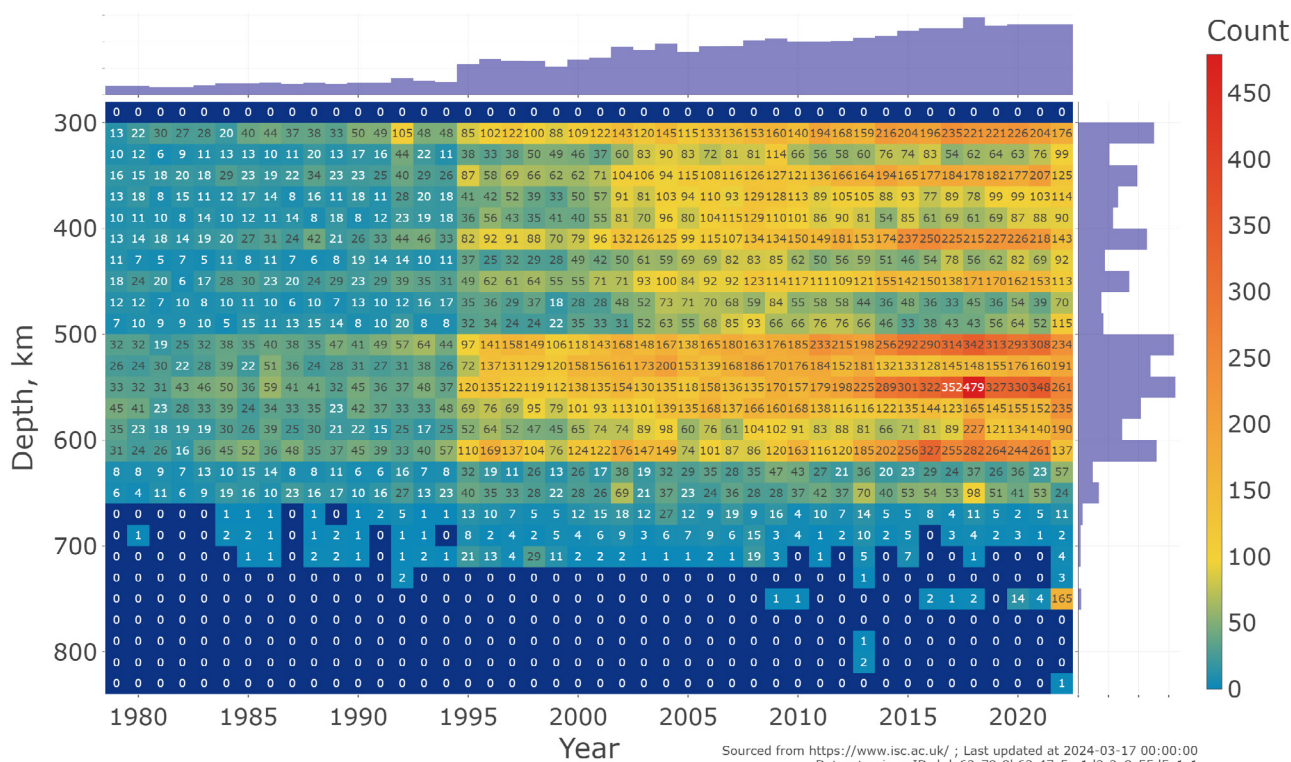


Od roku 1995 je pozorován rychlý exponenciální nárůst počtu těchto hlubinných zemětřesení (obr. 7, 8), což se shoduje s dalšími geodynamickými anomáliemi, které začaly ve stejném období.

Nárůst těchto vnitroplášťových explozí naznačuje zvyšování energie v hlubinách planety a intenzivní tavení pláště, což může vést k rozsáhlým sopečným erupcím.



## Anomální nárůst počtu zemětřesení s hlubokým ohniskem



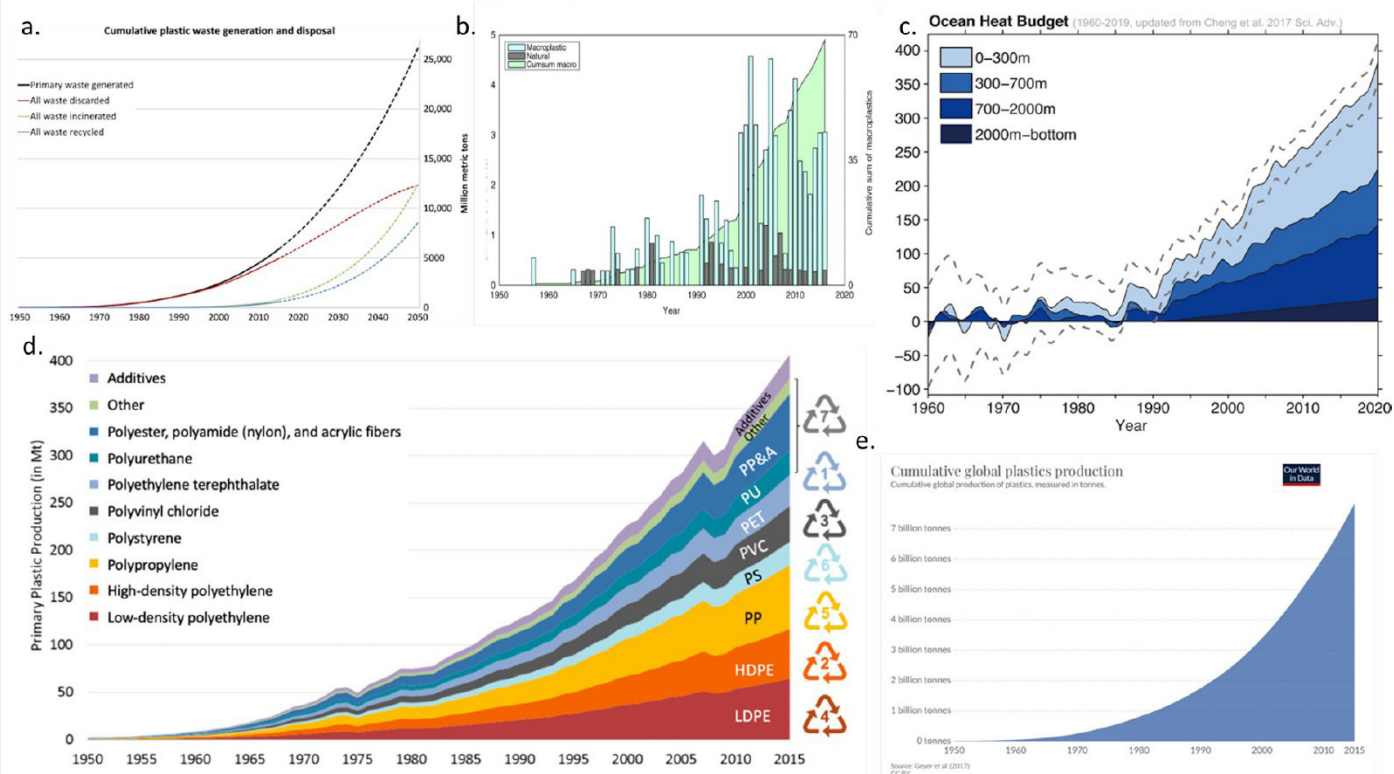
**Obr. 8**

**Diagram počtu zemětřesení s hlubokým ohniskem podle roku a hloubky s magnitudem vyšším než 3,0.**  
Databáze: ISC.

Nárůst zemětřesení s hlubokým ohniskem naznačuje tavení pláště ohřívaného jádrem. Vlivem odstředivých sil začíná roztavené magma v plášti prudce stoupat k zemskému povrchu a erodovat a ohřívat litosféru zevnitř více než obvykle. Právě vzestup magmatu způsobuje zvýšení geotermálního proudění z hlubin, aktivaci magmatických chocholů pod ledovci západní Antarktidy a centrálního Grónska, což urychluje tání ledovců a permafrostu zdola nahoru.

Oceán se v současné době ohřívá jako nikdy předtím, což výrazně zesiluje extrémní klimatické

jevy, jako jsou záplavy, hurikány a tropické cyklóny. Oceán hraje klíčovou roli v regulaci tepla na planetě, protože je schopen absorbovat a redistribuovat přebytečné teplo, čímž předchází katastrofickým následkům. V současné době, kdy se zahřívání Země v důsledku geodynamické aktivity způsobené astronomickými cykly zvyšuje, však oceán svou funkci odvádění tepla z nitra planety ztratil. Stalo se tak v důsledku antropogenního znečištění oceánu. Plastový odpad se rozpadá na mikro- a nanoplasty, čímž se snižuje tepelná vodivost vody (obr. 9).



Obr. 9

Graf změn teploty oceánu za roky 1960–2019 a jeho srovnání s grafy růstu produkce syntetických polymerů, jejich využití v různých odvětvích ekonomiky a likvidace plastového odpadu v oceánu (z různých zdrojů).

**a. Celkové množství vyprodukovaného a využitého plastového odpadu**

Zdroj: 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. Celkové množství makroplastů v oceánu a roční ukazatele**

Zdroj: 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. Změna teploty světového oceánu v letech 1960–2019** (Purkey and Johnson, 2010; updated from Cheng et al., 2017)

Zdroj: 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. Světová produkce primárních plastů podle druhu**

Zdroj: 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. Celkové množství plastů vyrobených od roku 1950**

Databáze: Plastic Marine Pollution Global Dataset

Ke zvyšování teploty vody dochází nejen u hladiny, ale také v celém vodním sloupci a na dně oceánu. Ohřívání oceánu je způsobeno stoupajícím magmatem, které ohřívá zejména oceánskou kůru, která je tenčí a zranitelnější než kontinentální kůra.

Historické údaje ze studií geologických a ledových jader ukazují, že Země čelila takovým katastrofickým cyklům každých 12 000 let<sup>10</sup>. A každých 24 000 let byly planetární katastrofy mnohonásobně silnější, jak dokládají studie vrstev popela ze sopečných výbuchů v ledových jádrech<sup>11</sup> (obr. 10) a další geochronologické studie. Přesně do tohoto cyklu Země nyní vstupuje. Současný cyklus je však zhoršován antropogenním faktorem, jako je znečištění oceánu, což ještě více snížilo schopnost oceánu regulovat energetickou rovnováhu Země.

S rostoucím ohříváním oceánu se plastový odpad rozpadá na mikro- a nanoplasty, což dále snižuje tepelnou vodivost oceánu. Tato ztráta tepelné vodivosti je kriticky důležitá v obdobích zvýšené geodynamické aktivity způsobené

astronomickými cykly. Hromadění nadbytečné energie v nitru Země vedlo k nárůstu počtu zemětřesení s hlubokým ohniskem a rychlému vzniku nových magmatických krbů, což ještě více prohlubuje nestabilitu planety. Tento uzavřený cyklus urychluje ohřívání a destabilizaci planety, čímž Zemi přibližuje k nevyhnutelné záhubě.

Matematické modelování ukazuje, že světové ekonomické a sociální systémy by se mohly během příštích 4–6 let zhroutit kvůli rostoucím škodám způsobeným klimatickými katastrofami. Díky exponenciálnímu nárůstu počtu katastrofických událostí hrozí, že se Země během příštího desetiletí stane neobyvatelnou (obr. 11).

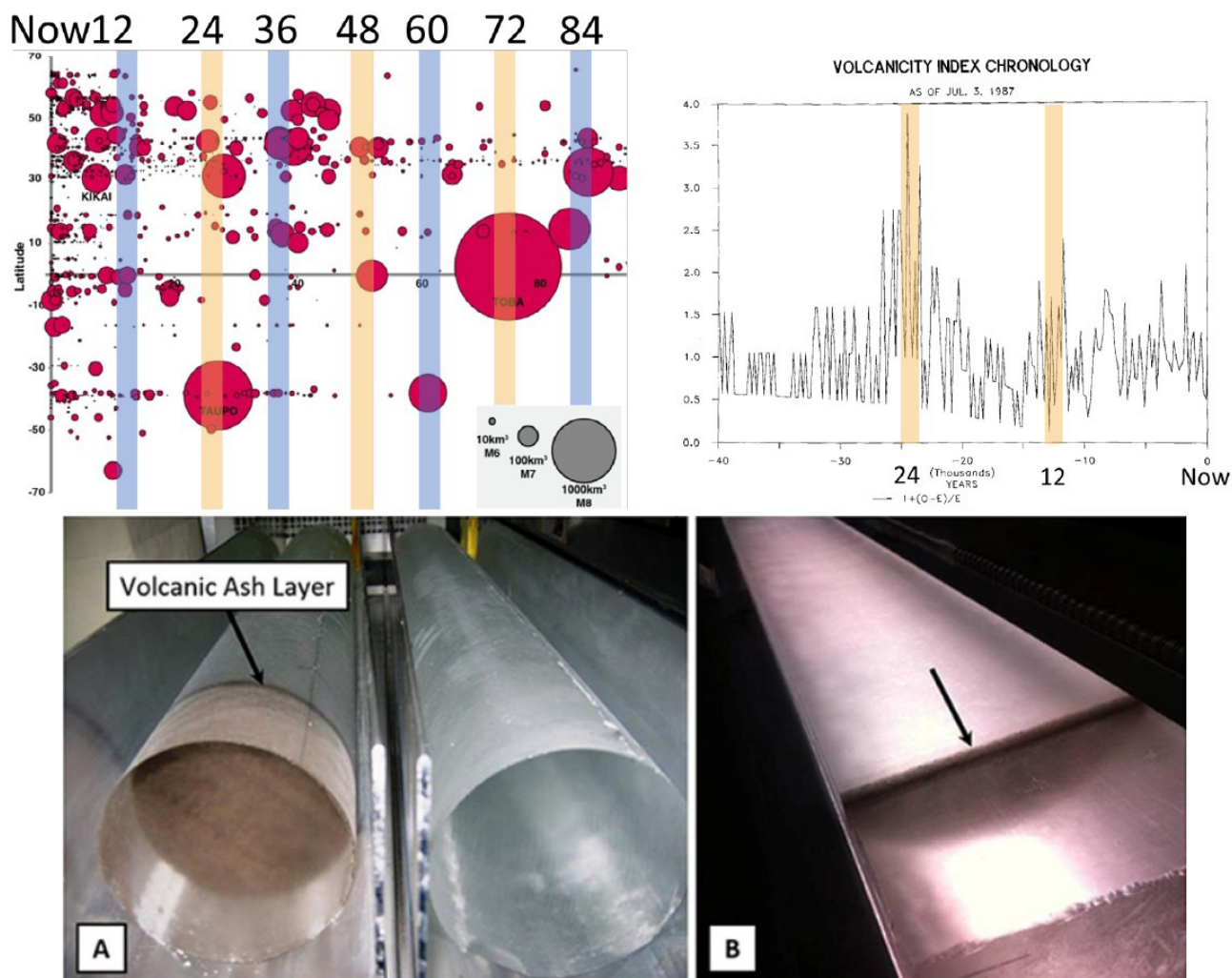
Na rozdíl od předchozích cyklů je současný stav planety zhoršen znečištěním způsobeným lidskou činností, což ponechává malou naději na přežití ekosystémů a samotné planety Země. **Je důležité pochopit, že řešení problému znečištění a ohřívání oceánu může zpomalit rozvoj katastrof, ale nezastaví je.**

<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>



## Katastrofické sopečné erupce s cyklem 12 000 let



Obr. 10

Údaje ze studií vrstev popela ze sopečných erupcí za posledních 100 000 let v antarktických a arktických ledovcových jádrech z prací různých autorů.

Zdroj: Brown, S. K., Crosweller, 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>

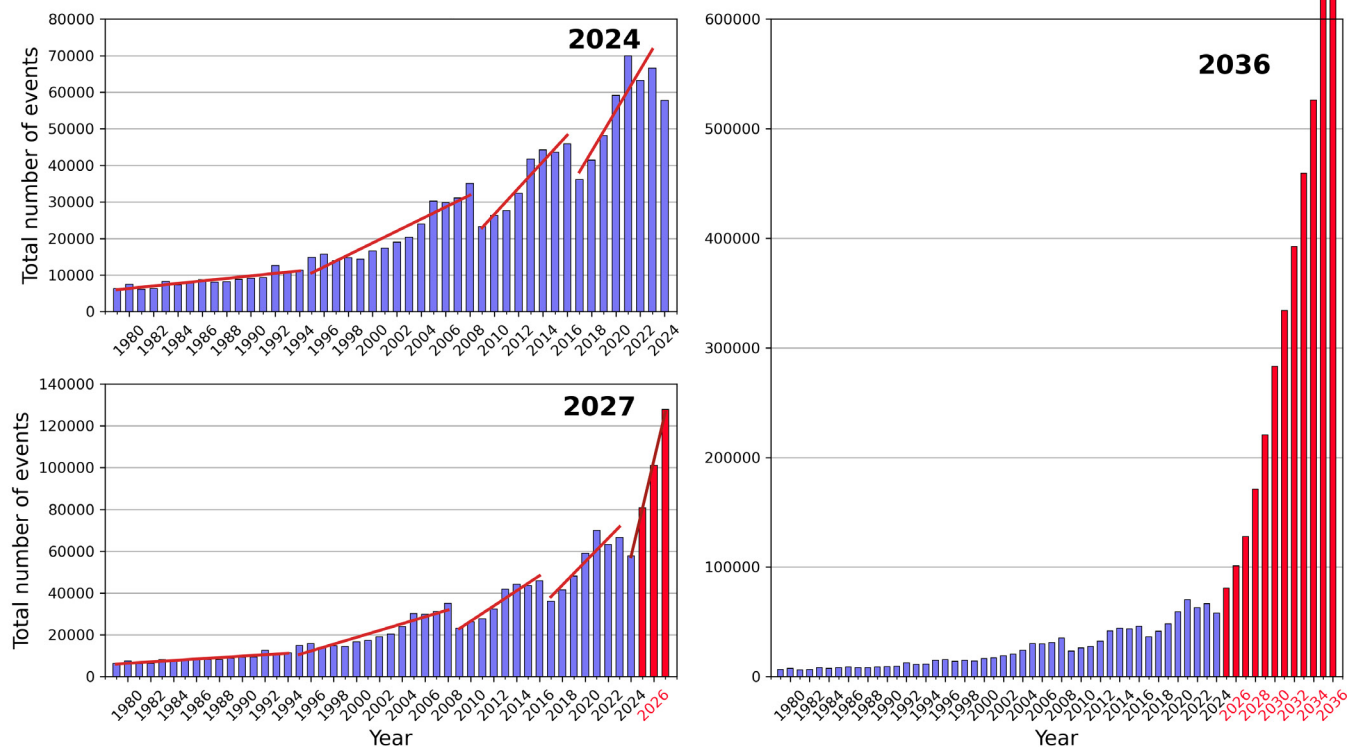
Bryson, R. A. (1989). Late quaternary volcanic modulation of Milankovitch climate forcing. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 115–125. <https://doi.org/10.1007/bf00868307>

Grafy znázorňují katastrofickou sopečnou aktivitu každých 12 000 let a ještě intenzivnější každých 24 000 let (s přihlédnutím k chybě při určování stáří). Takové katastrofické události měly za následek extrémní změny teplot, přírodní katastrofy, sopečné zimy a masové vymírání druhů. Mnoho supervulkánů, které vybuchovaly v minulých cyklech, začalo v posledních letech vykazovat anomální aktivitu, zejména od roku 1995.

## Progrese nárůstu kataklyzmat na příkladu zemětřesení

M3+ Earthquakes Globally 1979-2024

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



**Obr. 11**

**Model exponenciálního růstu přírodních katastrof na příkladu zemětřesení do roku 2036**

Grafy ukazují geometrickou progresi v růstu počtu a síly zemětřesení na planetě s přihlédnutím k aktuálnímu trendu. V každé následující fázi se počet zemětřesení zvyšuje 3krát. Do roku 2028 zažije Země 1000 zemětřesení denně s magnitudem

větším než 3,0, zatímco nyní je zde 125 zemětřesení denně s magnitudem větším než 3,0.

Je velmi pravděpodobné, že do šesti let bude Země denně zažívat stejně ničivá zemětřesení, jak tomu bylo v Turecku a Sýrii 6. února 2023.



Tato zpráva se zaměřuje na další hrozbu, kterou představují změny v jádru v důsledku přísunu dodatečné energie do jádra. V letech 1997–1998 vědci, využívající satelitní údaje výzkumu Centra hmoty Země, zaznamenali bezprecedentní jev – posun vnitřního jádra Země. V důsledku této události se jádro planety posunulo na sever, podél linie ze západní Antarktidy na východní Sibiř a poloostrov Tajmyr v Ruské federaci. V důsledku tohoto posunu jádra došlo tímto směrem k nekontrolovanému vzestupu magmatu, díky kterému začal pod Sibiří rychle stoupat obrovský magmatický chochol.

V současné době již sibiřský chochol dosáhl spodní části zemské kůry v oblasti severu východosibiřského kratonu a začal nadzvedávat

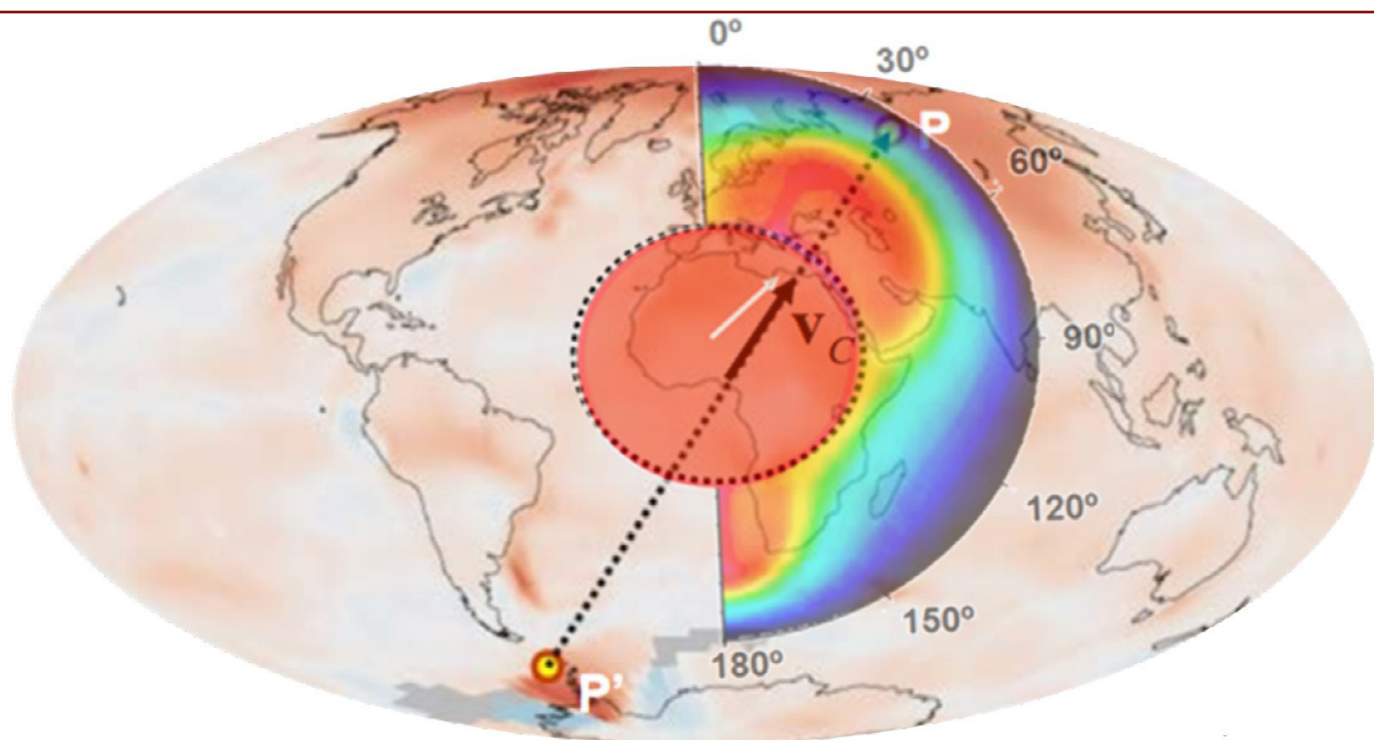
desku, což znamená, že rozpálené magma si již začalo prorážet cestu na povrch. Nekontrolovaná erupce sibiřského chocholu by mohla vést ke globálnímu vyhynutí a lidstvo by nemělo žádnou šanci na přežití, protože podle výpočtů by taková erupce byla 1000krát silnější než nejsilnější erupce supervulkánu Yellowstone. K podobným erupcím magmatického chocholu na Sibiři již došlo před 250 miliony let a vedly k velkému permskému vymírání. Existují tři možné scénáře dalšího vývoje událostí, které jsou popsány v této zprávě.

Ve zprávě jsou rovněž navrženy kroky k řešení problému vzestupu sibiřského chocholu a minimalizaci rizik jeho nekontrolovaného průlomu.

## Posun jádra směrem k Sibiři v roce 1998

V letech 1997–1998 vědci pomocí satelitních dat ze studií Centra hmoty Země zaznamenali bezprecedentní jev: posun vnitřního jádra Země<sup>12,13</sup>. V důsledku této události se jádro planety

posunulo na sever, podél linie ze západní Antarktidy na poloostrov Tajmyr na severu východní Sibiře (obr. 12).



**Obr. 12**

**Posun jádra v letech 1997–1998 a tepelné vlny v magmatu způsobené posunutím jádra. J. V. Barkin.**

Mapa znázorňuje vektor posunutí vnitřního jádra podél linie ze západní Antarktidy na východní Sibiř, směrem k poloostrovu Tajmyr. Diagram je zakreslen na mapě tepelných anomálií atmosféry.

Zdroj: Geofyzikální důsledky relativních posunů a oscilací zemského jádra a pláště. Prezentace J. V. Barkina, Moskva, IFZ, OMTS. 16. září 2014.

<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.

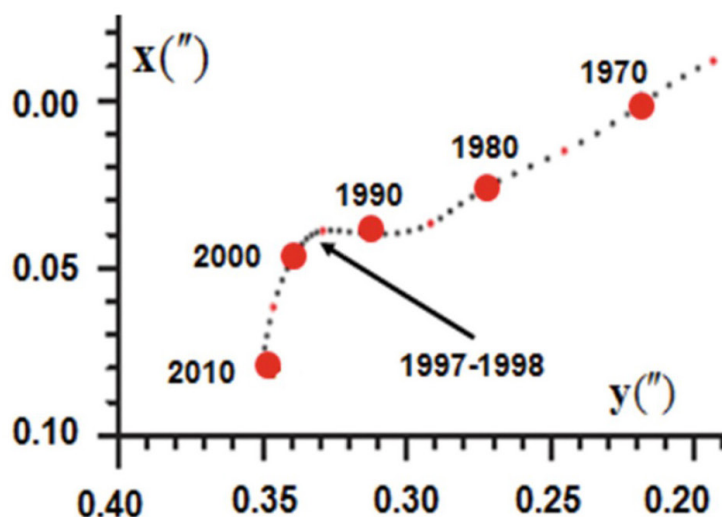
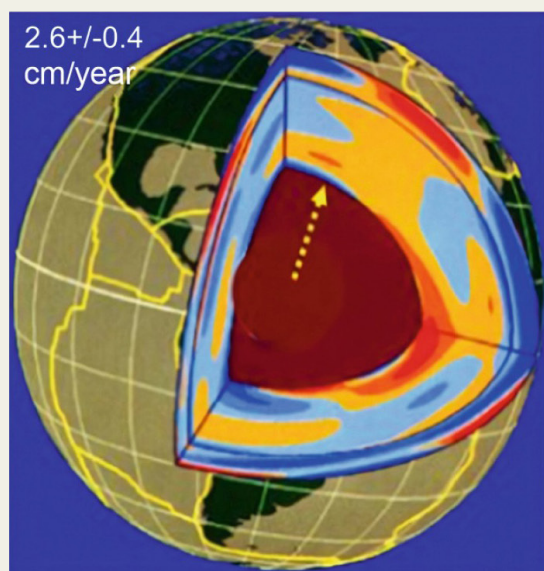
<sup>13</sup> Smolkov, G. Ya. (2018). Exposure of the solar system and the earth to external influences. *Physics & Astronomy International Journal*, 2(4), 310-321. <https://doi.org/10.15406/paij.2018.02.00104>

Současně s tím čtyři různé vědecké týmy, nezávisle na sobě, zaznamenaly anomální změny různých geofyzikálních parametrů Země. Podle satelitních dat tým autorů z Lomonosovovy univerzity a Institutu fyziky Země Ruské akademie věd zjistil skokový posun těžiště Země v roce 1998<sup>14</sup> (obr. 13).

Ve stejném období zaznamenala Mezinárodní služba pro rotaci Země (IERS) prudké zrychlení rotace planety. Ve stejné době zaznamenali vědci na stanici Medicina v Itálii skokové zvýšení gravitace<sup>15</sup>. Ve stejné době byla pozorována prudká změna tvaru Země<sup>16</sup>, zaznamenaná

pomocí laserového dálkoměrného systému z amerických družic.

Podle názoru doktora fyzikálních a matematických věd, profesora J. V. Barkina, doktora technických věd, profesora G. J. Smolkova, doktora geografických věd, profesora M. L. Arušanova, akademika Ruské akademie věd, emeritního profesora Lomonosovovy státní univerzity v Moskvě, doktora geologických a mineralogických věd V. E. Chajna a mnoha dalších vědců posun jádra způsobil změny ve všech zemských vrstvách.



**Obr. 13**

**Vnitřní struktura Země, směr sekulárního driftu těžiště Země a trajektorie jeho pólu na povrchu Země v letech 1990–2010, s obratem téměř o 90° v letech 1997–1998 ve směru k poloostrovu Tajmyr.**

Zdroj: G. J. Smolkov // Helio-geofyzikální výzkumy. Vydání 25, str. 14–29, 2020. [Online] Dostupné na: <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=569> (datum přístupu: 01.02.2024).

Zdroj grafu: J. 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., & 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)

<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>

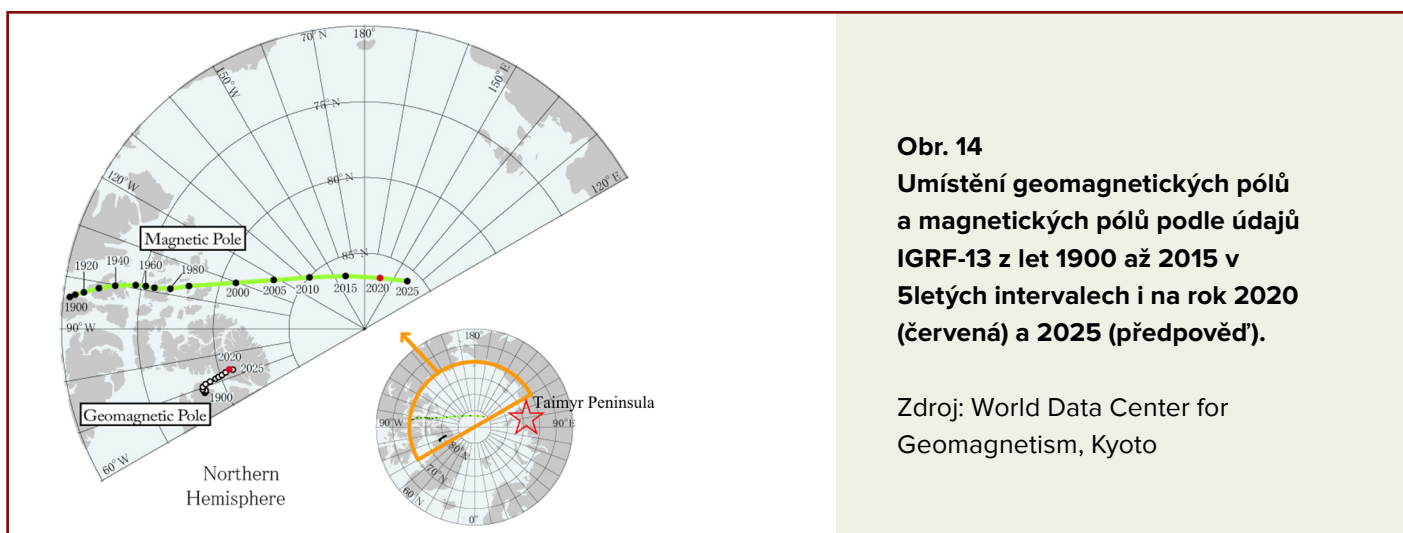
<sup>19</sup> International Committee GCGE GEOCHANGE. (2010). Global environmental changes: Threat to civilization development (Vol. 1). London: GCGE. ISSN 2218-5798

Je důležité poznamenat, že právě tímto směrem začal v roce 1995 prudký drift severního magnetického pólu. Od počátku minulého století se pohyboval průměrnou rychlostí 10 km/rok a pak náhle zvýšil rychlost, až dosáhl maxima 57 km/rok, a změnil svou trajektorii, zamířil k Sibiři a poloostrovu Tajmyr<sup>20</sup> (obr. 3, 14).

To ukazuje, že podmínky pro posun jádra směrem k Tajmyrskému poloostrovu se začaly vytvářet již v roce 1995 v důsledku zkapalnění vnějšího tekutého zemského jádra. V roce 2013 vědci z univerzity v Leedsu zjistili, že k těmto změnám magnetického pole začalo docházet v důsledku zrychlení toku tekutého železa ve vnějším zemském jádře<sup>21</sup> (obr. 15), které pravděpodobně začalo v roce 1995.

Podle publikovaných údajů byla zjištěna korelace mezi frekvencí inverzí magnetického pole a intenzitou plášťového magmatismu<sup>22,23,24</sup>.

Je přitom známo, že inverze magnetického pole jsou pravděpodobně spojeny s procesy probíhajícími ve vnějším jádru v blízkosti hranice jádro-plášť<sup>25</sup>. Korelace mezi změnami intenzity plášťového magmatismu a frekvencí inverzí magnetického pole Země naznačuje, že poruchy magnetického pole Země vznikají ve vnějším jádru v důsledku změn intenzity přenosu tepla u základů chocholů umístěných na rozhraní jádro-plášť. Nárůst celkového tepelného výkonu chocholů je způsoben jak vznikem nových chocholů, tak nárůstem tepelného výkonu již aktivních chocholů. Lze předpokládat, že geodynamické poruchy ve vnějším jádru a plášti vznikají v obdobích vzniku a výlevu chocholu na povrch<sup>26</sup>.



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

<sup>21</sup>Livemore, 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)

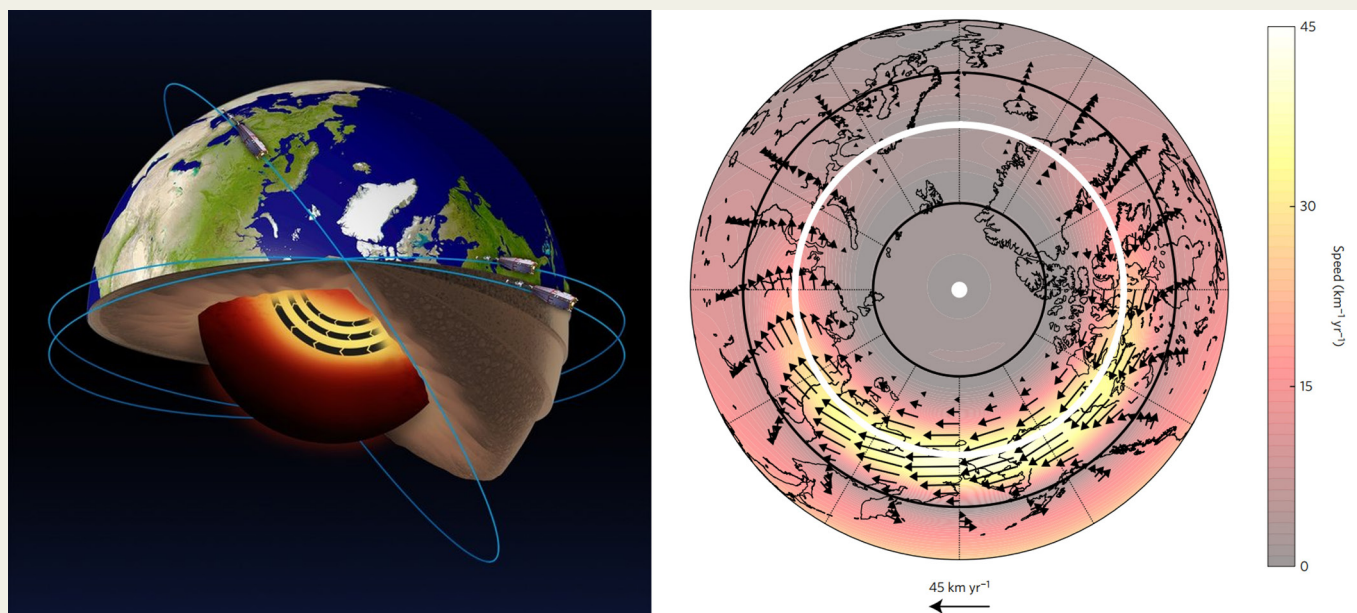
<sup>23</sup>Roger L. Larson, Peter Olson, Mantle plumes control magnetic reversal frequency, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 107, Issues 3–4, 1991, Pages 437–447, ISSN 0012-821X, [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90091-U](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90091-U)

<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., Kirdyashkin, A.G., Kirdyashkin, 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>Kirdyashkin, A.A., Kirdyashkin, 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.





**Obr. 15**

**Analýza satelitních dat ESA Swarm ukázala přítomnost reaktivního proudu v tekuté železné části jádra Země v hloubce 3 000 km pod povrchem, stejně jako to, že se tento reaktivní tok zrychluje.**

Zdroj: EKA

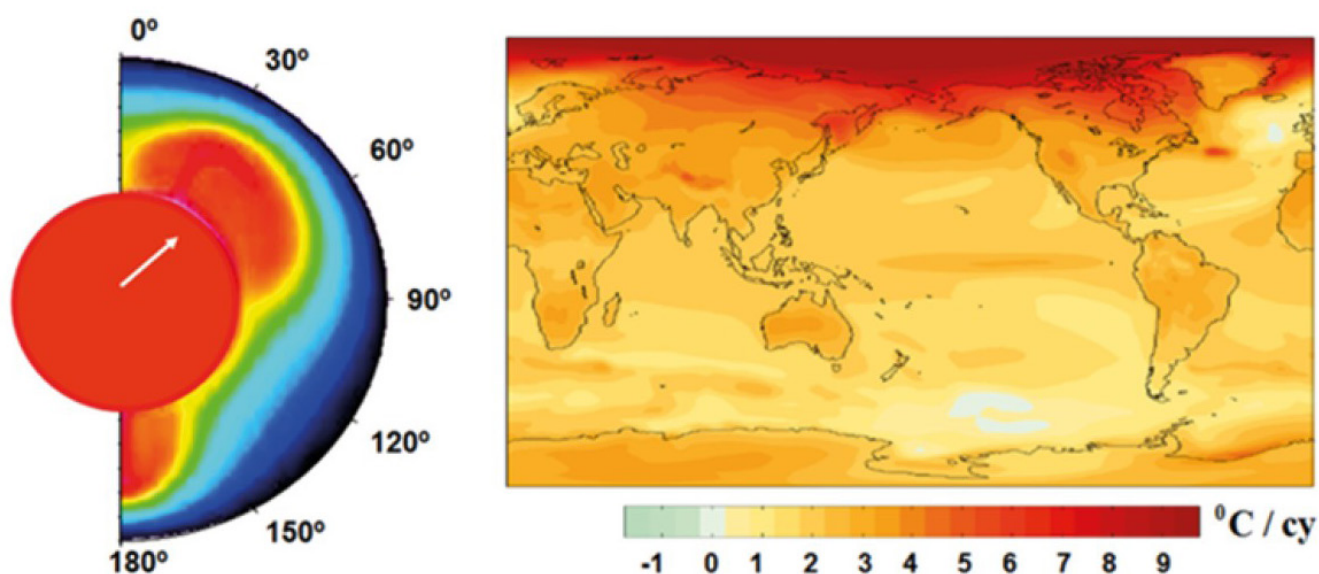
Livermore, P. W., Hollerbach, R., & Finlay, C. C. (2017). An accelerating high-latitude jet in Earth's core. *Nature Geoscience*, 10, 62–68. <https://doi.org/10.1038/ngeo2859>

Současný drift severního magnetického pólu směrem k poloostrovu Tajmyr tak může být dalším důkazem, který naznačuje změny ve vnějším kapalném jádru Země a prudký vzestup chocholu od hranice jádro-plášť pod Sibiří.

Tímto způsobem v roce 1995 v důsledku vnějšího kosmického vlivu na zemské jádro začalo zahřívání vnitřního jádra a tavení vnějšího, což vedlo k prudkému zrychlení driftu severního magnetického pólu. Zkapalnění vnějšího jádra se stalo podmínkou, kvůli které v letech 1997–1998 došlo k posunu jádra

směrem k Sibiři, k poloostrovu Tajmyr. Podle hypotézy, kterou předložil doktor věd, profesor J. V. Barkin, posun jádra způsobil asymetrický přenos tepla směrem k Sibiři (obr. 16). Je důležité poznamenat, že přenos tepla v plášti probíhá především díky konvektivnímu promíchávání. To znamená, že posun jádra primárně vyvolal vzestup magmatu směrem k Sibiři. Následně bylo v této oblasti Sibiře zaznamenáno anomální oteplování atmosféry, které se každým rokem zesiluje.





Obr. 16

Vynucený relativní posun jádra a pláště a schéma asymetrického šíření tepla do horních vrstev pláště (vlevo). Lineární trendy oteplování povrchu (ve °C za století) podle údajů NCAR CCSM3, zprůměrovaných podle zvláštního scénáře [http://www.realclimate.org/bitz\\_fig3.png](http://www.realclimate.org/bitz_fig3.png) (vpravo).

Zdroj: Barkin J. V. Cyklické inverzní změny klimatu na severní a jižní polokouli Země // Geologie moří a oceánů: Materiály XVIII. Mezinárodní vědecké konference (Školy) o mořské geologii. Sv. III. — M.: GEOS, 2009. S. 4–8.

## Sibiř a sibiřská Arktida se oteplují 3-4krát rychleji než zbytek světa

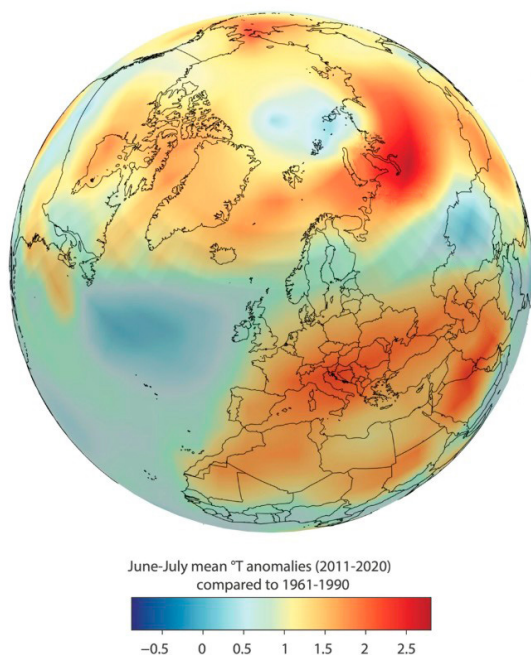
Podle různých organizací zažívá území Ruska, zejména arktická oblast, extrémní oteplování.

Podle vědců z Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) v roce 2021 se Rusko otepluje třikrát rychleji než zbytek světa a jeho arktické a sibiřské oblasti se oteplují čtyřikrát rychleji, než je celosvětový průměr.

V roce 2022 uvedl šéf Roshydrometu Igor Šumakov s odkazem na údaje Světové meteorologické organizace<sup>27</sup>, že území Ruska se otepluje 2,5krát rychleji než zbytek planety, přičemž teplota v severní polární oblasti země stoupá nejrychlejším tempem, zejména v posledních desetiletích. Sibiř patří k oblastem s nejsilnějším oteplením na světě (obr. 17), které

nemá za posledních 7 000 let obdoby, a to na základě rekonstrukce klimatických podmínek ze studií letokruhů stromů.<sup>28</sup>

Americké Centrum pro výzkum klimatu Woodwell (WCRC)<sup>29</sup> ve Spojených státech provedlo rozsáhlou studii, která měla posoudit, jak změna klimatu ovlivnila teplotu, vlhkost půdy, hloubku sněhu, srážky a další klíčové klimatické parametry v různých oblastech Arktidy. Za tímto účelem vědci spojili a systematizovali data shromážděná pomocí satelitů, letadel, dronů a pozemních meteorologických stanic za posledních 40 let.



Obr. 17

**Průměrné teplotní anomálie v červnu až červenci na severní polokouli (poloostrov Jamal a poloostrov Tajmyr) za poslední desetiletí pozorování (2011–2020). Teploty jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k základnímu klimatu v letech 1961–1990 pomocí datové sady HadCRUT.5.**

Zdroj: 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>

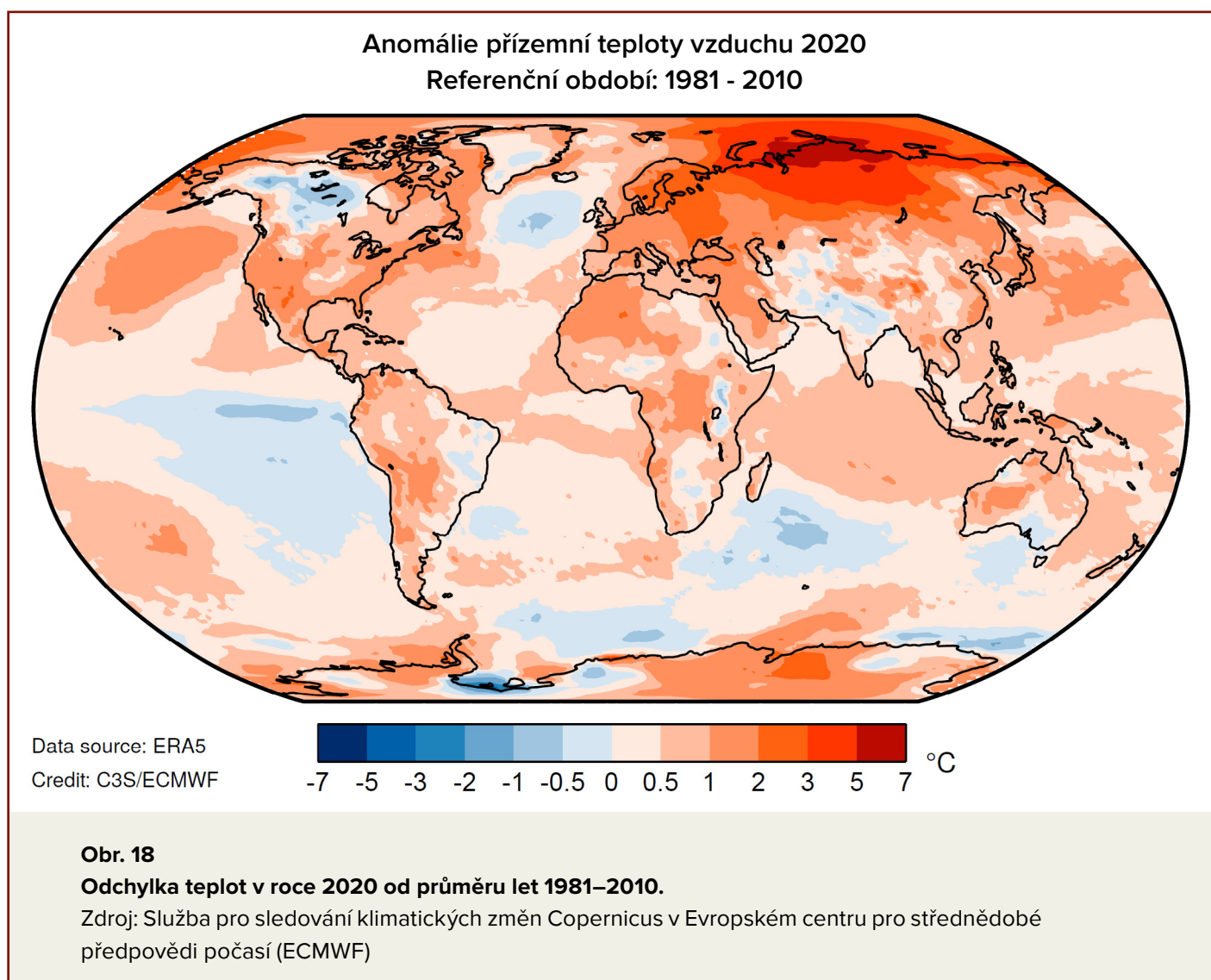
<sup>29</sup>Watts, J. D., Potter, S., Rogers, B. M., Virkkala, A.-M., Fiske, G., Arndt, K. A., et al. (2025). Regional hotspots of change in northern high latitudes informed by observations from space. Geophysical Research Letters, 52, e2023GL108081. <https://doi.org/10.1029/2023GL108081>

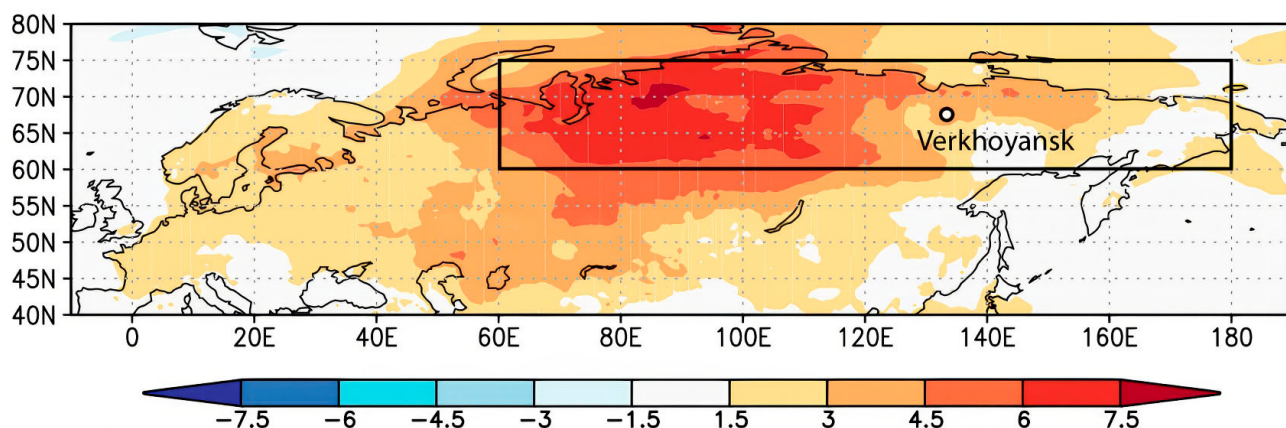
Následná analýza těchto dat umožnila výzkumníkům identifikovat asi dvě desítky klimatických „horkých míst“. Oteplování nejvíce zasáhlo polární a centrální oblasti východní Sibiře, kde se průměrné roční teploty každou dekádu zvýšily o 1,1 stupně Celsia, což je několikanásobně více než globální tempo oteplování. Teplota na Tajmyru rostla ještě rychleji: 1,7 stupně za dekádu. Podobně se teploty v sibiřské tajze zvyšují od konce 80. let 20. století rychlostí 0,6 stupně za desetiletí.

Vlny veder na Sibiři dosáhly v posledních letech nové alarmující úrovně, zejména v roce 2020, kdy teploty v celém regionu prudce vzrostly (obr. 18).

Teploty na Sibiři byly od ledna do června o více než 5 °C nad průměrem a v červnu až o 10 °C nad průměrem (ve srovnání s úrovněmi z let 1981–2010). Toto extrémně horké období mělo za následek překročení lokálních teplotních rekordů, a to i na meteorologické stanici Verchojansk, která 20. června zaznamenala absolutní rekord +38 °C (obr. 19).

Ruská meteorologická služba uvedla, že tato naměřená teplota byla nejvyšší, jaká kdy byla zaznamenána za polárním kruhem.





**Obr. 19**

**Dlouhotrvající sibiřská vedra: průměrné teploty za leden-červen 2020 oproti normálu (1981-2010) v sibiřské oblasti a lokalitě města Verchojansk, kde byla v červnu zaznamenána rekordní denní teplota +38 °C za polárním kruhem.**

Source: 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>

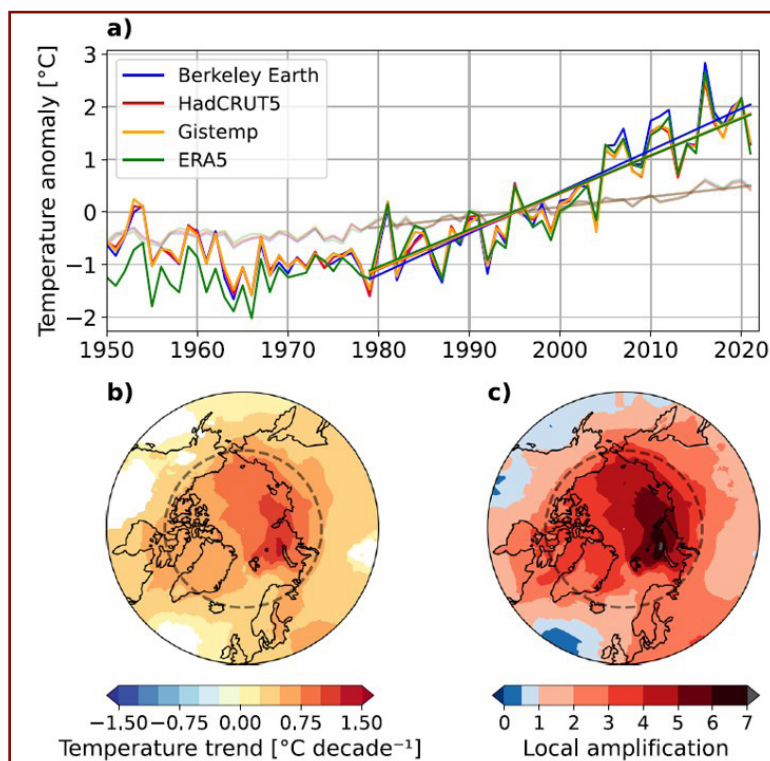
Tyto vlny tepla se nad Sibiří nenacházejí neustále, ale mají charakter pulzujících výkyvů. Je to způsobeno tím, že pronikání magmatu, které tyto vlny tepla vyvolává, má vlnovitý charakter. V atmosféře, kde se vzdušné masy volně pohybují a mísí, mohou vlny tepla ustupovat během několika měsíců, jako tomu bylo v roce 2020, na rozdíl od vln tepla ve vodním prostředí.

Podle výzkumu z roku 2022 se sibiřská Arktida otepluje téměř čtyřikrát rychleji, než je celosvětový průměr, což je poměr vyšší, než s jakým dosud počítaly klimatické modely, a který vědce překvapil<sup>30</sup> (obr. 20).

Je důležité si uvědomit, že k tomuto oteplování arktické oblasti dochází právě v oblasti poloostrova Tajmyr. Tuto anomálii ve vodní zóně Sibiře lze vysvětlit tím, že oceánská kůra je tenčí a rychleji vede teplo a voda má větší tepelnou kapacitu než atmosféra. Je to tedy oceánská voda, která intenzivně akumuluje a zadržuje teplo ze stoupajícího magmatického chocholu, a to i přesto, že stoupání chocholu probíhá pod kontinentální kůrou v relativní vzdálenosti od pobřeží.

<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>





**Obr. 20**

**Dynamika průměrné roční teploty v Arktidě.**  
**a)** Roční průměrné teplotní anomálie v Arktidě (66,5°–90° s. š.) (tmavé barvy) a globálně (světlé barvy) pro období 1950-2021, odvozené z různých souborů pozorovacích dat. Teplotní anomálie jsou vypočteny vzhledem k průměrným hodnotám za 30leté období 1981-2010. Přerušovaná čára v bodech (b) a (c) označuje polární kruh (66,5° s. š.).

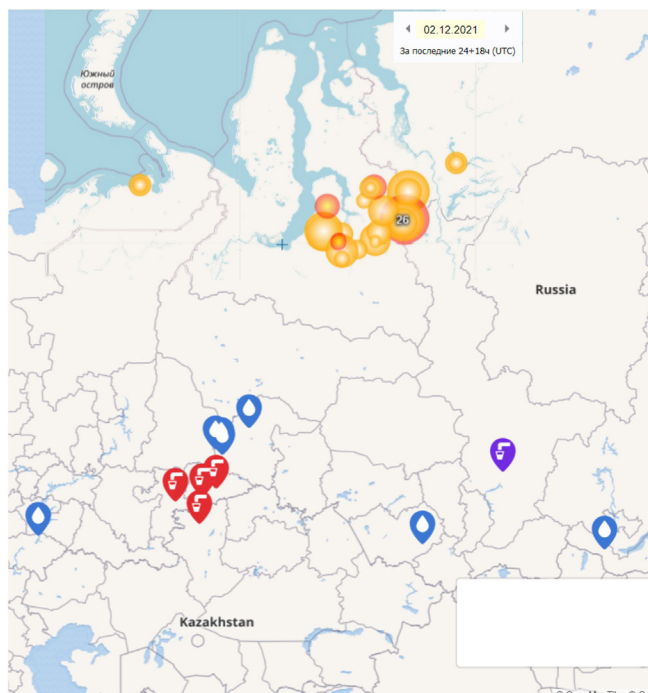
Zdroj: Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment*, 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>



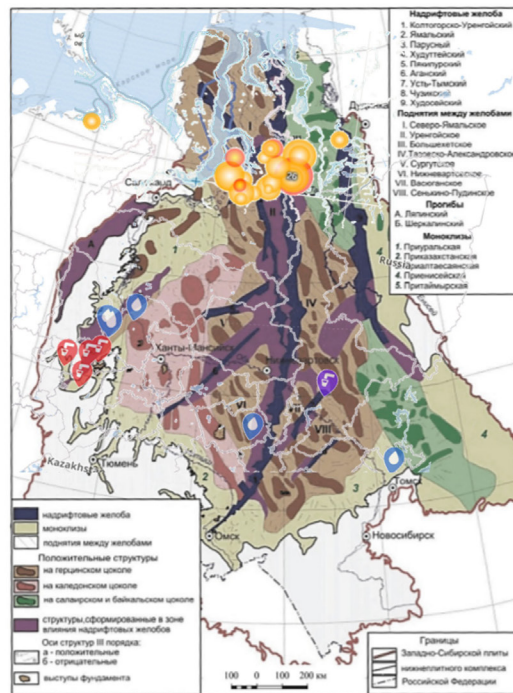
## Nepřímé známky vzestupu sibiřského chocholu

V důsledku pronikání magmatu do zemské kůry pod Sibiří dochází nejen k ohřívání atmosféry, ale i k řadě dalších anomálií: tání permafrostu zdola nahoru, nárůst seismické aktivity v oblasti, horká voda vystupující k povrchu, která způsobuje vření vody ve studních a nebývalé lesní požáry na celé Sibiři, včetně požárů pod sněhem. Maximální lokalizace

požárů pod sněhem se v posledních letech projevila na jihu poloostrovů Tajmyr, Jamal a Gydan v polárních oblastech. Důležitým faktorem je, že projevy požárů pod sněhem („zombie požáry“) – vroucí voda ve studních – jsou zaznamenány nad zónami hlubokých zlomů (obr. 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]"

Obr. 21

Mapa zimních požárů pod sněhem za polárním kruhem v roce 2021



**Fotografie požárů pod sněhem v Sverdlovské oblasti**

V severních zeměpisných šířkách dochází k nárůstu emisí metanu a vodíku z nitra Země, roste počet kráterů po přírodních explozích zemního plynu a na arktickém šelfu sílí bahenní vulkanismus. Zahřívání zespodu způsobuje degradaci permafrostové půdy a destrukci plyných hydrátů, což vede k uvolňování plynů,

vzniku kráterů po výbuších plynu a nárůstu bahenního vulkanismu. Plyn uvolněný z hlubin ovlivňuje stav atmosféry a způsobuje další tepelné, geochemické a elektromagnetické anomálie. Podívejme se na tyto procesy podrobněji.

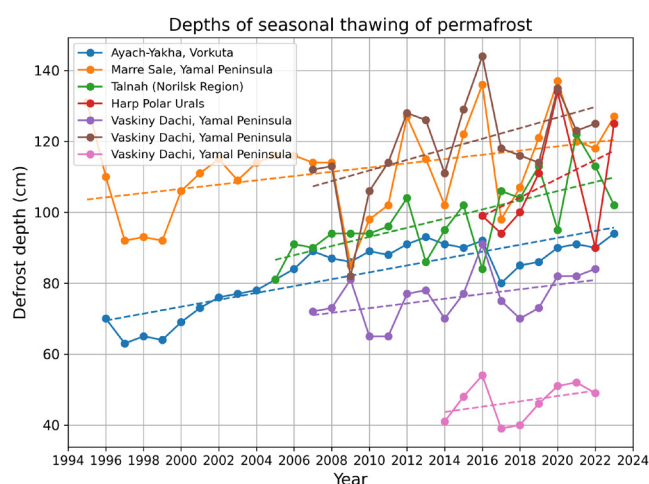
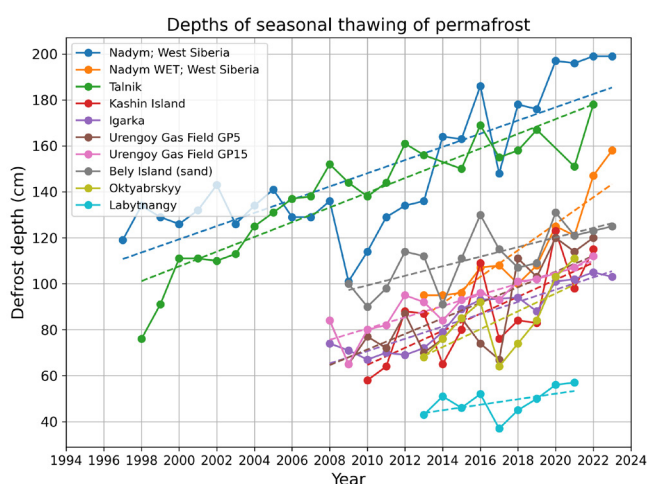
## Tání permafrostu

Dalším ukazatelem dodatečného geotermálního tepla pocházejícího z pláště chocholu je stav permafrostu. Autoři zprávy analyzovali údaje o hloubce sezónního tání permafrostu v Rusku od roku 1994 do roku 2023. Databáze byla sestavena na základě měření provedených v rámci mezinárodního programu cirkumpolárního monitoringu aktivní vrstvy přípovrchového permafrostu (CALM) a je dostupná na webu [permafrost.su](https://permafrost.su).

V současné době je v Rusku 58 lokalit, které monitorují permafrost pomocí standardizovaných

metod, a 46 z nich provádí měření déle než 10 let, což umožňuje identifikovat dlouhodobé trendy. Analýza souboru dat umožnila identifikovat oblasti, kde je pozorován stabilní trend rostoucí hloubky rozmrazování, což ukazuje na dodatečné zahřívání této zóny.

Byly identifikovány dvě skupiny dat: lokality s výraznějším trendem nárůstu hloubky tání v hloubkách od 40 cm do 200 cm (obr. 22, a) a lokality s méně intenzivní rychlostí tání permafrostu v hloubkách od 40 cm do 140 cm (obr. 22, b).



Obr. 22

**Dynamika hloubky sezónního tání permafrostu v různých regionech s různou intenzitou: a) s výraznějším nárůstem hloubky tání; b) s méně výrazným nárůstem hloubky tání.**

Zdroj dat: <https://permafrost.su>

Měření se provádějí v rámci mezinárodního programu cirkumpolárního monitoringu (CALM):

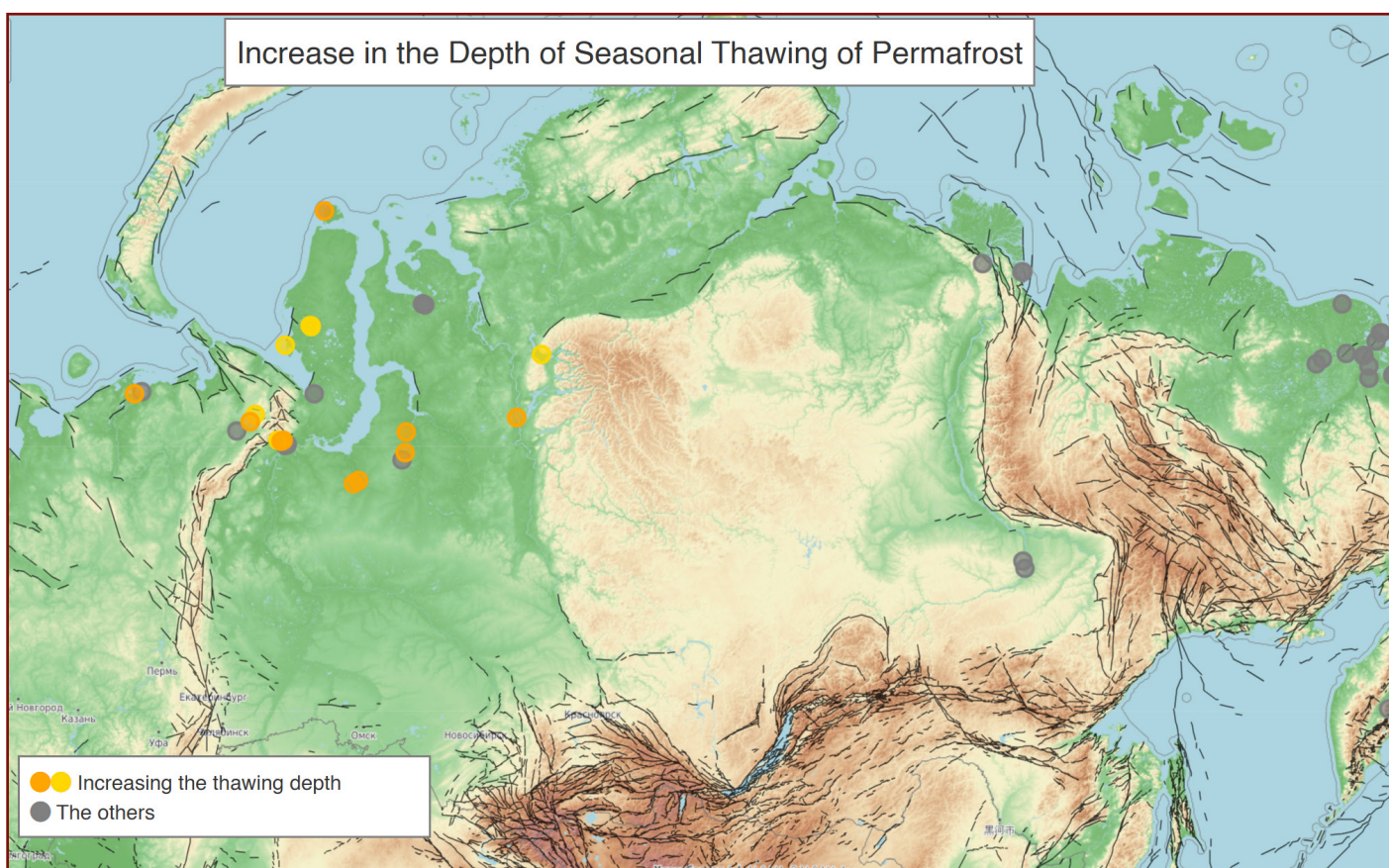
<https://www2.gwu.edu/~calm>



Pro přehlednost byly všechny zkoumané body zakresleny do mapy a označeny oranžově a žlutě (obr. 23). Je důležité poznamenat, že tyto body jsou soustředěny především v určité oblasti: na severu západní Sibiře, na poloostrově Jamal a jižně od poloostrovů Gydan a Tajmyr.

Taková lokalizace oblastí maximálního

tání permafrostu odpovídá oblasti se sníženými rychlostmi seismických vln v plášti, v předpokládané zóně rozprostření hlavy magmatického chocholu. To je zase příčinou zvýšení teploty půdy, včetně oblastí uvnitř zmrzlé vrstvy.



**Obr. 23**

**Místa, kde se zvyšuje hloubka sezónního tání vrstvy permafrostu. Místa měření jsou označena tečkami: šedá – místa, kde není patrný nárůst sezónního tání; žlutá – místa, kde se zvyšuje hloubka tání.**

Zdroj dat: <https://permafrost.su>

Měření se provádějí v rámci mezinárodního programu cirkumpolárního monitoringu (CALM).

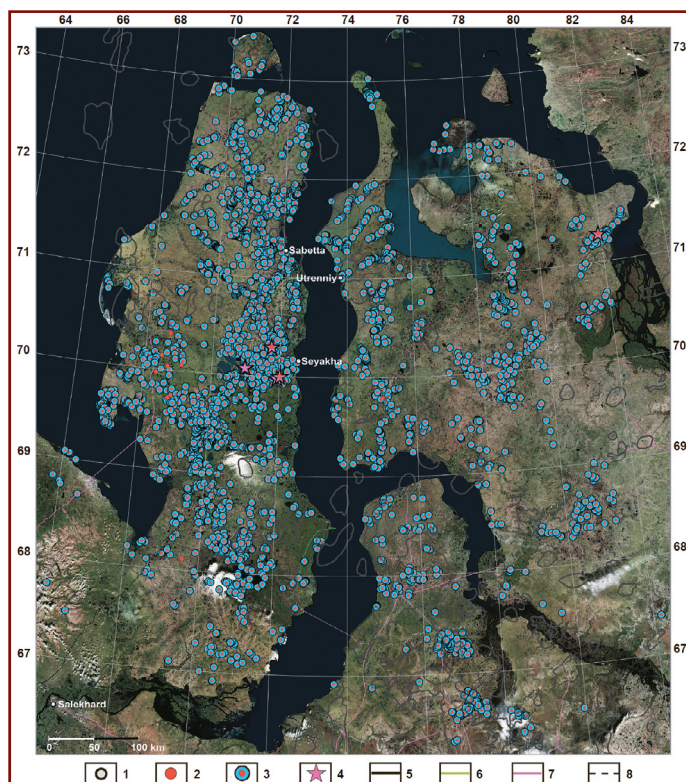
<https://www2.gwu.edu/~calm>

## Projevy bahenního vulkanismu

Dodatečné zahřívání stoupajícím magmatem vede k degradaci permafrostu a ovlivňuje konzervované plynové hydráty v těchto půdách, čímž se uvolňují velké objemy v nich zachycených plynů. Kromě toho dochází k migraci plynu z ložisek plynových nalezišť a silně plynem nasycených kolektorových vod, což snižuje pružnost a pevnost půd a přispívá k jejich rozbřednutí, což může vést k procesům bahenního vulkanismu. Bahenní vulkanismus je geologický proces, při kterém dochází k erupci směsi plynu, vody a úlomkového materiálu skrze trhliny v zemské kůře vlivem

vnitřního geostatického tlaku.

Právě takové procesy objevili vědci z Ruské akademie věd (РАН) na arktickém poloostrově Jamal<sup>31</sup>. Na základě komplexního geologicko-geofyzikálního výzkumu, využívajícího data dálkového průzkumu Země v období 2014–2022, bylo identifikováno více než 3 000 zón mohutných emisí plynu s tvorbou kráterů na dně termokrasových jezer, řek a v pobřežní části Karského moře (obr. 24).



**Obr. 24**

**Rozšíření zón mohutných emisí plynu na severu západní Sibiře.**

**Označení: 1 — obydlené oblasti, 2 — izolované krátery plynových emisí, 3 — krátery plynových emisí na dně vodních ploch, 4 — projevy bahenního vulkanismu,**

**5 — hranice ropných a plynových ložisek, 6 — ropovody, 7 — plynovody, 8 — železnice. Základ mapy — mozaika satelitních snímků z databáze ESRI.**

Zdroj: Bogojavlenskij V. I., Nikonov R. A., Bogojavlenskij I. V. Nové údaje o intenzivní degazaci půdy v Arktidě na severu západní Sibiře: termokrasová jezera s krátery po výronech plynu a bahenními sopkami. *Arktika: ekologie a ekonomika* 13, str. 353-368 (2023).

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

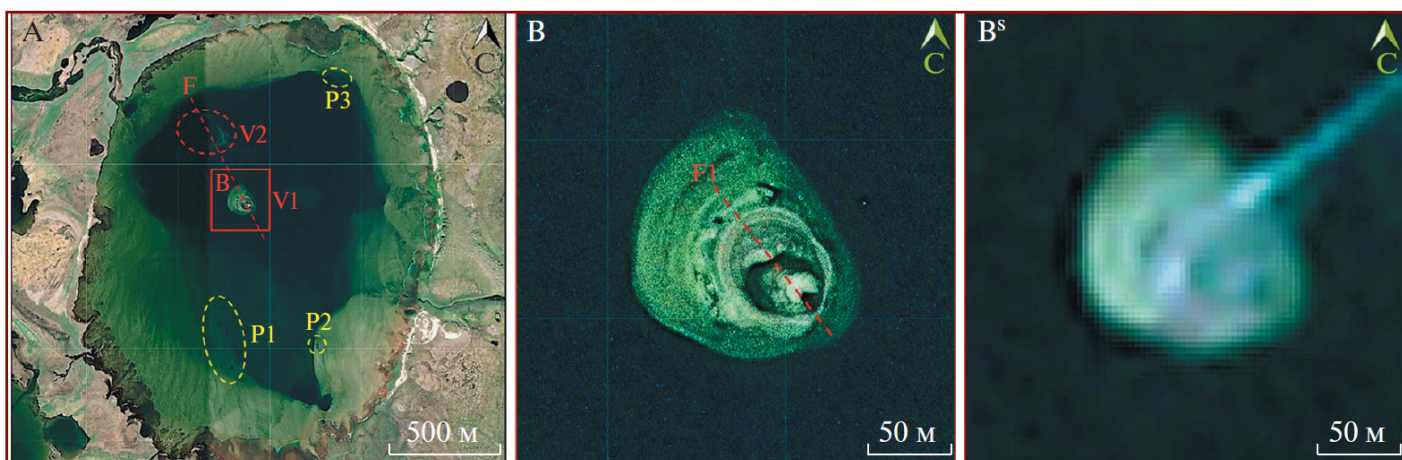
<sup>31</sup> Bogojavlenskij, V. I., Nikonov, R. A. & Bogojavlenskij, I. V. New data on intensive Earth degassing in the Arctic in the north of Western Siberia: thermokarst lakes with gas blowout craters and mud volcanoes. *AEE* 13, 353–368 (2023). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-3-353-368>



V letech 2022–2023 byly podle údajů dálkového průzkumu Země na dně termokrasových jezer Labvarto a Jambuto poprvé objeveny velké bahenní vulkanické útvary, které periodicky vykazují aktivní bahenní vulkanismus<sup>32</sup> (obr. 25). Termokrasové jezero je vodní plocha, která vzniká v důsledku tání permafrostu. Nejen tání jezera, ale také zkapalňování jílu hluboko pod ním tedy

ukazuje na hlubinný zdroj ohřevu.

Podle autorů studie nebyly dříve v celém cirkumpolárním regionu tak výrazné bahenní vulkanické útvary na dně termokrasových jezer známy.



**Obr. 25**

**Satelitní snímek termokrasového jezera Labvarto z družice WorldView-2 (A) a jeho zvětšený fragment (B) s přidaným fragmentem snímku z družice Sentinel-2 (B<sup>s</sup>). Poznámky: P1, P2 a P3 – pockmarky; V1 a V2 – bahenní sopky; F a F1 – předpokládané zlomy.**

Zdroj: Bogoyavlenskij V. I. Nové údaje o bahenním vulkanismu v Arktidě na poloostrově Jamal. Zprávy Ruské akademie věd. Vědy o Zemi 512, 92–99 (2023) <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>

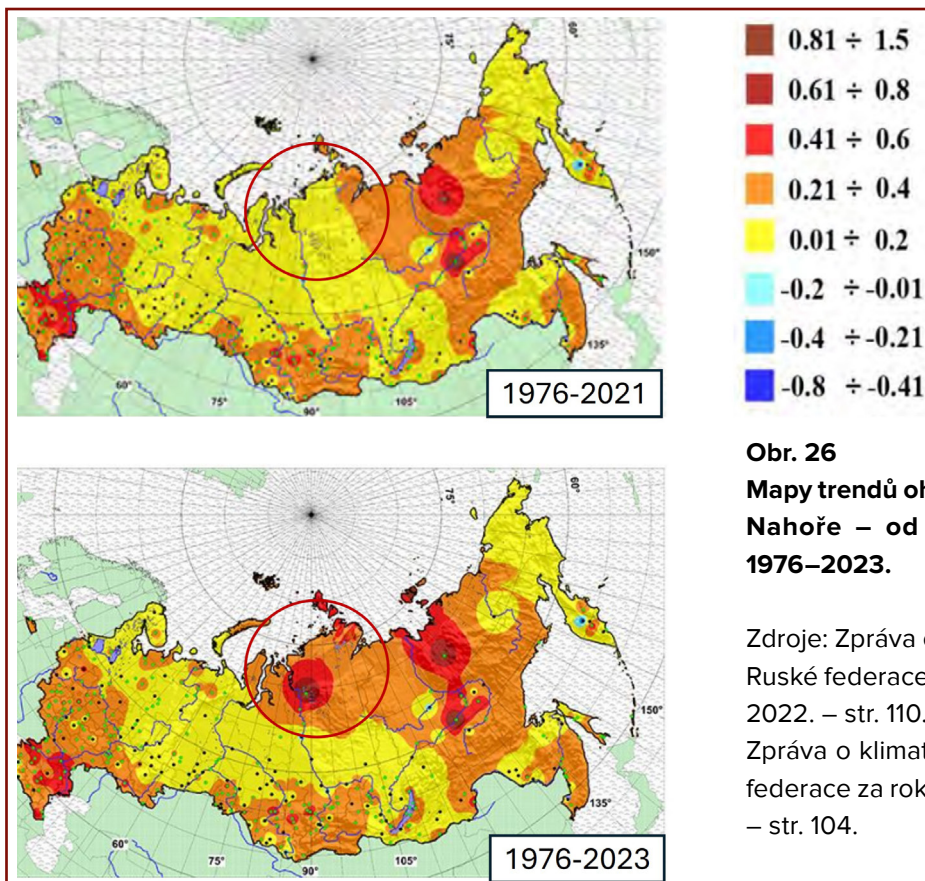
<sup>32</sup> Bogoyavlenskij, V. I. NEW DATA ON MUD VOLCANISM IN THE ARCTIC ON THE YAMAL PENINSULA. Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle 512, 92–99 (2023). <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>

## Ohřev půdy

Na základě dat společnosti Roshydromet za roky 2021–2023 byly analyzovány teplotní mapy půdy v hloubkách 80, 160 a 320 cm. Nejvíce informativní je srovnání teplotních trendů za období 1976 – 2021 a 1976 – 2023. (obr. 26). Mezi lety 2021 a 2023 se na trendové mapě jižně od poloostrovů Gydan a Tajmyr objevila výrazná anomálie, která se územně shoduje s oblastí snížených rychlostí seismických vln v plášti,

identifikované metodami seismické tomografie pod litosférou sibiřské oblasti.

Vzhledem ke značné hloubce měření (320 cm) a širokému pokrytí pozorování (466 meteorologických stanic v Rusku) lze předpokládat, že zjištěná teplotní anomálie souvisí s nárůstem geotermálního tepla v důsledku vzestupu magmatického chocholu.



**Obr. 26**

**Mapy trendů ohřevu půdy podle zpráv Roshydromet. Nahoře – od roku 1976 do roku 2021, dole – 1976–2023.**

Zdroje: Zpráva o klimatických zvláštnostech na území Ruské federace za rok 2021. – Moskva: Roshydromet, 2022. – str. 110.

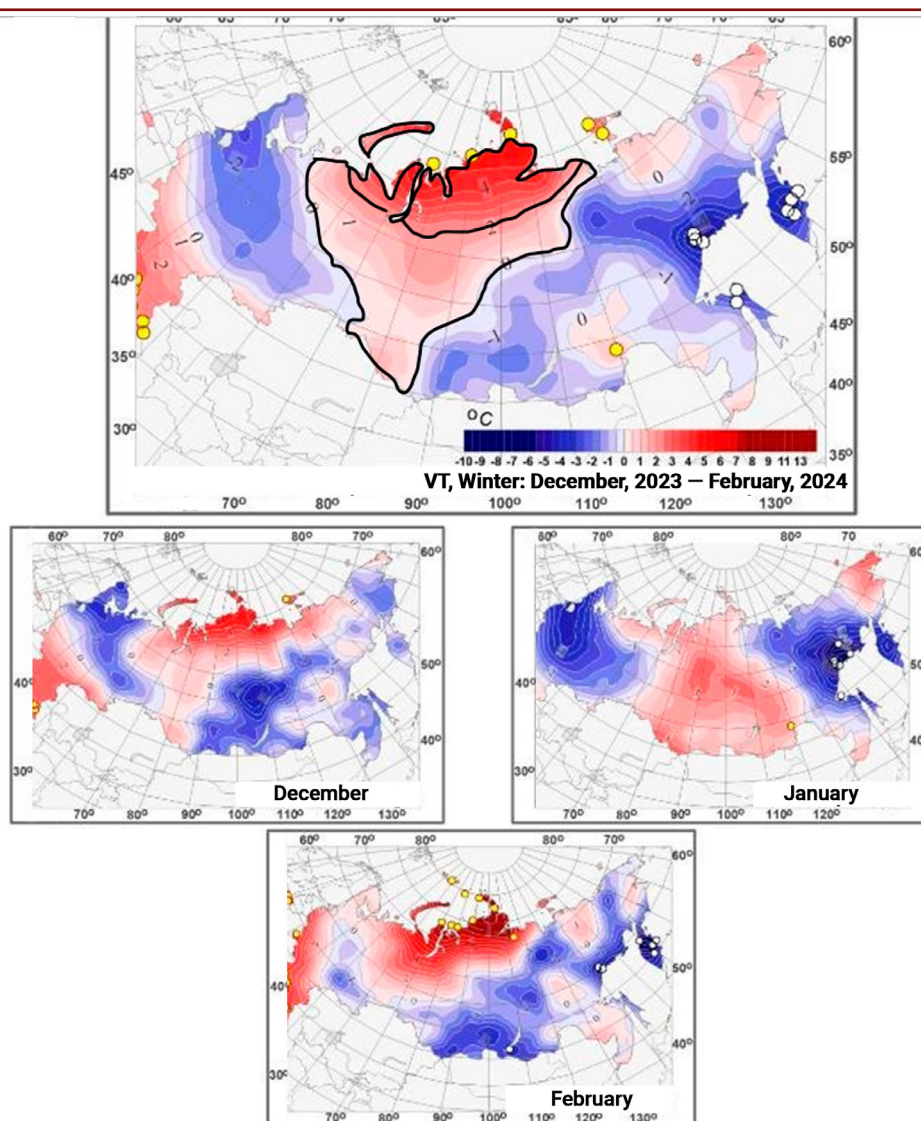
Zpráva o klimatických zvláštnostech na území Ruské federace za rok 2023. – Moskva: Roshydromet, 2024. – str. 104.

## Teplota přízemního vzduchu

Údaje z pozorování teplot pro zimní období 2023–2024 odrážejí také anomální povahu přízemních teplot vzduchu (obr. 27). Mapa průměrných teplotních anomálií za období od prosince 2023 do února 2024 ukazuje nárůst

teploty o 2,0–4,5 °C oproti normálu v oblasti poloostrovů Gydan a Tajmyr.

S ohledem na severní polohu tohoto území může tak výrazný nárůst teploty v zimě souviset s tepelným vlivem plášťového chocholu.



**Obr. 27**

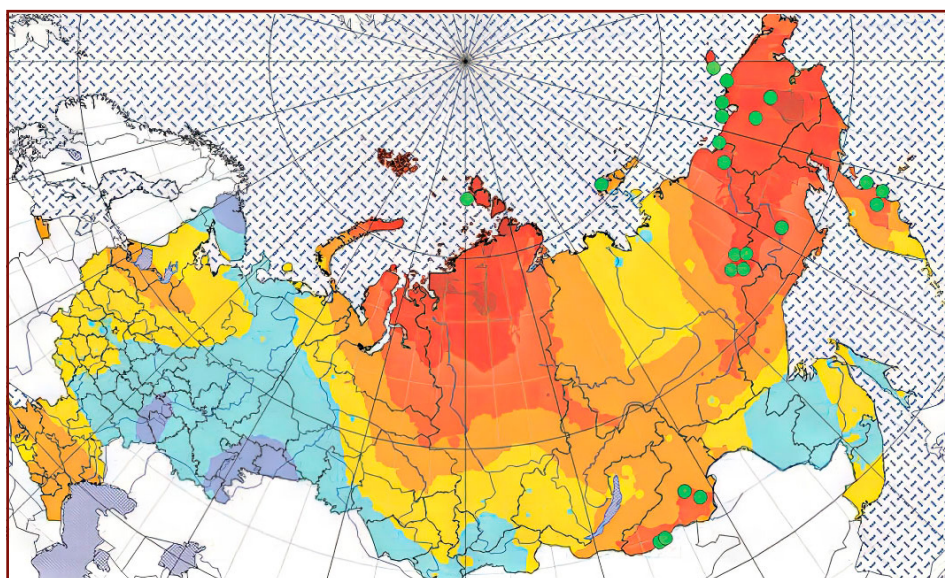
**Pole průměrných sezónních a průměrných měsíčních anomálií teploty přízemního vzduchu (°C) na území Ruska v zimě 2023–2024**

Zdroj: Zpráva o zvláštnostech klimatu na území Ruské federace za rok 2023. — M.: "Roshydromet", 2024.



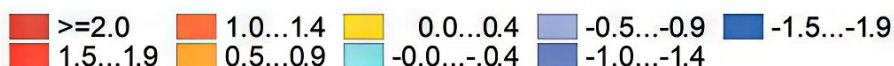
Je třeba poznamenat, že analýza map průměrných měsíčních teplot<sup>33</sup> za leden a červenec v období 2001–2022 vykazuje stabilní teplotní anomálie ve zkoumané oblasti (obr. 28, 29). Lze tedy konstatovat, že tato

anomálie není pozorována pouze v posledních dvou letech, ale stabilně se projevuje po celé 23leté období sledování, což potvrzuje závěry o vlivu pronikání chocholu na přízemní teploty.



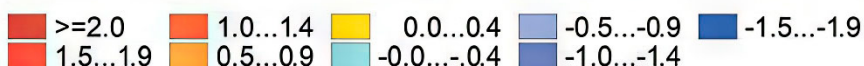
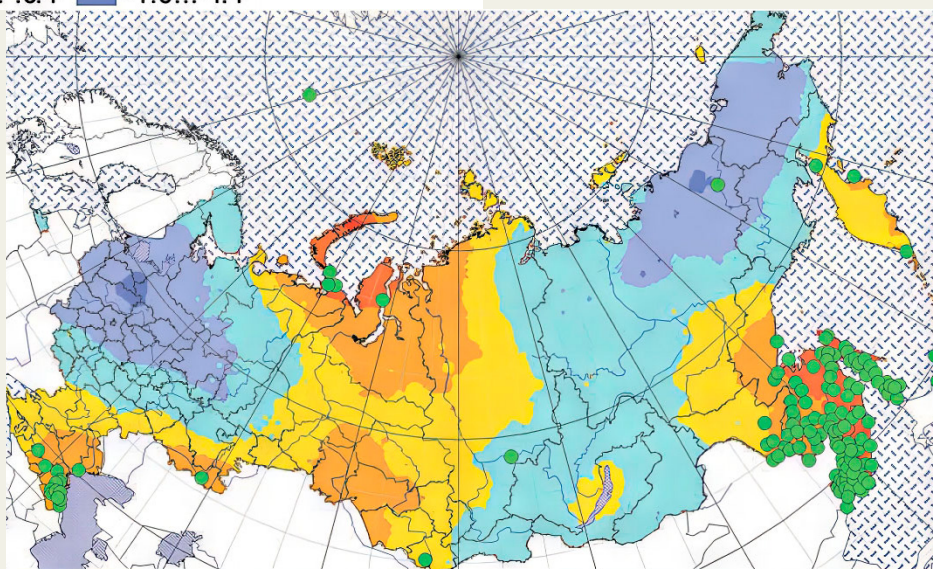
**Obr. 28**  
Koeficienty lineárního trendu (°C/10 let) průměrné měsíční teploty vzduchu za roky 2001–2022 (v rámci hranic Ruska do února 2022) – leden.

Zdroj: Šerstjukov B. G. Globální oteplování a jeho možné příčiny // Hydrometeorologie a ekologie. 2023. č. 70. str. 7-37. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>



**Obr. 29**  
Koeficienty lineárního trendu (°C/10 let) průměrné měsíční teploty vzduchu v Moskvě za období 2001–2022 (v rámci hranic Ruska do února 2022) – červenec.

Zdroj: Šerstjukov B. G. Globální oteplování a jeho možné příčiny // Hydrometeorologie a ekologie. 2023. č. 70. str. 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>

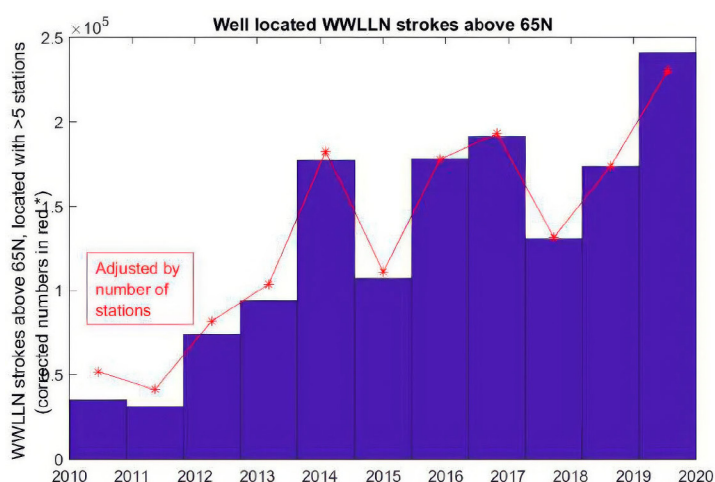


## Nárůst počtu blesků

Vědecká komunita je znepokojena rostoucím počtem bouřek a blesků v Arktidě. Počet úderů blesků v Arktidě nad 65° s. š. se od roku 2010 do roku 2020<sup>34</sup> ztrojnásobil (obr. 30). Zvláštností je, že většina těchto blesků se soustřeďuje v oblasti severní Sibiře a téměř se nevyskytuje v oblasti severní Kanady a Grónska (obr. 31, 32).

Blesková aktivita postupuje směrem k severnímu pólu. V srpnu 2019 bylo zaznamenáno

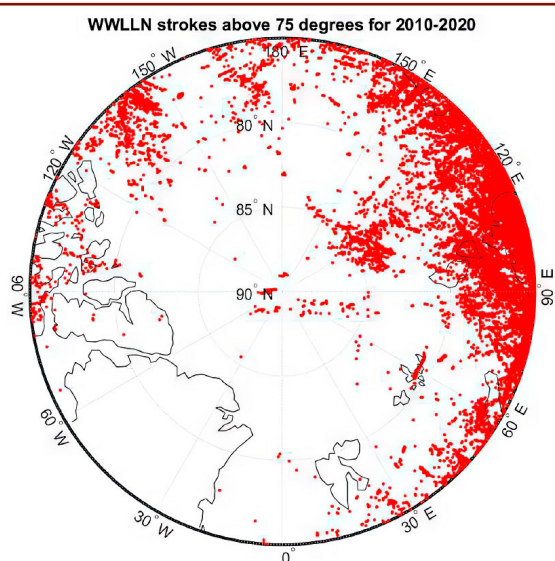
několik úderů blesků jen několik set kilometrů od severního pólu<sup>35</sup>. Většina blesků v polárních oblastech (severně od 80° s. š.) je každé léto způsobena jen několika intenzivními bouřkovými dny. Tyto bouřky se však staly novou zvláštností regionu, neboť v minulých letech zde bylo velmi málo bouřek.



**Obr. 30**

**Správně lokalizované blesky WWLLN nad 65° s. š. (vyznačeny modře) a červená čára na grafu ukazuje korekci na základě celkového počtu stanic WWLLN. WWLLN – Světová síť pro lokalizaci blesků (World Wide Lightning Location Network ).**

Zdroj: 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>



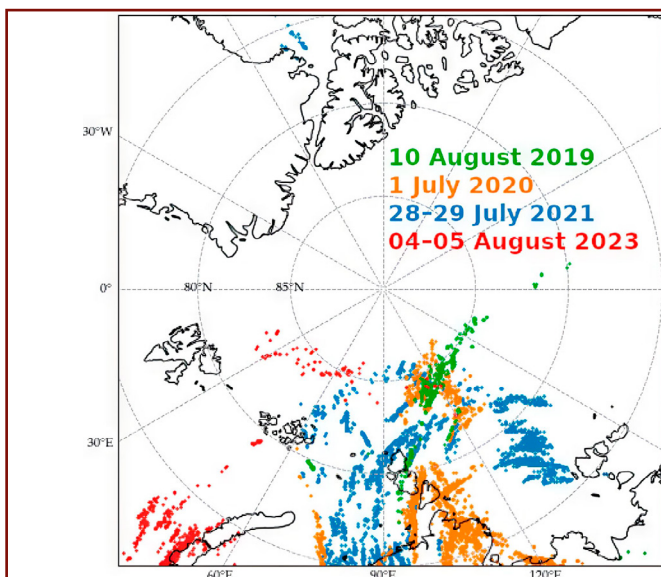
**Obr. 31**

**Globální rozložení úderů blesků WWLLN v červnu, červenci a srpnu 2010-2020 nad 75° s. š. WWLLN – Světová síť pro lokalizaci blesků**

Zdroj: 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/>



**Obr. 32**

**Místa blesků detekovaná WWLLN během bouřek v letech 2019–2023. Zelená – 2019, oranžová – 2020, modrá – 2021, červená – 2023**

Zdroj: 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>

Příčinou této stabilní polohy v posledních několika letech jsou extrémní letní vedra na severu Sibiře s teplotami dosahujícími 35 °C v letních měsících. Ale také se předpokládá, že zvýšení celkové atmosférické ionizace v oblasti v důsledku pronikání magmatického chocholu je také důležitým faktorem nárůstu blesků. K tomu dochází následkem přeměny tepelné energie na elektrickou energii Jutkinovým efektem v procesu vnitroplášťových explozí, ke kterým dochází při kontaktu toků magmatu o různých teplotách. V důsledku toho se z hlubin uvolňuje obrovské množství energie, což vede ke zvýšení statického napětí na povrchu půdní vrstvy, změně povrchového potenciálu, zvýšení ionizace vzduchu a následně ke zvýšení počtu úderů blesků.

Dochází také k uvolňování značného množství plynů přes trhliny v zemské kůře. To může ovlivňovat tvorbu oblaků i lokální povětrnostní podmínky. Vnikání magmatu je klíčovým faktorem oteplování povrchu, nárůstu vlhkosti a vzniku tepelných anomálií, které vedou ke vzniku bouřkových mraků a blesků.

Vzhledem k tomu, že bouřky a blesky vyžadují kombinaci studeného a teplého vzduchu a konvektivní nestability, vytváří poloha sibiřského plášťového chocholu optimální podmínky pro jejich vznik.

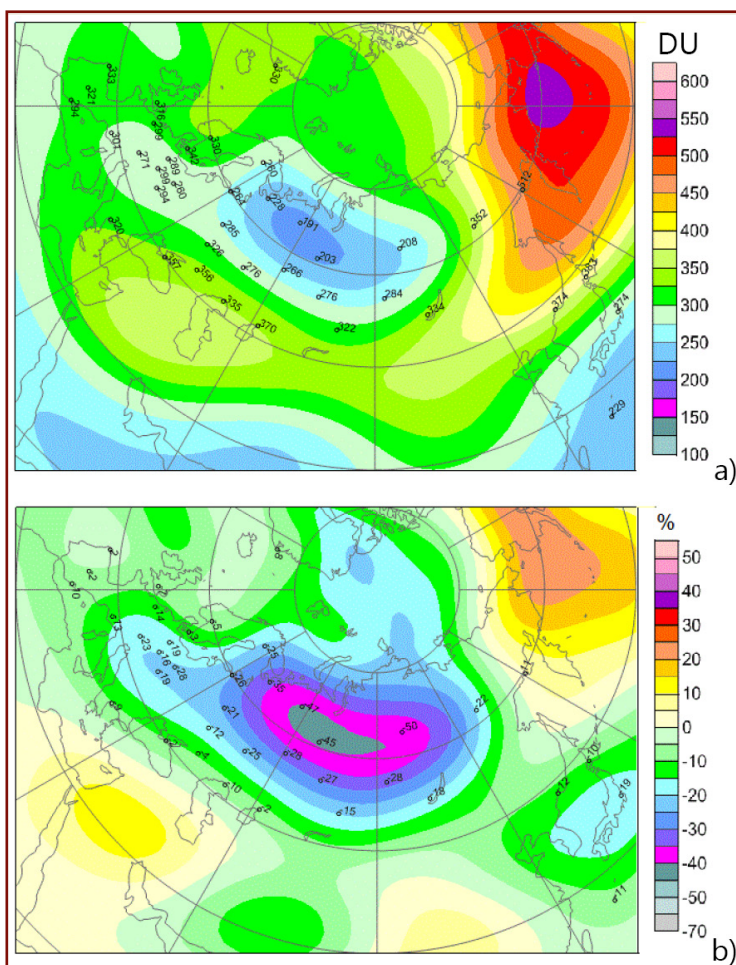
## Úbytek ozonové vrstvy

Magmatická aktivita v nitru Země je doprovázena uvolňováním značného množství sopečných plynů, včetně vodíku, metanu a oxidu uhličitého. Emise vodíku, podle prací V. L. Syvorotkina<sup>36</sup>, způsobují destrukci ozonové vrstvy. Vzhledem k tomu, že vzestup magmatu má pulsující charakter, degazace a následné zničení ozonové vrstvy bude mít také sporadický, tedy občasný projev.

Anomálie ozonové vrstvy jsou pozorovány nad severní Sibiří od roku 1997–1998, tedy po posunu zemského jádra směrem k poloostrovu Tajmyr.

Epizody úbytku ozonové vrstvy byly pozorovány v letech 2011, 2016, 2020<sup>37</sup>. Maximální nedostatek obsahu ozonu byl zaznamenán v roce 2016<sup>38</sup>. Na konci ledna 2016 (poprvé od zahájení pozorování v roce 1973) byla nad severním Uralem a Sibiří zaznamenána ozonová anomálie s celkovým obsahem ozonu 190–200 DU, což je o 40–45 % méně než jsou průměrné dlouhodobé hodnoty, s trváním tohoto jevu do 1 týdne (obr. 33).

Výrazné snížení celkového obsahu ozonu zaznamenal i přístroj OMI instalovaný na družici AURA (USA) (obr. 34).



**Obr. 33**

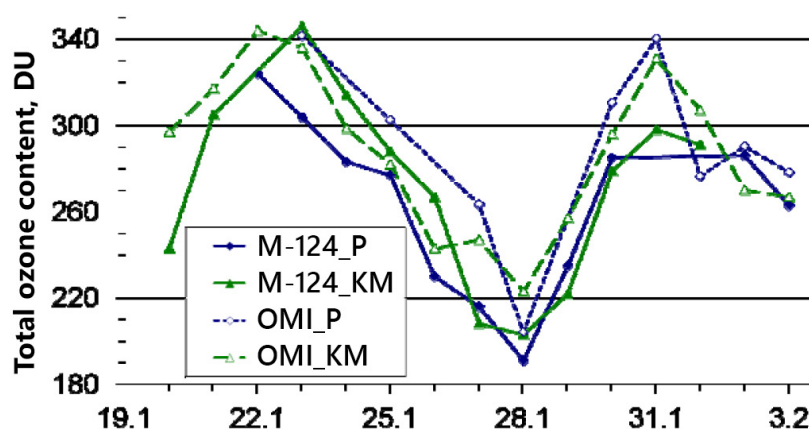
**Celkový obsah ozonu (a) a jeho odchylky od normy (b) k 28. lednu 2016, na základě družicových dat WOUDC [<http://woudc.org/>], čísla na mapě jsou měření celkového obsahu ozonu na stanicích ozonometrické sítě.**

Zdroj: Nikiforova M. P., Vargin P. N., Zvjagincev A. M., Ivanova N. S., Kuzněcova I. N., Lukjanov A. N. (2016). Ozonová minidíra nad severním Uralem a Sibiří. Sborník Hydrometeorologického výzkumného centra Ruské federace, č. 360, str. 168-180. V materiálech Hydrometeorologické konference, 9.–10. února, sv. 4, str. 91-96. Voroněž: Vědecko-výzkumné publikace.

<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. AAO (2017) doi:[10.15372/AOO20170102](https://doi.org/10.15372/AOO20170102)



**Obr. 34**

**Celkový obsah ozonu dle měření pomocí pozemního ozonometru M-124 a přístroje OMI na družici AURA (USA) na stanicích Pečora (P) a Chanty-Mansijsk (ChM) v období od 20. ledna do 3. února 2016.**

Zdroj: Nikiforova M. P., Vargin P. N., Zvjagincev A. M., Ivanova N. S., Kuzněcova I. N., Lukjanov A. N. (2016). Ozonová mini díra nad severním Uralem a Sibiří. Sborník Výzkumného hydrometeorologického centra Ruské federace, č. 360, str. 168–180. V materiálech Hydrometeorologické konference, 9.–10. února, str. 91–96. Voroněž: Vědecko-výzkumné publikace.

Je důležité poznamenat, že průměrná dlouhodobá sezónní změna celkového obsahu ozonu v extratropických zeměpisných šířkách severní polokoule má minimum v září a maximum v březnu až dubnu. Ale v roce 2016 došlo k degradaci ozonu neobvykle brzy, v lednu 2016, a celkový obsah ozonu v tomto

měsíci byl nejnižší v celé historii přístrojových pozorování.

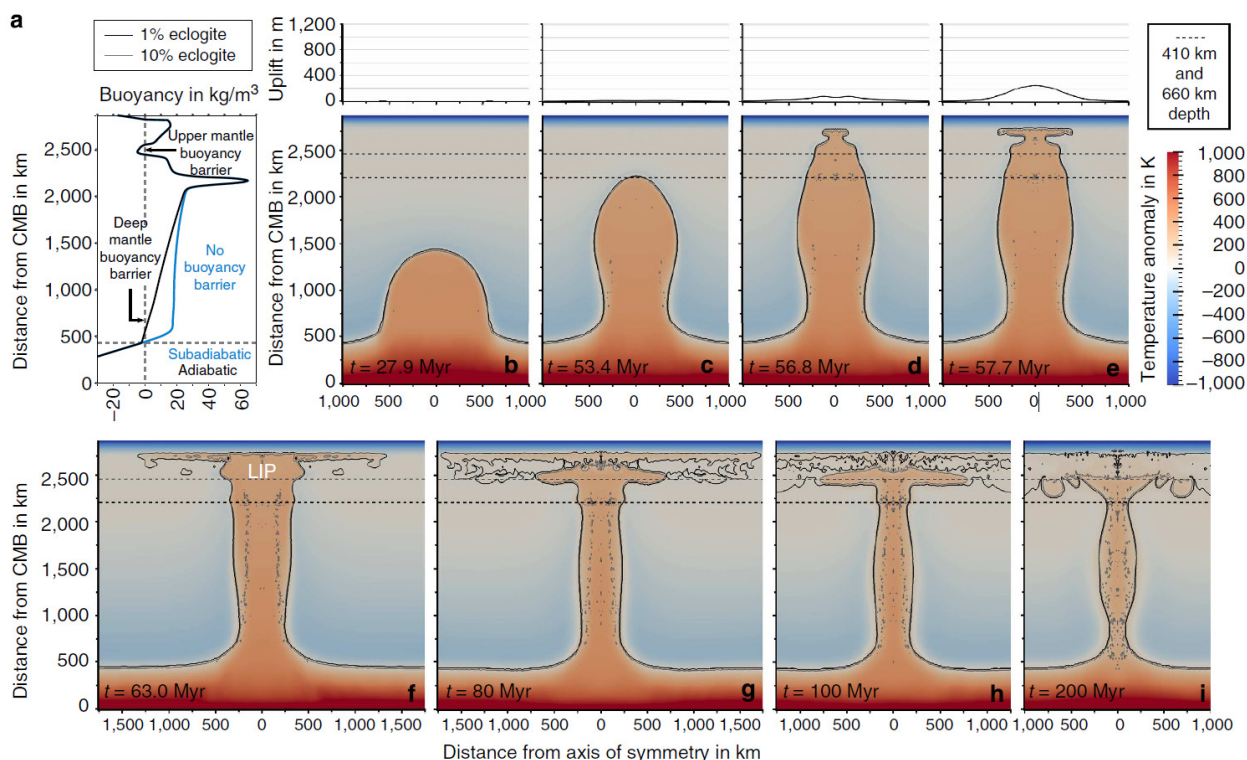
Degradace ozonové vrstvy nad sibiřskou oblastí tedy může být dodatečným indikátorem uvolňování plynů podél zlomů v důsledku postupu magmatického chocholu k povrchu.



# Struktura, možná velikost a lokalizace magmatického chocholu na základě publikovaných a pozorovaných údajů

Struktura chocholu se dá zhruba přirovnat k houbě. Má takzvaný chvost (stopku), který zvedá rozžhavený materiál z hranice jádra a pláště. Horní část chocholu, která se během svého vzestupu rozšiřuje, se nazývá hlava chocholu. Když chochol

dosáhne hranice (spodní části) litosféry a narazí na žáruvzdornou vrstvu ztuhlých hornin, hlava chocholu se začne pod litosférou rozprostírat jako klobouk houby (obr. 35).



**Obr. 35**

**Obrázek ukazuje model vývoje magmatického chocholu, jako je ten, který před 250 miliony let vytvořil sibiřské trapy.**

Graf vlevo (a) ukazuje, jak magma stoupá různými vrstvami zemského pláště. Hlavní část obrázku (b-i) je jakousi „časovou osou“ ukazující jednotlivé fáze vývoje chocholu. Nejprve se vytvoří „sloup“ horkého magmatu, který stoupá ze základny pláště. Postupně tento sloup dosáhne horních vrstev pláště. Na vrcholu se rozšiřuje a vytváří „hřibovitou“

čepici. Postupem času se chochol ztenčuje a začíná se rozpadat na jednotlivé části. Barvy v diagramu znázorňují teplotu:

červené a oranžové oblasti jsou nejteplejší, modré oblasti jsou chladnější.

Zdroj: Dannberg, J., Sobolev, S. Low-buoyancy thermochemical plumes resolve controversy of classical mantle plume concept. Nat Commun 6, 6960 (2015).

<https://doi.org/10.1038/ncomms7960>

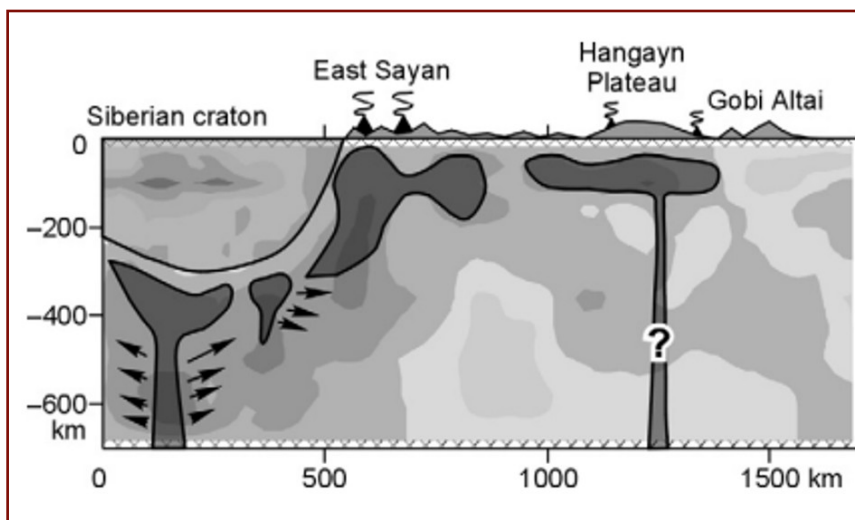
Podle publikovaných údajů, jak se chochol přibližuje k litosféře, jeho poloměr se zdvojnásobuje a jeho rychlost prudce klesá<sup>39</sup>. Horký materiál, který pochází z „chvostu“, tlačí a propaluje litosféru, vytváří trhliny a potom tam, kde jsou oslabená místa, se vytvoří sekundární chocholy – horní magmatické komory již uvnitř zemské kůry. Podobné komory existují například pod Yellowstone, Campi Flegrei a dalšími supervulkány. To je právě místo, kde může dojít k průlomu v kůře a masivní erupci magmatu na povrch.

Je důležité poznamenat, že podle současných představ může vzestup chocholu k povrchu trvat desítky milionů let. Tyto údaje však vycházejí z teoretických výpočtů, zatímco praktická pozorování současné eskalace geodynamických procesů ukazují opak. Pozorování procesů na Sibiři naznačují, že vzestup chocholu může

proběhnout během několika desetiletí.

Na základě publikovaných údajů<sup>40</sup> je známo, že podobný magmatický superchochol, který způsobil četné čedičové erupce v Eurasii (na Sibiři) na hranici permu a triasu (před 250 mil. lety), měl následující rozměry: 4 000 km od západu na východ a 3 000 km od severu na jih. A předpokládá se, že hlava chocholu měla průměr 1 000 až 2 000 km.

Je známo, že západosibiřská deska je mladší a tenčí, 35-40 km silná. Východosibiřská platforma naopak – je starší a tlustší, chladnější, 40-45 km silná. Nazývá se sibiřský kraton. Podle údajů ze seismické tomografie<sup>41</sup> vědci předpokládají, že pod jižním okrajem východosibiřské platformy jsou nyní pozorovány menší magmatické krby, které se rozlévají pod Sibiřským kratonem (obr.36), což je dáno tím, že deska je chladnější.



**Obr. 36**  
**Schematické znázornění obtékání Sibiřského kratonu menšími magmatickými krby (znázorněno šipkami vlevo).**

Zdroj: Kulakov I. J. Struktura horního pláště pod jižní Sibiří a Mongolskem na základě údajů z regionální seismické tomografie // Geologie a geofyzika. 2008. 49(3), str. 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.

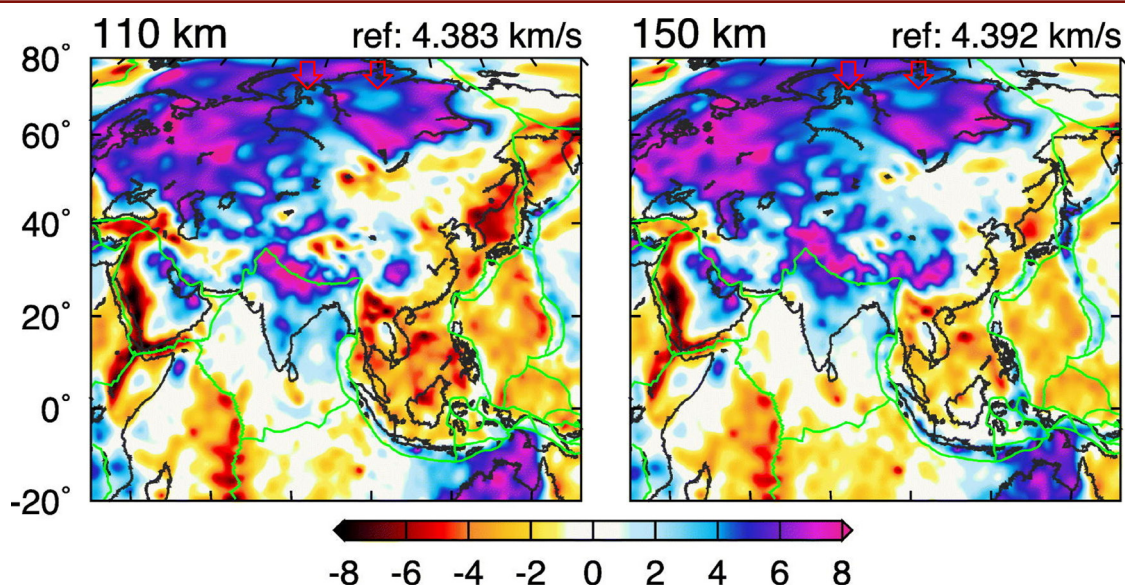
<https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.06.012>

Podle této hypotézy se nyní současný sibiřský chochol šíří pod podložím východosibiřské platformy a částečně pod západosibiřskou deskou. K šíření může podle publikovaných údajů docházet v hloubkách 50-60 km a noha chocholu je pravděpodobně nejzřetelněji pozorována v hloubkách 100 km. K pronikání sekundárních chocholů dochází pravděpodobně již v hloubkách 40 km.

Některé seismické tomografické modely odhalují anomálie<sup>42</sup> s nízkou rychlostí (svědčící o více roztaveném prostředí) v hloubkách 110-150 km, což odpovídá tekutějšímu prostředí

v nitru Země jižně od poloostrovů Gydan a Tajmyr (obr. 37). To je vidět na rychlostních mapách z článku ze srpna 2024. Tyto anomálie lze pravděpodobně spojit se dvěma přítoky magmatické hmoty, tj. chvosty chocholu (obr. 38).

Pokud jsou data tohoto modelu správná, průměr každého chvostu, který stoupá pod východosibiřským kratonem, je asi 600-700 km.



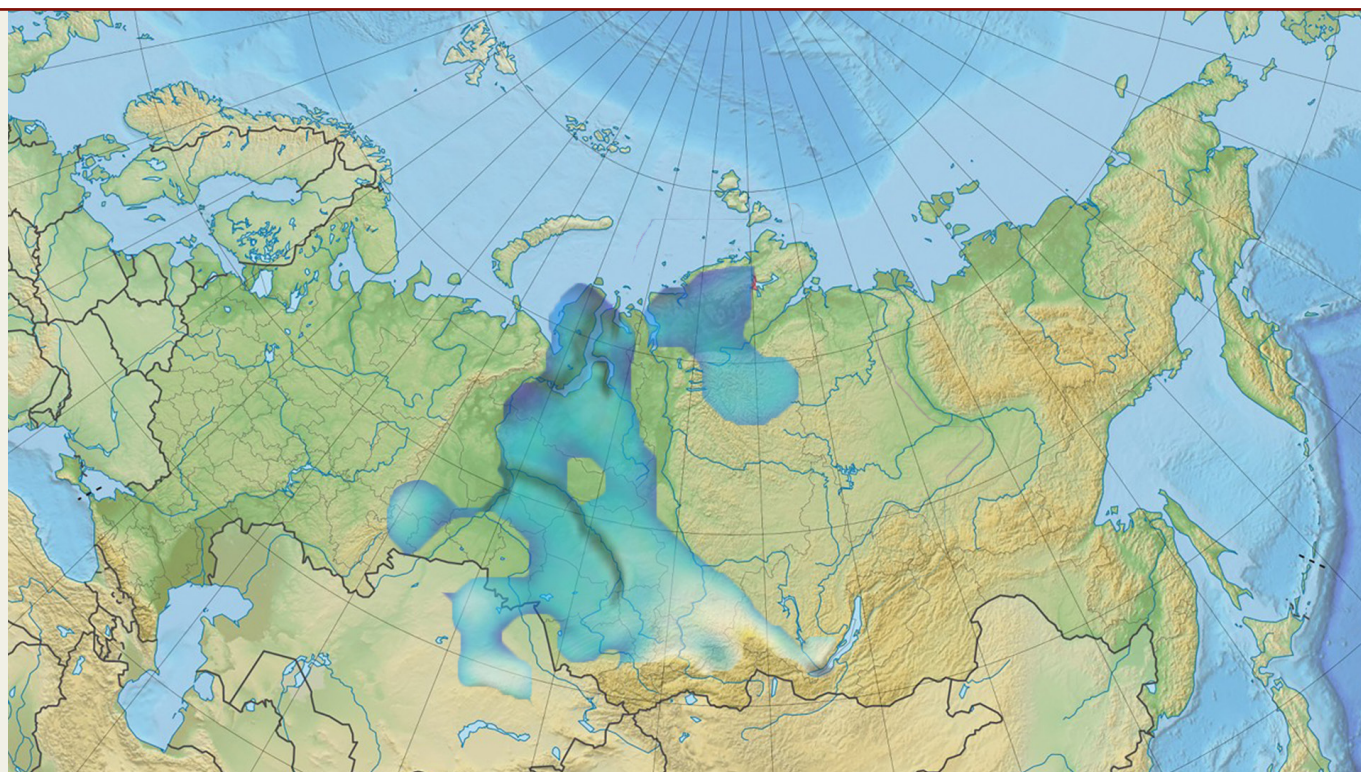
**Obr. 37**

**Na mapě jsou oblasti s vysokou rychlostí průchodu seismických vln (tvrdé horniny) označené fialovými barvami, zatímco modrými barvami jsou označené oblasti s nižší rychlostí (tekutější, roztavený materiál). Anomálie snížených rychlostí seismických vln, odpovídající zónám s tekutější plášťovou hmotou, jsou vyznačeny dvěma červenými šipkami.**

Zdroj: 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.2023.104595>

<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>



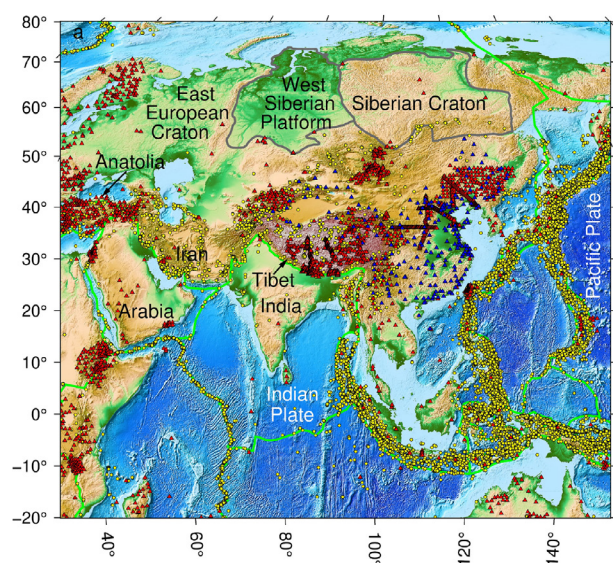


**Obr. 38**

**Anomálie snížených seismických rychlostí byly naneseny a přizpůsobeny fyzické mapě Ruska podle Dou et al., 2024.**

Je však důležité poznamenat, že v seismické tomografické analýze Sibiře prezentované v článku (Dou et al., 2024) byla použita data z méně než 10 seismických senzorů (obr. 39), z nichž všechny jsou umístěny podél hranic desek a uvnitř západní a východní Sibiře se prakticky

nevyskytují. Analýza použila data ze všech veřejně dostupných širokopásmových záznamů zemětřesení od roku 1994 do 4. září 2023. Pro srovnání: na mapě jsou červenými trojúhelníky označeny senzory, použité při analýze pro Asii, jejich množství se počítá na tisíce.



**Obr. 39**

**Umístění senzorů (červené trojúhelníky) používaných v seismické tomografické analýze.**

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



Další studie provedená čínskými vědci v roce 2023 potvrzuje, že zemská kůra pod Sibiří nyní taje a ztenčuje se vlivem magmatu<sup>43</sup> (obr. 40). Tento proces postupuje a snižuje pevnost desky. Autoři v článku představují model vodivosti pláště pro severní Asii založený na geomagnetických datech. Model ukazuje velkou anomálii s vysokou elektrickou vodivostí, která se nachází v přechodové zóně pláště pod sibiřskými trapovými horninami v době jejich erupce. Vědci ji interpretovali jako tepelnou anomálii se stopami tání v oblasti existující permské anomálie. (obr. 41).

Celkově seismotomografické modely zkoumající hloubky od 40 do 110 km v oblasti východosibiřského kratonu vykazují navzájem

odlišné výsledky. Zároveň je zřejmý nedostatek seismologických údajů pro sestavení přesných modelů pro sibiřské území.

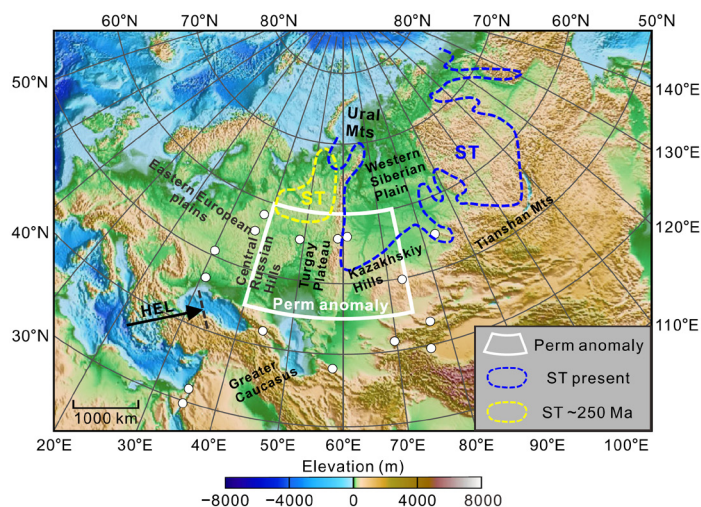
Současné tomografické modely jsou založeny na seismických datech shromážděných za dlouhé období přibližně 30 let. Z hlediska klasických představ o vývoji plášťových chocholů, který trvá miliony let, je 30leté období považováno za extrémně krátké. Dostupné údaje však naznačují, že právě během tohoto časového intervalu došlo ke klíčovým změnám ve struktuře sibiřského chocholu. Tato pozorování vedou k poznání, že je třeba revidovat dosavadní představy o rychlosti vývoje plášťových chocholů a metodách jejich studia.

#### Obr. 40

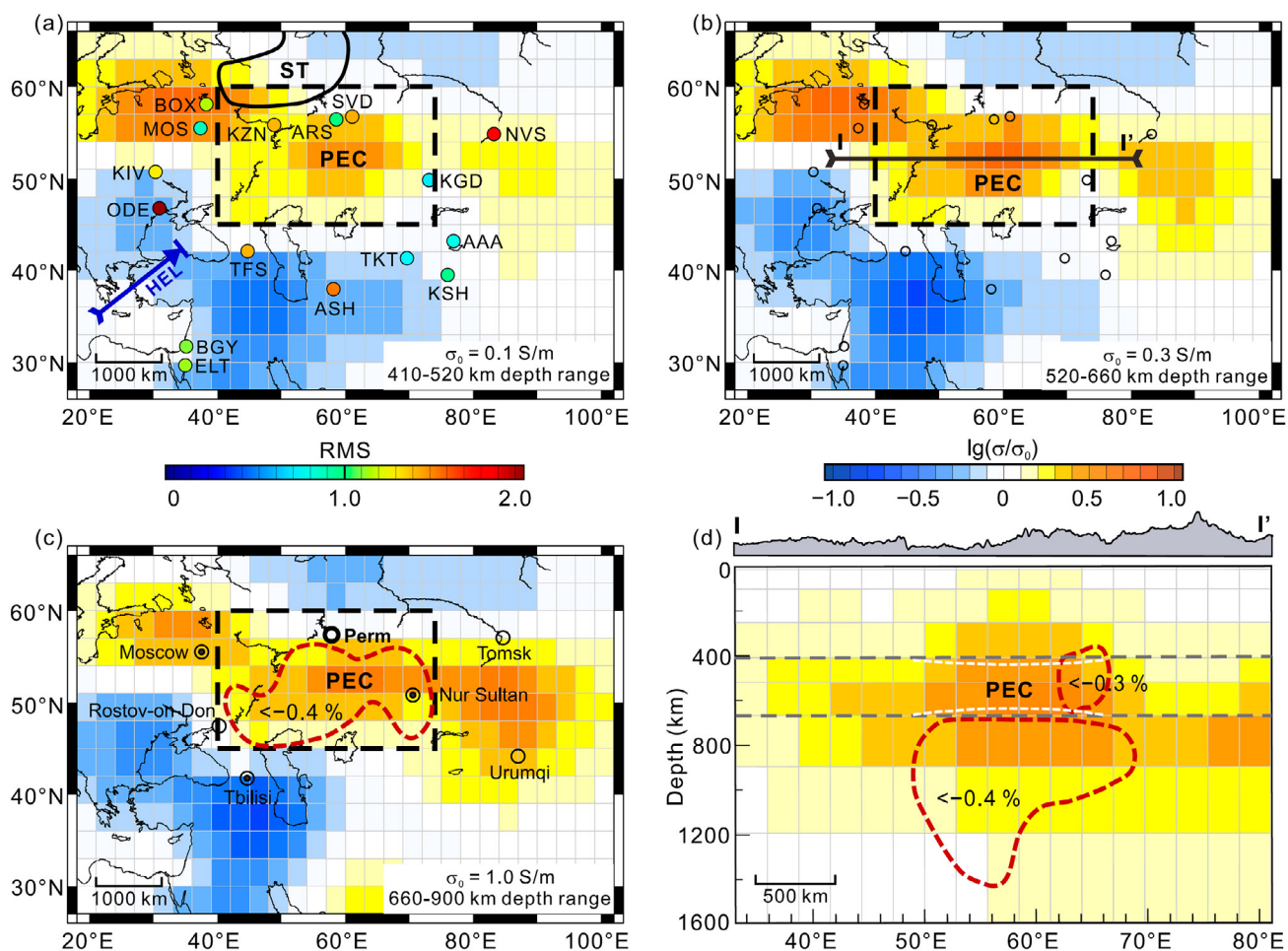
**Bílé body představují stanice, jejichž C-odpovědi jsou použity v této studii. Rozsah permské anomálie je znázorněn zónou vyznačenou bílými čarami. Současné (modré) a minulé (žluté) umístění sibiřských trapů jsou označeny přerušovanými čarami.**

Zdroj: 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>



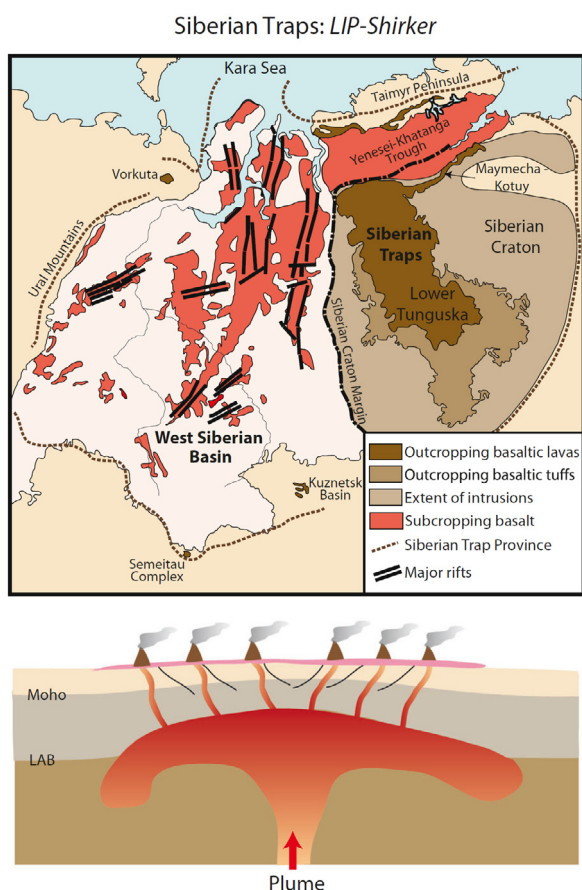
Obr. 41

Výzkumníci z Jilinské univerzity (Jilin University) a Shijiazhuang Tiedao University použili hodnoty geomagnetického pole ze 16 stanic v severní Asii k výpočtu elektrické vodivosti pláště v různých hloubkách. Zjistili výrazný nárůst vodivosti vzhledem ke globálnímu průměru vodivosti v oblasti pod sibiřskými trapy (žlutohnědé oblasti na obrázcích). Vědci zjistili, že tyto oblasti v hloubce 400 až 900 kilometrů jsou v průměru o 250 stupňů Celsia teplejší než okolní plášť. Tyto oblasti obsahují část roztaveného pláště.

Zdroj: 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>

Je třeba poznamenat, že předchozí výlevy před 250 miliony lety (na přelomu permského a triasového období) se také odehrály v tomto regionu. Epicentrum se nacházelo pod

východosibiřským kratonem (pod Putaranskou plošinou) a k výlevům docházelo na celé západní a východní Sibiři (obr. 42).



**Obr. 42**

Sibiřské trapy jako příklad velké magmatické provincie. Mapa ukazuje erupce na západní Sibiři (červená) a trapy na východní Sibiři (hnědá), které vybuchly před 250 miliony let. Horký materiál z plášťového chocholu stoupá a šíří se pod hranicí mezi litosférou a astenosférou a vytváří strukturu ve tvaru houby. To vedlo k rozsáhlé magmatické aktivitě na ploše asi 5 milionů km<sup>2</sup>. V důsledku působení chocholu vznikl západosibiřský riftový systém, jehož činnost ustala přibližně o 10 milionů let později ve středním triasu.

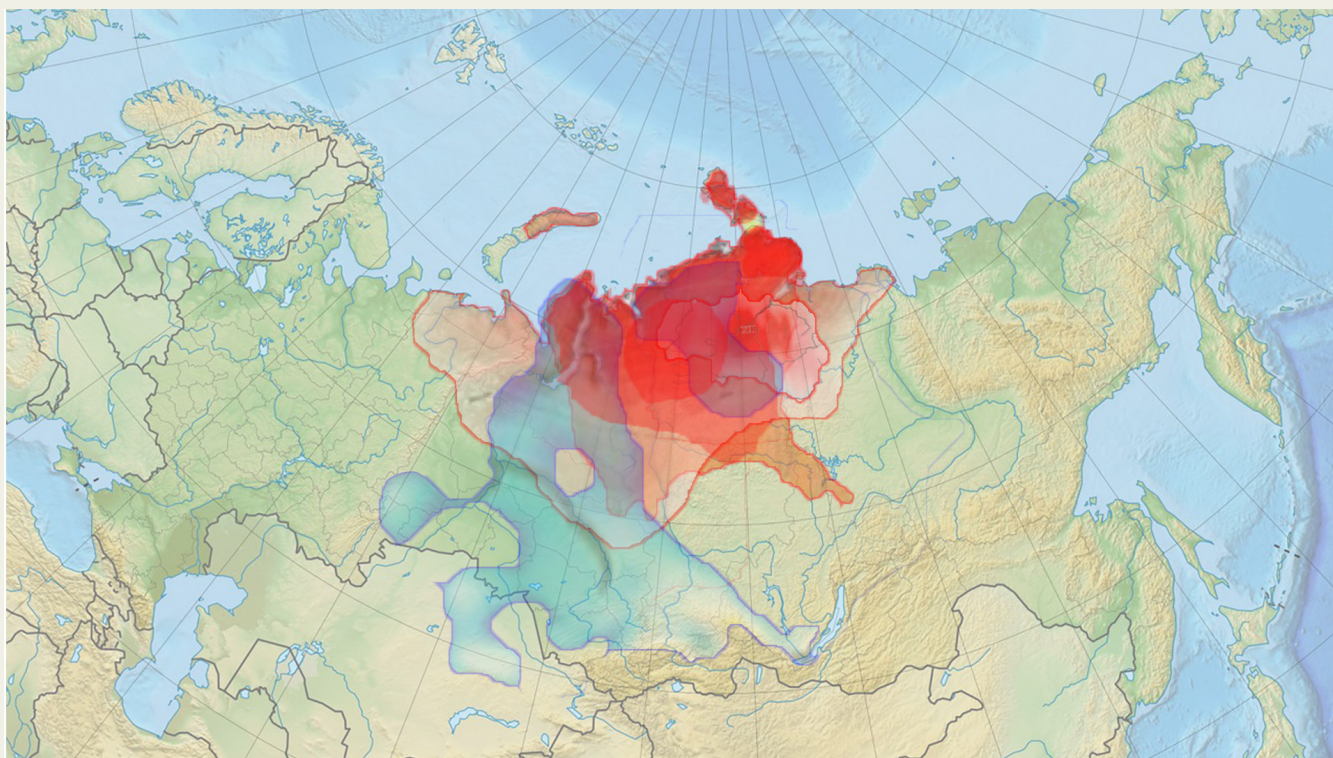
Zdroj: Koptev, A., & Cloetingh, S. (2024). Role of Large Igneous Provinces in continental break-up varying from “Shirker” to “Producer.” Communications Earth & Environment, 5, 27. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01191-9>

## Lokalizace magmatického chocholu

Pokud zobecníme výše uvedenou analýzu údajů o teplotních anomáliích půdy, hloubce tání permafrostu, přípovrchových teplotách,

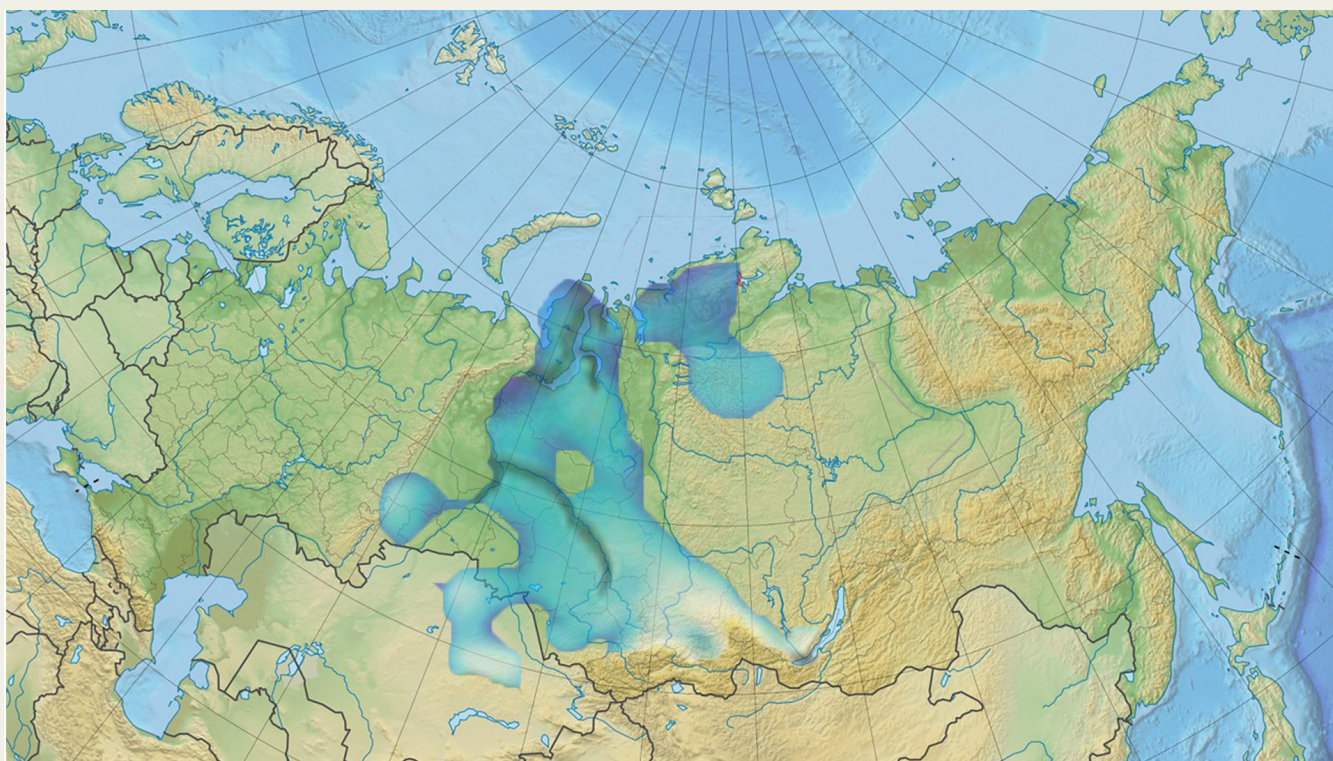
anomáliích snížených seismických rychlostí v plášti a magnetické anomálii, umožní to určit aktuální polohu a rozměry chocholu. (obr. 43).





**Obr. 43**

**A. Mapa s překrytím hlavních anomálií podle různých parametrů, které jsou uvedeny níže:**



**B. Mapa anomálií nižší rychlosti (tekutější) v hloubce 110 km ze seismické tomografie, podle údajů Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J., & Weng, A. (2023)**



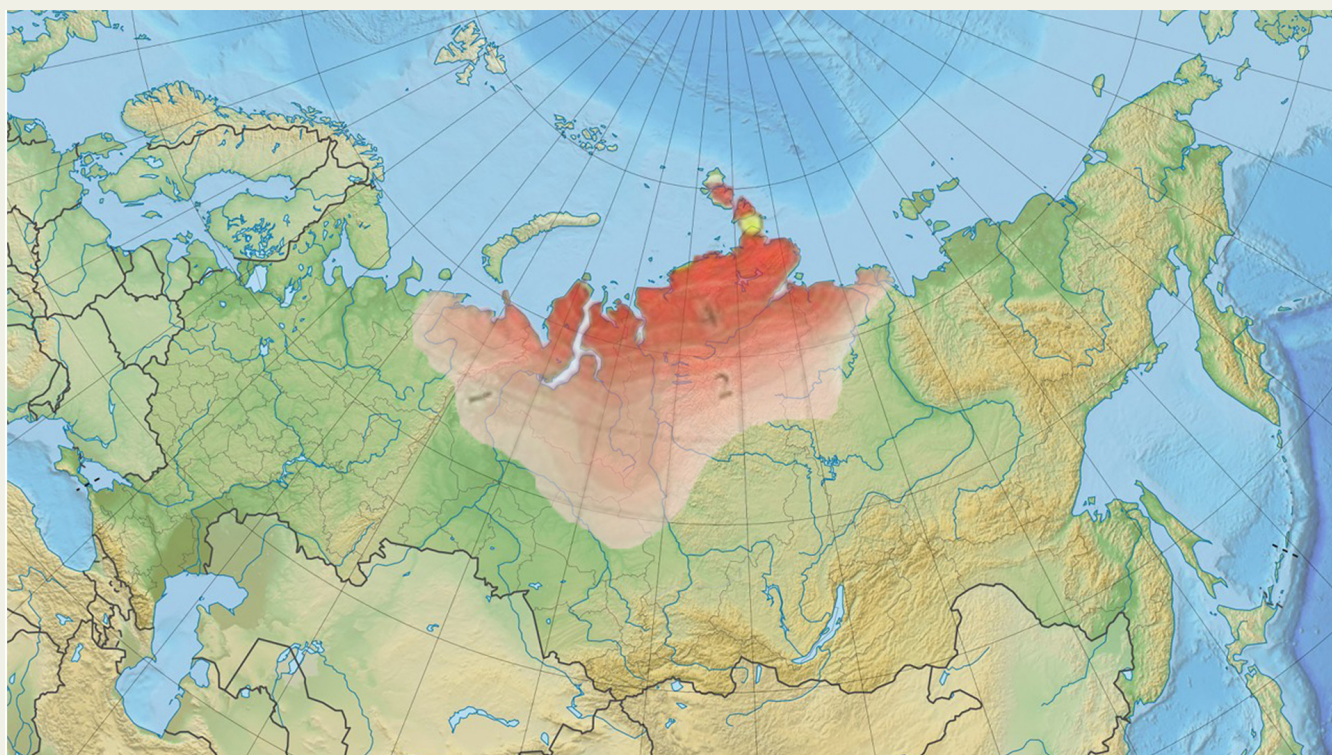


**C. Nová anomálie zahřívání půdy při srovnání trendů za období 1976–2021 a 1976–2023, podle údajů Roshydrometu, (2021, 2023)**

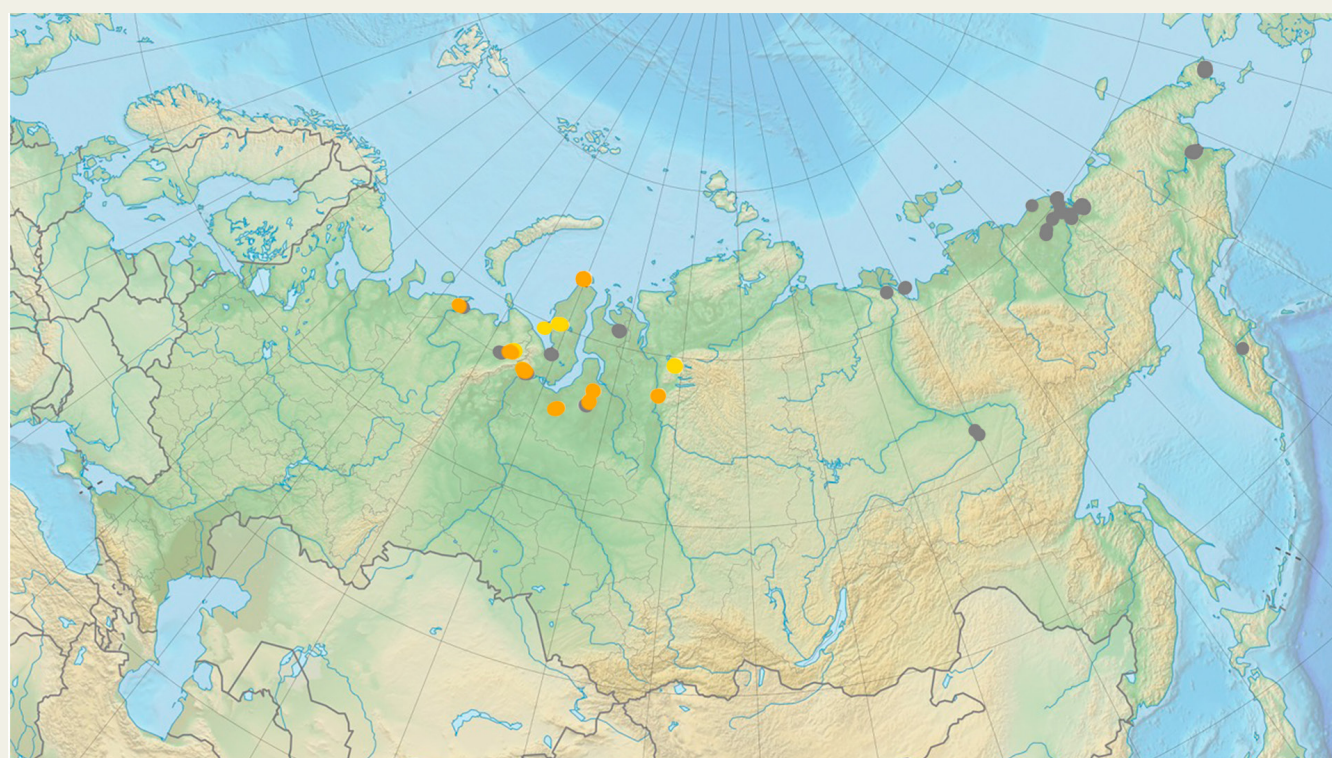


**D. Trend průměrné měsíční teploty vzduchu za leden 2001–2021, podle Šerstjukova, (2023)**





**E. Průměrná měsíční teplota od prosince 2023 do února 2024, podle Roshydrometu, (2024)**



**F. Místa, kde se zvyšuje hloubka sezónního tání vrstvy permafrostu. Zdroj dat: <https://permafrost.su/>**

Podle hypotézy se vzestupná část chocholu nachází jižně od poloostrovů Gydan a Tajmyr a má několik větví. Průměr hlavy chocholu se odhaduje na 1 200–1 500 km a zóna šíření magmatických toků může dosáhnout 2 500–3 000 km. Tato oblast pokrývá tektonické struktury západosibiřské desky a východosibiřského kratonu. V současné době hlavní část chocholu ovlivňuje základnu východosibiřského kratonu a šíří magmatické proudy pod jeho územím. Tento proces pravděpodobně ovlivňuje zvýšení

seismické aktivity v oblasti okrajových částí desky, například v zóně Bajkalu a dokonce i na Uralu. Příčinou takových anomálií především v okrajových částech desek je destabilizace desek v důsledku změkčení podložní astenosféry a mírný vzestup centrální části sibiřského bloku zemské kůry, tedy tektonických struktur západosibiřské desky a východosibiřského kratonu, spolu s tektonickou strukturou Verchojansko-čukotského vrásového systému.

## **Nárůst seismické aktivity jako známka destabilizace tektonických desek v důsledku aktivity sibiřského magmatického chocholu**

Metodika analýzy seismické aktivity zahrnovala stahování a speciální zpracování dat získaných z webových stránek Mezinárodního seismologického centra (ISC). Protože data obsahují různé zdroje z různých zemí a výzkumných ústavů a také různé typy magnitud (Mw, Ms, Mb, ML, MD atd.), byl použit specifický algoritmus zpracování dat pro výběr vhodného typu magnitud z různých zdrojů (viz Příloha 1). Základní myšlenkou algoritmu zpracování bylo vybrat střední hodnotu mezi nejběžnějšími typy magnitud pro každou událost, protože různé zdroje hlásily různé typy magnitud a hodnoty do databáze ISC pro každou událost. Toto zpracování má v průměru za následek malý pokles magnitudy vzhledem k maximální hlášené hodnotě, ale zkušenosti ukázaly, že mediánový algoritmus poskytuje výsledky, které dobře souhlasí s

Gutenberg-Richtterovým zákonem a dalšími zákonitostmi, a docela dobře souhlasí s daty z jiných seismologických databází, jako je IRIS a USGS.

Data získaná jako výsledek algoritmu byla filtrována podle typů událostí v databázi ISC (viz Příloha 1), aby se vyloučily události způsobené lidskou činností během těžebních činností: exploze, potenciální exploze, důlní otřesy atd. Vzhledem k tomu, že v Rusku je mnoho těžbařských podniků, byla databáze ISC porovnána s daty Jednotné geofyzikální služby Ruské akademie věd<sup>44</sup> k lednu 2025, která označuje všechny známé výbuchy a důlní otřesy na území Ruska. Tyto události byly také vyloučeny, aby se zajistilo, že ve výsledných datech nezůstanou žádné události odpovídající výbuchům.

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

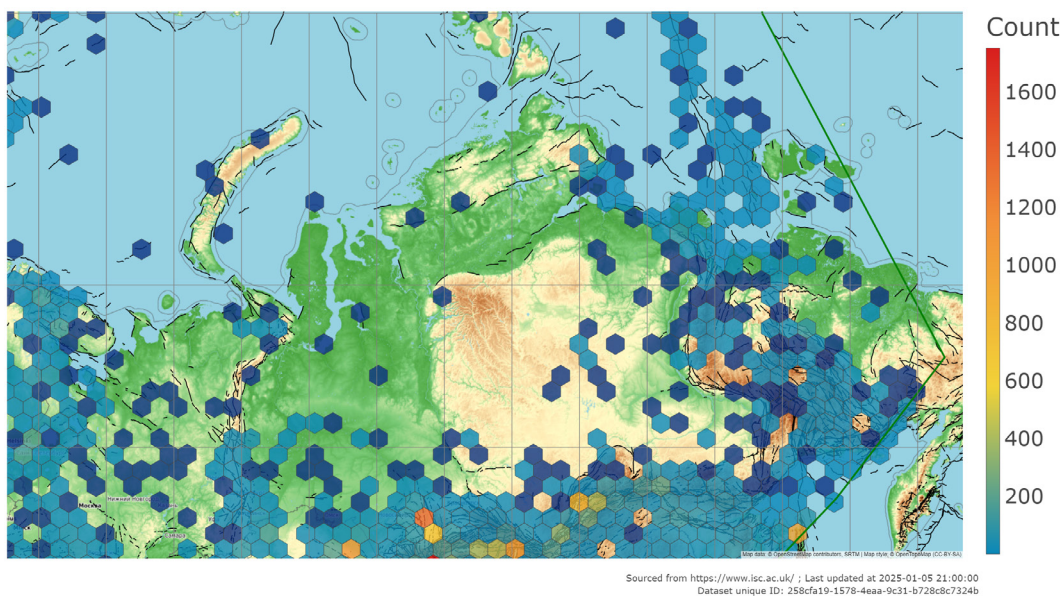


Podívejme se na výsledky analýzy dat v oblasti vzestupu magmatického chocholu a v okrajových částech velkých tektonických bloků, na které má přímý vliv. Vzhledem k tomu, že sibiřský kraton je považován za relativně stabilní aseismickou platformu, výskyt byť malého počtu zemětřesení v jeho hranicích bude anomálií.

Obr. 44 ukazuje hustotu rozložení zemětřesení na území Ruska. V oblasti Sibiře je největší kumulace zemětřesení logicky pozorována ve

vrásovcích oblastech: Verchojanského pohoří na východě, podél Gakkelského hřbetu na severu, na západě pohoří Ural a na jihu v Altajsko-sajanské oblasti. Jednotlivé události se vyskytují i na území samotné Sibiře: několik zemětřesení s magnitudem kolem 4,0 bylo zaznamenáno jižně od Tajmyrského poloostrova. Podívejme se podrobněji na dynamiku zemětřesení v místních lokalitách v oblasti sibiřského chocholu a v sousedních regionech.

**Hustota zemětřesení M3+ na území Sibiře**



**Obr. 44**

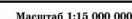
**Hustota zemětřesení s magnitudem od 3,0 na území Sibiře v letech 1990-2024.**

Databáze: ISC

Na základě geologických struktur byly identifikovány oblasti, kde může plášťový chochol různě působit (obr. 45). Byla vybrána oblast samotného chocholu, kde by mohl být vliv spojen s proniknutím a tlakem magmatu a fluidní fáze

(magmatických plynů). V okrajových částech východosibiřské platformy a západosibiřské desky je pravděpodobně vliv chocholu na seismicitu způsoben destabilizovanou polohou hustých bloků zemské kůry.



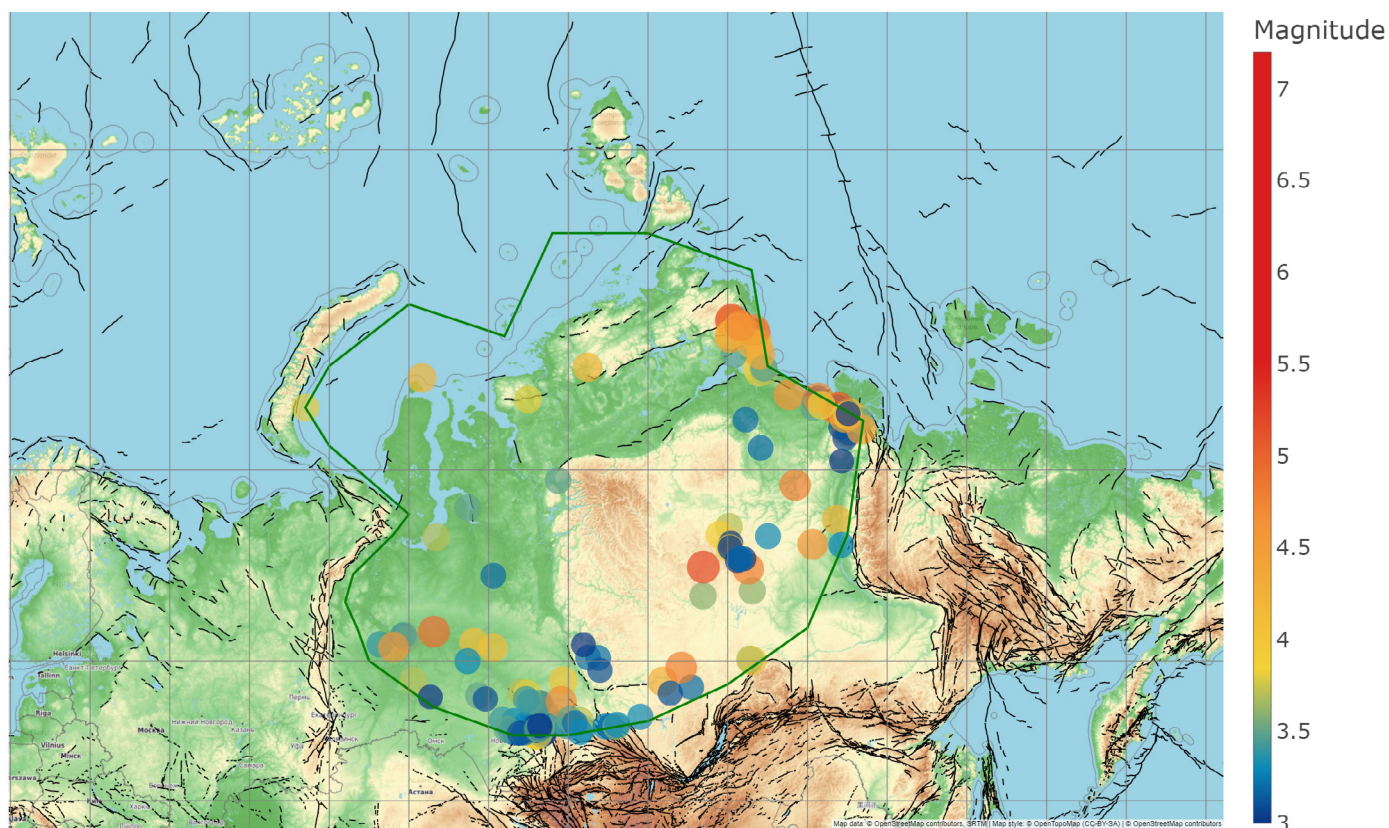


**Vymezený polygon podle geologických struktur v oblasti pronikání a šíření sibiřského chocholu (vnitřní černý polygon) pro analýzu seismicity. Vnější černý polygon odpovídá oblasti okrajových efektů způsobených tlakem sibiřského chocholu na desky.**

3,5 a 3,8. Zemětřesení s podobným magnitudem byla zaznamenána v jižní části poloostrova Gydan (M 3,5) a na poloostrově Jamal (M 3,7 a M 4,2) v hloubce 10 km. Tato zemětřesení byla zaznamenána v oblasti lokalizace hlavy sibiřského chocholu, což je alarmující trend, o kterém bude řeč později.



### Zemětřesení M3+, oblast sibiřského chocholu



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

#### Obr. 46

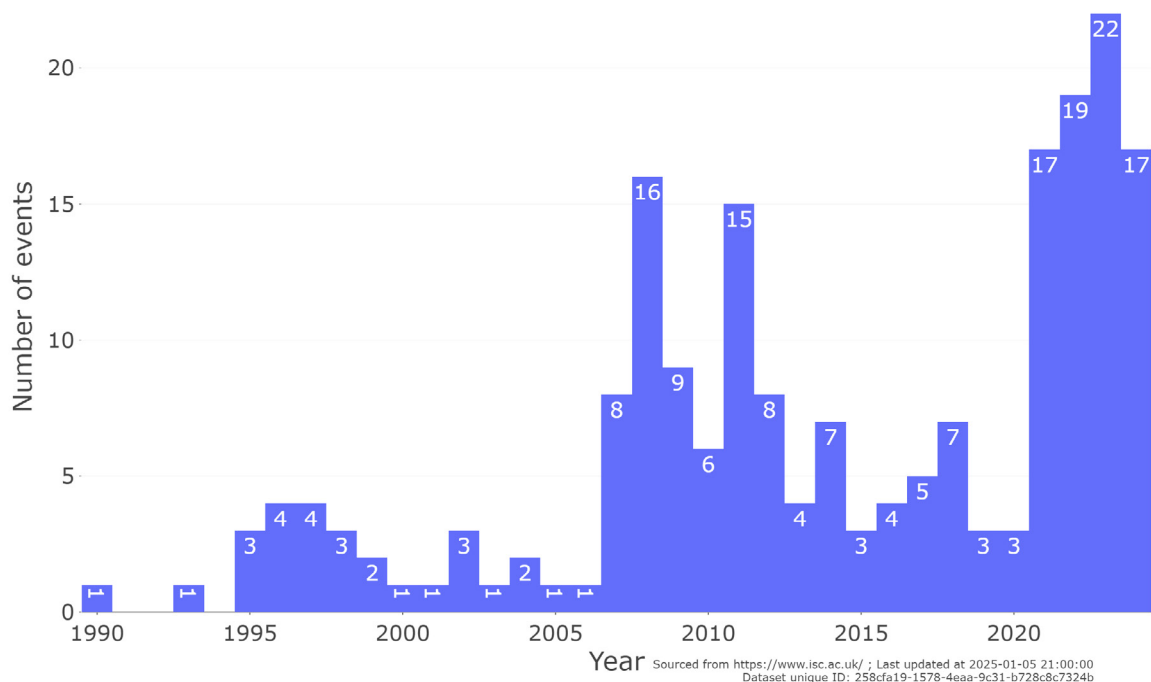
Mapa zemětřesení s magnitudem od 3,0 a vyšším v oblasti sibiřského chocholu v letech 1990 až 2024.

Databáze: ISC.

Ve zvýrazněné oblasti sibiřského chocholu bylo od roku 1990 do roku 2024 zaznamenáno celkem 205 zemětřesení s magnitudem od 3,0. V roce 1995 byl zaznamenán nárůst počtu zemětřesení (obr. 47), což odpovídá celosvětovému trendu zvýšené seismické aktivity v roce 1995, která souvisí s rostoucí magmatickou aktivitou. Od roku 2007 došlo

k výraznému nárůstu počtu zemětřesení s postupným snižováním seismické aktivity. Od roku 2021 se počet zemětřesení opět prudce zvýšil a překonal předchozí roční údaje. V oblasti sibiřského chocholu je tedy pozorováno vlnové zvýšení seismické aktivity. V posledních letech bylo zaznamenáno znatelně více událostí, než bylo dříve pro tuto oblast typické.

### Zemětřesení M3+, oblast sibiřského chocholu



**Obr. 47**

**Počet zemětřesení s magnitudem 3,0 a vyšším v oblasti sibiřského chocholu od roku 1990 do roku 2024**

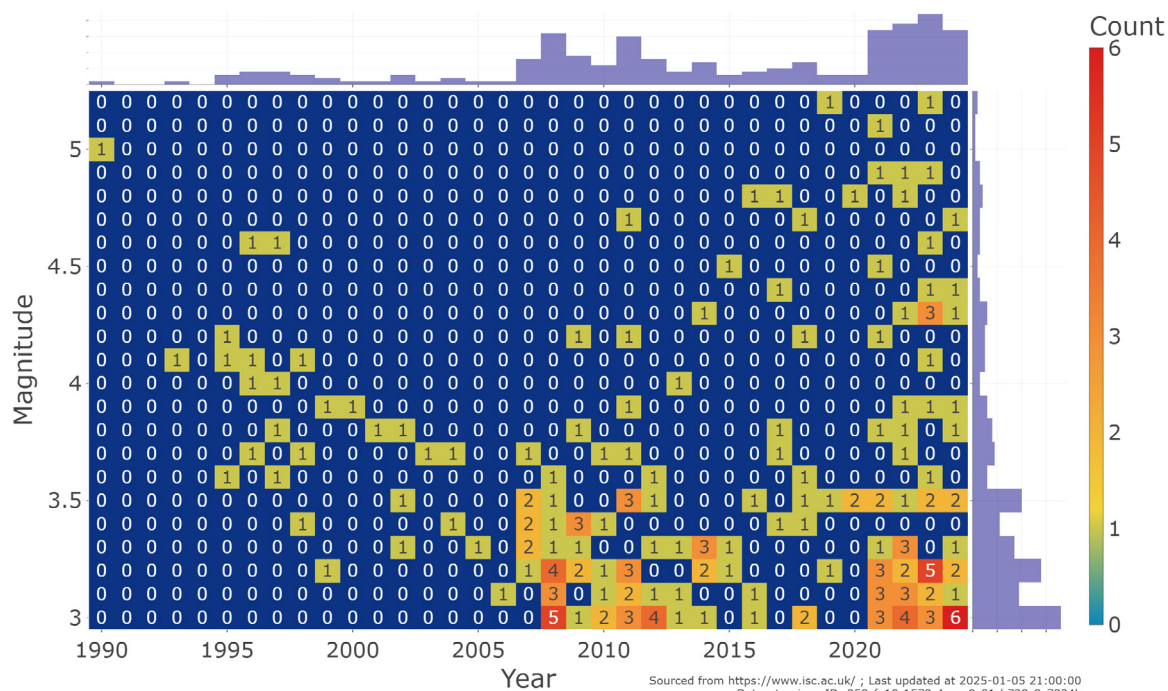
Databáze: ISC

Od zemětřesení s magnitudem 5,0 v roce 1990 dochází k postupnému snižování velikosti a počtu zemětřesení (obr. 48). Od roku 1990 do roku 2007 byla zaznamenána pouze 3 zemětřesení s magnitudem vyšším než 4,5. Od roku 2007 dochází k postupnému nárůstu magnituda zemětřesení. Poprvé v zaznamenané

historii došlo od roku 2019 k zemětřesení s magnitudem 5,1 a 5,2. Všechna zemětřesení s magnitudem od 4,5 se nacházejí u hranice chocholu (obr. 49), přičemž některá se vyskytla ve stabilních oblastech, kde nejsou známy žádné zlomy.



### Zemětřesení M3+, oblast sibiřského chocholu

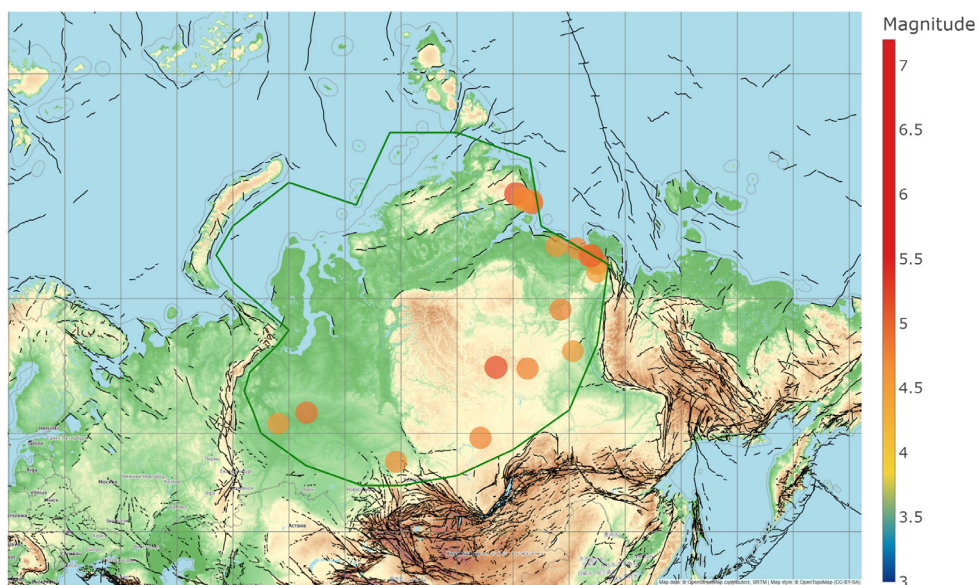


**Obr. 48**

Rozdělení zemětřesení, ke kterým došlo v sibiřské oblasti chocholu od roku 1990 do roku 2024 podle velikosti.

Databáze: ISC

### Zemětřesení M4,5+, oblast sibiřského chocholu



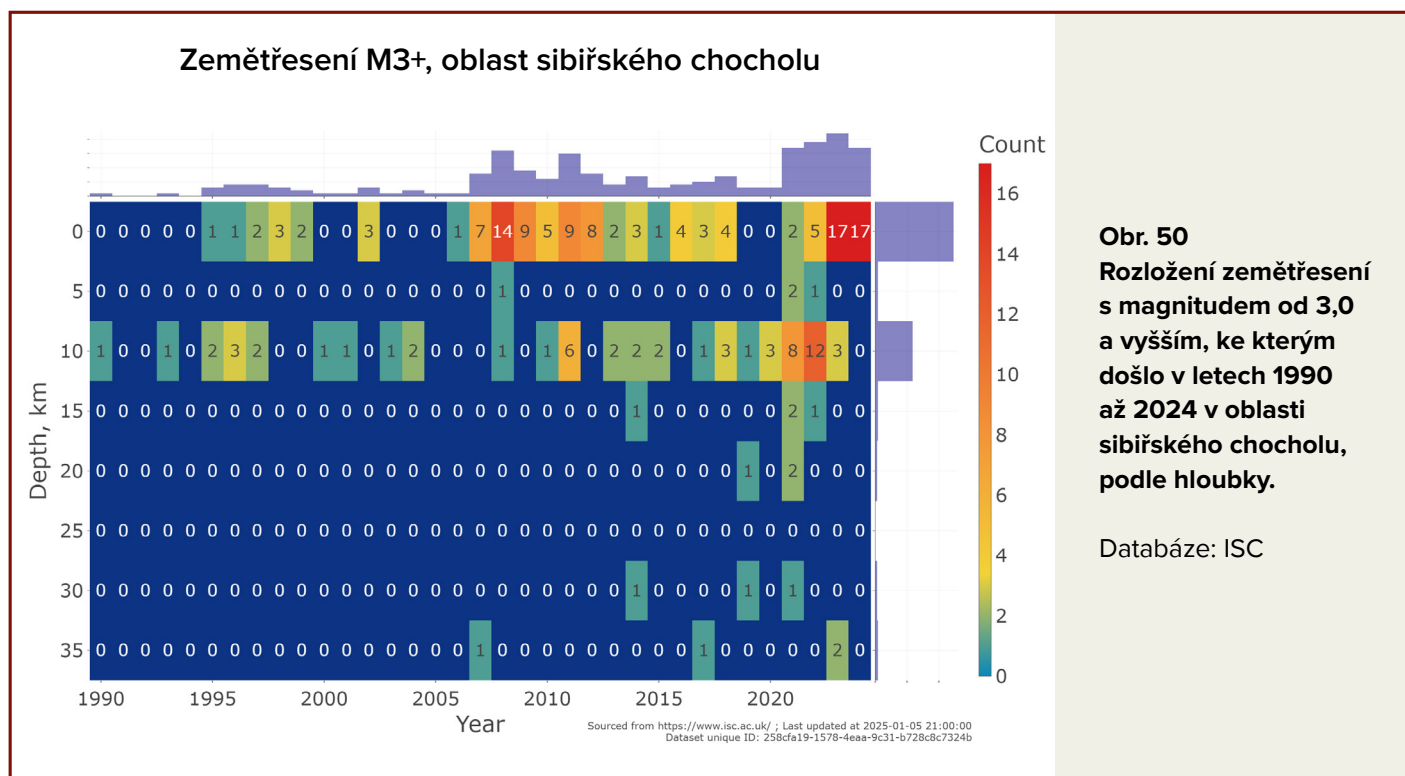
**Obr. 49**

Mapa zemětřesení s magnitudem od 4,5 a vyšším v oblasti sibiřského chocholu v letech 1990 až 2024.

Databáze: ISC

Také v roce 2007 bylo v hloubce 33 km poblíž hranice Moho zaznamenáno první zemětřesení s magnitudem 3,7 (obr. 50). Po roce 2014 se zemětřesení v oblasti základny

zemské kůry v hloubce 30–35 km začala vyskytovat mnohem častěji, jejich magnitudo dosahovalo 5,0. Všechna byla umístěna podél okraje předpokládaného chocholu.



Prezentovaná analýza zemětřesení v oblasti předpokládaného umístění sibiřského chocholu ukazuje vlnový nárůst seismicity: počet zemětřesení roste, jejich magnituda se zvyšují a objevila se zemětřesení ve velkých hloubkách. To naznačuje procesy deformace desek pod vlivem kolosálního tlaku magmatu zespodu. Postup těchto procesů nevyhnutelně povede v blízké budoucnosti k erupci sibiřského chocholu z následujících důvodů.

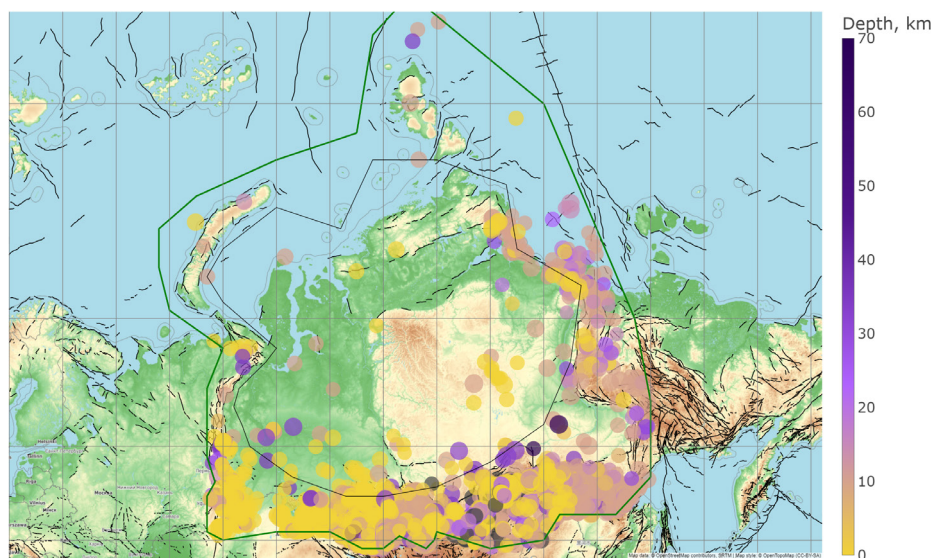
Podloží východosibiřského kratonu je stmeleno magmatickými a metamorfovanými

horninami, které vytvářejí hustou monolitickou kůru vzniklou při erupcích před 250 miliony let. Výskyt silných zemětřesení s magnitudem 7,0 a vyšším v této oblasti bude znamenat, že v platformních strukturách sibiřského kratonu dochází k deformacím, které překračují mez pevnosti hornin. Pro pochopení toho, jak může monolitický sibiřský kraton prasknout působením tlaku chocholu, můžeme uvést příklad, jak praská sklo okamžik před tím, než se zcela roztříští na střepy.

V tuto chvíli je pro pochopení skutečné situace postupu chocholu a stavu pevnosti zemské kůry v oblasti magmatického sibiřského chocholu nesmírně nutné instalovat další seismické senzory, nejlépe do vrtů v hloubce několika kilometrů. To umožní provést podrobnou seismickou tomografickou analýzu zemské kůry a pláště a vést nepřetržité sledování polohy a aktivity chocholu (viz část „Scénář 3. Plánovaná řízená degazace“).

Za pozornost stojí rozložení zemětřesení podle hloubky v oblasti sibiřského chocholu a jeho okrajových zón (obr. 51). Zemětřesení v hloubkách poblíž hranice Moho (více než 30 km) a v samotném plášti se vyskytují hlavně ve vrásových oblastech a je vidět, že rámuji oblast předpokládaného umístění sibiřského chocholu.

### Zemětřesení M3,5+, oblast sibiřského chocholu



**Obr. 51**

**Mapa zemětřesení s magnitudem od 3,5 a vyšším v oblasti sibiřského chocholu v letech 1990 až 2024. Barevná škála odpovídá hloubce.**

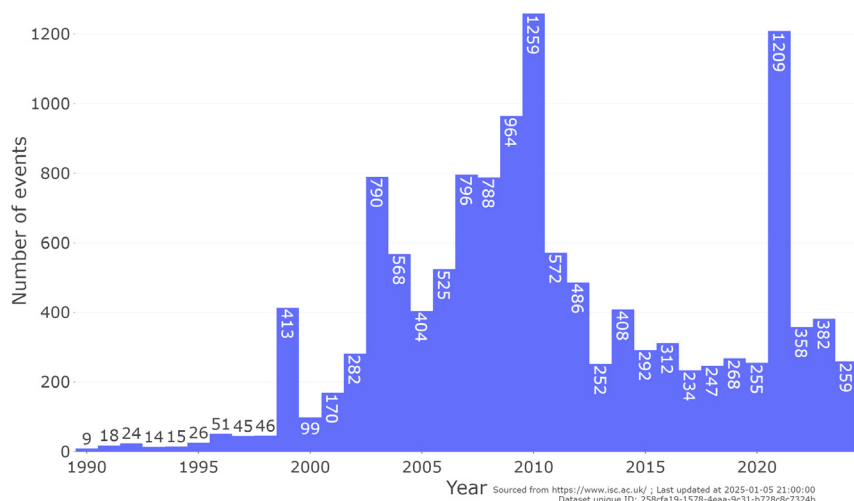
Databáze: ISC.

Zaměřme se na seismickou aktivitu pouze v okrajových částech sibiřského chocholu. Geologicky tyto oblasti patří k vrásovým pásmům, seismicky aktivním regionům, kde může být seismická aktivita způsobena jak tektonickými pohyby, tak i vlivem magmatického chocholu. Graf počtu zemětřesení ukazuje smíšený obraz překrývajících se různých faktorů seismicity (obr. 52). V některých letech jsou patrné výrazné nárůsty seismické aktivity. Pro přesnější pochopení povahy těchto procesů je nutné analyzovat každý region zvlášť.

Při zkoumání oblasti vrásových struktur Verchojanského hřbetu a zlomů na dně Laptevova moře (obr. 53) vidíme, že výrazné nárůsty zemětřesení s magnitudem od 3,0 nastaly v letech 2013 a 2021–2022 (obr. 54). Takové vzestupy jsou typické pro fáze pronikání magmatu, které způsobují významné narušení celistvosti zemské kůry a únik fluidní fáze skrze trhliny hornin a blízké zlomy. Tyto projevy jsou rovněž doprovázeny nárůstem počtu zemětřesení s malým magnitudem a vznikem rojů zemětřesení, někdy dokonce celých sérií zemětřesných rojů.



**Zemětřesení M3+ v okrajových částech sibiřského chocholu**

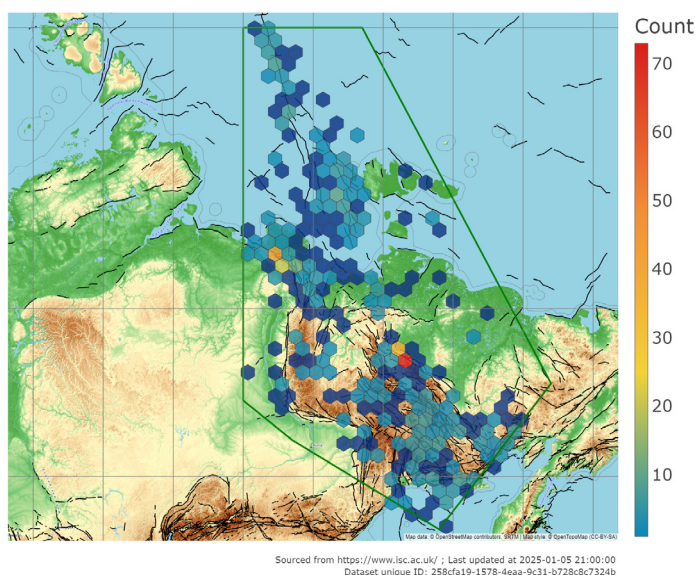


**Obr. 52**

Počet zemětřesení s magnitudem od 3,0 a vyšším v okrajových částech sibiřského chocholu od roku 1990 do roku 2024. Zemětřesení uvnitř polygonu byla vyloučena (obr. 47).

Databáze: ISC.

**Hustota zemětřesení M3+, severovýchodní část**

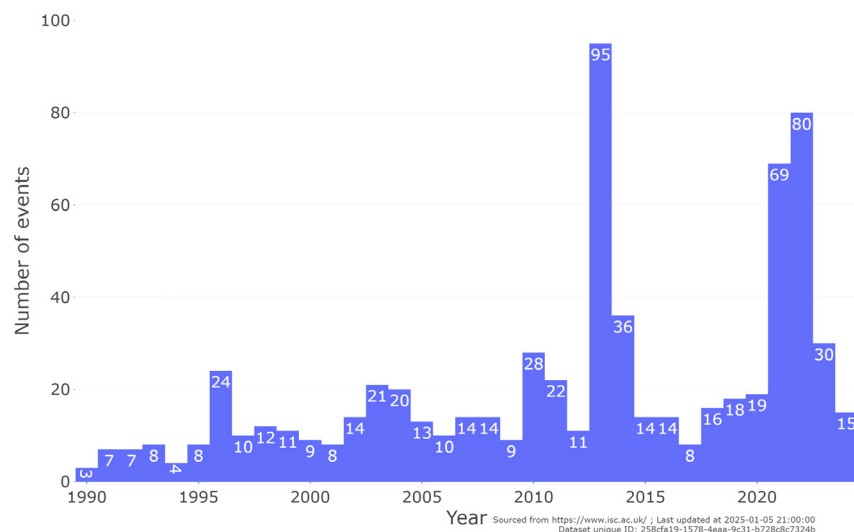


**Obr. 53**

Hustota zemětřesení s magnitudem od 3,0 ve vybrané oblasti severovýchodního okraje sibiřského bloku zemské kůry v letech 1990 až 2024. Zlomové čáry jsou zobrazeny černě.

Databáze: ISC

**Hustota zemětřesení M3+, severovýchodní část**



**Obr. 54**

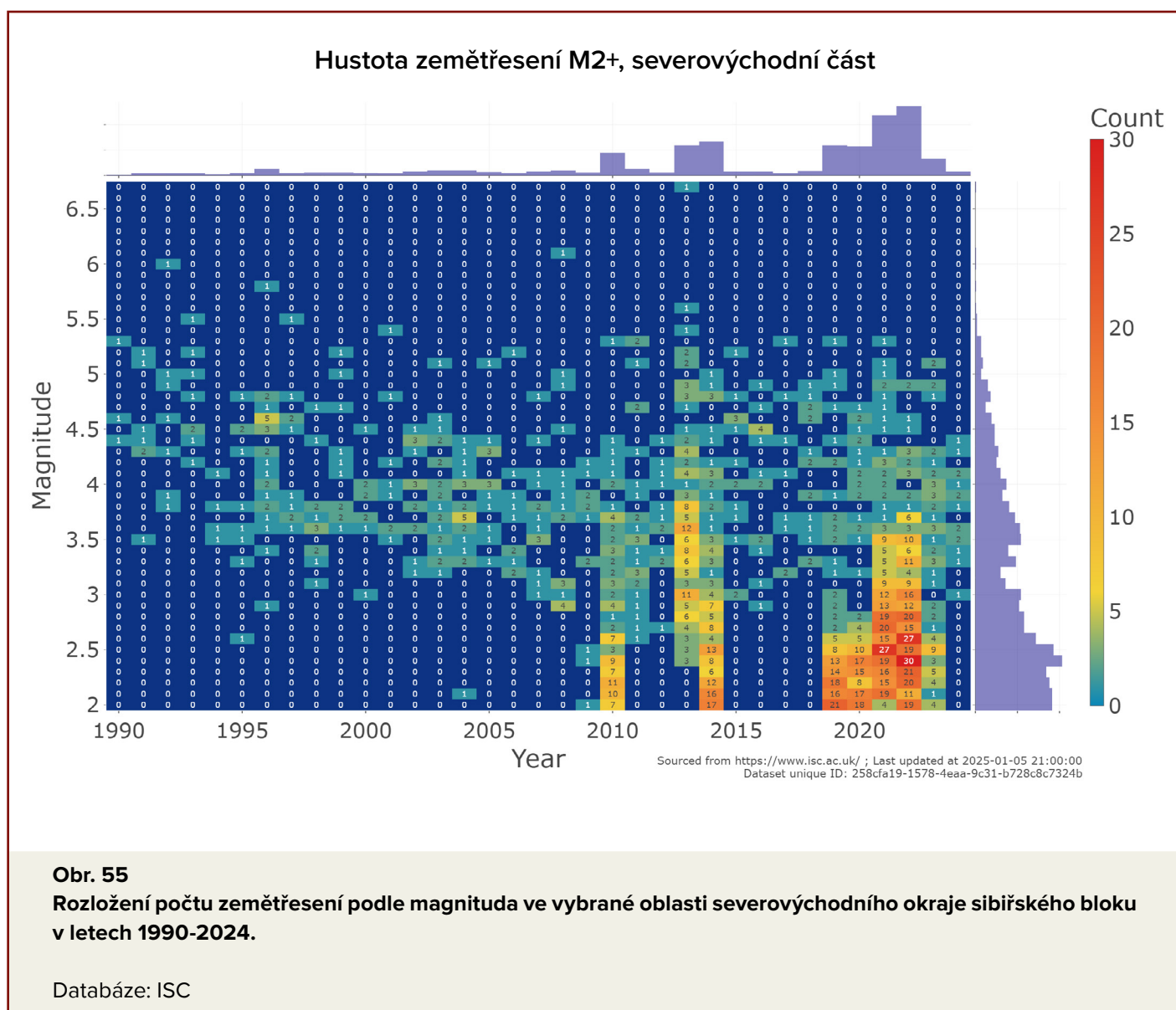
Graf počtu zemětřesení s magnitudem 3,0 a vyšším ve vybrané oblasti severovýchodního okraje sibiřského bloku v letech 1990 až 2024.

Databáze: ISC

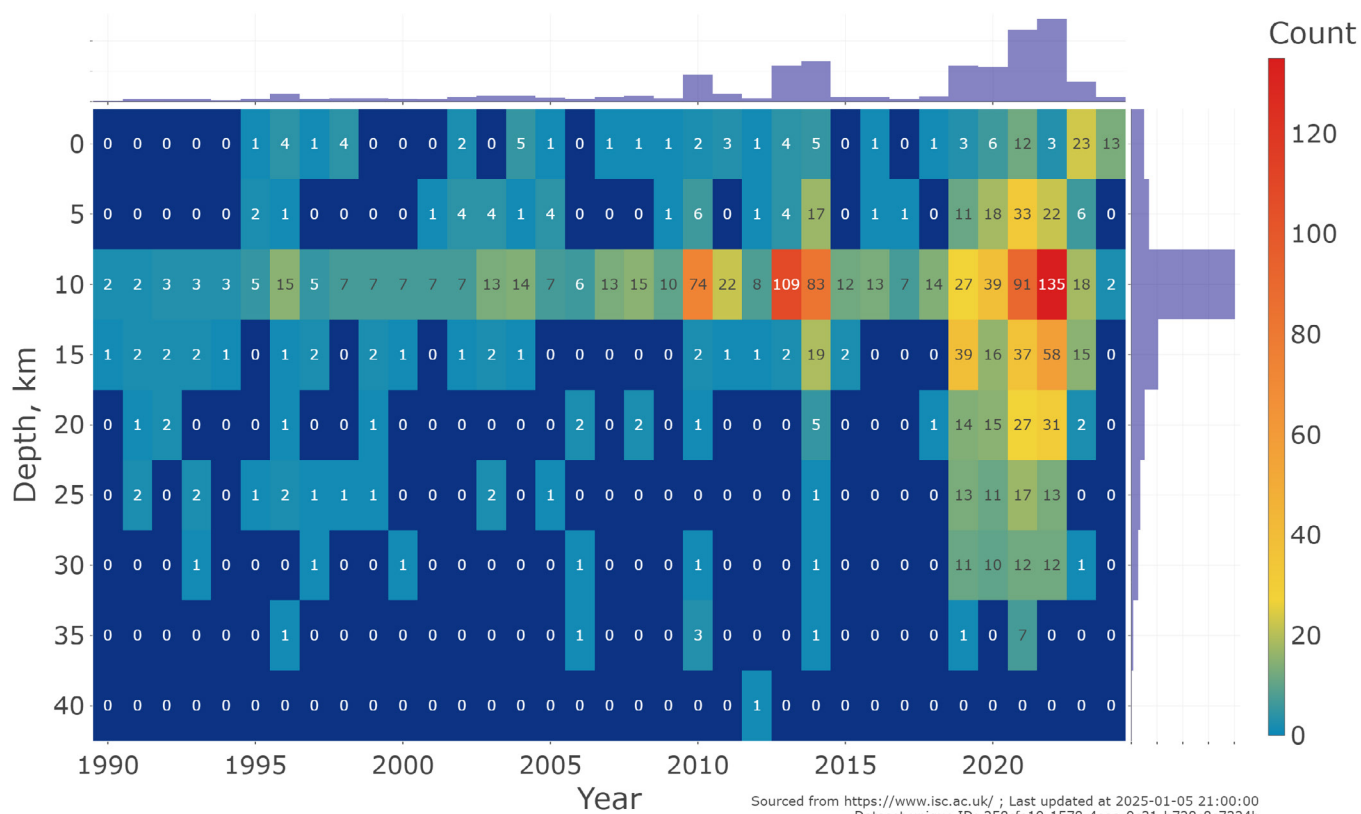
Studie magnitud zemětřesení v této oblasti ukazuje prudký nárůst počtu zemětřesení s magnitudem 2,0 až 3,5 v letech 2010 a 2013–2014 a výrazný nárůst jejich počtu od roku 2019 (obr. 55). Od roku 2019 se také výrazně zvýšil počet zemětřesení, která postihují zemskou kůru téměř k základně, a to až do hloubky 35 km (obr. 56). V roce 2013 se v tomto regionu poprvé

objevilo zemětřesení o magnitudu 6,7, což jasně svědčí o dlouhodobém hromadění napětí nebo o uvolnění nahromaděných magmatických fluid.

Samostatně se zaměříme na skupinu zemětřesení v jihovýchodním směru od poloostrova Tajmyr (obr. 57).



## Zemětřesení M2+, severovýchodní část

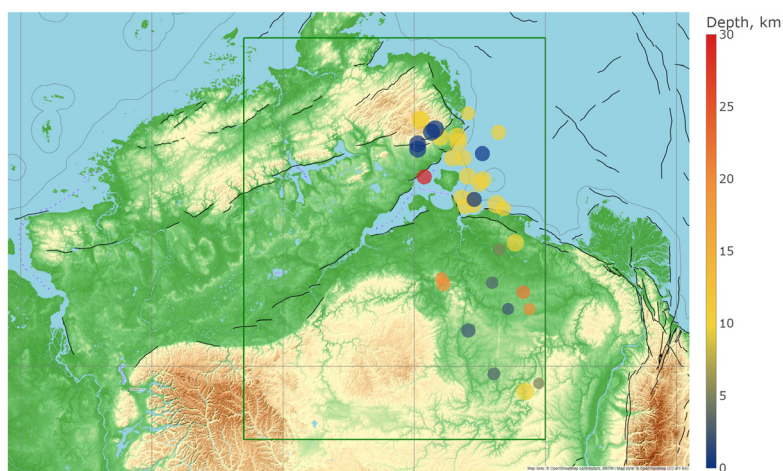


**Obr. 56**

Rozdělení počtu zemětřesení s magnitudem 2,0 a vyšším podle hloubky ve vybrané oblasti severovýchodního okraje sibiřského bloku od roku 1990 do roku 2024.

Databáze: ISC

## Zemětřesení M2+, severovýchodně od poloostrova Tajmyr



**Obr. 57**

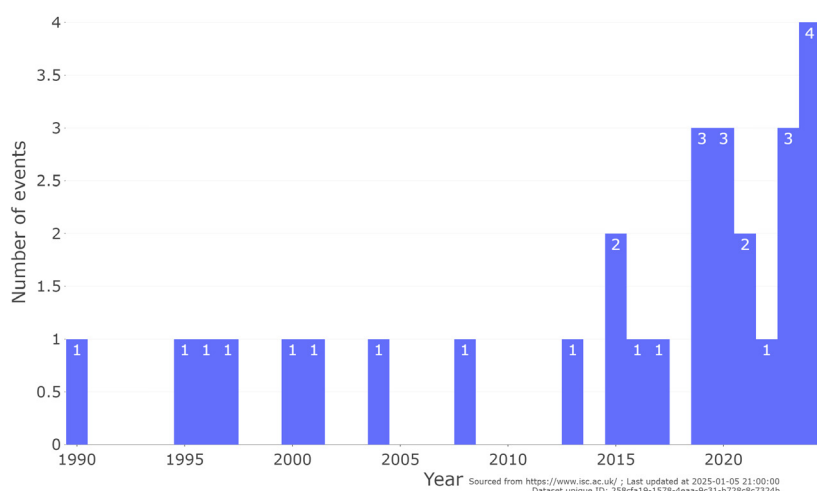
Mapa rozložení zemětřesení s magnitudem od 2,0 ve vybrané oblasti severovýchodně od poloostrova Tajmyr v letech 1990 až 2024.

Databáze: ISC



V letech 2019–2020 zde byl také pozorován nárůst seismické aktivity malých a středních magnitud (obr. 58, 59).

### Zemětřesení M3+, severovýchodně od poloostrova Tajmyr

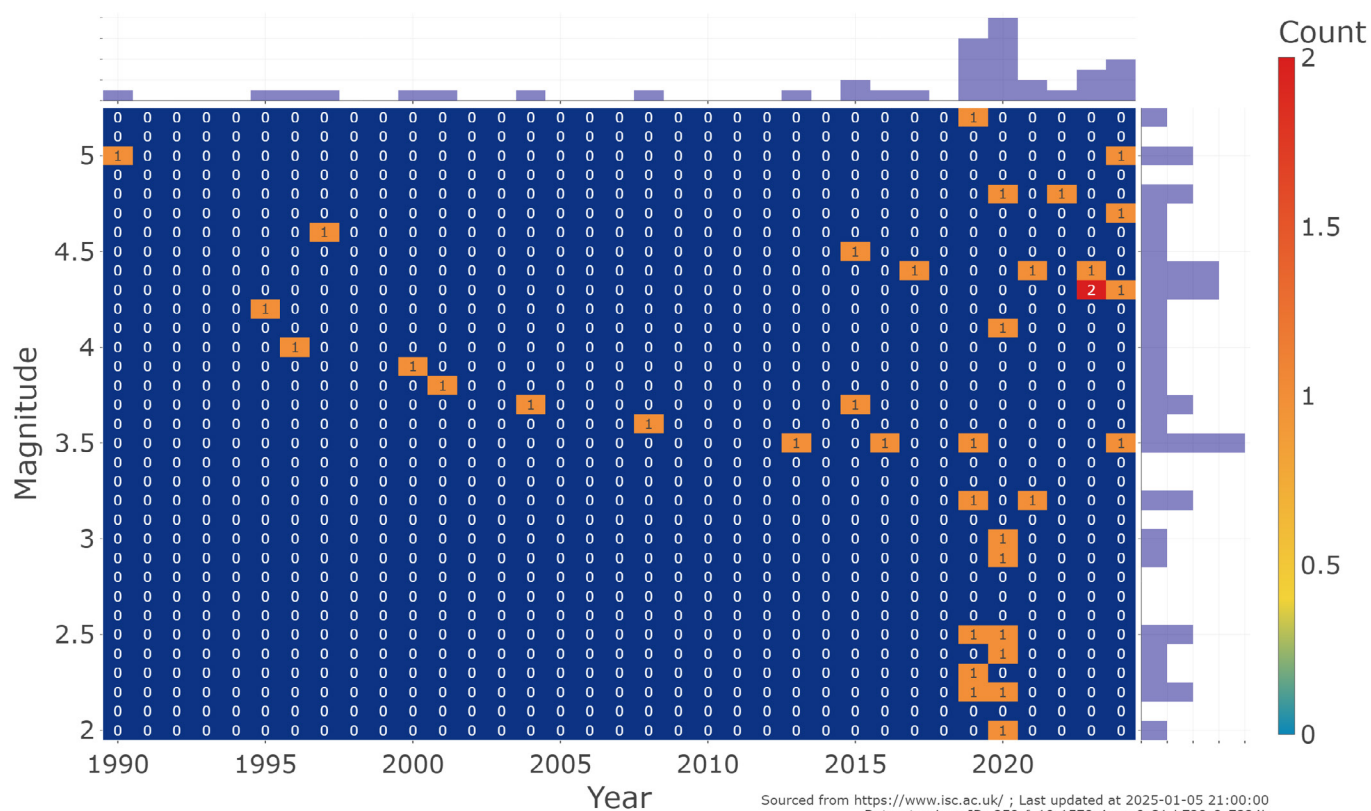


Obr. 58

Graf počtu zemětřesení s magnitudem 3,0 a vyšším ve vybrané oblasti severovýchodně od poloostrova Tajmyr.

Databáze: ISC

### Zemětřesení M2+, severovýchodně od poloostrova Tajmyr



Obr. 59

Rozdělení počtu zemětřesení podle magnitudy ve vybrané oblasti, severovýchodně od poloostrova Tajmyr, od roku 1990 do roku 2024.

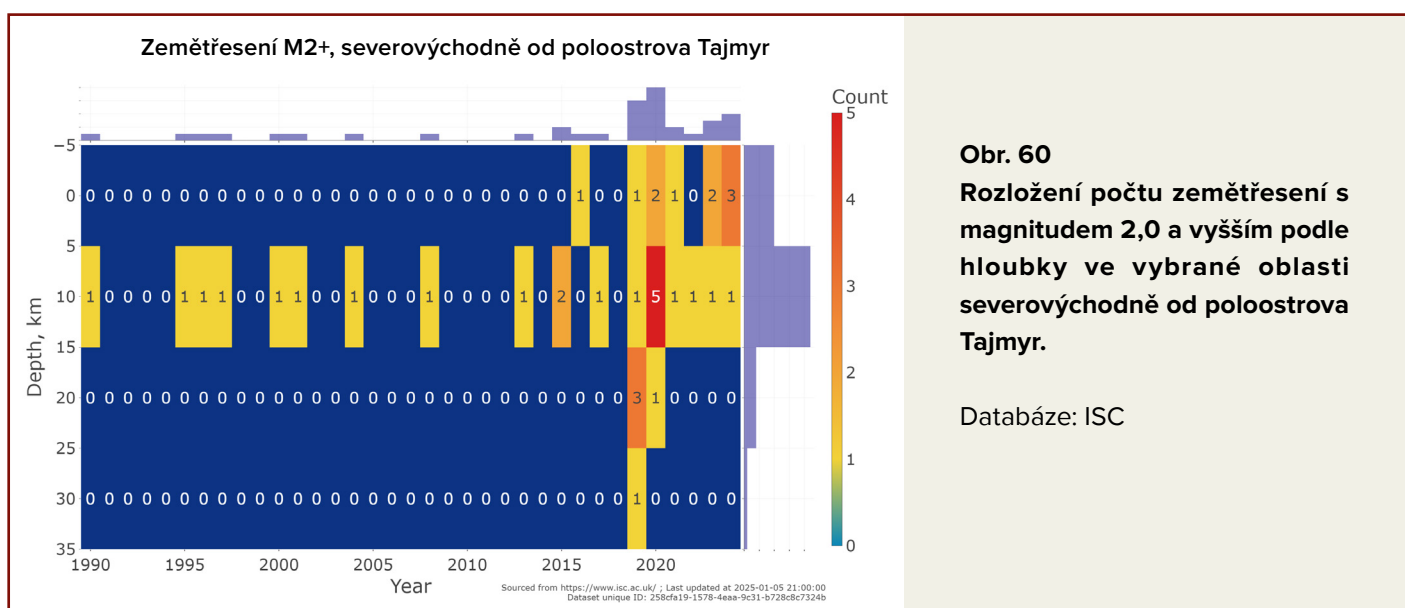
Databáze: ISC

Také v letech 2019-2020 dochází k nárůstu hloubky výskytu zemětřesení až k základně zemské kůry (obr. 60) ve stejných časových obdobích jako v oblasti Verchojanské vrásné struktury.

Je třeba zdůraznit, že tato zóna se nachází v oblasti vlivu hlavy sibiřského chocholu a navzdory nízkému počtu zemětřesení vykazuje podobný trend nárůstu hloubky a počtu zemětřesení jako i ve Verchojanských vrásných

strukturách, ale až od roku 2019.

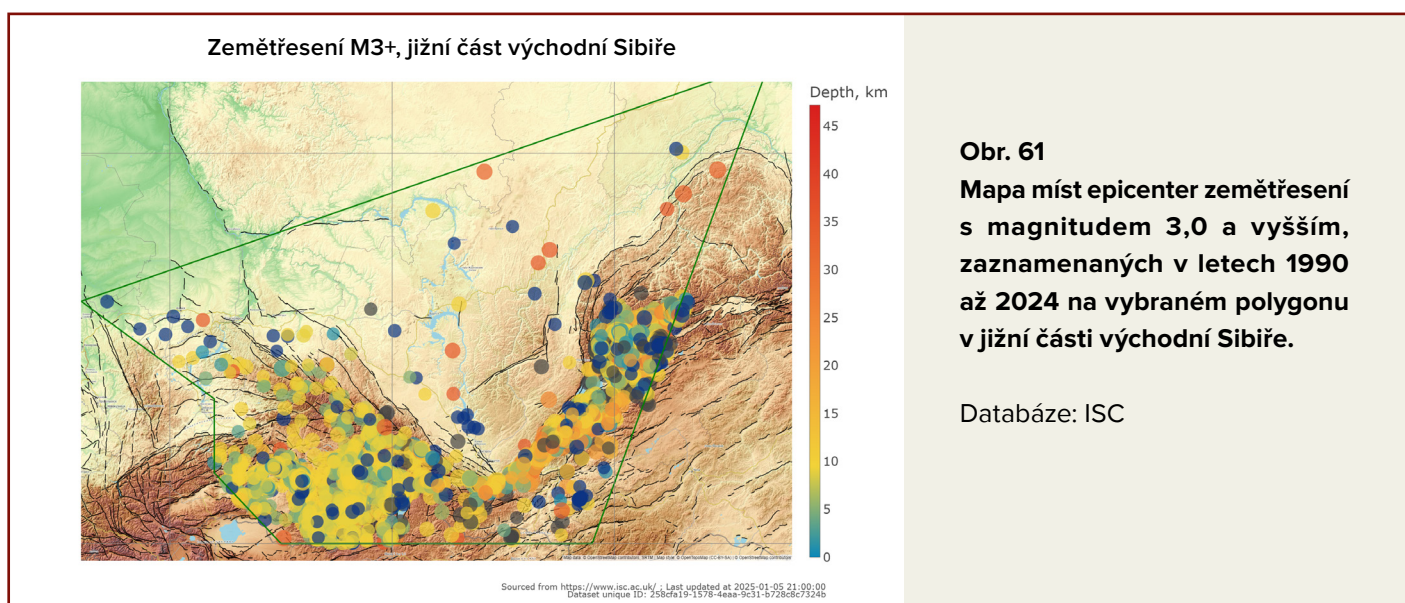
Jižní část posuzovaného území zahrnuje systém Altajsko-sajanského vrásnění a oblast Bajkalu (obr. 61). Je to tektonicky mobilní a seismicky aktivní oblast. V letech 1999 a 2021 zde došlo k prudkému nárůstu zemětřesení (obr. 62). Velikost zemětřesení od roku 2007 narůstá, dokonce dosahuje 6,8 v roce 2021 (obr. 63).



**Obr. 60**

**Rozložení počtu zemětřesení s magnitudem 2,0 a vyšším podle hloubky ve vybrané oblasti severovýchodně od poloostrova Tajmyr.**

Databáze: ISC

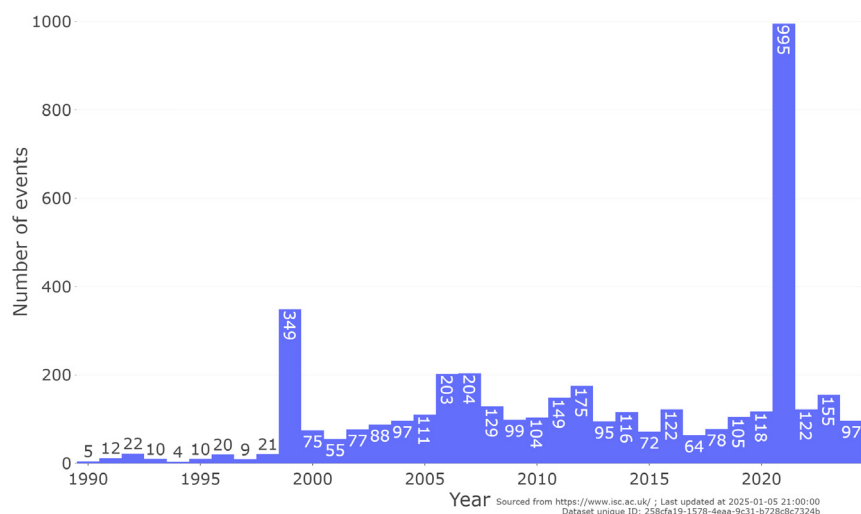


**Obr. 61**

**Mapa míst epicenter zemětřesení s magnitudem 3,0 a vyšším, zaznamenaných v letech 1990 až 2024 na vybraném polygonu v jižní části východní Sibíře.**

Databáze: ISC

### Zemětřesení M3+, jižní část východní Sibíře

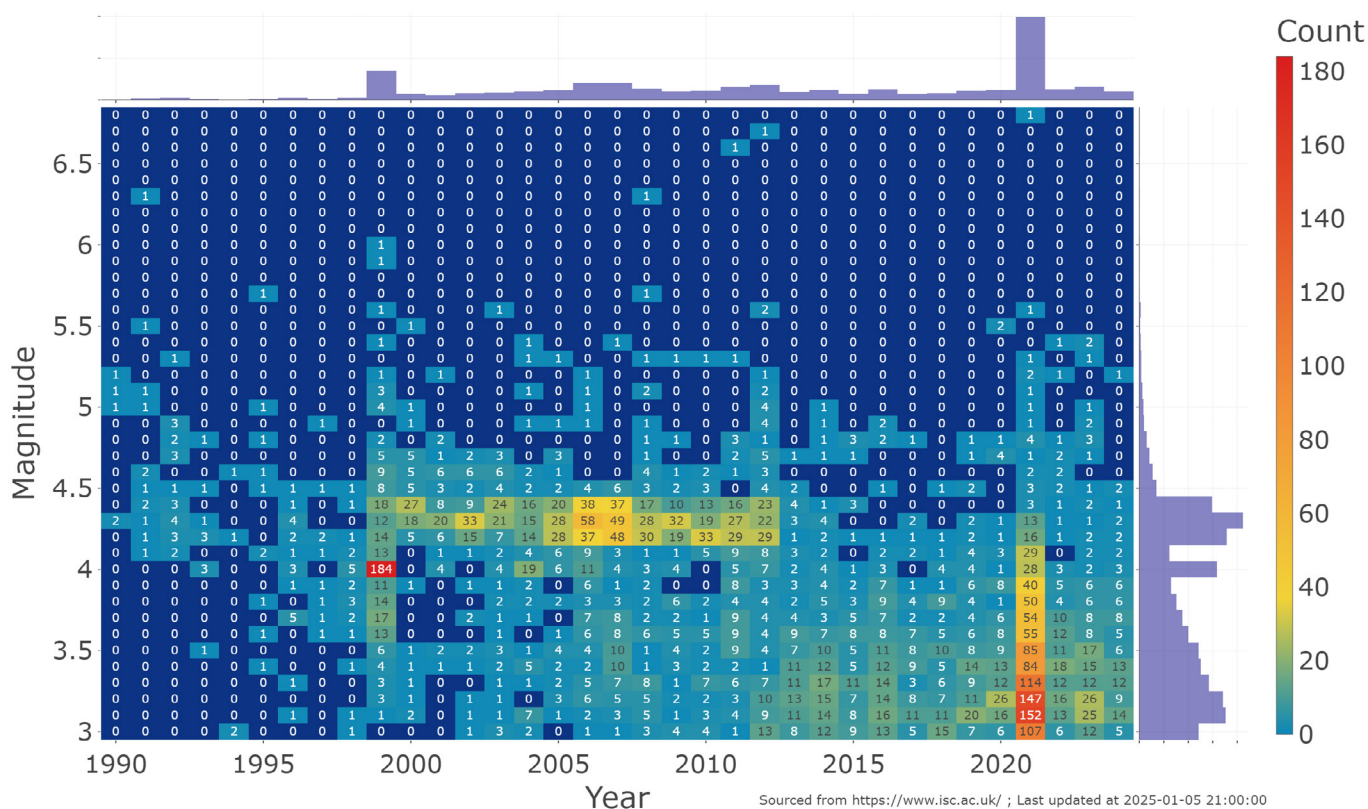


Obr. 62

Počet zemětřesení s magnitudem od 3,0 a vyšším na území jižní části východní Sibíře.

Databáze: ISC

### Zemětřesení M3+, jižní část východní Sibíře



Obr. 63

Rozložení zemětřesení ve vybraném polygonu v jižní části východní Sibíře v letech 1990 až 2024 podle velikosti.

Databáze: ISC

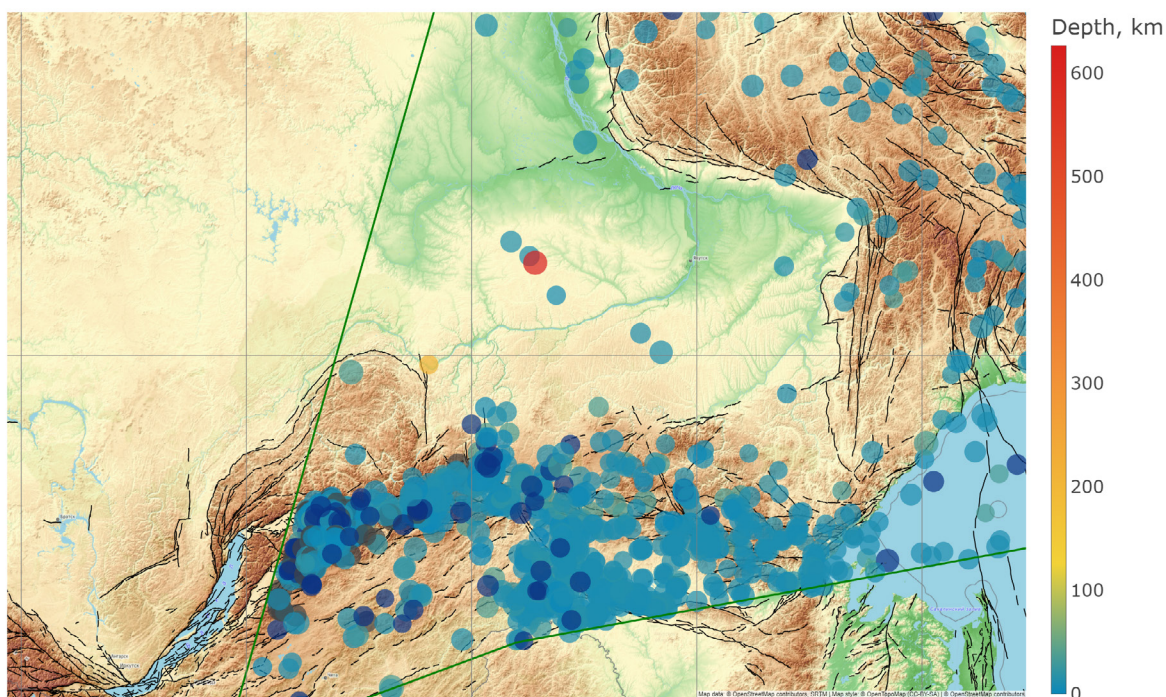


Je důležité zmínit výskyt plášťových zemětřesení pod Sibiřským kratonem. Již v roce 1998 bylo v oblasti Viljujské syneklízy zaznamenáno zemětřesení s magnitudem 3,3 v hloubce 211 km. To se stalo nečekanou skutečností, avšak mnohem unikátnější událostí bylo zemětřesení o výrazném magnitudu 5,1 v hloubce 627 km ve stejném regionu v roce 2023 (obr. 64).

Samotný výskyt hlubokoohniskové seismicity pod stabilním platformním blokem zemské kůry je unikátní událostí. Tradičně se předpokládá, že taková vnitroplášťová zemětřesení se vyskytují v takzvaných subdukčních zónách, avšak nejbližší taková zóna se nachází tisíce kilometrů odsud a nemůže mít žádný vliv. Autoři zprávy se domnívají, že příčinou hlubokoohniskových zemětřesení jsou vnitroplášťové exploze

obrovské síly, ke kterým dochází při kontaktu relativně teplejších magmatických proudů s relativně chladnějšími proudy. Podle seismotomografického modelu byly v místech vzniku obou hlubokoohniskových zemětřesení pozorovány anomálie rychlostí seismických vln, které odpovídají relativně viskóznějším a tekutějším proudům, což pravděpodobně odráží jejich teplotní rozdíly. Tato dvě plášťová zemětřesení se tedy vyskytla v místech kontaktu mezi relativně chladnými a relativně horkými plášťovými proudy (obr. 65). Tento proces způsobil uvolnění velkého množství energie, což vedlo ke vzniku akustických vln, které byly seismometry zaznamenány jako zemětřesení. To jednoznačně ukazuje na výraznou aktivitu plášťových proudů v této oblasti.

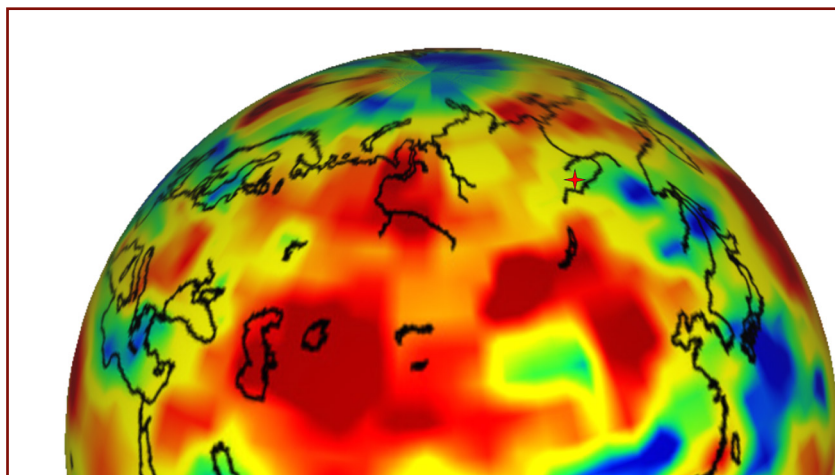
#### Místa hlubokých zemětřesení na Sibiři



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

**Obr. 64**

**Na mapě je označeno epicentrum zemětřesení s hlubokým ohniskem s magnitudem 5,1 v hloubce 627 km (červený marker) pod sibiřskou platformou v roce 2023 a zemětřesení s magnitudem 3,3 v hloubce 211 km v roce 1998 (žlutý marker).**



**Obr. 65**

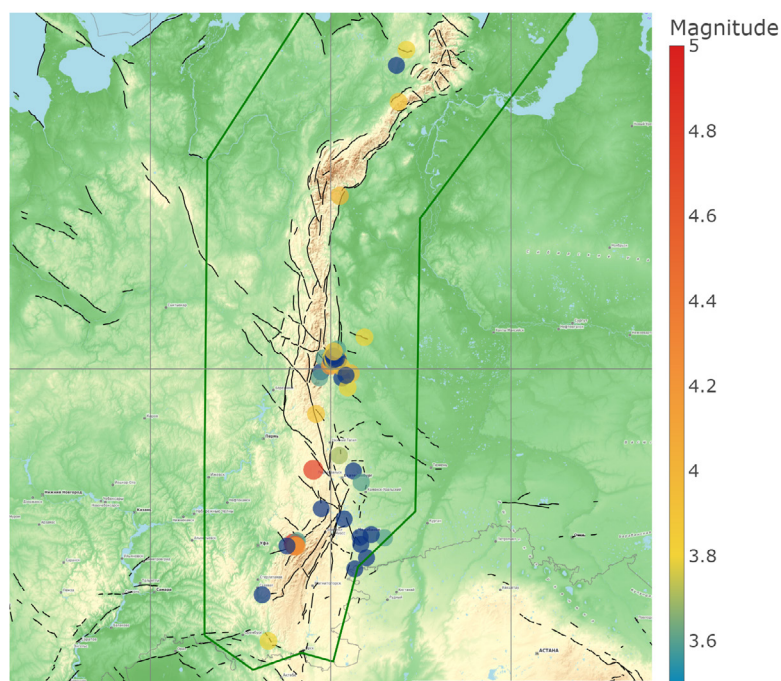
**Zóny snížených rychlostí seismických vln v plášti v hloubce asi 600 km. Hypocentrum zemětřesení s magnitudem 5,1 v roce 2023 spadá do zóny kontaktu mezi relativně horkými a relativně chladnými oblastmi pláště.**

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

Kolísání okrajových částí sibiřského bloku způsobuje nárůst seismické aktivity v Uralském regionu. Data pro analýzu byla odfiltrována s ohledem na důlní otřesy způsobené těžební činnostmi. Zároveň bylo zvoleno magnitudo

od 3,5, aby bylo zajištěno přesné vyloučení událostí souvisejících s lidskou činností (obr. 66, 67). Pozorovaný vlnový nárůst seismicity tedy odráží přirozené procesy.

### Zemětřesení M3,5+ na Urale

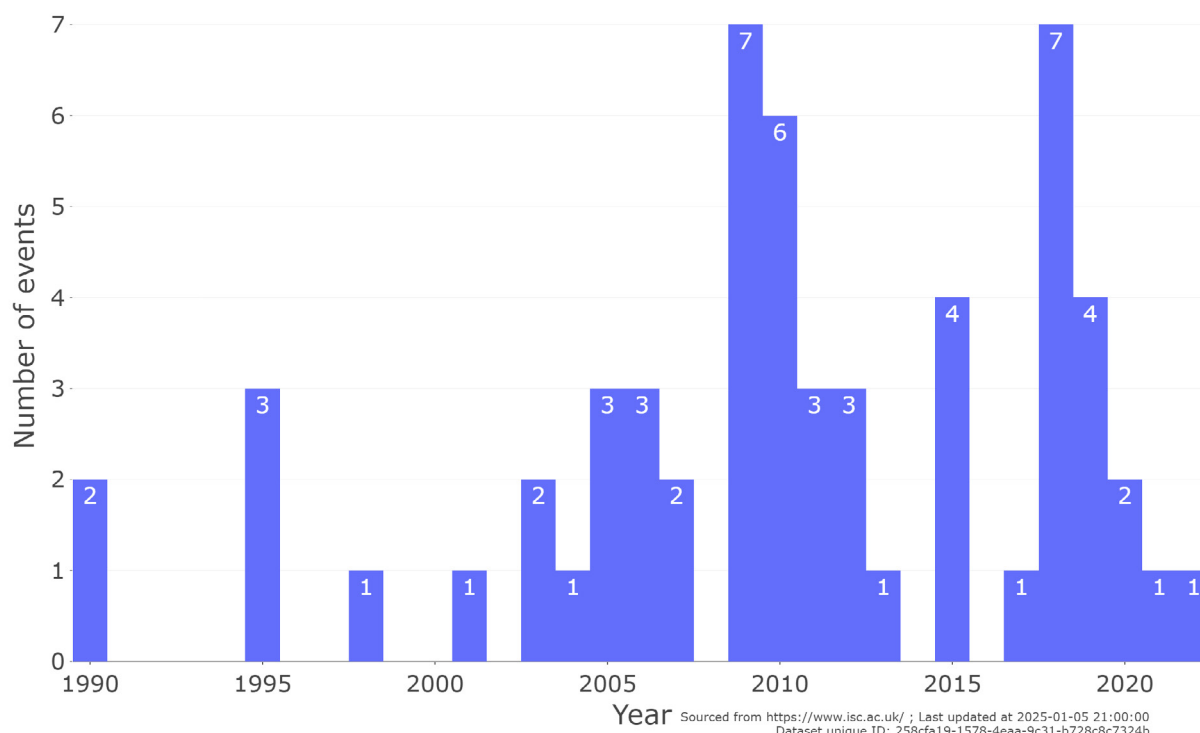


Sourced from <https://www.isc.ac.uk/> ; Last updated at 2025-01-05 21:00:00  
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

**Obr. 66**

**Mapa umístění epicenter zemětřesení s magnitudem od 3,5 a vyšším, zaznamenaných v Uralském regionu od roku 1990 do roku 2022.**

### Zemětřesení M3,5+ na Urale



**Obr. 67**

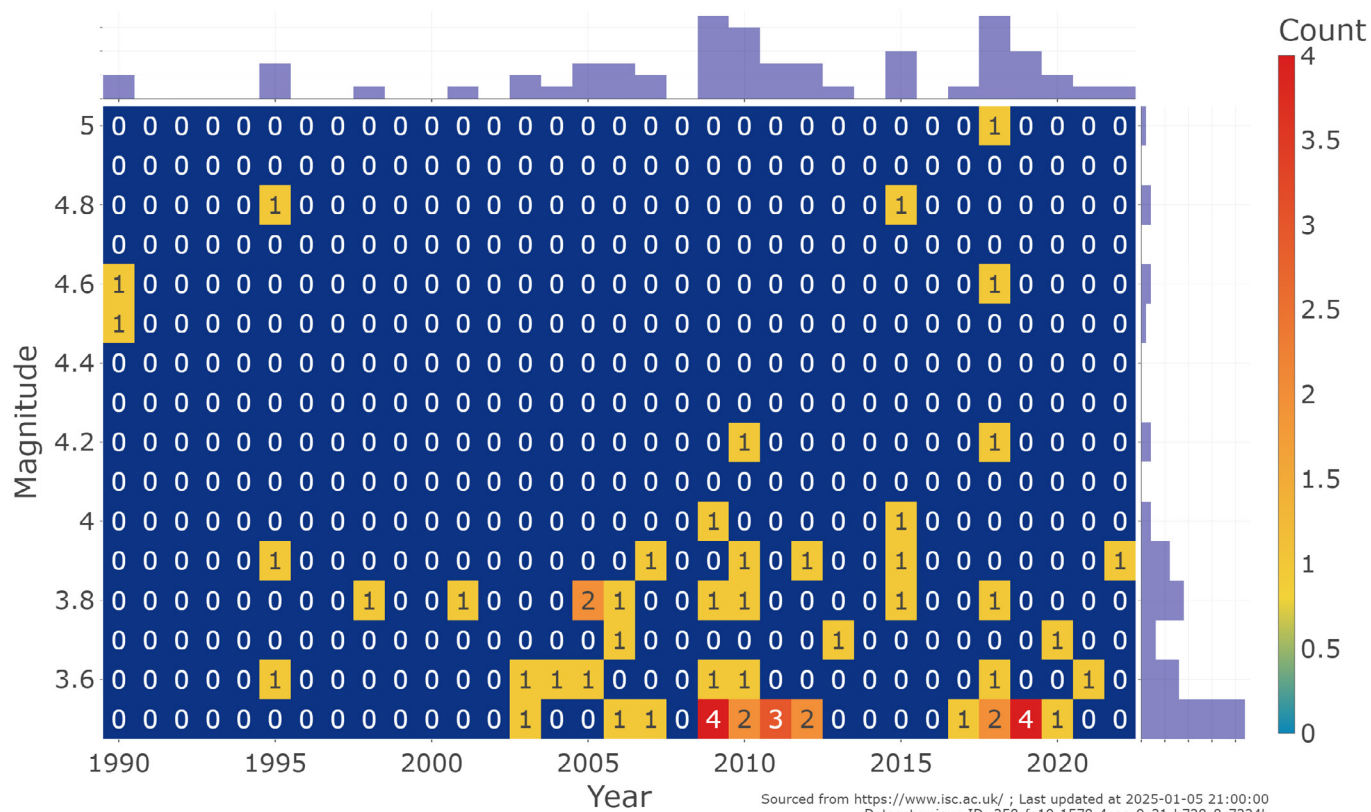
**Počet zemětřesení s magnitudem od 3,5 a vyšším zaznamenaných v Uralském regionu v letech 1990 až 2022.**

Kromě toho oblast zažila zemětřesení s magnitudem od 4,0 do 5,0, což je také indikátor přirozeného nárůstu zemětřesení (obr. 68).

Nárůst seismicity v Uralském regionu neprobíhá systematicky, ale ve vlnách, což je přirozený jev.



### Zemětřesení M3,5+ na Urale



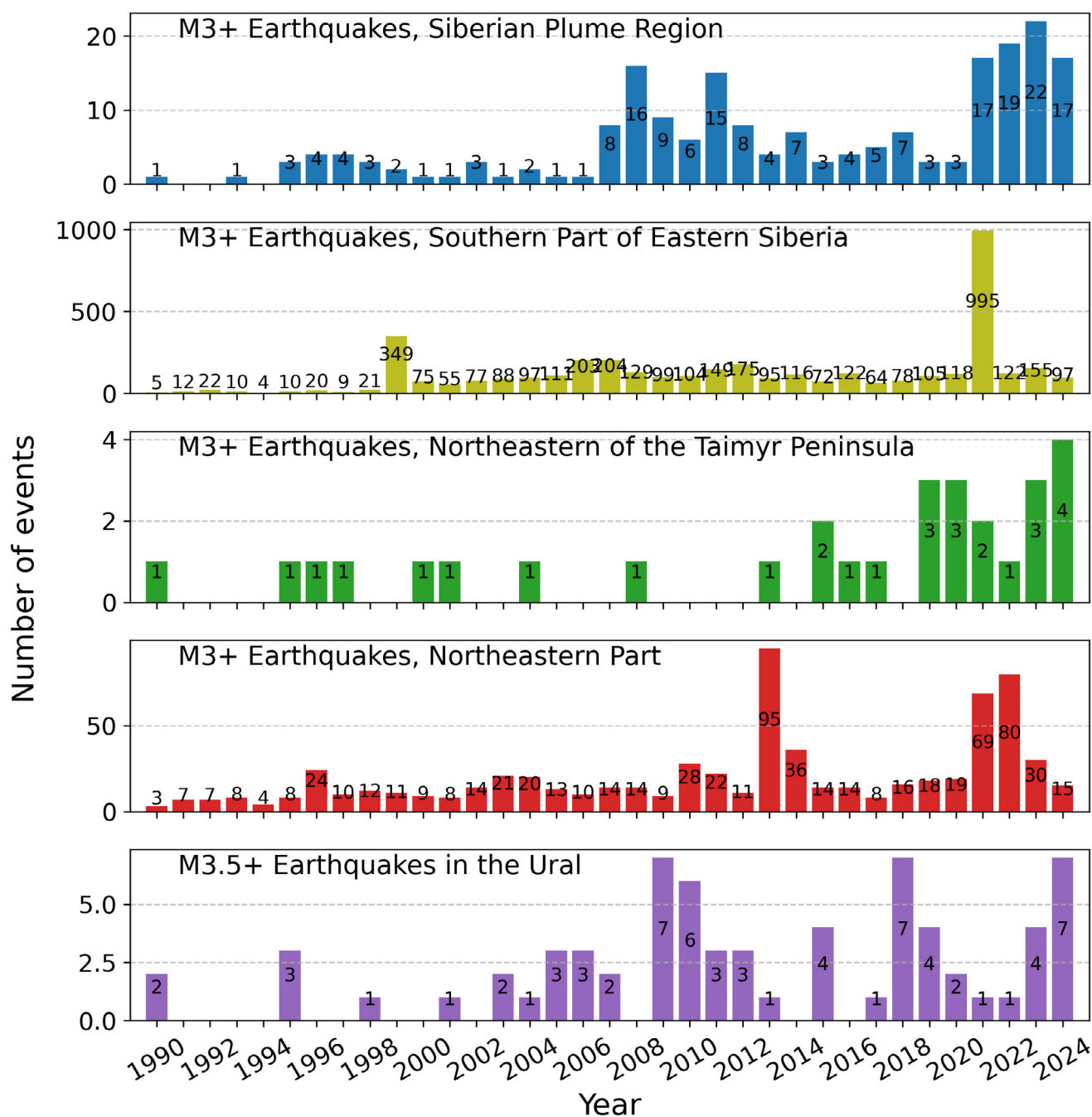
#### Obr. 68

Rozdělení zemětřesení registrovaných v Uralském regionu od roku 1990 do roku 2022 podle velikosti.

Databáze: ISC

Pro srovnání časových vrcholů seismické aktivity v různých částech v oblasti sibiřského chocholu a kolem něj je uveden graf (obr. 69). V roce 2021 dochází ke zvýšení seismické aktivity ve všech zkoumaných regionech s výjimkou Uralu. Z grafu je patrné, že seismická aktivita se vyskytuje ve všech regionech a v posledních letech narůstá. Růst neprobíhá současně, ale ve vlnách a pulzujících vzplanutích v různých oblastech. Zároveň je pozorován určitý vzor, připomínající postupné kolébání desky ve směru od západu na východ a od severu k jihu.

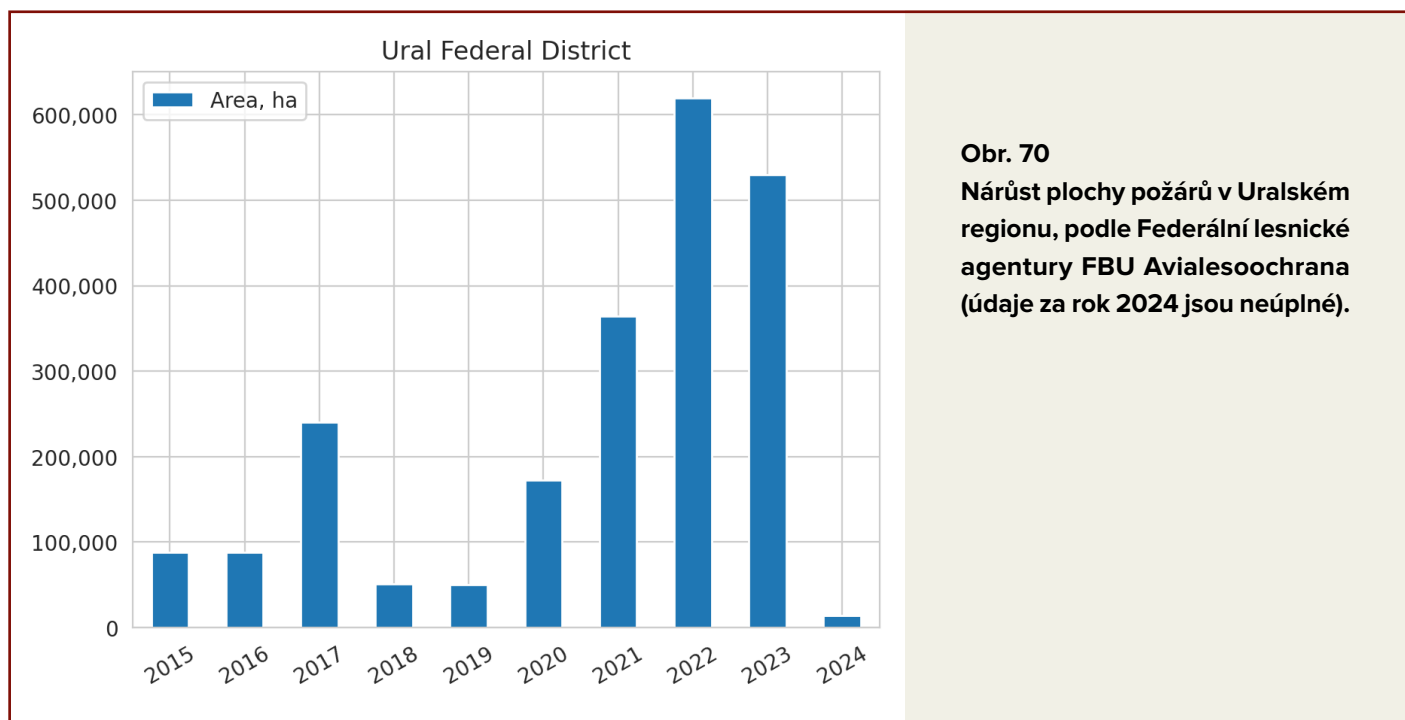
Vezměme si výskyt lesních požárů v některých regionech. Nárůst plochy požárů v regionu znamená nárůst aktivity v nitru Země, protože požáry často vznikají na zlomových místech, odkud unikají hořlavé plyny. Takové požáry je obtížné uhasit a šíří se extrémně rychle na velkých plochách. V Uralském regionu dochází od roku 2020 k prudkému nárůstu plochy přírodních požárů (obr. 70). Graf vychází z údajů Federální lesnické agentury Avialesoochrana.



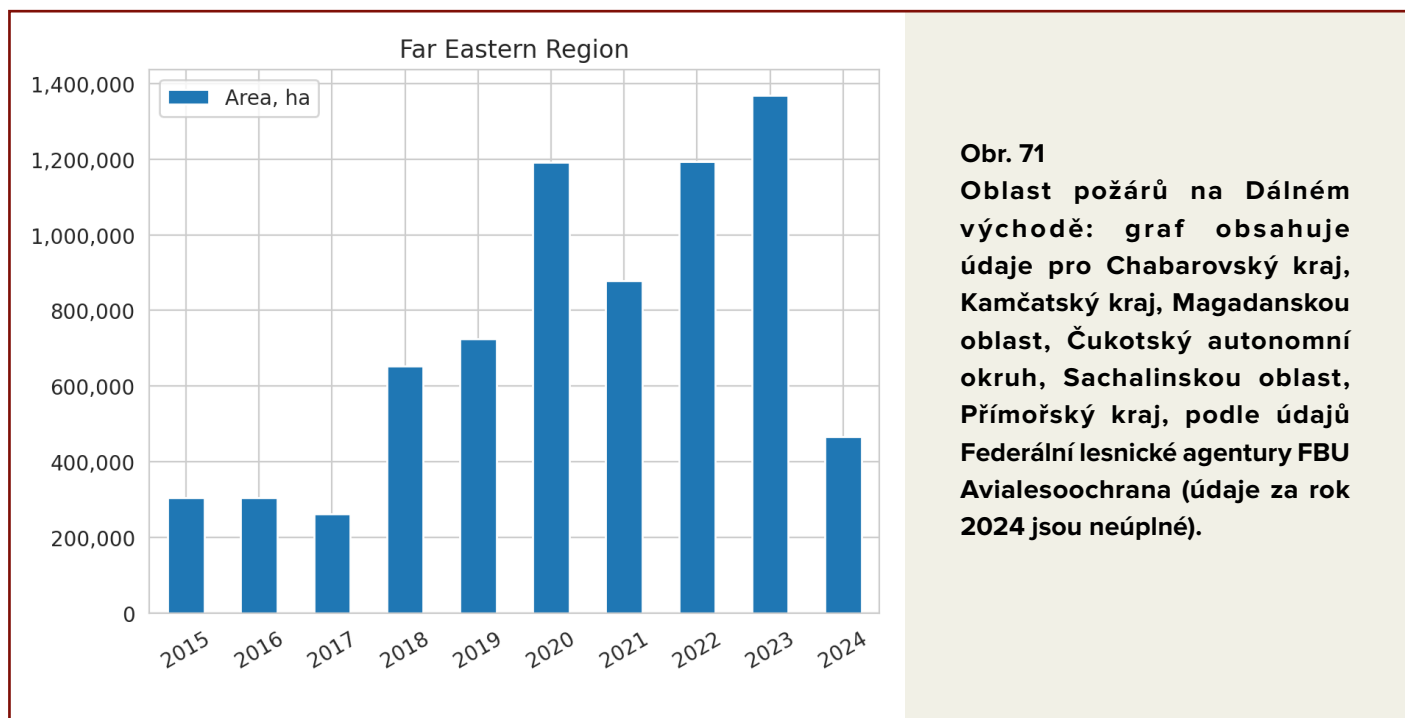
Obr. 69

Rozložení vrcholů seismické aktivity ve Verchojanské oblasti (východně od Sibiřské platformy), v jižní části východní Sibiře, na Uralu (západně od východní Sibiře) a ve střední části Sibiře (včetně záposibiřské desky a východosibiřské platformy) podle roku. Zemětřesení s magnitudem od 3,0 a vyšším.

Databáze: ISC



Plocha pokrytá požáry v oblasti Dálného východu rovněž roste exponenciálně, jak názorně ukazuje graf (obr. 71).



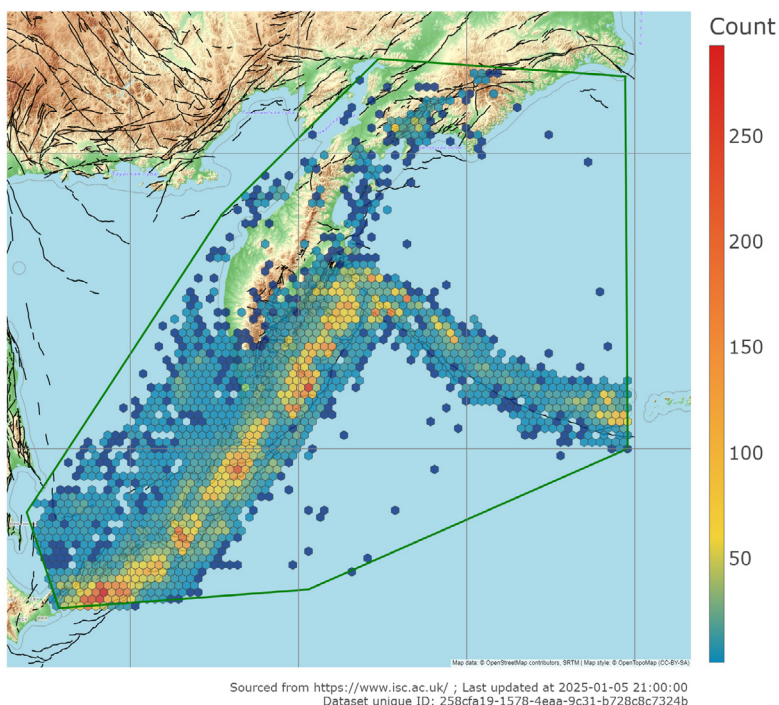


K podobným procesům narůstajících požárů tedy dochází i na druhé straně sibiřského a dálněovýchodního bloku zemské kůry, na hranici s Pacifickou deskou.

Předpokládá se, že pronikání sibiřského chocholu také ovlivňuje kurilsko-kamčatský region jako oblast konce kontinentálního bloku zemské kůry pod tlakem chocholu. Analýza seismických dat v oblasti Kamčatky a Kurilských ostrovů ukazuje znatelný nárůst počtu

zemětřesení s magnitudem od 4,0 a vyšším (obr. 72, 73). Oblast je součástí Pacifického ohnivého kruhu (obr. 74) a v souladu s tendencemi této tektonické struktury vykazuje trend rostoucí seismicity. Většina seismických jevů má však nezávislý charakter. To může naznačovat, že sibiřský chochol má svůj vlastní vliv na oblast Kamčatky a Kurilských ostrovů.

**Hustota zemětřesení M4+  
na poloostrově Kamčatka a Kurilských ostrovech**

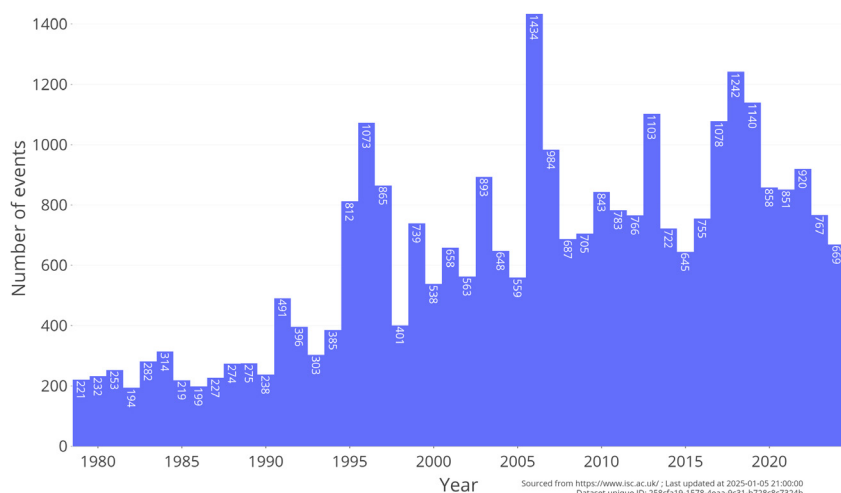


**Obr. 72**

**Hustota zemětřesení s magnitudem 4,0 a vyšším v oblasti poloostrova Kamčatka a Kurilských ostrovů, 1979-2024.**

Databáze: ISC.

**Zemětřesení M4+ na Kamčatce a Kurilských ostrovech**

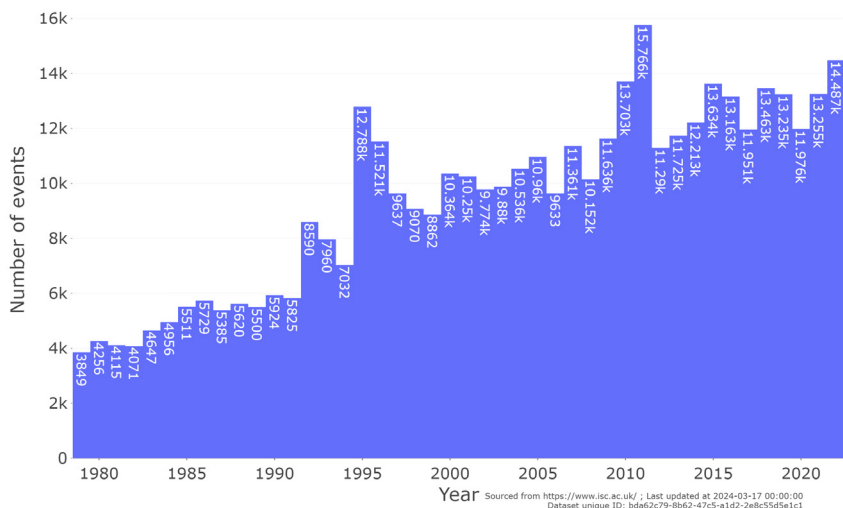


**Obr. 73**

**Nárůst počtu zemětřesení s magnitudem 4,0 a vyšším na Kamčatském poloostrově a Kurilských ostrovech, 1979-2024.**

Databáze: ISC.

## Zemětřesení M4+ v Ohnivém kruhu 1979-2022



Obr. 74

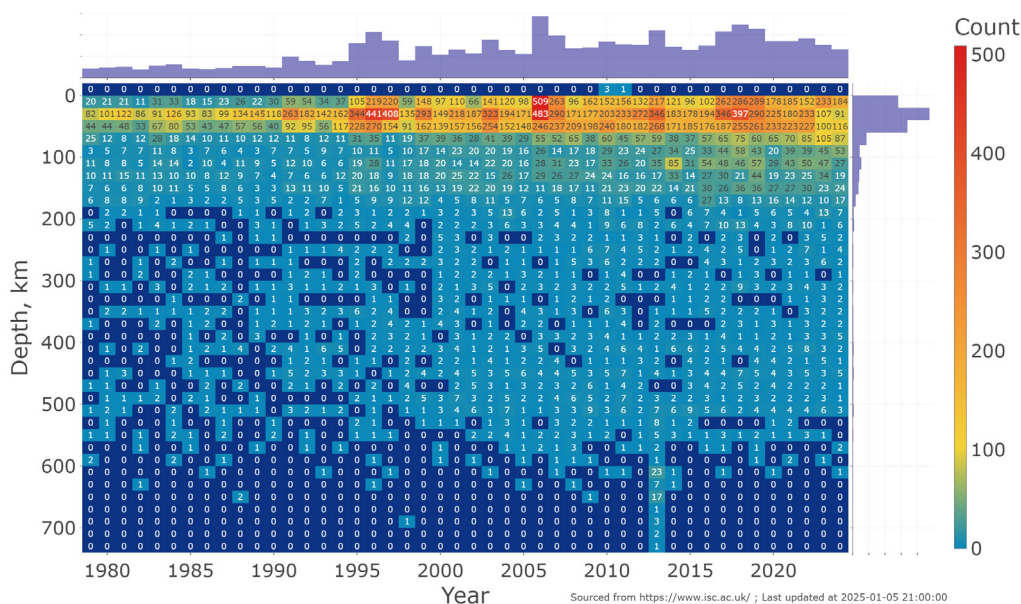
Nárůst počtu zemětřesení s magnitudem 4,0 a vyšším v oblasti Ohnivého kruhu, 1979–2022.

Databáze: ISC.

Je třeba poznamenat, že v kurilsko-kamčatském regionu je také pozorováno zvýšení hloubky zemětřesení (obr. 75). To naznačuje, že styčná oblast litosférických desek se stává pohyblivější vlivem sibiřského magmatického chocholu. Očekává se zvýšení aktivity sopek v kurilsko-kamčatském regionu a také výskyt anomálií spojených s

rychlým výstupem hlubinného magmatu a rychlou změnou jeho složení během erupcí sopek směrem k hlubinnějším mafickým magmatům. Podobný posun složení směrem k hlubším zdrojům prokázala i sopka Bezymjannyj během své erupce v roce 2017.<sup>45</sup>

## Zemětřesení M4+ na Kamčatce a Kurilských ostrovech



Obr. 75

Rozložení zemětřesení s magnitudem 4,0 a vyšším zaznamenaných ve vybraném polygonu v oblasti poloostrova Kamčatka a Kurilských ostrovů v letech 1979 až 2024 podle hloubky.

Databáze: ISC.

<sup>45</sup>V.O. Davydova, V.D. Shcherbakov, P.Yu. Plechov, L.Yu. Koulakov, Petrological evidence of rapid evolution of the magma plumbing system of Bezymjanny 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>

Nárůst seismicity, požárů a anomálií vulkanické činnosti jsou okrajovými efekty vzestupu sibiřského bloku zemské kůry, na který působí tlak z pronikajícího sibiřského chocholu.

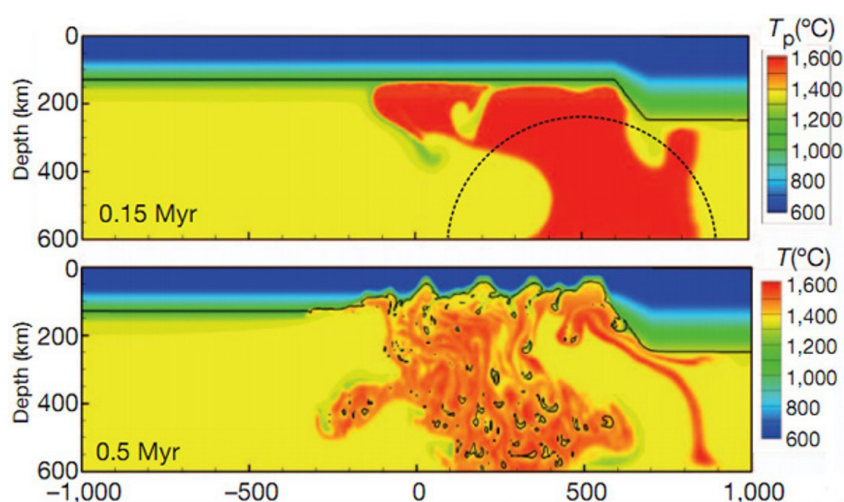
Nárůst seismické aktivity nejen na Sibiři, ale zejména na okrajích západosibiřské desky a východosibiřského kratonu naznačuje, že vzestup desky v důsledku tlaku na ni zdola magmatickým chocholem již začal. To ukazuje na rozsáhlý a významný vliv magmatického chocholu na desku.

Tradiční modely předpokládaly, že při vzestupu a ohřevu by měly plášťové chocholy způsobit výrazné zdvihnutí povrchu až do výšky

2 km před průlomem magmatu. Geologické důkazy o tak dramatickém zdvihu v oblasti sibiřských trapů, které vznikly v důsledku intruze magmatického chocholu před 250 miliony let, však chybí.

Na základě studia magmatických hornin sibiřských trapů vědci z ústavů v Rusku, Německu a Francii zjistili<sup>46</sup>, že místo toho, aby stoupal ve formě bubliny, chochol postupně erodoval litosféru zesponu (obr. 76).

Když eroze v kontaktní zóně mezi roztaveným materiálem chocholu a horninami svrchního pláště dosáhla hloubky 50 km, začaly v tu chvíli rozsáhlé výlevy a erupce lávy na povrch.



**Obr. 76**

#### **Rekonstrukce počátečních fází vzniku sibiřských trapů.**

Na svislé ose je hloubka (km). Teplota hornin je znázorněna různými barvami. Počáteční poloha vrcholu plášťového chocholu je znázorněna tečkovaným půlkruhem. Chochol se blíží spodní hranici litosféry (plná černá čára) a „šíří se“ pod ní.

Dole si vrchol chocholu vlivem eroze (můžete vidět úlomky litosféry klesající do hlubin) vytvořil cestu skrz horní plášť k zemské kůře. To odpovídá začátku hlavní fáze trapového vulkanismu.

Zdroj: 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.

<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



Současná aktivita chocholu se pravděpodobně řídí stejným mechanismem. Proto se neočekává výrazné vyzdvižení povrchu pouze na jednom místě během vnikání hlavy chocholu, ale tento mechanismus nevylučuje rozsáhlé regionální vyzdvižení celé východosibiřské platformy o určitou malou část. Podle tektonofyzikálního modelování však i toto vyzdvižení bude stačit k průlomu magmatu, který bude pod vysokým tlakem hnát taveninu ven, což povede k obrovské katastrofě.

---

Umístění předpokládaného centra hlavy chocholu je oblast severně od náhorní plošiny Putorana, asi 225 km severovýchodně od Norilsku. Průlomy budou pokrývat také celou tenkou západosibiřskou desku, kde se budou rozpadat staré švy – trhliny a hluboké zlomy v zemské kůře.

## Zdůvodnění nevyhnutelnosti erupce sibiřského chocholu

Důvody, proč je pravděpodobnost průlomu sibiřského chocholu v současné době vysoká, souvisí s následujícími fakty. Posledních 30 let je na Zemi pozorován postupný nárůst geofyzikálních anomálií, které jsou přímým důsledkem vnějšího působení zvyšujícího tepelnou energii v oblasti jádra planety. Současná situace je však radikálně odlišná od předchozího období: na konci roku 2024 planeta vstoupila do fáze zvýšeného energetického působení na jádro planety. A podle výpočtů se do roku 2030 přiblíží k maximální fázi.

Kritickým faktorem zhoršujícím situaci je globální znečištění oceánu způsobené antropogenními faktory včetně uhlovodíků, mikro- a nanoplastů. Tento antropogenní faktor výrazně změnil tepelnou vodivost oceánské vody a tím narušil její schopnosti účinně odvádět teplo z nitra Země. Oceán, který historicky sloužil jako hlavní termoregulátor planety, ztratil významnou část své teplovodivé funkce. To má za následek anomální akumulaci tepelné energie v plášti, což vede k jeho intenzivnímu tavení více než kdy předtím v historii Země.

Geofyzikální studie ukazují bezprecedentní nárůst počtu zemětřesení s hlubokým ohniskem, která jsou přímým indikátorem aktivního tavení pláště. Roztavené magma, jehož objem se zvětšuje, vytváří kolosální tlak na zemskou kůru. Tento proces lze přirovnat k postupnému nafukování balónku – v určitém okamžiku tlak

překročí mez pevnosti pláště.

Sibiřská oblast je vůči těmto procesům obzvláště zranitelná kvůli své specifické geologické struktuře: právě zde stoupá silný magmatický chochol – vzestupný proud roztavené hmoty pláště, vyvolaný posunem jádra tímto směrem v letech 1997–1998. Nárůst teplotních anomálií na Sibiři ukazuje, že objem magmatu pod sibiřským kratonem nadále exponenciálně roste. Na základě geologických dat a současného pozorování lze s vysokou mírou jistoty konstatovat, že sibiřský chochol je v kritické fázi připravenosti k erupci.

Obzvláště znepokojivá je skutečnost, že současně se sibiřským chocholem vzniká kritická situace v oblasti Mariánského příkopu. Jedná se o nejhlubší místo oceánského dna, kde je kůra nejtenčí a nejzranitelnější. I zde je pozorován vzestup žhavého magmatu a v důsledku toho je také pozorován výrazný nárůst seismické aktivity. Existuje reálná hrozba prasknutí oceánského dna v tomto místě a uskutečnění scénáře záhuby planety.

Existují dva možné scénáře vývoje událostí. Prvním je průlom sibiřského chocholu, k němuž může v důsledku rostoucího tlaku magmatu dojít kdykoliv. Druhým je protržení zemské kůry v Mariánském příkopu, které může předcházet sibiřské katastrofě. Sibiřský chochol nevybuchne pouze v případě, že jako první exploduje Mariánský příkop.

Geologická historie Marsu nám ukazuje možné důsledky takového scénáře: Údolí Marineru zůstává němým svědkem takové katastrofy, kdy průlom chocholu pod oceánem měl globální důsledky pro celou planetu.

Podle výpočtů zohledňujících současné trendy růstu geofyzikální aktivity by kritického bodu průlomu Mariánského příkopu mohlo být dosaženo do roku 2036. Je však důležité si uvědomit, že tento termín je podmíněn. Zemská kůra na Sibiři nemusí odolat rostoucímu tlaku mnohem dříve. Vzhledem k současnému vývoji se zdá, že průlom sibiřského chocholu nebo protržení zemské kůry v Mariánském příkopu je nevyhnutelným důsledkem procesů probíhajících v útrokách Země. Jediná nejistota spočívá v přesném čase a místě katastrofy, nikoli však ve

skutečnosti jejího přiblížení.

Dále zvážíme tři možné scénáře vývoje událostí se sibiřským chocholem.

První scénář – okamžitá erupce sibiřského chocholu. Dojde k náhlému, jednorázovému průlomu sibiřského chocholu.

Druhý scénář – postupná erupce sibiřského chocholu. Na Sibiři bude docházet k pomalým a postupným erupcím lávy, podobně jako při vzniku sibiřských trapů.

Třetí scénář – plánovaná řízená degazace. Je možný, pokud lidstvo přijme nezbytná opatření k degazaci sekundárních magmatických komor sibiřského chocholu v zemské kůře.

## Scénář 1.

### Okamžitá erupce sibiřského chocholu

Aby bylo možné odhadnout očekávané škody z jednorázové erupce sibiřského chocholu, lze se uchýlit k metodě srovnání s příklady z geologické historie. Je však třeba zvážit, že podobné podmínky, jaké v současnosti na Zemi existují, totiž koincidence nejsilnějšího 24 000letého cyklu a antropogenní znečištění „hlavního chladicího systému planety“ – oceánu – nikdy předtím neexistovaly. Právě z tohoto důvodu je okamžité protržení sibiřského chocholu považováno za nejpravděpodobnější událost, pokud lidstvo nepodnikne žádné kroky ke snížení rizik tohoto protržení.

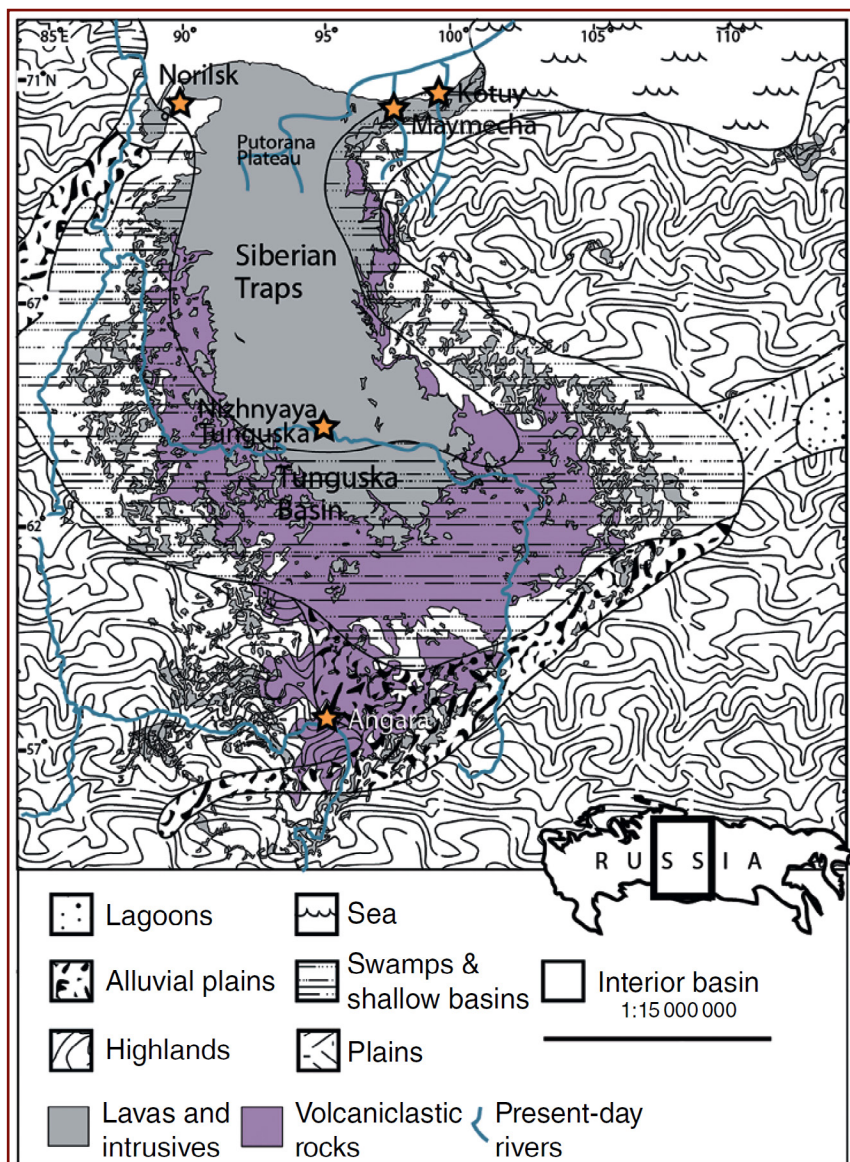
Objem vyvrženého materiálu se používá k odhadu síly sopečných erupcí. Například během jedné z nejsilnějších erupcí supervulkánu Yellowstone před 2,1 miliony let byl objem vyvrženého magmatu 2 500 km<sup>3</sup>, což bylo zjištěno studiem tufových ložisek v Severní Americe<sup>47</sup>. Během této erupce vystoupily emise popela a plynů do výšky 50 km a dosáhly horní hranice stratosféry. Erupce byla co do rozsahu srovnatelná s erupcí supervulkánu Toba na ostrově Sumatra, ke které došlo asi před 72 000–74 000 lety, což byla nejsilnější erupce za posledních 25 milionů let.

<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>



Při erupcích sibiřských trapů asi před 250 miliony let činil objem vyvrženého materiálu podle různých odhadů 3 až 4 miliony km<sup>3</sup> lávy a tufů<sup>48</sup> (obr. 77). To znamená, že erupce sibiřských trapů byla 1000krát větší, pokud jde o objem vyvrženého materiálu, než nejsilnější erupce Yellowstoneké kaldery nebo supervulkánu Toba.

Vzhledem k jednorázové povaze potenciální erupce sibiřského chocholu by tedy jeho aktivace mohla vést k erupci, jejíž síla by byla 1000krát větší než známé historické události, jako jsou erupce Yellowstoneké kaldery nebo supervulkánu Toba.



Obr. 77

Mapa paleogeografie sibiřských trapů, zobrazující rozsah hlavních vulkanoklastických výchozů a lokalit. Vychází z údajů Maliče a kol. (1974), Polozova a kol. (2010), Blacka a kol. (2015), přičemž zjednodušená pozdně permská paleogeografie je převzata z Czamanskeho et al. (1998).

Zdroj: 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>

Předpokládá se, že pokud dojde k jednorázovému průlomu sibiřského chocholu, bude mít erupce explozivní, tj. výbušný charakter, a vytvoří jedinou kalderu. Podle hypotézy se očekává, že kaldera z průlomu sibiřského chocholu bude mít rozlohu 75 000 km<sup>2</sup>, oblast takové plochy by měla poloměr 150 km (nebo například 380 km na 250 km). Při erupci sibiřských trapů před 250 miliony let byla plocha území zaplaveného lávou podle publikovaných údajů<sup>49</sup> od 4 do 7 milionů km<sup>250</sup>. Podobné oblasti by mohly být erupcemi zasaženy i tentokrát.

Názor, že lávové proudy představují největší hrozbu mezi vulkanickými jevy, je mylný. Ve skutečnosti je popel často hlavní příčinou fatálních následků. U supervulkánů, které se vyznačují vysokou výbušností, se značná část magmatu nestihne přeměnit v lávu. Místo toho se při explozi rozpadne a vytvoří obrovské množství drobných částíček sopečného popela – žhavých úlomků ostrých a zubatých hornin, které jsou unášeny atmosférou. Při vdechování tvoří tento popel v plicích člověka směs podobnou cementu, což má za následek nevyhnutelnou smrt.

Předpokládá se, že během erupce sibiřského chocholu bude poloměr pohybu takového horkého popela přibližně 9 000 km, to znamená, že bude pokrývat oblast asi 255 milionů km<sup>2</sup>. Vzhledem k tomu, že plocha celého povrchu Země je něco málo přes 510 milionů km<sup>2</sup>, poloměr ničení popelem, který nesmí být vdechnut, pokryje polovinu planety: toto území bude tvořit asi 50 % povrchu Země.

Očekávají se tedy tři život ohrožující poloměry v případě jednorázového průlomu sibiřského chocholu.

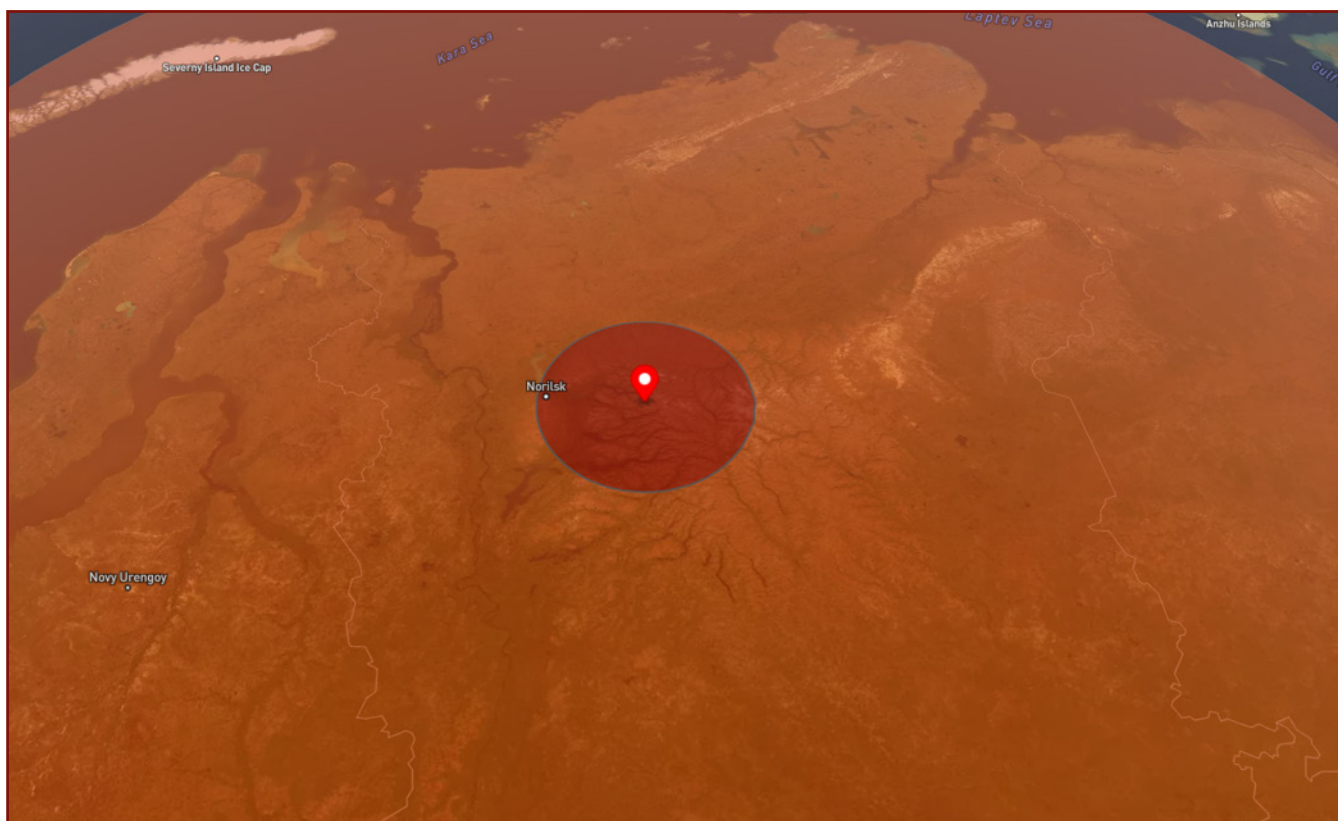
**První (centrální) zóna vlivu** je oblast o poloměru 150 km se středem v severozápadní části náhorní plošiny Putorana, kde se předpokládá vznik kaldery (obr. 78). Tato zóna zahrnuje města Norilsk, Dudinka a Talnach v Krasnojarském kraji. Při aktivaci chocholu v této zóně, všechny objekty budou okamžitě zničeny v důsledku rázové vlny a horkých pyroklastických proudů v počáteční fázi erupce.

**Druhou zónou vlivu** (poloměr 1 500 km) je oblast šíření lávy a těžkých sopečných materiálů (obr. 79). Bude pokrývat rozsáhlá území severní Sibíře, včetně území Jamalsko-něneckého autonomního okruhu, Tajmyrského poloostrova, části Chanty-Mansijského autonomního okruhu, severu Krasnojarského kraje, západní části Jakutska a severovýchodu evropské části Ruska. Tento okruh zahrnuje taková velká města jako Igarka, Nový Urengoj, Nadym, Salechard, Vorkuta, Narjan-Mar, Mirnyj, Kogalym, Lesosibirsk, Surgut, Krasnojarsk, Chanty-Mansijsk, Tomsk, Nižněvartovsk. Během prvních hodin erupce bude tato oblast vystavena rychle se pohybujícím (až 700 km/h) proudům horkého plynu, popela a lávy. Tyto proudy zničí vše živé a pokryjí území silnou vrstvou sopečných materiálů, pohřbívajíce města a přírodní zdroje.

<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>

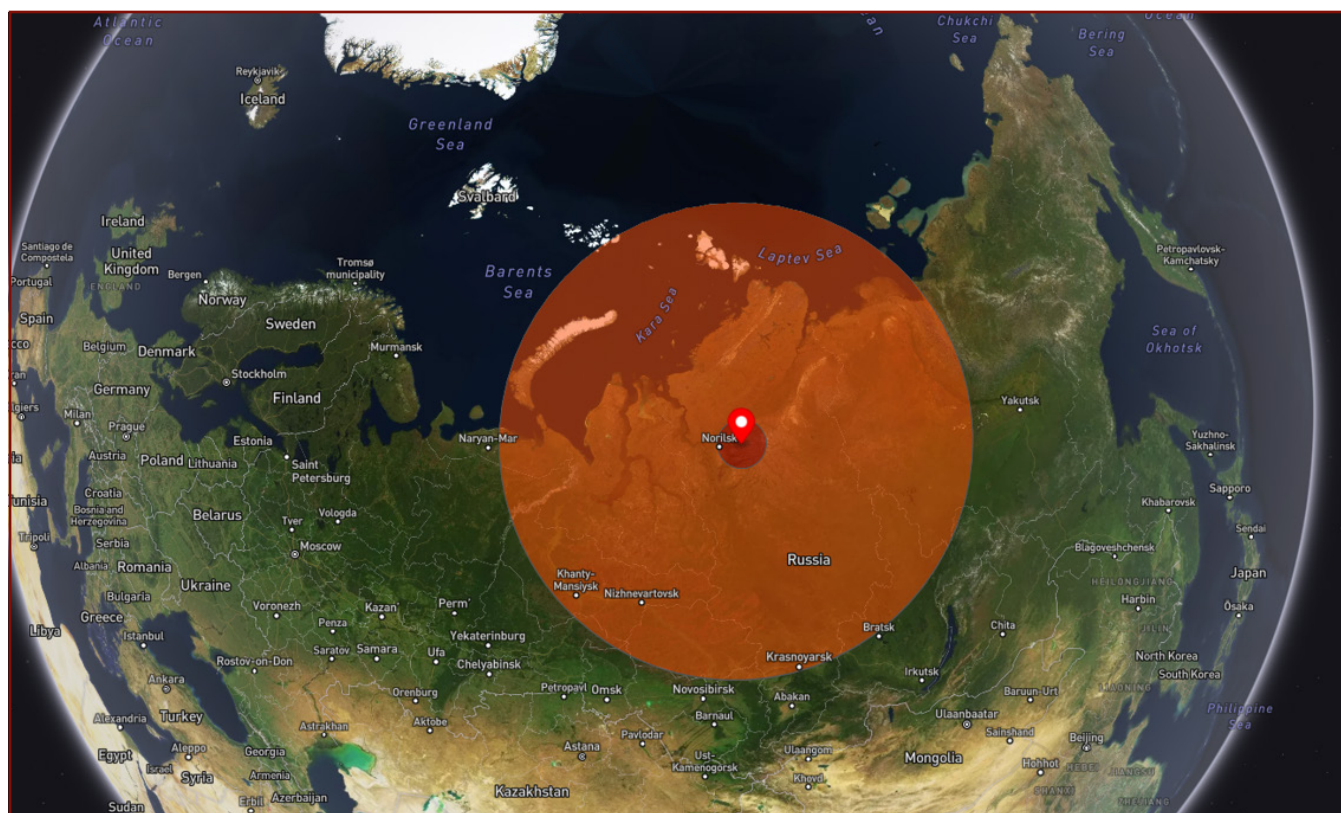
<sup>50</sup> Ivanov, A.V., He, H., Yan, L., Ryabov, V.V., Shevko, A.Y., Palesskii, S.V., Nikolaeva, I.V., 2013. Siberian Traps large igneous province: Evidence for two flood basalt pulses around the Permo-Triassic boundary and in the Middle Triassic, and contemporaneous granitic magmatism. *Earth-Science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





**Obr. 78**

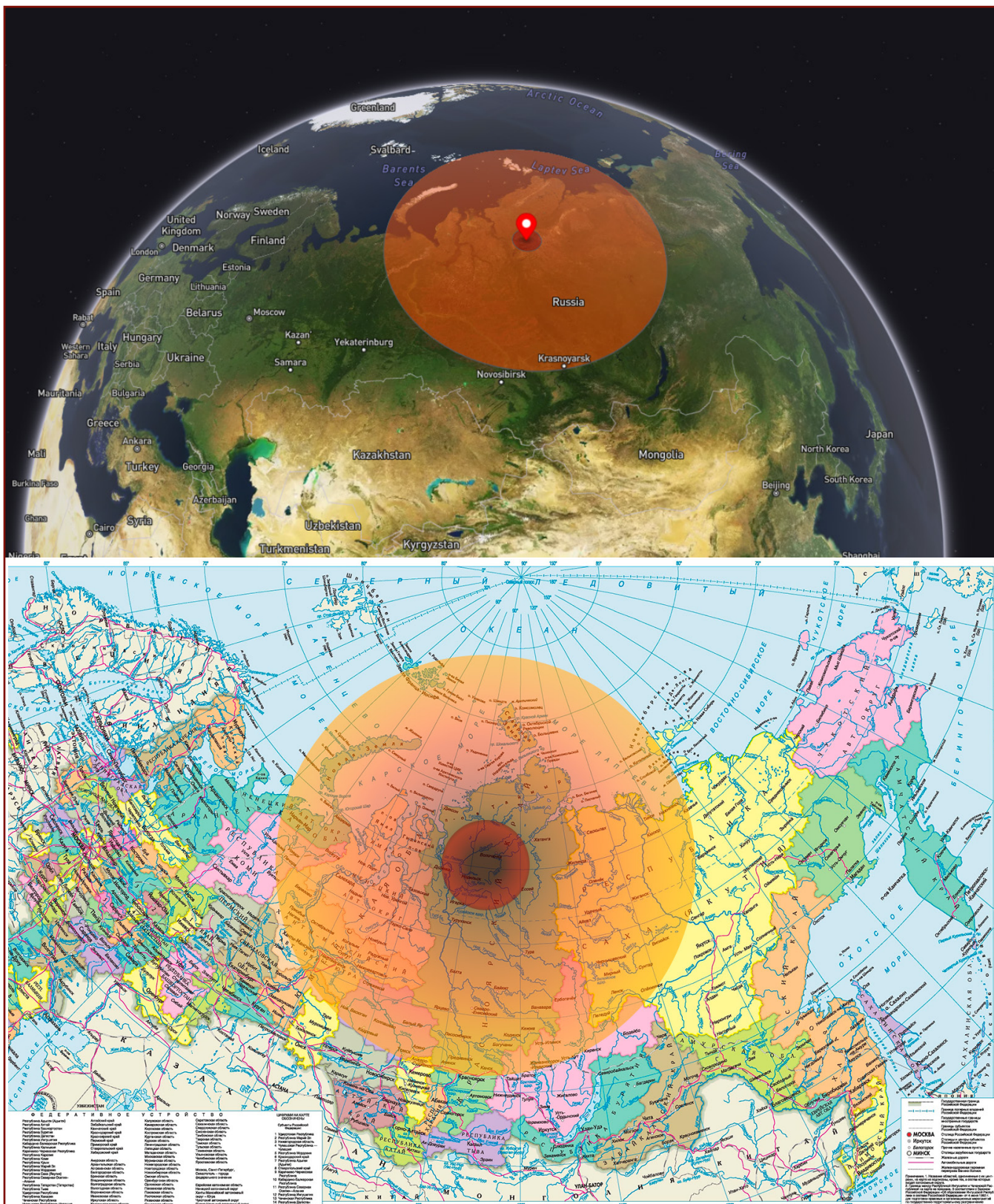
Zóna formace kaldery je znázorněna červeně s přibližným poloměrem asi 150 km.



**Obr. 79**

Oranžová oblast ukazuje šíření lávy a zónu vyvržení těžkých pyroklastických frakcí – poloměr je přibližně 1 500 km.



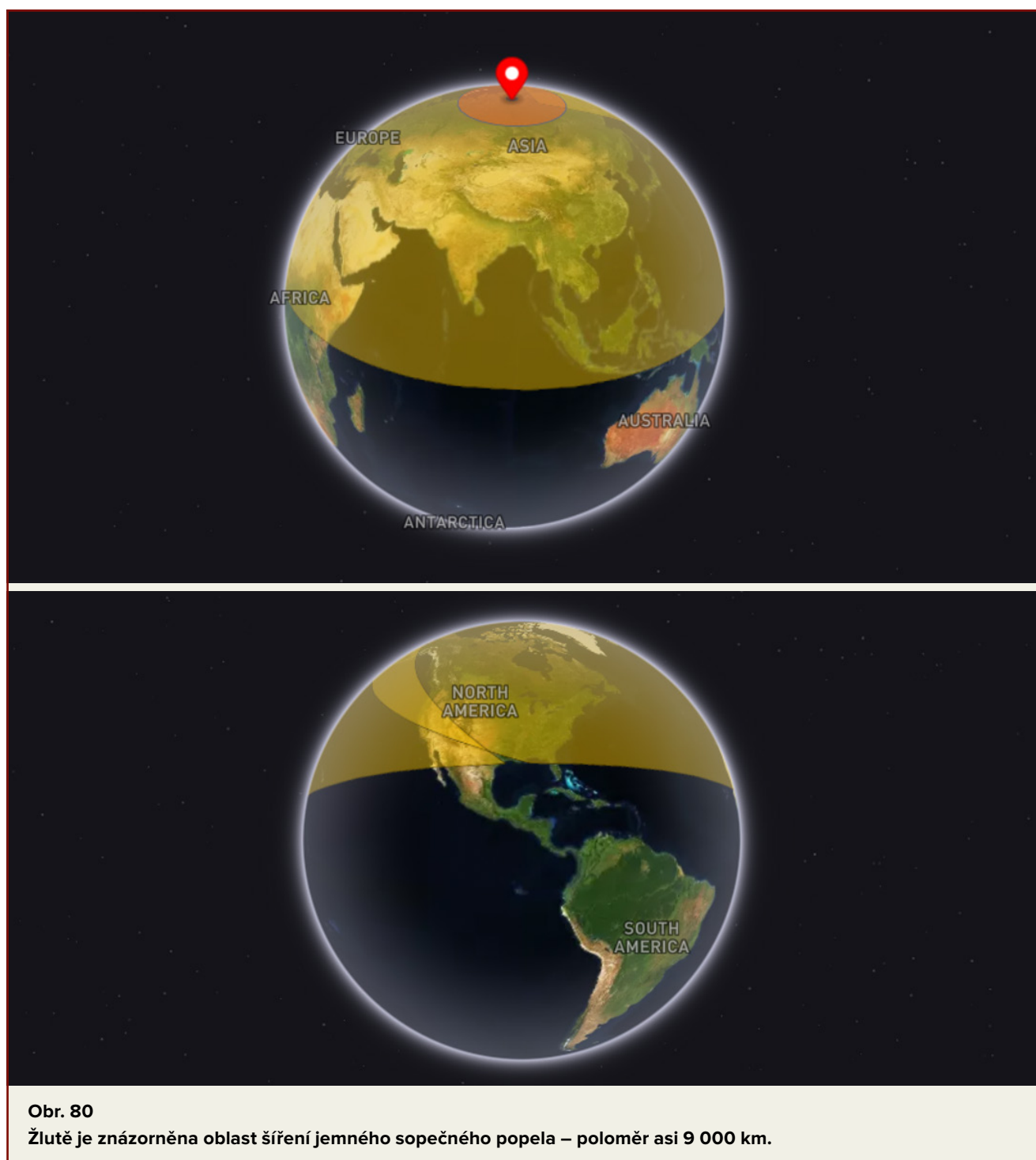


Obr. 79

Oranžová oblast ukazuje šíření lávy a zónu vyvržení těžkých pyroklastických frakcí – poloměr je přibližně 1 500 km.

**Třetí zónou vlivu** (o poloměru cca 9 000 km) je oblast rozšíření jemně rozptýlených pyroklastických látek a sopečného popela, pokrývající přibližně 50 % plochy zemského povrchu (obr. 80). V počáteční fázi (první den po erupci) budou vystaveny maximálnímu vlivu

emisí popela území Ruské federace, kontinentální Asie, Evropy, Arabského poloostrova, severní části afrického kontinentu a Severní Ameriky. Předpokládá se, že během příštích 7–10 dnů se masý popela rozšíří po australském kontinentu, Jižní Americe a Antarktidě.







**Obr. 80**

**Žlutě je znázorněna oblast šíření jemného sopečného popela – poloměr asi 9 000 km.**

Výzkum geologických procesů ukazuje, že aktivace sibiřského chocholu způsobí celou řadu dalších katastrofických událostí. Očekává se silná rázová vlna, zemětřesení výjimečné síly (s magnitudem kolem 10 stupňů), vznik ničivých tsunami a pravděpodobné probuzení dalších velkých sopečných systémů na Zemi. Energie uvolněná při erupci může spustit řetězovou

reakci vedoucí k aktivaci supervulkánů a velkých sopečných oblastí po celé planetě. Tyto závěry vycházejí z matematických výpočtů energetických procesů a jejich vlivu na zemskou kůru.

Dále se zaměříme na další rizikové faktory, které lidstvo ohrožují v důsledku jednorázového průlomu sibiřského chocholu.



## Rázová vlna

Podle údajů z dostupných zdrojů by erupce supervulkánu Yellowstone mohla uvolnit energii o síle asi 900 000 megatun a způsobit zemětřesení s magnitudem 11,2. Vzhledem k tomu, že stupnice magnitud je logaritmická (každé zvýšení o jednu jednotku znamená 32násobný nárůst energie), erupce sibiřského chocholu, která je 1000krát silnější než Yellowstone, by mohla způsobit zemětřesení s magnitudem 13,2. To je 350 000krát silnější než nejsilnější zaznamenané zemětřesení – Velké chilské zemětřesení (magnitudo 9,5, r. 1960) – a srovnatelné s pádem velkého asteroidu.

Uvolněná energie asi  $10^{24}$  J vytvoří silnou rázovou vlnu v globálním měřítku. Ve středu erupce bude tlak tak vysoký, že se horniny okamžitě vypaří a budou vrženy do horních vrstev atmosféry. Nadzvuková rázová vlna způsobí

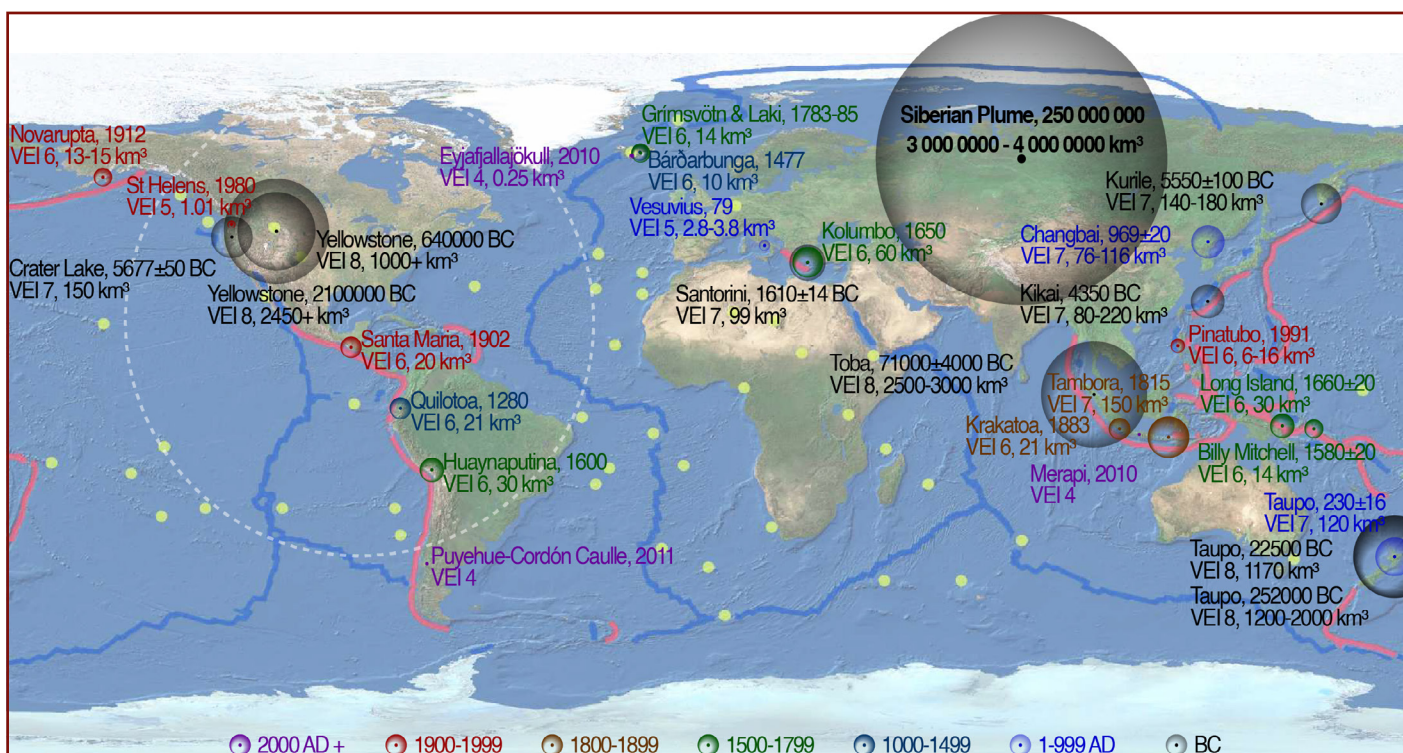
zkázu na vzdálenost tisíců kilometrů během několika minut, podobnou pádu tunguzského meteoritu, ale mnohem silnější.

V sibiřské tajze vypuknou rozsáhlé požáry a obrovská území pokryje silná vrstva sopečného popela. Dojde k rychlému tání permafrostu na tisících kilometrech, doprovázeném uvolňováním skleníkových plynů. Krajina bude vystavena rozsáhlé destrukci s aktivací zlomů v zemské kůře. Seismické vlny se budou šířit po celé planetě a způsobí nová zemětřesení s magnitudem přes 10. V Severním ledovém oceánu vzniknou obří tsunami vysoké stovky metrů a ohrozí pobřeží Ruska, Kanady, Grónska a Skandinávie. Sekundární tsunami zasáhne břehy Indonésie, Japonska, Austrálie, Severní a Jižní Ameriky. Globální atmosférické poruchy povedou ke vzniku supersilných hurikánů a bouří.

## Aktivace supervulkánů a vulkanických systémů

Seismické vlny z erupce se budou šířit nejen vzduchem a zemským povrchem, ale i hluboko do pláště. Vzhledem k tomu, že všechny supervulkány jsou navzájem propojeny prostřednictvím roztavených vrstev pláště, seismické vlny takové síly z erupce sibiřského chocholu pravděpodobně způsobí řetězovou

reakci erupcí dalších supervulkánů už během prvního dne (obr. 81). Očekává se aktivace největších vulkanických systémů, včetně kalder Yellowstone a Long Valley (Severní Amerika), Flegrejských polí (Apeninský poloostrov), Toba (Sundské souostroví), Aira (Japonské ostrovy) a vulkanického komplexu Taupo (Nový Zéland).



**Obr. 81**

**Schéma představuje globální mapu největších sopečných erupcí, rozdělenou podle časových period od prekambria po současnost.**

Velikost symbolů je úměrná objemu vyvrženého materiálu (v  $\text{km}^3$ ). Mapa odráží časovou posloupnost erupcí s  $\text{VEI} \geq 4$ , kde jsou zvýrazněny události Toba ( $71\,000 \pm 4\,000$  př. n. l.,  $2\,500\text{--}3\,000\text{ km}^3$ ), Yellowstone ( $640\,000$  př. n. l.,  $> 1\,000\text{ km}^3$ ) a Tambora ( $1815$ ,  $150\text{ km}^3$ ). Podobné erupce se očekávají i v případě výbuchu sibiřského chocholu, což by byla největší událost ( $3\text{--}4$  miliony  $\text{km}^3$ ). Červené čáry označují hranice tektonických desek, což dokládá prostorovou souvislost s lokalizací velkých erupcí.

Kromě supervulkánů pravděpodobně začnou erupce i na mnoha sopkách podél Pacifického ohnivého kruhu a v dalších seismicky aktivních zónách. Existuje vysoká pravděpodobnost obnovení sopečné činnosti u sopek, jako je Fujiyama (Japonsko), Krakatoa a Merapi (Indonésie), Vesuv a Etna (Itálie), Popocatepetl (Mexiko), vulkanické skupiny Kamčatky, andské a aljašské vulkanické pásy,

stejně jako vulkanické subglaciální systémy západní Antarktidy. Očekává se reaktivace dlouho spících vulkanických struktur, včetně stratovulkánu Ararat (Anatolská náhorní plošina), sopečného masivu Elbrus (Kavkazský region), sopky Laacher See (střední Evropa), stratovulkánů Kilimandžáro a Nyiragongo (východoafrický riftový systém) a vulkanických systémů Arabského poloostrova.

## Kyselé deště

Katastrofické emise sopečného popela a oxidu siřičitého z erupce způsobí, že srážky po celé planetě nabydou podoby kyselých dešťů. Pro ilustraci rozsahu emisí můžeme uvést erupci Yellowstonského supervulkánu před 630 000 lety, kdy se do atmosféry uvolnilo přibližně 500 megatun oxidu siřičitého. Škálováním těchto dat s ohledem na sílu hypotetické erupce sibiřského chocholu lze odhadnout objem emisí oxidu siřičitého na přibližně 1 500 000 megatun (nebo  $1,5 \times 10^{12}$  tun), což je asi milionkrát více než emise Tambory v roce 1815 („rok bez léta“). Je třeba zdůraznit, že tento výpočet nebere v úvahu emise z jiných sopek, které by se mohly aktivovat v rámci řetězové reakce.

Taková koncentrace emisí oxidu siřičitého způsobí globální tvorbu aerosolových částic ve stratosféře, které se v průběhu desetiletí budou postupně vyplavovat z atmosféry v podobě kyselých dešťů. Hlavní období kyselých dešťů se předpokládá v rozmezí 3 až 10 let v závislosti na klimatických procesech a cirkulaci látek v atmosféře. Oblasti blíže k epicentru těchto emisí, například na území dnešní Sibíře, budou vystaveny srážkám s pH nižším než

1,5, což je podobné zředěné kyselině sírové. To by zničilo vegetaci včetně kořenů, listů a větví a vymylo by minerály z půdy, která by se stala nevhodnou pro život. Vodní ekosystémy budou rovněž silně okyseleny: z vodních ploch se stanou kyselá jezera s hodnotou pH 2-3, což je učiní toxickými pro většinu forem života. Kyselina, která se dostane do vodních zdrojů, navíc způsobí, že pitná voda bude bez důmyslné filtrace nepoužitelná. Infrastruktura, včetně cementových, mramorových a kovových staveb, bude vystavena zrychlené korozi způsobené sloučeninami síranů.

Maximální koncentrace kyselých dešťů však potrvá pouze první měsíce po erupci, poté se srážky postupně lokalizují v určitých regionech. S nástupem sopečné zimy se většina srážek změní ve sněh, což sníží kyselou zátěž ekosystémů, ale v tomto okamžiku již bude globální destrukce flóry a fauny způsobená kyselými srážkami nevratná. Poškození ekosystémů bude mít výrazný vliv na přírodní a antropogenní procesy dlouho před začátkem globálního ochlazování.



## Sopečná zima

Kumulativní vliv erupce sibiřského chocholu, umocněný současnou aktivací více sopek, bude mít katastrofický dopad, který se projeví ve změnách globálních klimatických a environmentálních podmínek. Rozsáhlé emise sopečného popela, plynů (zejména oxidu siřičitého –  $\text{SO}_2$ ) a aerosolů do atmosféry vytvoří na desítky let nepřekonatelnou bariéru pro sluneční záření.

Vysoké koncentrace sulfátových aerosolů ve stratosféře budou odrážet většinu slunečního záření, což způsobí narušení energetické bilance planety. Očekává se prudké snížení přívodu tepla, které povede k extrémnímu ochlazení klimatu, což je stav, který by se dal označit jako „hypervulkanická zima“. V důsledku těchto procesů se Země promění v „ledovou kouli“, kde podmínky pro udržení života budou zachovány pouze v omezených oblastech, zejména v rovníkové zóně.

Odhady potenciálního vlivu jsou založeny na historických údajích o významných erupcích. Například při maximální erupci Yellowstoneu před 2,1 miliony let klesla teplota planety v průměru o 3–5 °C. Podle propočtů, při erupci sibiřského chocholu, jejíž rozsah je mnohonásobně větší než zmíněná událost, klesne průměrná teplota na Zemi přibližně o 24–31 °C. V polárních oblastech se očekává pokles teplot o 28–36 °C i více, což povede k úplnému zamrznutí klíčových vodních ploch včetně severního Atlantiku a rozsáhlých oblastí Tichého oceánu. Ve středních zeměpisných šířkách dojde k poklesu teploty o

24–31 °C, což zničí veškerou vegetaci a způsobí hromadné úhyny organismů.

Oceánské ekosystémy budou dramaticky narušeny. Zamrznutí začne z povrchu a pobřežních oblastí oceánů, což způsobí, že mořská biota zmizí na globální úrovni. V rovníkových oblastech teploty klesnou o 20 až 27 °C, což učiní i tropické oblasti příliš chladné na to, aby udržely život.

Prakticky celá pevninská plocha se stane neúrodnou v důsledku globálního chladu, zastínění a zastavení fotosyntézy. Potravní řetězce budou zničeny, což povede ke zhroucení zemědělství a masovému vyhynutí jak flóry a fauny, tak i značné části lidstva. Životaschopnost si zachovají pouze jednotlivé mikrobiální ekosystémy, adaptované na extrémní podmínky.

Sulfátové aerosoly, které zůstávají ve stratosféře po dlouhou dobu, budou nadále blokovat sluneční světlo po několik desetiletí. Nicméně důsledky „hypervulkanické zimy“ budou pociťovány mnohem déle. I po usazení popela a aerosolů bude planetě trvat stovky, nebo dokonce tisíce let, než se obnoví přirozená klimatická a ekologická rovnováha, včetně zamrznutí oceánů, tvorby ledovců a radikálních změn v biosféře.

## **Závěry ke scénáři 1.**

### **Okamžitý průlom sibiřského chocholu**

Jednorázová erupce sibiřského chocholu bude katastrofickým geologickým a klimatickým jevem, který vyvolá globální změny v atmosféře, hydrosféře a biosféře. Silná exploze na plošině Putorana okamžitě zničí vše v okruhu 150 km a vytvoří obrovskou kalderu, zatímco pyroklastické proudy a láva zasáhnou oblast o poloměru 1 500 km, přemění Sibiř na vypálenou poušť. Polovina povrchu planety bude pokryta vrstvou popela. Zemětřesení s magnitudem až 13,2, vyvolané explozí chocholu, vytvoří ničivé seismické vlny, které se rozšíří po celé planetě, aktivují linie zlomů, sekundární zemětřesení a megatsunami vysoké stovky metrů, zaplavující pobřežní oblasti kontinentů.

Emise 1,5 milionu megatun  $\text{SO}_2$  způsobí kyselé deště s pH pod 1,5 a zničí půdu, vegetaci a vodní ekosystémy. Vodní plochy se stanou nevhodnými pro život a půda rychle ztratí svou úrodnost. Kolaps fotosyntézy a potravních řetězců povede k hromadnému vymírání flóry, fauny a v důsledku toho i lidské civilizace.

Masivní aktivace supervulkánů včetně Yellowstone, Campi Flegrei a Toba zhorší globální změnu klimatu zvýšením emisí sopečného popela, oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ) a aerosolů. Jejich akumulace ve stratosféře bude blokovat sluneční záření, což způsobí ochlazení planety („hypervulkanická zima“) a pokles teploty o desítky stupňů. V polárních oblastech klesnou teploty o 28–36 °C, v mírných oblastech o 24–31 °C a v tropech o 20–27 °C, což způsobí zamrzání oceánů, zastavení oceánské cirkulace, kolaps ekosystémů a vznik obřích ledovců na souši.

Dopad „hypervulkanické zimy“ učiní Zemi prakticky neobyvatelnou a obnova přírodních podmínek si vyžádá tisíce až miliony let. Tato událost bude největším vyhynutím v geologické historii planety.

## Scénář 2.

### Postupná erupce sibiřského chocholu

Druhý scénář erupce sibiřského chocholu nepředpokládá jednorázovou explozi, ale postupnou sérii výbuchů plynů a lávových proudů skrze zlomy a oslabené zóny zemské kůry. Tento proces lze přirovnat k formování sibiřských trapů, ke kterému došlo na konci permského období před 250 miliony let ve stejné oblasti.

Vznik sibiřských trapových provincií byl nejrozsáhlejším projevem zemského vulkanismu. V této době Země zažila největší ekologickou katastrofu ve své historii – permsko-triasové

masové vymírání, během něhož zmizelo až 90 % mořských a 70 % suchozemských druhů (obr. 82, 83).

Geologické údaje<sup>51</sup> naznačují, že sibiřské erupce na území východosibiřského kratonu mohly být mimořádně explozivní (Campbell et al. 1992) a že tloušťka pyroklastických usazenin dosahovala až 800 metrů (Khain 1985). Síla výbuchu byla tak obrovská, že sedimentární horniny byly někdy vymrštny z hloubky až 10 km.



**Obr. 82**  
Umělecké zobrazení  
erupcí na Sibiři během  
permo-triasového vymírání.

Ilustrace: Image by  
Tigran Nshanyan

**Obr. 83**  
Umělecké zobrazení lystrosaurů,  
kteří přežili masové vymírání,  
dominují zdevastované krajině  
a ilustrují změnu ekosystému po  
permo-triasové krizi.

Ilustrace: 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>



Vulkanická aktivita v regionu probíhala v několika fázích a zásadně změnila geologickou krajinu. Zpočátku magma pronikalo do mocných vrstev sedimentárních usazenin, kde vytvářelo různá intruzivní tělesa, jako jsou prahy. Následně se charakter erupcí změnil na explozivní, což vedlo k vyvržení obrovského množství pyroklastického materiálu a k vytvoření mohutných vulkanických uloženin. Vyvrcholením tohoto procesu byl výlev kolosálních objemů čedičové lávy, dosahujících stovek tisíc krychlových kilometrů. Celkový objem vulkanických hornin, včetně intruzí, pyroklastických usazenin a lávových proudů, se odhaduje přibližně na 3 miliony km<sup>3</sup>. Je však důležité poznamenat, že tato hodnota odráží pouze horniny, které se dochovaly do současnosti. Lze s jistotou předpokládat, že původní rozsah erupcí byl výrazně větší, ale později byl erodován.

Formování sibiřských trapů způsobilo obrovské emise oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), oxidu siřičitého (SO<sub>2</sub>), chlorovodíku (HCl) a dalších těkavých látek. Tyto plyny výrazně zesílily skleníkový efekt a vedly k prudkému oteplení po období vulkanické zimy. Koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře dosahovala až 8 000 ppm, což je 20krát více než současné hodnoty. V důsledku toho se teplota tropických moří zvýšila z 22–25 °C na 30 °C a oceány se začaly

okyselovat, což vedlo k vymírání organismů s karbonátovými schránkami.

Celkové emise síry dosahovaly až 7 800 gigatun, chloru až 8 700 gigatun a fluoru až 13 600 gigatun<sup>52</sup>.

Vulkanický popel a aerosoly blokovaly sluneční světlo, narušily fotosyntézu, způsobily masový zánik lesů a rozpad potravních řetězců, což dále prohloubilo vymírání rostlinných i živočišných druhů. Ekologická krize té doby je důkazem rozsahu možných následků i při postupné erupci sibiřského chocholu.

Podle výzkumů bylo období erupcí, které začalo před 250 miliony lety, způsobeno vzestupem plášťového chocholu – mohutného proudu magmatu stoupajícího z hlubin Země v oblasti dnešní náhorní plošiny Putorana. Opakování takového scénáře by v současnosti vedlo k vytvoření rozsáhlých lávových platů – jedněch z největších geologických útvarů na planetě, které by pokryly Sibiř a okolní regiony a zničily prakticky veškerý život v okruhu několika tisíc kilometrů. Geologické záznamy ukazují, že podobné katastrofy, doprovázené výlevy obrovských čedičových polí<sup>53</sup>, se v historii Země opakovaly vícekrát a vždy vedly k rozsáhlému hromadnému vymírání (obr. 84).

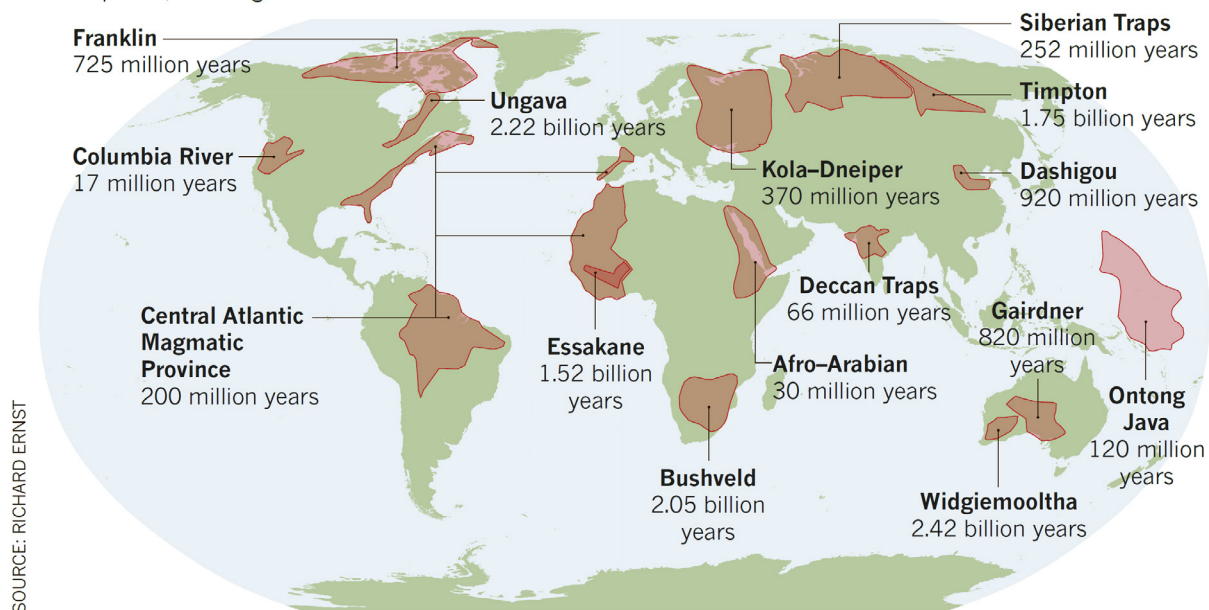
<sup>52</sup>Benjamin A. Black, Linda T. Elkins-Tanton, Michael C. Rowe, Ingrid Ukstins Peate, Magnitude and consequences of volatile release from the Siberian Traps, *Earth and Planetary Science Letters*, Volumes 317–318, 2012, Pages 363–373, ISSN 0012-821X, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.12.001>

<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



### Obr. 84

Obrázek ukazuje mapu největších sopečných erupcí v historii Země, která ukazuje geografické polohy a stáří lávových plošin, které vznikly v důsledku těchto událostí.

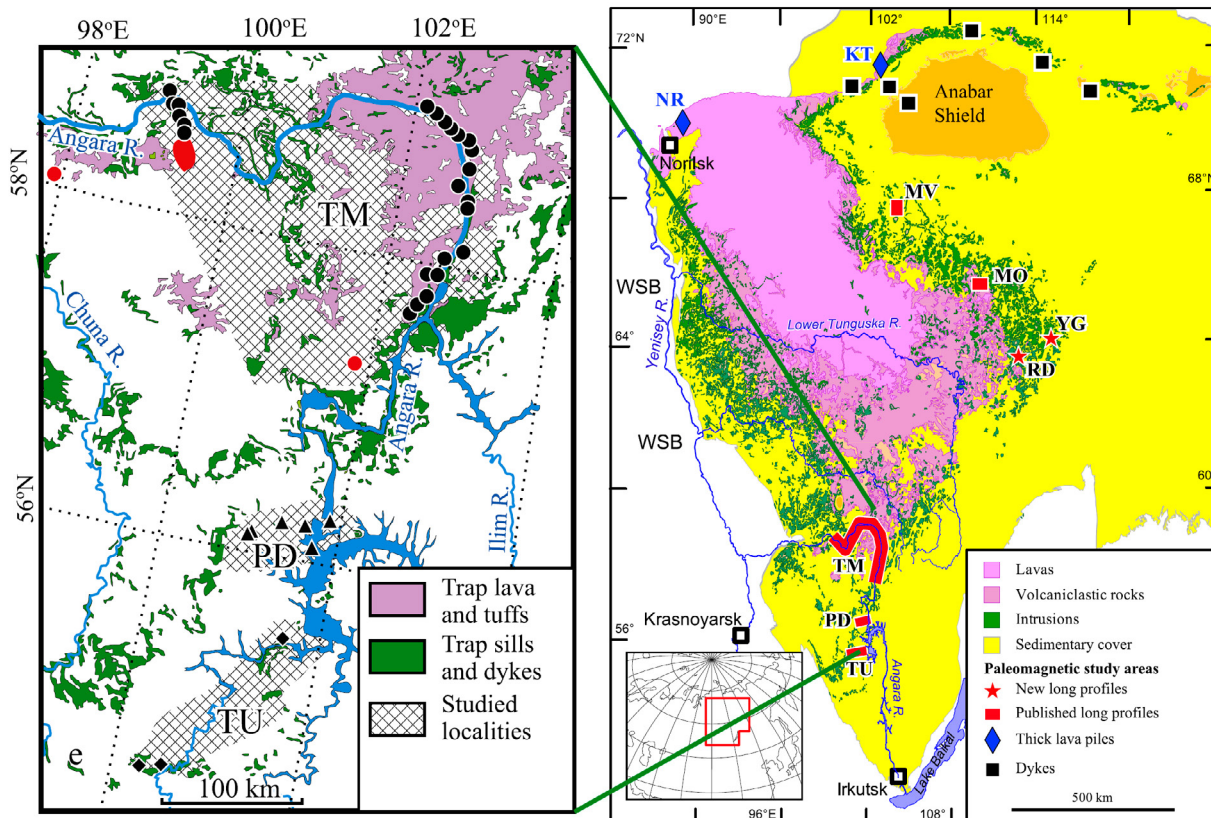
Ilustrace: Richard Ernst

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

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

Stejně jako v předchozích geologických epochách bude magma stoupat z pláště a pronikat trhlinami v zemské kůře, podobně jako měkká hmota prosakuje skrze hustý filtr. Tento proces povede k přehřátí povrchu, vzniku četných magmatických intruzí uvnitř kůry a tavení litosféry. Na obrázku 85 je znázorněno rozložení efuzivních hornin na Sibiři: fialovou barvou jsou

označeny lávové proudy, zatímco zelenou magmatická tělesa, která ztuhla v zemské kůře. Zelené oblasti na mapě ukazují, jak magma, rozrušující zemskou kůru, vytvářelo trhliny a pronikalo podél těchto oslabených zón. Podobný nárůst magmatického tlaku by mohl tento proces znovu spustit.



**Obr. 85**

**Vpravo:** Přehledová mapa Sibiřské trapové provincie (zjednodušená a upravená podle Svensen et al., 2009). Přehledová mapa ukazuje hlavní geologické struktury v různých barvách: růžově jsou zobrazeny lávové proudy, zeleně – intruzivní tělesa, žlutě – sedimentární pokryv. **Vlevo:** na podrobné mapě levé části obrázku je zobrazeno rozložení trapového magmatismu: fialovou barvou jsou zobrazeny lávy a tuhy, zeleně – prahy a dajky.

Zdroj: 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>

Scénář postupné erupce je srovnatelný s jednorázovým výbuchem sibiřského chocholu, ale probíhá v delším časovém horizontu. Lze si jej představit jako sérii sopek vybuchujících každý týden, doprovázenou náhlým vznikem trhlin, jimiž budou po celé západní Sibiři proudit čedičové lávy. Na mapě (obr. 86) jsou fialovou barvou vyznačeny oblasti lávových proudů. V oblasti hustší a stabilnější kůry východosibiřské platformy se láva rozlévala do šířky, zatímco na území západní Sibiře, kde je kůra tenčí, mladší a nehomogenní, docházelo k erupcím podél podélných propadlin nebo riftů. Červenou barvou

jsou na mapě označeny oblasti tuřů, tvořených zpevněnými pyroklastickými úlomky a popelem.

Je třeba poznamenat, že erupce ve východní a západní Sibiři se budou lišit.

Pod východní Sibiří magma naráží na hustý archaický kraton, který představuje významnou překážku. Během svého vzestupu se magma „prodírá“ do okolní horniny, ochlazuje se a obohacuje se o těkavé složky, což může vést k explozivním erupcím s vysokými emisemi popela a možnému vzniku kyselé, viskózní magmy.





**Obr. 86**

**Mapa Sibiřské trapové provincie. Mapa ukazuje hlavní geologické struktury, včetně oblastí šíření lávových proudů (fialová barva) a tufů a tufitů (purpurová barva). Modré čáry označují hranice sibiřské trapové provincie.**

Zdroj: [wikipedia.org](http://wikipedia.org), podle Masaitis, 1983.

Naopak pod západní Sibiří, kde je zemská kůra tenká a mladá, se předpokládá převaha výlevů tekuté čedičové lávy.

Očekává se, že oblast pokrytá lávovými proudy a tufy bude na západní a východní Sibiři asi 7 milionů km<sup>2</sup>, což je srovnatelné s územím současné Austrálie. Oblasti vystavené degradaci však pravděpodobně překročí desítky milionů čtverečních kilometrů. Tyto oblasti budou vystaveny rozsáhlým požárům, erozi v důsledku kyselých dešťů, spadům popela, sesuvům půdy a bahenním proudům nesoucím sopečné sedimenty. Veškerý permafrost na Sibiři bude zničen.

Stojí za zmínku, že na poloostrově Tajmyr, na západ od náhorní plošiny Putorana, se nacházejí největší světová ložiska niklu, mědi a kovů platinové skupiny, zpracovávané společností

Nornikel. Tato ložiska jsou magmatického původu a vznikla přibližně před 250 miliony let během erupcí sibiřské trapové magmatické provincie, což přispělo k vytvoření unikátních rudných uzlů. Vysoká koncentrace niklu v magmatu té doby byla pravděpodobně spojena s výstupem látek z jádra Země na povrch. V současnosti se na Sibiři pozoruje vzestup magmatického chocholu, jehož zrychlení bylo způsobeno posunem jádra v roce 1998 směrem k poloostrovu Tajmyr, což bylo zjištěno doktorem věd Jurijem Barkinem. V blízké budoucnosti existuje vysoké riziko průlomu sibiřského chocholu v oblasti města Norilsk, na stejném místě, kde k tomu došlo před 250 miliony lety.

Dále zvážíme důsledky tohoto scénáře pro Rusko a svět.

## Důsledky postupného průlomu sibiřského chocholu pro Rusko

Existují studie, které přesně určují umístění magmatických čoček v litosféře jižní části Sibiře, což je vysvětleno tenkou kůrou této oblasti. Severní část Sibiře však zůstává na seismických mapách prakticky neprozkoumaná a představuje „bílou skvrnu“ ve studiích spodní kůry a pláště. To znemožňuje předvídat místa prvních průlomů lávy a erupcí plynem nasycených magmat, zejména s ohledem na nedostatek plnohodnotného monitorování nitra Země v zóně sibiřského chocholu.

Je známo, že prvními příznaky blížící se katastrofy budou častější zemětřesení a lokální emise plynu podél okrajů sibiřského bloku zemské kůry. Při postupu magmatu k povrchu začne prudké tání permafrostu, což může vést k destrukci infrastruktury postavené na zmrzlých půdách. V důsledku ohřevu půdy mohou také explodovat plynové hydráty (metanu ve struktuře ledu), což způsobí vznik velkých kráterů a zničení obydlených oblastí.

Masivní požáry se stanou nevyhnutelností v důsledku uvolňování metanu, přehřátí půdy a emisí sopečných plynů. Uhlovodíky v sibiřských ložiscích a uhelné pánve, jako například Kuzbas, mohou začít hořet, podobně jak tomu bylo v permotriasovém období<sup>54</sup>, kdy byly uhelné sloje vystaveny tepelnému ohřevu až na 600 °C.

Erupce začnou náhle a zasáhnou mnoho míst na rozsáhlém území. Zemětřesení s

magnitudem 7–8, trhliny a zlomy povedou k rozšíření lávy na stovky tisíc čtverečních kilometrů. V oblastech kolem průlomů lávy dojde k masovému úhynu rostlin, zvířat i lidí v důsledku toxických emisí, které vytvoří v atmosféře jedovatý „koktejl“. Již v prvních dnech zahynou miliony lidí a sopečný popel zničí dopravní spojení – bude se usazovat na silnicích a železnicích, zhoršovat viditelnost a ničit infrastrukturu. Letecká doprava se zcela zastaví kvůli nebezpečí, které popel představuje pro motory letadel a vrtulníků.

Tání permafrostu situaci ještě více zhorší – dopravní cesty, ropovody, plynovody, budovy a komunikace se začnou rozpadat. Mnohá města zůstanou bez přístupu k vodě, potravinám a elektřině, což povede k humanitární krizi. Hromadná evakuace bude v podstatné části zasažené oblasti nemožná, protože láva, plyny, požáry a kyselé deště učiní dopravní cesty neprůchodnými. Panika zachvátí miliony lidí a evakuace obyvatel Sibiře povede k sociální nestabilitě a masovým nepokojům.

Ekonomika země utrpí katastrofální ztráty: těžba ropy, plynu, uhlí, diamantů a kovů se zastaví kvůli fyzickému zničení infrastruktury, což povede k odstávce podniků, nedostatku surovin a elektrické energie. Sopečná aktivita zničí přírodní bohatství regionu, včetně ropy a uhlí, čímž budou zlikvidována klíčová ekonomická aktiva země.

<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>

Desítky let po erupci zůstane Sibiř oblastí ekologické katastrofy. Katastrofa, která postihne Rusko, nenávratně změní jeho geografii, ekonomiku a společnost. Pouze 25 % území země zůstane obyvatelné, avšak bude čelit obrovskému

tlaku ekologických a sociálních krizí.

Ekonomické postavení, historické památky a velká část přírodního bohatství budou ztraceny a Sibiř se stane neobyvatelnou pro současnou civilizaci.

## **Důsledky postupného průlomu sibiřského chocholu pro celý svět**

Globální důsledky erupce sibiřského chocholu zasáhnou celý svět a proběhnou v několika fázích.

V prvních dnech se zastaví veškerá dopravní spojení přes Sibiř mezi Evropou a Asií a letecká doprava bude přerušena kvůli sopečnému popelu v atmosféře. Tyto události naruší globální logistiku a vyvolají rozsáhlou potravinovou krizi, protože Rusko jako jeden z předních exportérů potravin zastaví dodávky pšenice a dalších produktů. Přerušování vývozu ruské ropy, plynu a dalších surovin povede k prudkému růstu cen, energetické krizi a ekonomické nestabilitě v mnoha zemích. Světová ekonomika se ocitne v řetězové reakci finančních a sociálních otřesů.

Oblaka popela a sirných aerosolů způsobí efekt globálního zatemnění, čímž sníží množství slunečního světla dopadajícího na planetu. To povede k „sopečné zimě“, při níž teploty klesnou o 2–3 °C. Kyselé deště a znečištění půdy vážně poškodí zemědělství nejen v Rusku, ale po celém světě. Masový hladomor, nedostatek vody, toxický vzduch a rozvrat klimatického systému povedou k postupnému vymírání miliard lidí a zvířat. Během několika let se sociální systémy zhroutí.

Postupem času se sopečný popel začne usazovat, ale dojde k dramatickým změnám klimatu. Výron metanu a oxidu uhličitého v důsledku tání permafrostu povede ke zvýšení skleníkového efektu. Teploty začnou postupně stoupat o 5–10 °C, což povede k nestabilnímu klimatu charakterizovanému prudkými výkyvy teplot. Zničení ozónové vrstvy zvýší úroveň ultrafialového záření na severní polokouli a tím dále posílí ničivé účinky erupcí.

Navzdory své vzdálenosti od Sibiře bude Evropa čelit vážným následkům erupce sibiřského chocholu: popel pokryje severní a východní Evropu a způsobí četná respirační onemocnění mezi obyvatelstvem. Kyselé deště zničí lesy, městskou infrastrukturu a zemědělskou půdu. Po přechodné fázi ochlazení začne prudké oteplení doprovázené suchem na jihu a povodněmi ve střední a severní Evropě. Masová migrace z Ruska, Asie a Blízkého východu způsobí demografickou krizi a vyostří konkurenci o zdroje. Evropské země se budou muset vypořádat s neustálými environmentálními, ekonomickými a sociálními výzvami.



Asie, která je nejbližší epicentru erupcí, ponese největší tíhu. Znečištění ovzduší prachem a popelem způsobí dušnost a kyselé deště, zejména v Číně, Mongolsku a Kazachstánu. Zemědělství v severní Číně, klíčovém potravinovém regionu, bude zničeno kvůli nedostatku slunečního světla a zhoršení kvality půdy.

Teplotní výkyvy poškodí infrastrukturu a zemědělské systémy po celém kontinentu.

Postupný nárůst teploty oceánů způsobí deoxygenaci vody, což zničí mořské ekosystémy a povede ke kolapsu rybolovu.

S časem budou důsledky pokračujících erupcí stále ničivější. Klimatické a ekologické krize se zhorší, lidstvo ztratí mnoho moderních technologií a znalostí, což povede k hlubokému úpadku v jeho vývoji. Světová civilizace se ocitne na pokraji kolapsu.

## **Dlouhodobé důsledky postupného průlomu sibiřského chocholu pro planetu**

Postupná erupce sibiřského chocholu způsobí masivní dlouhodobé následky, které radikálně změní planetu na miliony let. Atmosféra bude vystavena globálnímu znečištění toxickými látkami, což povede k tvorbě kyselých dešťů v planetárním měřítku a zničení ozonové vrstvy. Oceány se kriticky okyselí, což způsobí masivní úhyn mořských organismů. Tyto procesy povedou ke kolapsu mořských ekosystémů, narušení globálních potravinových řetězců a kolapsu veškeré mořské biologické rozmanitosti.

Na souši se hromadné vymírání stane nevyhnutelným kvůli toxickým emisím do atmosféry, ničení půdních ekosystémů a vymizení většiny rostlin. Ztráta opylovačů

povede ke kolapsu suchozemských ekosystémů. Předpokládá se, že vyhynutí postihne 75 až 95 % všech existujících druhů.

V důsledku erupce dojde ke komplexnímu klimatickému, biologickému a geologickému krizovému stavu, který zcela transformuje biosféru Země. Tento proces povede ke kolapsu lidské civilizace, smrti miliard lidí a k úpadku přeživších, roztroušených skupin lidí, které se vrátí na úroveň rozvoje doby kamenné. Rozsah této katastrofy bude srovnatelný s největšími masovými vymíráními v historii Země, což otevře nový evoluční stupeň biosféry nejdříve za miliony let.

## Scénář 3.

### Plánovaná řízená degazace

#### Stávající metody vulkanického geoinženýrství

Vzhledem k rostoucímu napětí pod západosibiřskou deskou a východosibiřským kratonem, souvisejícímu se stoupáním sibiřského chocholu, je nutné neprodleně přijmout opatření k minimalizaci možných katastrofických následků. Jedním z těchto řešení je kontrolované uvolňování tlaku, lávy a plynů ze sekundárních magmatických ložisek, tedy **plánovaná řízená degazace**.

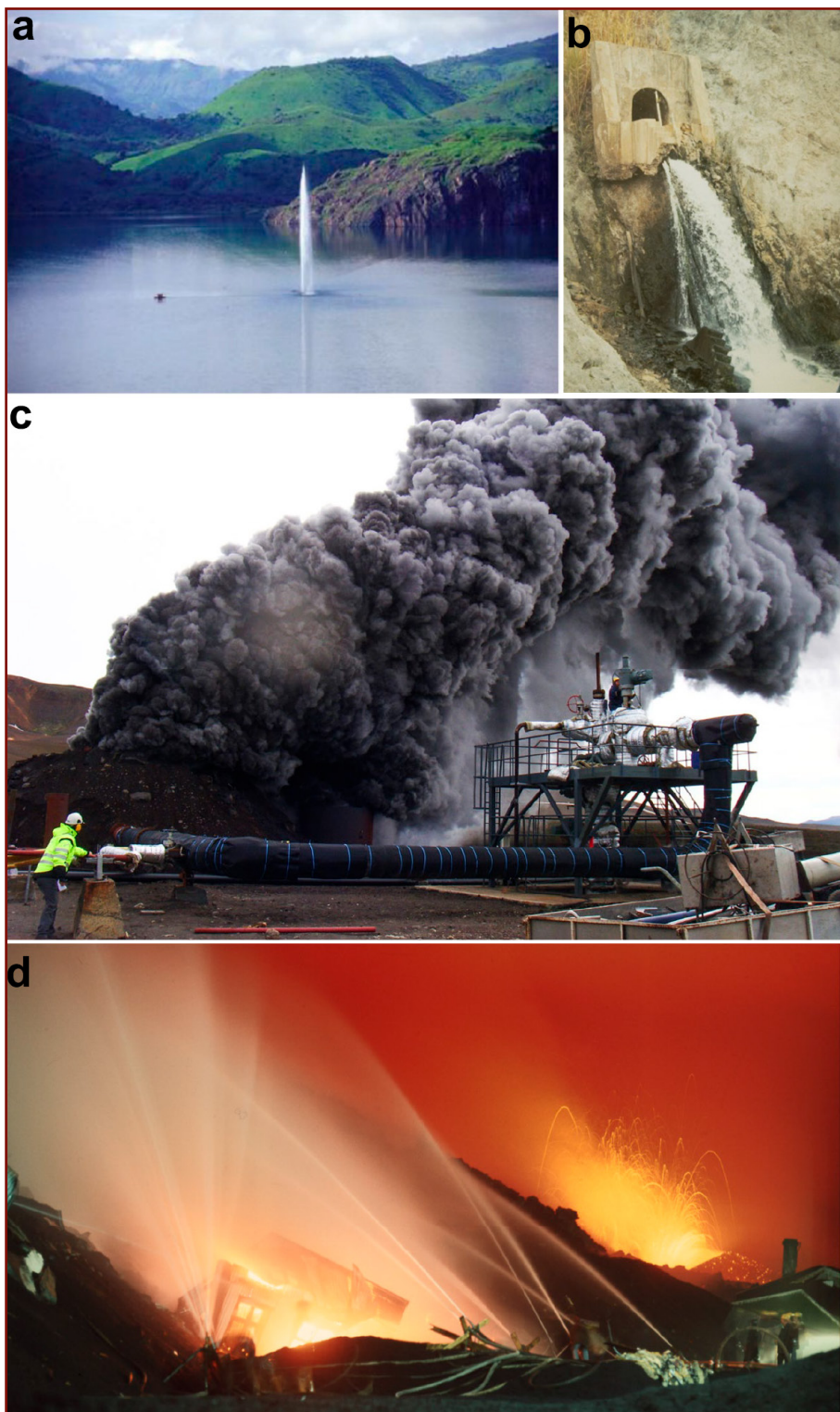
Současné vědecké výzkumy považují degazaci magmatických komor za perspektivní metodu prevence rozsáhlých erupcí. Tento přístup otevírá možnosti využití vulkanické geoinženýrské technologie nejen u sopek a supervulkánů, ale i při řízení aktivity magmatických chocholů. Koncept kontrolované degazace byl zmíněn v řadě vědeckých publikací a patentů, které vypracovali odborníci z různých zemí.

Teoretické základy vulkanického geoinženýrství byly položeny již ve 20. století a praktické experimenty probíhaly po celé poslední století. Metody vulkanického zásahu zahrnovaly vrtání kráterů, odvodňování sopečných jezer, vytváření kanálů pro odvod lávy, chlazení lávových proudů mořskou vodou, bombardování lávových toků a odčerpávání skleníkových plynů

(oxidu uhličitého a metanu) (obr. 87).

Od 60. let 20. století prováděla Geologická služba USA (USGS) vrtý v oblastech lávových jezer na sopce Kilauea na Havaji za účelem přesměrování lávy. Podobné iniciativy se realizují v Japonsku, na Islandu a v Itálii. Například v Japonsku byly testovány technologie snižování tlaku v magmatických komorách, zatímco Island měl úspěšný experiment s přesměrováním lávy na ostrově Heimaey, kde byly lávové toky ochlazovány vodními děly. V Itálii se rozvíjejí systémy včasného varování a metody řízení lávových toků; příkladem může být explozivní narušení lávových bariér na Etně v roce 1983.

V současné době se konají mezinárodní vědecké konference a sympozia věnovaná hlubokému vrtání v oblastech vulkanické a geotermální aktivity, což rozšiřuje možnosti využití vulkanického geoinženýrství k prevenci erupcí a zmírnění jejich následků na globální úrovni.



**Obr. 87**

**a) Degazace oxidu uhličitého z jezera Nyos v Kamerunu podle Halbwachs et al. (2020).**

**b) Drenážní tunel ve stěně kráteru sopky Kelud, Indonésie (Globální program vulkanismu snímek GVP-01120).**

**c) Souběžné vrtání do magmatické kapsy v Krafle na Islandu v roce 2009 (snímek GO Friðleifsson/IDDP).**

**d) Chlazení lávových proudů vstřikovanou mořskou vodou v Heimaey, Island v roce 1973, Tristan H. Benediktsson.**

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

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

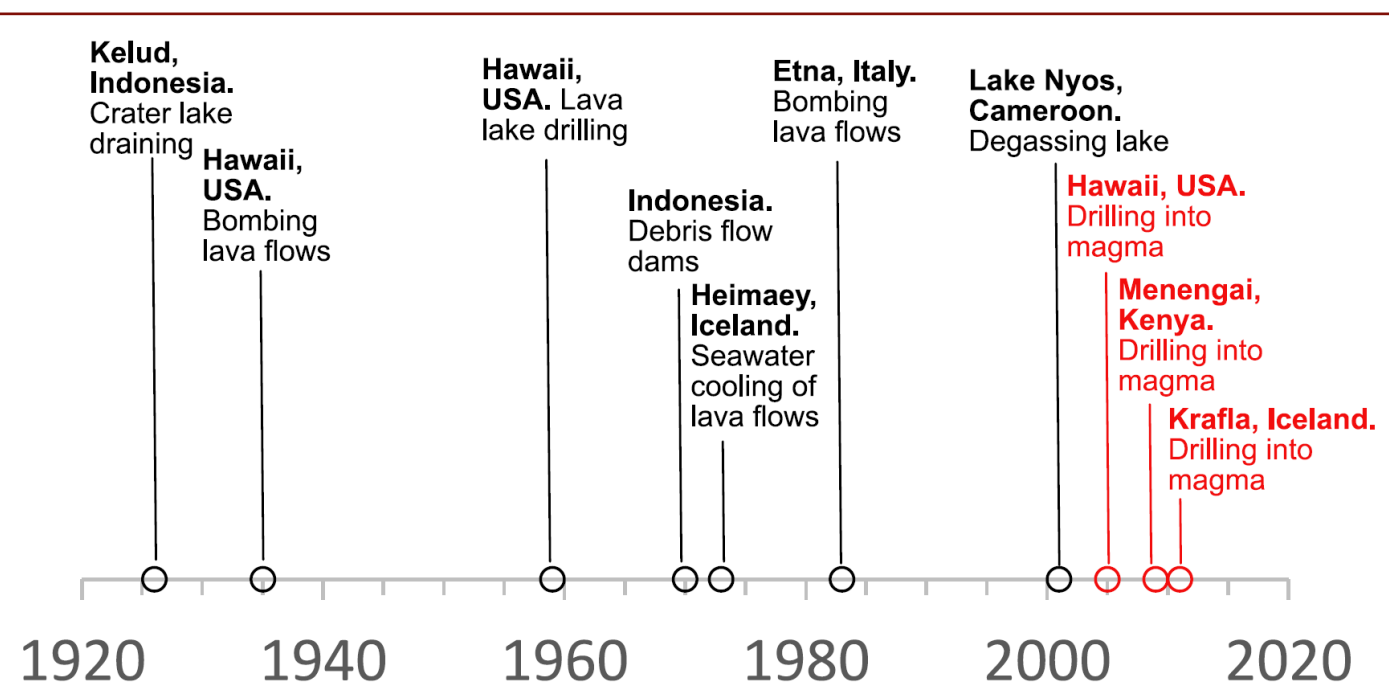


Na diagramu (obr. 88) je zobrazena chronologie nejvýznamnějších případů vulkanického geoinženýrství. Černé kruhy označují cílené zásahy, zatímco červené představují neúmyslné vlivy na vulkanickou aktivitu.

Existují také patentované metody plánované degazace a snižování rizika erupcí vulkánů a

supervulkánů.

Například princip jedné z technologií, patentované dvěma ruskými specialisty, spočívá v prevenci nekontrolované lavinovité erupce vulkánů pomocí šikmého vrtání sond a regulace tlaku v magmatických komorách (obr. 89).



**Obr. 88**

Časová osa některých pozoruhodných případů vulkanického geoinženýrství. Černé kruhy představují úmyslné zásahy, zatímco červené kruhy představují neúmyslné vulkanické zásahy.

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



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):

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

(73) Патентообладатель(и):

Мкртычан 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 2 343 508 C 1

## Obr. 89

## Patent: Metoda prevence lavinovitých sopečných erupcí.

Vynález se týká způsobů zabránění nekontrolovaných lavinovitých sopečných erupcí a organizování řízeného převážení magmatu pro jeho použití ve stavebnictví. To zvyšuje efektivitu přístupu.

**Podstata vynálezu:** metoda slouží k řízení tlaku v sekundárních magmatických komorách pod sopkami vykazujícími solfatarickou aktivitu. K tomu se provádí šikmé vrtání kanálů do základny sekundární magmatické komory. Do této komory je přiváděn stlačený plyn. Zvyšující se tlak v sekundární magmatické komoře tak zpomaluje přítok magmatu z primární komory. Současně je magma nahromaděné v sekundární magmatické komoře extrahováno a transportováno pro stavebnictví přes vyvrtané kanály. Proces je řízen tak, aby tlak nedosáhl kritické hodnoty, při které dochází k lavinové erupci.

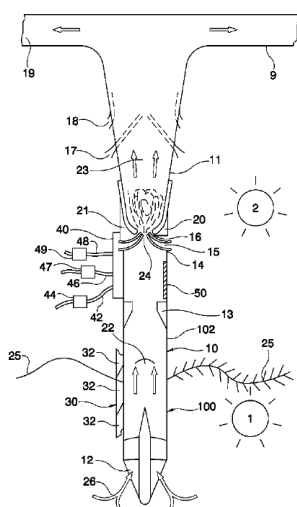
Zdroj: <https://patentimages.storage.googleapis.com/Oe/4a/51/11fd6e028d2813/RU2343508C1.pdf>

Další technologie byla vyvinuta americkým vynálezcem (obr. 90). Tato technologie popisuje metody odčerpávání magmatu ze sopečných magmatických komor, jako je například komora v Yellowstonském supervulkánu, aby se zabránilo

případné katastrofické erupci. Hlavní myšlenkou je vytvoření umělých kanálů (potrubí) pro odvod magmatu na povrch, kde může být zpracováno a využito, například k výrobě energie.

|                                  |                                                                                                                      |                             |                                                    |                        |  |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|------------------------|--|
| (12) <b>United States Patent</b> |                                                                                                                      | (10) <b>Patent No.:</b>     |                                                    | <b>US 7,284,931 B2</b> |  |
| <b>Stratford</b>                 |                                                                                                                      | (45) <b>Date of Patent:</b> |                                                    | <b>Oct. 23, 2007</b>   |  |
|                                  |                                                                                                                      |                             |                                                    |                        |  |
| (54)                             | <b>MAGMA EVACUATION SYSTEMS FOR THE PREVENTION OF EXPLOSIONS FROM SUPERVOLCANOES</b>                                 |                             | 3,357,505 A * 12/1967 Armstrong et al. .... 175/16 |                        |  |
|                                  |                                                                                                                      |                             | 3,396,806 A * 8/1968 Benson ..... 165/45           |                        |  |
| (76)                             | Inventor: <b>Brian Stapleton Stratford</b> , 40 Field Ris , Little ver, Derby DE23 1DE (GB)                          |                             | 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            |                        |  |
| ( * )                            | Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days. |                             | 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)                             | <b>Foreign Application Priority Data</b>                                                                             |                             |                                                    |                        |  |
|                                  | Feb. 4, 2002 (GB) ..... 0202465.1                                                                                    |                             |                                                    |                        |  |
| (51)                             | <b>Int. Cl.</b>                                                                                                      |                             |                                                    |                        |  |
|                                  | <b>E21B 36/00</b> (2006.01)                                                                                          |                             |                                                    |                        |  |
|                                  | <b>E21B 43/24</b> (2006.01)                                                                                          |                             |                                                    |                        |  |
| (52)                             | <b>U.S. Cl.</b> ..... 405/131; 405/258.1; 405/303; 166/302; 166/57                                                   |                             |                                                    |                        |  |
| (58)                             | <b>Field of Classification Search</b> ..... 405/52, 405/258.1, 130, 131, 303; 165/45; 166/302, 166/304, 57–62        |                             |                                                    |                        |  |
|                                  | See application file for complete search history.                                                                    |                             |                                                    |                        |  |
| (56)                             | <b>References Cited</b>                                                                                              |                             |                                                    |                        |  |
|                                  | U.S. PATENT DOCUMENTS                                                                                                |                             |                                                    |                        |  |
|                                  | 3,115,194 A * 12/1963 Adams ..... 376/273                                                                            |                             |                                                    |                        |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                 |                        |                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------------|
| (10) <b>Patent No.:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                 | <b>US 7,284,931 B2</b> |                              |
| (45) <b>Date of Patent:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                 | <b>Oct. 23, 2007</b>   |                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                 |                        |                              |
| 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                        |                              |
| GB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2362410         | 11/2001                |                              |
| JP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 070071020 A     | 3/1995                 |                              |
| JP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 100076104 A     | 3/1998                 |                              |
| JP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 100077952 A     | 3/1998                 |                              |
| JP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 100078497 A     | 3/1998                 |                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                 |                        |                              |
| * cited by examiner                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                 |                        |                              |
| <i>Primary Examiner</i> —Tara L Mayo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                 |                        |                              |
| (74) <i>Attorney, Agent, or Firm</i> —Woodard, Emhardt, Moriarty, McNett & Henry LLP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                 |                        |                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                 |                        |                              |
| (57)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>ABSTRACT</b> |                        |                              |
| 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. |                 |                        |                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                 |                        |                              |
| <b>25 Claims, 2 Drawing Sheets</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                 |                        |                              |



**Obr. 90**  
**Patent: Evakuační systémy magmatu mají zabránit výbuchům supervulkánů.**

Přístroj řídí odčerpávání sopečného magmatu, aby se zabránilo výbuchům. Magma je odčerpáváno jedním evakuačním potrubím, v němž je proud magmatu zahříván, aby se zabránilo uvíznutí magmatu v potrubí. K ohřevu lze použít malé spalovací komory, které dodávají páru, jež následně ohřívá a stabilizuje tok magmatu. V případě potřeby se stabilita udržuje centrálním chlazením pomocí vodních trysek umístěných na stěnách potrubí.

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



Příkladem úspěšné degazace je také japonský projekt [Vědecké vrtání sopky Unzen](#) (USDP). Jedná se o šestiletou iniciativu zahájenou v dubnu 1999, jejímž cílem bylo studium historie růstu, podpovrchové struktury a procesů vzestupu magmatu sopky Unzen (obr. 91).

První fáze zahrnovala vrtání dvou sond na

svazích sopky a vytvoření modelu její struktury. Druhá fáze se zaměřila na vrtání kanálu magmatu z erupcí v letech 1990–1995 za účelem analýzy mechanismu degazace. Pro úspěšné vrtání byla vyvinuta strategie, která zahrnovala vertikální vrtání následované zvýšením sklonu vrtu (obr. 92).



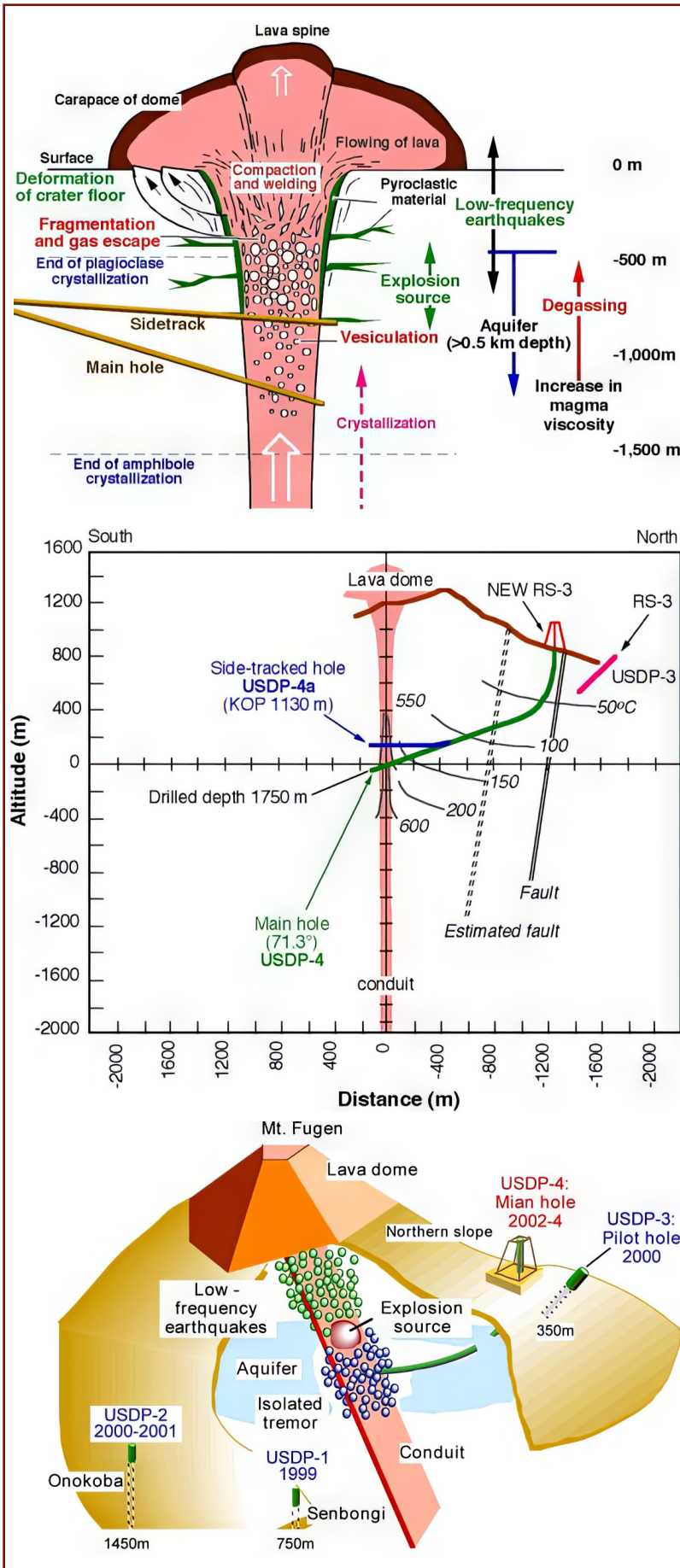
Obr. 91

Vrtací zařízení pro vrtání sopky Unzen v roce 1995.

Zdroj:

<https://www.icdp-online.org/projects/by-continent/asia/usdp-japan/gallery/>





**Obr. 92**

**a) Obrázek lávového dómu a horní části šachty sopky Unzen.** K účinné degazaci napěněného magmatu došlo při jeho štěpení a kalcinaci v horní části šachty. Stav šachty byl studován vrtáním hlavního vrtu (USDP-4) v roce 2003 a kontinuální odběr vzorků jádra byl prováděn vrtáním bočního vrtu (USDP-4a) v roce 2004.

Zdroj: Projekt USDP. Ústav pro výzkum zemětřesení, Tokijská univerzita. Staženo: 31. prosince 2024. <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/Yoran2003/sec4-5-eng.htm#:~:text=USDP%20consists%20of%20two%20phases%20>

**b) Trajektorie důlních vrtů.** New RS-3 je místo vrtání hlavního a bočního vrtu a RS-3 je místo vrtání pilotního vrtu.

Zdroj: USDP Project. Ústav pro výzkum zemětřesení, Tokijská univerzita. Údaje převzaty 31. prosince 2024 z webové stránky <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/Yoran2003/sec4-5-eng.htm#:~:text=USDP%20consists%20of%20two%20phases%20>

**(c) Trojrozměrné schéma důlního vrtání**

Zdroj: Centrum pro výzkum sopečných tekutin. Přehled důlního systému sopky Unzen. Ústav pro výzkum zemětřesení, Tokijská univerzita. Údaje převzaty 31. prosince 2024 z webové stránky <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/VRC/vrc/usdp/conduit.html>

V současné době má lidstvo dostatečný technologický a inženýrský potenciál k zásahům do vulkanických systémů, avšak každý případ plánované degazace vyžaduje maximálně pečlivou přípravu, analýzu rozsáhlého množství dat a velmi přesné výpočty. Přesto i za těchto podmínek rizika stále zůstávají.

Uvedené příklady byly testovány na běžných sopkách, které se bezpochyby liší velikostí od rozsahu obrovského magmatického chocholu na Sibiři. Tento chochol představuje hrozbu, která výrazně převyšuje dokonce sílu jednoho supervulkánu a je srovnatelná s energií výbuchů tisíce kalder Yellowstone. Nicméně diskuze o této problematice se stala aktuální právě díky tomu, že existují potenciální přístupy k jejímu řešení.

Při správném přístupu je lidstvo schopno vyvinout program degazace magmatického chocholu založený na globálních řešeních specialistů. Jejím hlavním cílem bude minimalizace následků vzestupu sibiřského chocholu snížením tlaku lávy a plynů v sekundárních magmatických komorách, což zabrání rozsáhlým nekontrolovaným erupcím.

Realizace takového programu vyžaduje úzkou mezinárodní spolupráci a konsolidaci úsilí vědců a inženýrů z celého světa. Pouze jednotný přístup umožní vyvinout účinná řešení zaměřená na zajištění bezpečnosti celého lidstva.

## **Příklad programu plánované degazace sibiřského chocholu**

Program může současně zahrnovat vývoj několika směrů:

### **1. Vytvoření monitorovací sítě**

1.1 Bude nutné vytvořit síť vysoce citlivých senzorů a satelitních pozorování pro sledování seismické a tepelné aktivity v regionu. To umožní včasné odhalení oblastí vzniku sekundárních ohnisek.

1.2 Bude třeba provést podrobné zmapování sekundárních magmatických komor metodami seismického průzkumu. Bude důležité předem odhadnout tlak a objem magmatu v každé sekundární komoře.

1.3 Poté bude nutné provést vědecko-průzkumné a monitorovací vrtý a v anomálních zónách instalovat senzory tlaku, teploty a seismické aktivity.

### **2. Vývoj technologie řízené degazace a blokování magmatických kanálů**

2.1 Je nezbytné vypracovat plán vrtání šikmých hlubokých sond (do hloubky až 8 km) v bezpečných zónách. Bude zapotřebí detailní výpočet trajektorií šikmých vrtů pro dosažení sekundárních ložisek. Bude nutné použít vrtací technologie odolné vůči vysokým teplotám a tlaku, což zahrnuje využití žáruvzdorných materiálů pro zpevnění stěn vrtů, vytvoření systému monitorování tlaku a teploty ve vrtech.



2.2 Bude nezbytné vyvinout proces odvádění plynů a lávy prostřednictvím postupného řízení tlaku v sekundárních magmatických komorách pomocí systému vrtů. To vyžaduje řízení rychlosti degazace, aby se zabránilo náhlým poklesům tlaku, a použití kompresorového systému pro řízení tlaku plynu. Aby se zabránilo úniku toxických emisí do atmosféry, bude zapotřebí filtrační a chladicí systém. Odvod lávy a plynů bude probíhat, dokud se tlak v každé z magmatických komor nestabilizuje.

2.3 Poté bude důležité vypracovat plán cíleného jaderného výbuchu v konkrétních vrtech, který by uzavřel vrstvy nad sekundární magmatickou komorou. Tím se zabrání přílišnému výstupu magmatu na povrch a minimalizují se emise popela.

Postupné uvolňování tlaku zajistí stabilitu Sibiře a ochrání hlavní populační centra, snad s výjimkou Norilska a okolních obcí.

2.4 Při odvádění lávy z komor bude nutné, podle možností, řídit její proudění. Je třeba usilovat o její směřování speciálně připravenými kanály směrem k arktickým mořím. Dále je

nutné vypracovat program využití magmatu ve stavebnictví, například pro vytváření umělých ostrovů nebo zpevňování pobřežní linie.

### **3. Evakuace obyvatelstva**

Bude nutné zavést systém včasného varování a vypracovat evakuační plány pro nepředvídané situace. Bude také nutná plánovaná organizace bezpečné evakuace obyvatel z rizikových oblastí a jejich adaptace, sociálního zabezpečení, s ohledem na možnost dlouhodobého přesídlení.

### **4. Zachování infrastruktury**

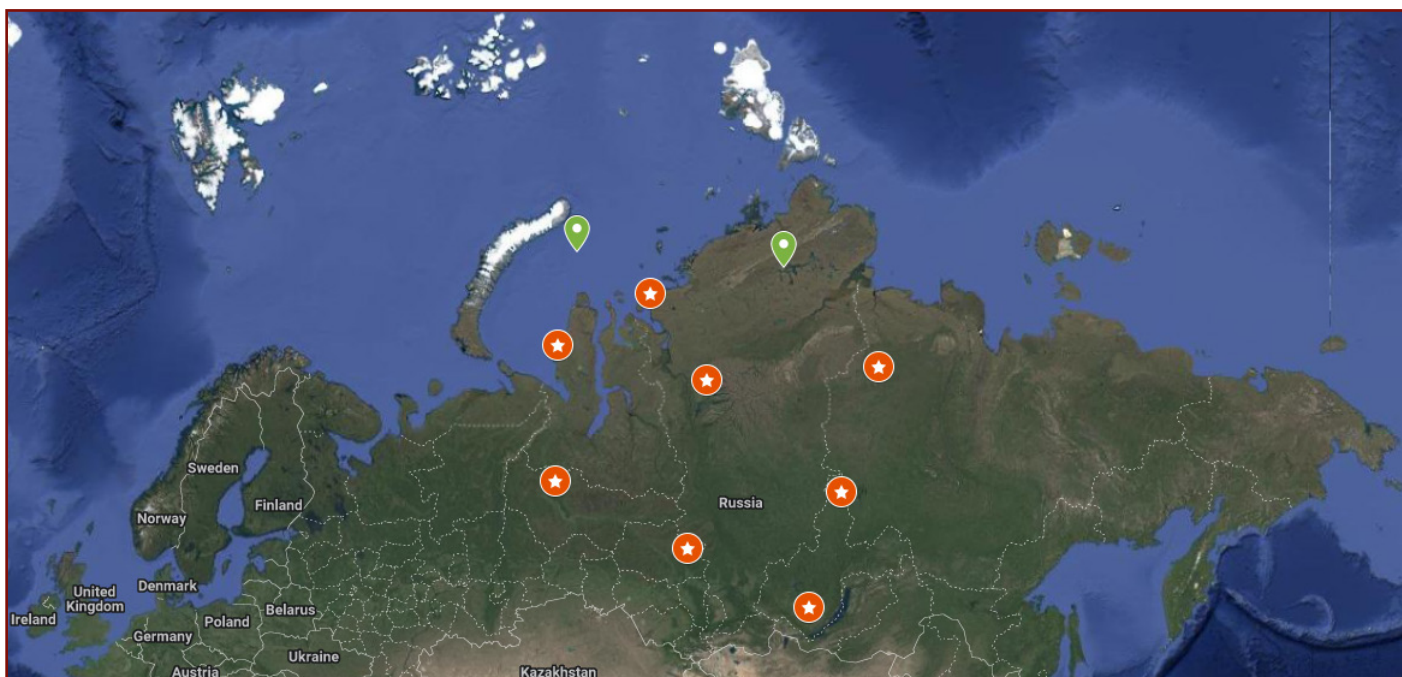
Je třeba vypracovat plány na ochranu a evakuaci strategických aktiv z oblastí ohrožených zatopením lávou. Vytvoření rezervních skladovacích zařízení v bezpečných oblastech pro evakuované strategické zdroje regionu, jako je ropa, plyn, barevné a drahé kovy, rudy, hnojiva, potraviny, voda a léky.

## Zdůvodnění volby umístění vědecko-výzkumných vrtů pro sledování dynamiky současného magmatického chocholu na Sibiři

Pro pochopení toho, jak rychle a v jakém směru dochází k pronikání chocholu, roztékání jeho hlavy a pronikání trhlinami v zemské kůře, je jako první krok nezbytný monitoring geotermálních a geofyzikálních parametrů v hloubce. Pro takový výzkum je nutné provádět vrtání nových sond a pravidelně v nich měřit

teplotu, tlak, odebírat vzorky plynného složení a markery zesílení magmatických procesů, sledovat seismický šum a další parametry.

Pro tyto studie bylo určeno 10 bodů pro vrtání vědecko-výzkumných vrtů (obr. 93, 94).



**Obr. 93**

Předběžné umístění 10 doporučených vrtných bodů pro výzkumné vrtý

| 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 |

#### Obr. 94

Tabulka 10 doporučených vrtů pro vědecko-výzkumné vrtání pro sledování postupu sibiřského chocholu, včetně názvu vrtu, souřadnic, blízkého osídlení nebo infrastruktury, geologická struktura řezu



Kritéria výběru těchto vrtů vycházela z následujících zásad:

**1. Umístění vrtů** vzhledem k největšímu průsečíku tepelných a geodynamických anomálií spojených s umístěním a šířením hlavy chocholu. Na základě tohoto principu byl plánován jeden vrt v oblasti střední části předpokládaného stoupání hlavy chocholu, 7 vrtů bylo plánováno po obvodu předpokládaného šíření magmatu. Další vrt byl plánován v oblasti Bajkalu, ve směru předpokládaného aktivního pohybu magmatu pod základnou východosibiřského kratonu. Další vrt byl naplánován v oblasti Karského moře, aby monitoroval postup chocholu pod oceánskou kůrou arktického šelfu.

**2. Umístění vrtů** bylo zvoleno optimálně pro další seismické tomografické práce, aby informace ze seismických senzorů ve vrtech při následném zpracování poskytly nejčistší 3D obraz. Tedy tak, aby mřížka seismických senzorů ve vrtech byla umístěna optimálně pro seismickou tomografii nitra Země.

**3. Lokality vrtů** byly vybrány s ohledem na možnost dodání vrtné techniky a zajištění přístupových cest (dopravní dostupnost). Vzhledem k tomu, že sever západní a východní Sibíře má extrémně obtížně průchodná území, bažinatou krajinu, málo silnic a extrémní klimatické podmínky, byl výběr vrtných míst založen na umístění stávající infrastruktury pro provádění vědecko-výzkumných prací: počtu silnic, obydlených oblastí a aktivních vrtných míst. Dvě místa byla vybrána na aktuálně fungujících ropných polích ve vlastnictví společností Gazprom a Rosněft, ostatní se nachází v oblastech poblíž nalezišť ropy, plynu a dalších nerostných surovin. Je třeba poznamenat, že pokud není možné vrtat sondy ve stanovených souřadnicích, je přípustné posunout vrty o 10–20 km v libovolném směru.

Doporučené metody výzkumu ve vrtech:

Pro komplexní sledování a studium plášťového chocholu je nutné shromáždit následující parametry ze senzorů ve vědecko-výzkumných vrtech.

- 1. Monitorování teploty:** měření teploty v různých hloubkách za účelem analýzy termických anomálií a detekce zvýšení geotermálního proudění v důsledku pohybu magmatu v oblastech šíření chocholu.
- 2. Tlak:** Stanovení tlaku ve vrtu pro posouzení změn hydrodynamických podmínek v důsledku aktivity magmatu a tekuté fáze.
- 3. Odběr vzorků plynů:** odběr vzorků plynů pocházejících z hlubinných útvarů za účelem studia jejich složení a možného vlivu magmatické aktivity.
- 4. Seismické průzkumy:** instalace jak standardních, tak i širokopásmových seismických senzorů pro záznam seismické aktivity za účelem vytvoření podrobné seismické tomografie zemské kůry a pláště pro nepřetržité sledování stavu chocholu.
- 5. Složení tekutin:** studium složení tekutin za účelem identifikace možného termálního nebo magmatického vlivu.
- 6. Geomechanické studie:** měření napětí v horninách za účelem analýzy napjatého stavu litosféry, která podléhá deformacím v důsledku pronikání chocholu.
- 7. Elektromagnetické metody:** provádění elektromagnetických výzkumů za účelem zaznamenání změn elektrických vlastností prostředí spojených s pronikáním magmatu. Shromážděná data poslouží jako základ pro sestavení komplexního modelu dynamiky plášťového chocholu a také pro posouzení jeho vlivu na geologické procesy na Sibíři.

## **Charakteristiky vrtání a blokování magmatických kanálů při plánované degazaci**

Hlavním účelem vrtání sond při plánované degazaci bude snížení tlaku v sekundárních magmatických komorách chocholu, zabránění explozím magmatu a kontrola řízeného uvolňování plynu a lávy.

Vrtání bude v počáteční fázi probíhat za účasti operátorů, protože v malé hloubce představuje proces standardní technologický úkol s minimálním rizikem pro personál. K tomuto účelu poslouží tradiční vrtné soupravy vybavené systémy sledování teploty a tlaku, které umožní řídit proces a pohotově reagovat na odchylky od normy.

Při dosažení kritické hloubky a přiblížení se k aktivním zónám magmatického systému se riziko pro lidi výrazně zvyšuje. V této fázi bude nutné přejít na plnou automatizaci práce. Budou použity specializované vrtné soupravy s automatickým ovládáním. Proces vrtání bude řízen na dálku pomocí softwaru, který analyzuje příchozí data v reálném čase a upravuje činnost zařízení. Pro zlepšení přesnosti ovládání budou operátoři využívat technologie virtuální reality, které poskytují detailní ovládání zařízení, aniž by se fyzicky nacházeli v nebezpečné zóně. To umožní snížit pravděpodobnost havárií spojených s výronem plynů pod vysokým tlakem nebo se zničením zařízení rázovou vlnou.

Monitoring stavu vrtného komplexu a okolního prostředí bude prováděn pomocí dronů a robotů.

Drony vybavené kamerami, termovizemi a senzory budou detekovat úniky plynů, tepelné anomálie a seismickou aktivitu. Roboti pracující přímo v oblasti vrtání budou shromažďovat data

o teplotě, tlaku a chemickém složení prostředí a přenášet je do automatizovaných řídicích center.

Tyto technologie umožní minimalizovat přítomnost lidí v zóně zvýšeného rizika a zajistí vysokou úroveň přesnosti a bezpečnosti.

Po dokončení vrtání se v další fázi plánuje kontrolovaná degazace – postupné uvolňování tlaku a odvod velkých objemů lávy. V závěrečných fázích, po výrazném snížení množství magmatu a plynů, může vzniknout nutnost provedení kontrolovaného výbuchu k uzavření cest vzestupu magmatu. Jedna z navrhovaných metod zahrnuje směrovaný jaderný výbuch ve vyvrtaném otvoru. Jeho cílem je uvolnění tektonických napětí a vytvoření stabilních strukturálních bariér, které zablokují magmatické kanály.

Tento přístup předpokládá destrukci hornin v zónách vysokého napětí, jejich následné tavení a ochlazení působením tepelné energie. To poslouží k vytvoření monolitické bariéry, která může zcela nebo částečně blokovat přístup magmatu na povrch. Termodynamické působení může také snížit tektonické napětí, čímž se sníží pravděpodobnost dalších erupcí.

Realizace jaderných výbuchů vyžaduje vysokou přesnost výpočtů, včetně posouzení litostatického tlaku, tvrdosti a hustoty hornin a také charakteristik magmatické taveniny. Tyto faktory je nutné vzít v úvahu pro dosažení maximální účinnosti metody a minimalizaci možných rizik.

## **Volba optimální doby vrtání vrtů během plánovaných degazačních operací**

V současné době se naši specialisté soustředí především na studium optimálních časových rámců vrtů pro plánovanou degazaci. Ačkoliv je příliš brzy na vyvozování konečných závěrů, předběžné výpočty již naznačují možnost přesného výběru nejvhodnější doby pro zahájení degazace. Získané výsledky ukazují, že pokud je správně zvoleno načasování, lze riziko možných komplikací několikanásobně snížit.

Při procesu vrtání je nutné zohlednit nejen fyzikálně-mechanické vlastnosti hornin, včetně jejich pevnosti a puklinatosti, ale také časové parametry související s nebeskou mechanikou. Výpočty by měly vycházet z analýzy polohy Země na ekliptice, fáze Měsíce, uspořádání velkých planet jako je Jupiter, a také aktuální

úrovně sluneční aktivity. Důležitým faktorem je také monitoring zemětřesení s hlubokým ohniskem v oblasti plánovaného vrtání, protože mohou výrazně zvýšit lokální seismickou aktivitu.

V současné době byla vytvořena obecná představa o mechanismu a klíčových zákonitostech procesu, ale tato data vyžadují další vícenásobné ověření. Získané výsledky musí být nejen pečlivě znovu zkontrolovány naším vědeckým týmem, ale také potvrzeny nezávislými studiemi a modely dalších specialistů.

## **Předpokládané výsledky plánované degazace sibiřského chocholu**

Při provádění plánované degazace sibiřského chocholu jsou možné tři hlavní scénáře vývoje událostí, které byly vypočteny s ohledem na dvě fáze projektu: ranou a pozdější etapu. Podívejme se na ně podrobněji.

### **1. Minimální škody pro území Ruska**

Pokud bude proces degazace a vypouštění přebytečné lávy ze sekundárních magmatických komor modelován mezinárodním týmem odborníků a výpočty budou pečlivě a přesně provedeny s přihlédnutím ke všem geologickým zvláštěnostem, proběhnou obě fáze degazace

bez nehod a komplikací. V tomto případě se škody na území Ruska sníží na minimum: ztráta bude činit 5–7 % rozlohy země, v extrémních případech až 10 % (poloměr poškození je asi 500–600 km). V rámci tohoto scénáře je možné zajistit ochranu velkých měst na území Krasnojarska a lze předejít ztrátám na životech. Navíc se předpokládá, že pokud se události vyvinou příznivě, proud lávy by mohl být přesměrován do arktických moří, což by Rusku umožnilo zvětšit své území rozšířením pobřeží.



## 2. Střední škody pro území Ruska

Tento scénář předpokládá, že raná fáze degazace bude úspěšná, ale v pozdějších fázích mohou nastat nepředvídané komplikace, jako je náhlá exploze plynu nebo výron lávy. Vzhledem k tomu, že v této době již budou některé plyny a láva uvolněny, následky budou méně destruktivní. Může dojít k výlevu tekuté bazaltové lávy, podobné té na Islandu nebo Havajských ostrovech, případně k erupci střední explozivitu. V takovém případě by potenciální ztráta území mohla vzrůst na 25–30 % (přibližně 4–5 milionů km<sup>2</sup>). Důsledky by mohly ovlivnit města v okruhu 1 000 km od aktivní zóny. Tento scénář by však nevedl ke globální katastrofě pro civilizaci ani k nevratným destrukcím na území Ruska. Lidstvo by bylo schopné zvládnout vzniklé klimatické a ekologické výzvy.

## 3. Maximální škody Rusku a celému světu

Tento scénář předpokládá, že pozdní iniciativa nebo nedostatečná kvalifikace odborníků povedou k vážným problémům.

Nedostatek výzkumu, chyby ve výpočtech nebo vrtání skrz měkké či silně porušené horniny by mohly narušit průběh operace. Pokud by k této komplikaci došlo v rané fázi degazace, kdy je tlak v magmatických ložiscích nejvyšší, mohlo by to vést ke dvěma katastrofickým scénářům: okamžitý výbuch celého systému sibiřského chocholu nebo pomalé, ale rozsáhlé výlevy lávy, podobné procesu, který vedl ke vzniku sibiřských trapů. Navzdory potenciálním rizikům je pravděpodobnost takového vývoje událostí extrémně nízká, protože je těžké si představit realizaci takto složitého projektu bez řádné mezinárodní přípravy.

Optimistický a nejpravděpodobnější scénář předpokládá ztrátu pouze 5–7 % ruského území

s minimálními škodami. I v případě komplikací v pozdějších stádiích se může poškození zvýšit na 25–30 %, což zůstává výrazně příznivější než důsledky nečinnosti. Riziko vážnější destrukce při plánovaném procesu degazace pro Rusko nebo pro celý svět je zanedbatelné.

Realizace plánované degazace poskytne Rusku unikátní zkušenosti s řízením globálních geodynamických rizik, což posílí jeho pozici mezinárodního vědeckotechnického lídra. Úspěšná realizace projektu prokáže schopnost země vyrovnat se s výzvami planetárního rozsahu a přispěje k posílení globální spolupráce v oblasti předcházení přírodním katastrofám. Tím dojde nejen ke stabilizaci domácí politické a společenské situace, ale také k posílení mezinárodní spolupráce při řešení globálních problémů.

Kontrolovaná degazace sibiřského chocholu může ovlivnit nejen lokální oblast, ale i další vulkanické systémy, jako je Yellowstone a stratovulkány po celém světě. Magmatické rezervoáry a jejich dynamika tvoří jednotnou propojenou globální síť, která funguje jako jeden geomechanický systém. Kontrolované snížení tlaku v jednom segmentu může redukovat napětí v dalších magmatických rezervoárech, čímž se předejde řetězovým reakcím a erupcím. Lze si to představit jako odvzdušnění pneumatiky automobilu: snížení tlaku v jedné její části umožňuje přerozdělení zátěže a zabránění prasknutí v kriticky namáhaných oblastech. Podobný přístup k degazaci by mohl přispět ke stabilizaci magmatických systémů v globálním měřítku.

Provádění plánované a kontrolované degazace tak zůstává jedinou šancí na záchranu jak Ruska, tak celého lidstva, což je nesrovnatelně výhodnější a rozumnější než nečinnost.

Tento scénář umožní předejít globální katastrofě a poskytne lidstvu čas pro vývoj dalších řešení.

Nicméně, i přes značné perspektivy bude úspěšná realizace i toho neoptimističtějšího

scénáře obrovskou výzvou. Je nutné jednat okamžitě, protože jakékoliv zpoždění zvyšuje pravděpodobnost katastrofických událostí. Překvapivě však může realizace takového projektu narazit na odpor uvnitř samotného Ruska, a to kvůli potenciálním rizikům spojeným s ničením infrastruktury a oslabením kontroly nad strategickými zdroji.



## Závěry

Sibiřský chochol představuje globální geodynamickou hrozbu srovnatelnou s tisíci katastrofickými erupcemi největších supervulkánů. Pokud dojde k nekontrolované erupci, může to mít celoplanetární důsledky, včetně nástupu doby ledové, zničení ekosystémů, zničení infrastruktury a záhuby lidstva. Tato rizika diktují nutnost přijmout preventivní opatření v podobě plánované degazace magmatického systému sibiřského chocholu.

Nečinnost vytváří hrozbu spontánních, nekontrolovaných erupcí, jejichž důsledky budou katastrofální nejen pro Rusko, ale pro celou planetu. Kontrolované snížení tlaku v magmatických komorách by zabránilo nejhorším scénářům a poskytlo by lidstvu životně potřebný čas na vývoj dlouhodobých řešení.

Kromě toho integrace technologie generátoru atmosférické vody do každodenního používání spolu s degazací sibiřského chocholu vytvoří nové příležitosti pro obnovení ekologické rovnováhy. To pomůže vyčistit oceán od plastů, posílí koloběh vody a obnoví tepelnou rovnováhu planety. Komplexní implementace

takových řešení může stabilizovat klimatickou situaci a zajistit budoucnost celému lidstvu a získat čas pro nalezení řešení problému vnějšího kosmického vlivu způsobujícího katastrofické události během 12 000letého cyklu.

Tyto výzvy vyžadují naléhavou mezinárodní spolupráci mezi vědci z různých oborů, včetně kvantových fyziků, za účelem vývoje a implementace komplexních řešení. Geopolitické a vojenské konflikty však takové spolupráci brání. Je proto zapotřebí globální moratorium na války a přesměrování vojenských zdrojů na zmírňování katastrof a humanitární úsilí. Lidstvu zbývá jen 4-6 let relativně stabilního času na přijetí nezbytných opatření.

Pokud budou vytvořeny podmínky pro otevřenou spolupráci, vědci nebudou muset začínat od nuly, protože již existují reálné poznatky a porozumění příčinným souvislostem v této oblasti. Neschopnost lidstva upřednostnit globální jednotu a vědeckou spolupráci povede k nevratným následkům pro život na Zemi.



## ■ Příloha 1

Metodika analýzy seismické aktivity zahrnovala stahování a speciální zpracování dat získaných z webových stránek Mezinárodního seismologického centra (ISC). Protože data obsahují různé zdroje z různých zemí a výzkumných ústavů a také různé typy magnitud (Mw, Ms, Mb, ML, MD atd.), byl použit určitý algoritmus zpracování dat pro výběr vhodného typu magnitud z různých zdrojů. Použili jsme dva různé přístupy:

1. Tato metoda, v textu označovaná jako **speciální algoritmus mediánu magnitud**, zahrnuje výběr preferovaného odhadu magnitud a zařazení události do souboru dat pouze v případě, že preferovaný odhad spadá do požadovaného rozsahu magnitud. Preferovaný odhad magnitud volíme podle následujícího pořadí typů magnitud (seřazeno dle priority): Mw, ML, MS, Mb, MD, MV.

Pokud pro danou událost existuje více hodnot preferovaného typu magnitud, vypočítá se medián ze všech dostupných odhadů tohoto typu pro danou událost.

Pokud pro danou událost neexistuje žádný z výše uvedených preferovaných typů magnitud (což je vzácné, pouze u několika procent událostí v celé databázi), pak se zvolí jakýkoliv dostupný odhad magnitud, jehož hodnota se shoduje

s mediánem vypočítaným na základě všech dostupných typů magnitud této události.

2. V textu uváděný **algoritmus maximálních hodnot magnitud**. Vybírá se odhad magnitud s nejvyšší hodnotou ze všech dostupných odhadů hodnot pro danou událost.

První algoritmus v průměru vede k mírnému snížení hodnoty magnitud ve srovnání s maximálním uváděným odhadem ale, jak ukázala praxe, mediánový algoritmus vykazuje adekvátní chování podle Gutenberg-Richterova zákona a dalších zákonitostí a poměrně dobře souhlasí s údaji z jiných seismologických databází, jako je Geologická služba USA (USGS) a Sdružené vědecko-výzkumné instituce seismologie (IRIS).

Druhý algoritmus nám umožňuje odhadnout počet zemětřesení registrovaných některým z výzkumných ústavů s hodnotou vyšší, než je vybraná. Tato analýza nám umožňuje vidět trend v počtu zemětřesení ve zvoleném rozsahu magnitud.

**Všechny grafy uvedené v části „Nárůst seismické aktivity jako známka destabilizace tektonických desek v důsledku aktivity sibiřského magmatického chocholu“** byly zkonstruovány pomocí prvního algoritmu, speciálního algoritmu mediánu magnitud (obr. 44–75).

Po zvolení magnituda byla získaná data filtrována podle typů událostí v databázi ISC, aby se vyloučily události způsobené lidskou činností při důlních operacích: výbuchy, možné výbuchy, důlní otřesy atd. Vyloučeny byly následující typy událostí:

km = known mine explosion – známý důlní výbuch

sm = suspected mine explosion – podezření na důlní výbuch

kh = known chemical explosion (Not standard IMS) – známý chemický výbuch (není standardem IMS)

sh = suspected chemical explosion (Not standard IMS) – podezření na chemický výbuch (není standardem IMS)

kx = known experimental explosion – známý experimentální výbuch

sx = suspected experimental explosion – podezření na experimentální výbuch

kn = known nuclear explosion – známý jaderný výbuch

sn = suspected nuclear explosion – podezření na jaderný výbuch

Vzhledem k tomu, že v Rusku existuje mnoho těžařských podniků, byla databáze ISC porovnána s údaji Jednotné geofyzikální služby Ruské akademie věd za leden 2025, které uvádějí všechny známé exploze a důlní otřesy v Rusku. Tyto události byly také vyloučeny, aby se zajistilo, že ve výsledných datech nezůstanou žádné události odpovídající výbuchům.

## Odkazy

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://lnfm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/chteniya/sagi2007/SAGITOV\\_BARKIN\\_2007.pdf](http://lnfm1.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., Uktins 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 Bezmyaniy 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.gsr.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.

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  $M_w=7.5$ ,  $10^{\sim}7$ : 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., 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.

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, 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.