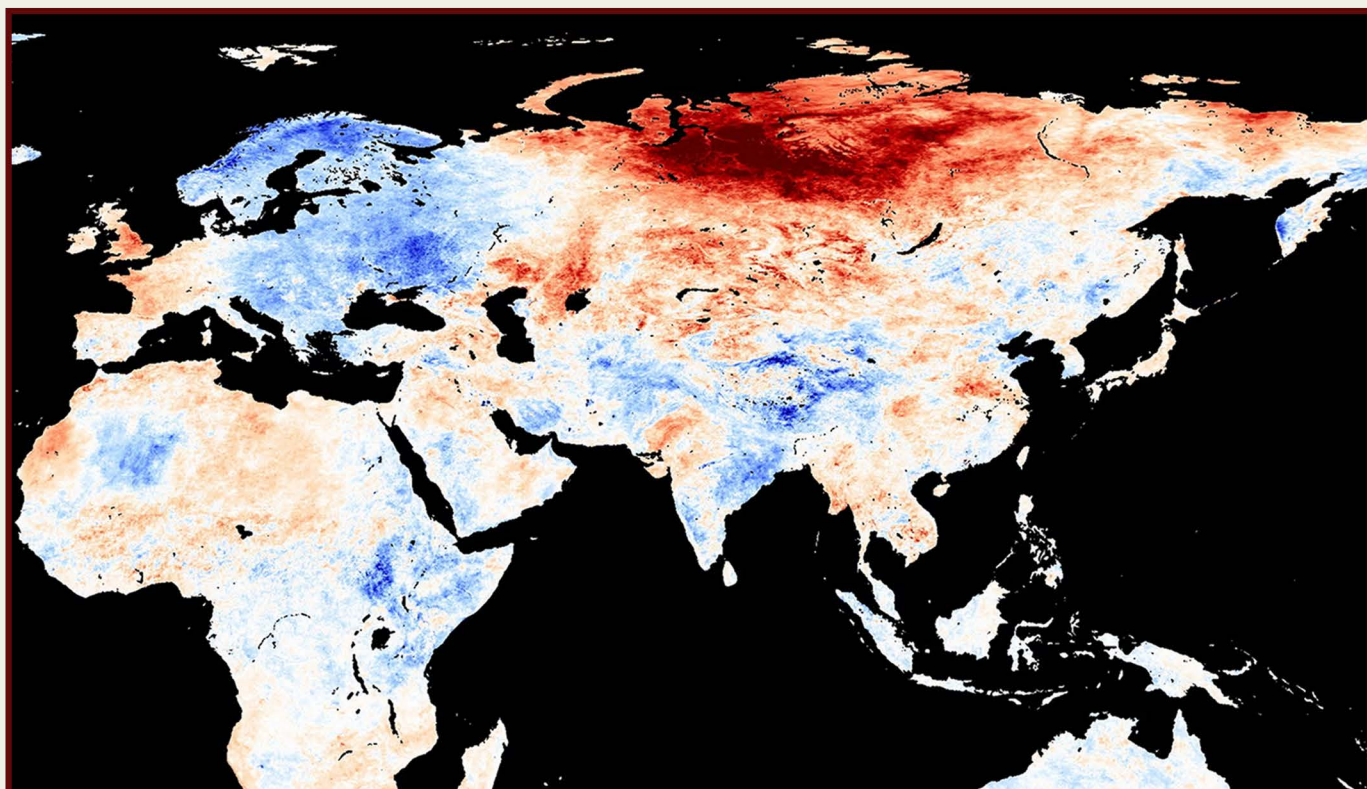


ДОКЛАД ЗА ЗАПЛАХАТА

ОТ ПРОБИВ НА МАГМАТИЧНИЯ ПЛЮМ В СИБИР
И НАЧИНИТЕ ЗА РЕШАВАНЕ НА ТОЗИ ПРОБЛЕМ



ДОКЛАД ЗА ЗАПЛАХАТА

**ОТ ПРОБИВ НА МАГМАТИЧНИЯ ПЛЮМ В СИБИР
И НАЧИНИТЕ ЗА РЕШАВАНЕ НА ТОЗИ ПРОБЛЕМ**

СЪДЪРЖАНИЕ

Кратко описание на геодинамичния модел за изменението на климата на Земята в настоящия период	4
Изместване на ядрото в посока към Сибир през 1998 година	16
Сибир и Сибирска Арктика се затоплят 3–4 пъти по-бързо от останалата част на света	21
Косвени признаци за издигането на Сибирския плюм	25
Топене на вечната замръзналост	27
Проявления на калния вулканизъм	29
Нагриване на почвата	31
Температура на приземния въздух	32
Увеличаване на броя на мълниите	34
Изтъняване на озоновия слой	36
Структура, възможни размери и локализация на магматичния плюм въз основа на публични данни и данни от наблюдения	38
Локализация на магматичния плюм	44
Ръстът на сеизмичната активност като признак за дестабилизация на тектоничните плочи	48
Обосновка на неизбежността на изригването на Сибирския плюм	72
Сценарий 1: Едномоментно изригване на Сибирския плюм	73
Активизация на супервулкани и вулканични системи	80
Киселинни дъждове	82
Вулканична зима	83
Сценарий 2: Постепенно изригване на Сибирския плюм	85
Последици за Русия от постепенния пробив на Сибирския плюм	90
Последици за целия свят от постепенния пробив на Сибирския плюм	91
Дългосрочни последици от постепенния пробив на Сибирския плюм за планетата	92
Сценарий 3: Планирана контролирана дегазация	93
Съществуващи методи за вулканична геоинженерия	93
Примерна програма за планирана дегазация на Сибирския плюм	100
Обосновка на избора на място за поставяне на научноизследователски сондажи за мониторинг на динамиката на съвременния магматичен плюм в Сибир	102
Особености на сондирането и блокирането на магматичните канали по време на планираната дегазация	105
Избор на оптимално време за сондиране по време на планираната дегазация	106
Сценарии за резултатите от провеждането на планираната дегазация на Сибирския плюм	107
Закljučения	109
Приложение 1	110
Списък с литература	112

Кратко описание на геодинамичния модел за изменението на климата на Земята в настоящия период

През последните 30 години, на Земята се наблюдава безпрецедентно и синхронизирано увеличаване на климатичните промени, аномалии и екстремни явления във всички обвивки на планетата и нейните геофизични параметри. Прогресията на тези промени се ускорява експоненциално. Комплексният анализ на научни данни показва, че основните причини за нарастване на аномалиите във всички обвивки на Земята са астрономически цикли, в които цялата Слънчева система навлиза на всеки 12 000 години.

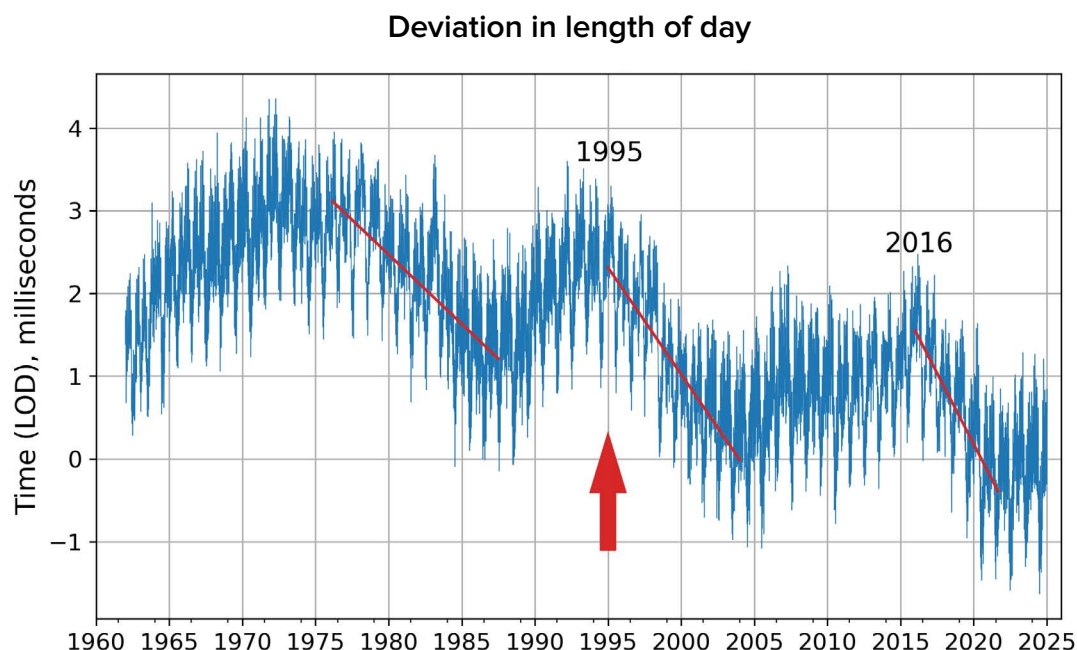
Хипотезата за външно астрономическо влияние се потвърждава и от наблюденията на другите планети от Слънчевата система и техните спътници, които са сходни и синхронни с климатичните, геодинамичните и магнитните аномалии, случващи се на Земята в настоящия период. Така например, на Уран, Юпитер и Венера се наблюдава увеличаване на скоростта на ветровете и размера на ураганите. В същото време на Марс се

наблюдава топене на полярните ледени шапки, а на Венера и Марс продължава да се увеличава вулканичната активност. Освен това, на Марс се усилва сеизмичната активност, което показва възникване на аномални геодинамични процеси.

Критичните изменения в системата на Земята, които са резултат на астрономическата цикличност от 12 000 години, в настоящия цикъл започнаха през 1995 година, когато бяха регистрирани значителни геофизични аномалии, включващи: рязко ускоряване на въртенето на Земята (фиг. 1); изместване на нейната ос (фиг. 2) и началото на рязък дрейф на северния магнитен полюс (фиг. 3). Тези промени показват значителни изменения в ядрото на Земята.

¹Deng, 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>

²Дьяченко, А.И. (2003) Магнитные полюса Земли. Москва: МЦНМО.

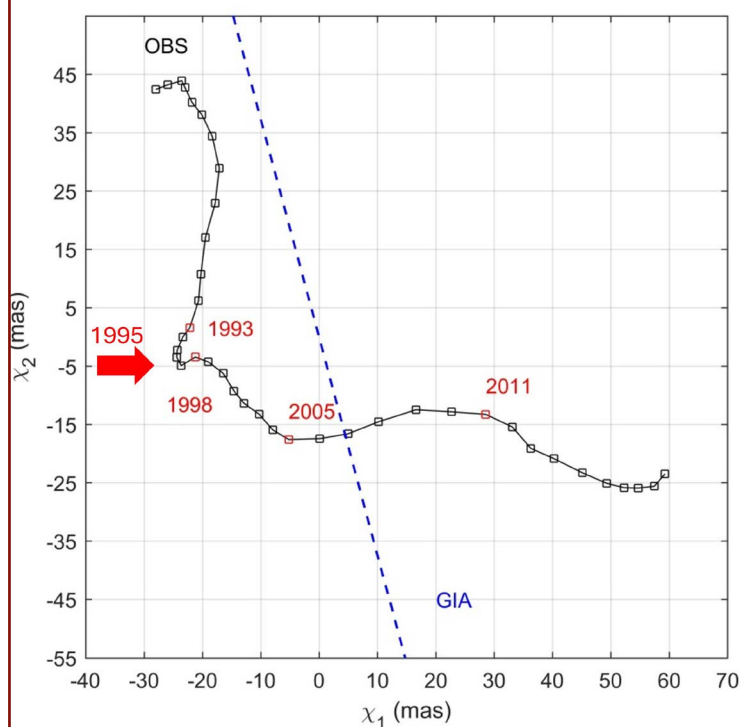


Фиг. 1.

Отклонение на продължителността на денонощието в милисекунди за периода от 1962 до 2023 година.

Източник на данните: Център ориентации Земи в Парижской обсерватории (IERS Earth Orientation Center of the Paris Observatory). Дължина дна — параметри ориентации Земи: https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOPC04_14_62-NOW_IAU1980-LOD&id=223

На фигурата, червените линии са трендовите линии, които показват с каква скорост намаляват денонощието. Например, линията отляво е по-полегата, докато линията отдясно - линията на ускорението от 2016 година насам - вече е почти вертикална, тоест денонощието намаляват многократно по-бързо, следователно - планетата се върти по-бързо.

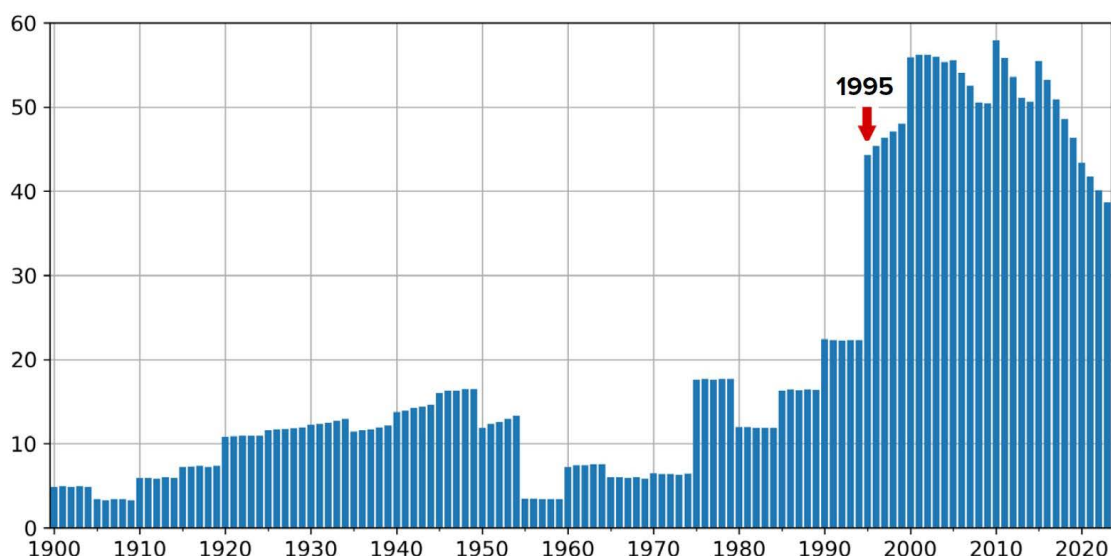


Фиг. 2.

Дългосрочна траектория на наблюдаваното възбуждане след премахване на годишните и чандървите цикли чрез метода на плъзгащата средна (черната линия с квадратчетата) и посока на полярния дрейф, обусловен от GIA (синята прекъсната линия).

Размерът на подмножеството за плъзгащата се средна е приет за равен на 84 месеца, за които най-малкото общо кратно е 12 месеца (годишен цикъл) и 14 месеца (цикъл на Чандлър), съгласно изследването на Liu et al. (2017). Източник: 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>

Velocity of the north magnetic pole (km/year)



Фиг. 3.

Скорост на движение на северния магнитен полюс (км/год)

Източник: NOAA данни за положението на северния магнитен полюс.

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

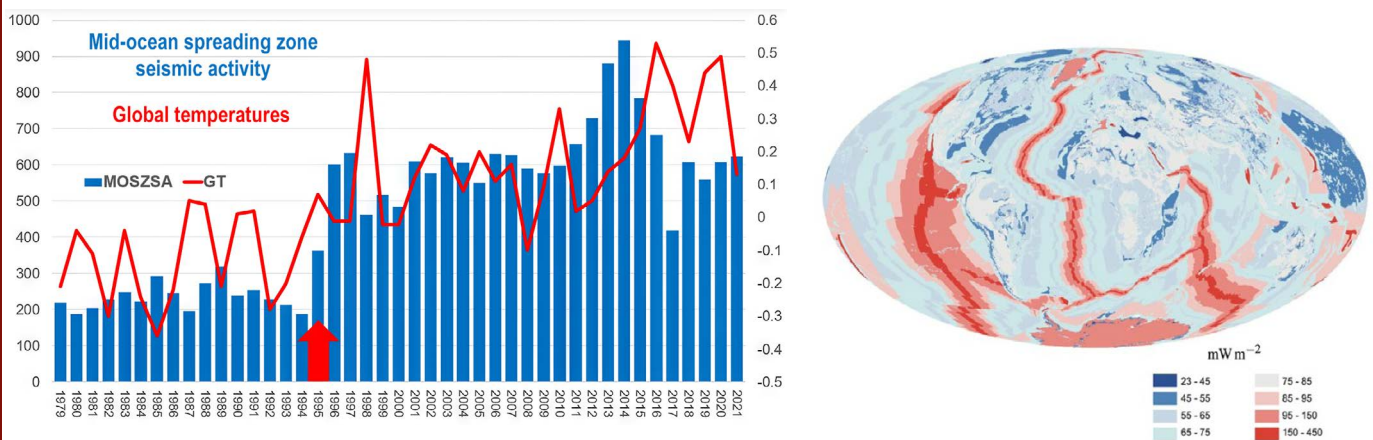
Според хипотезата, в този момент Слънчевата система е започнала да навлиза в зона, в която външното космическо въздействие е започнало да оказва съществено влияние върху планетите, а именно върху техните ядра. Промените, настъпили в ядрото на Земята през 1995 година, показват увеличаване на нагряването на външното ядро, от което може да се направи извод, че към ядрото на Земята е започнала да постъпва допълнителна енергия. Такива дълбоки промени в ядрото на Земята изискват квадрилиони пъти повече енергия, произведена някога от човешката цивилизация през цялото време на нейното съществуване.

Постъпването на външно въздействие към ядрото на Земята доведе до активиране на процесите, свързани с разтопяването на мантията и издигането на магмата към повърхността, предизвиквайки верижна реакция на сеизмична и вулканична активност, увеличаване нагряването от недрата, както и ръста на климатичните катаклизми по целия свят.

Така например, от 1995 година се наблюдава значителен ръст на сеизмичната активност, изразяваща се в увеличаване на честотата, магнитуда и енергията на земетресенията. Тази тенденция се наблюдава както на континентите, така и на океанското дъно (фиг. 4) и обхваща региони, които досега не са проявявали сеизмична активност, което е индикатор за глобалния характер на промените.

Важно е да се отбележи, че нарастването на броя на земетресенията с магнитуд 5,0 и по-висок не е свързано с подобряването на технологиите за сеизмичен мониторинг (фиг. 5), а отразява реални изменения в геодинамичната система на Земята. Обобщените данни на Международния сеизмологичен център потвърждават, че броят на земетресенията значително се е увеличил през последните 25 години и продължава да нараства (фиг. 6).

Нарастване на броя на земетресенията на океанското дъно по срединно-океанските хребети



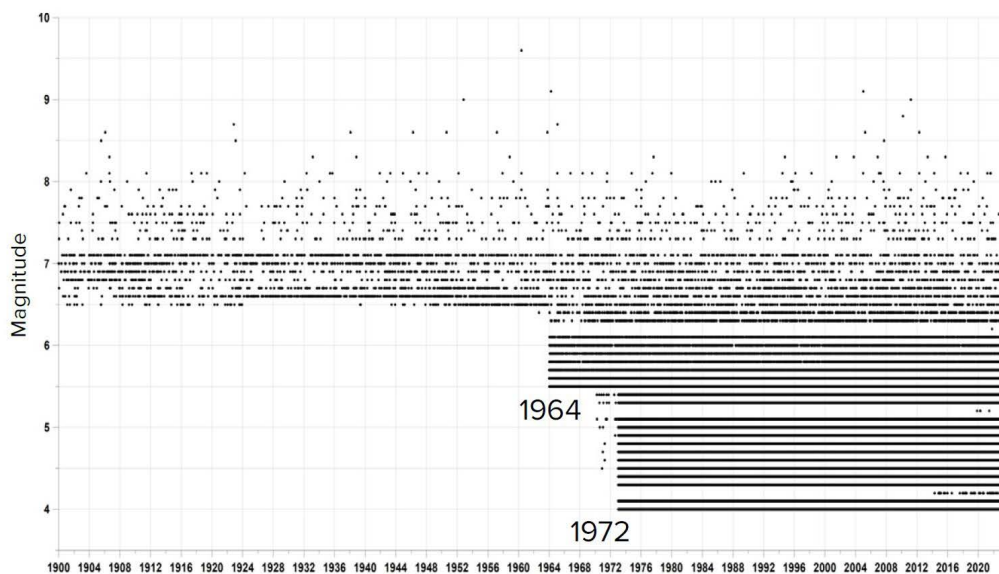
Фиг. 4.

Едновременно нарастване на броя на земетресенията на океанското дъно и глобалните температури на атмосферата (вляво). Геотермално нагряване на срединно-океанските хребети (вдясно), Davies & Davies, 2010 г.

Източник: 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>

Схемата илюстрира рязък скок в броя на земетресенията през 1995 г. на океанското дъно по срединно-океанските хребети и тясната корелация между сеизмичността на океанското дъно и температурите на атмосферата. Това показва наличието на допълнителен дълбочинен източник на нагряване както на океана, така и на атмосферата.



Фиг. 5.

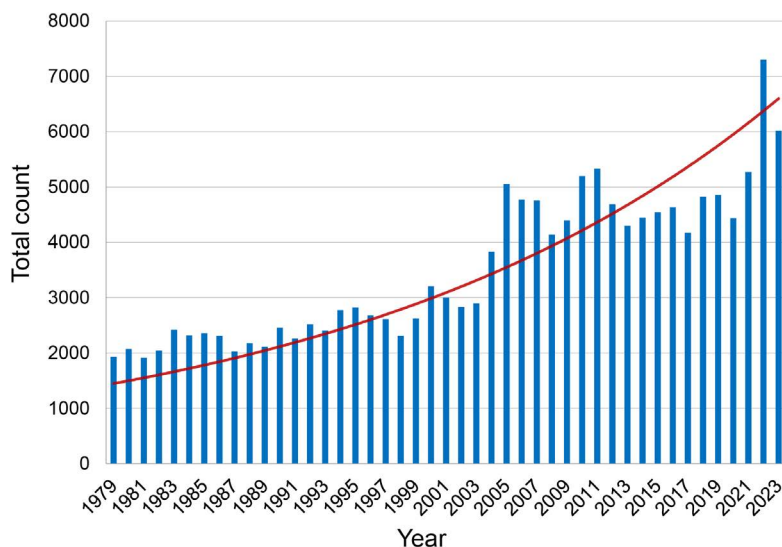
На графиката с черни точки са представени земетресения с различна сила през отделни години.

До 1964 г. са регистрирани само земетресения с магнитуд 6,5 и по-висок.

От 1964 г. (след инсталирането на по-чувствителни датчици) – от 5,5 и по-висок.

От 1972 г. – от 4,0 и по-висок, независимо от местоположението.

M5+ Earthquakes 1979-2023, ISC



Фиг. 6.

Земетресения с магнитуд 5,0 и по-висок за периода 1979–2023 г., според базата данни на ISC.

Изборът на данни е извършен по алгоритъм за максимални стойности на магнитуда, съдържащи се в базата данни на ISC за всяко от събитията (вж. Приложение 1).

Освен това се наблюдава увеличаване на сеизмичната активност в близост до вулкани и супервулкани, такива като Йелоустоун в САЩ, Кампи Флегрей в Италия, Таупо в Нова Зеландия, и на други вулкани, които са изригвали в предходните 12 000-годишни цикли.

Нараства също и общият брой дни с вулканични изригвания, което е съпроводено с аномални изригвания, при които изхвърляната лава е прегрята и има нетипичен състав, характерен за магма от по-дълбоките слоеве на мантията^{3,4,5,6,7}.

Особено внимание предизвиква увеличаването на броя на дълбокофокусните земетресения, които се случват на дълбочини над 300 км, а понякога достигат до 750 км

под повърхността на Земята. Тези явления възникват не в земната кора, а в мантията, където материалът на мантията обикновено се деформира плавно, а не се разрушава, което прави природата на такива земетресения необичайна.

Тъй като тези земетресения се случват в условия при екстремно налягане и високи температури, може да се направи извод, че тези мощни взривове са сравними по енергия с едновременната детонация на множество атомни бомби вътре в мантията на Земята. Освен това, дълбокофокусните земетресения често предизвикват силни земетресения в земната кора, усилвайки тяхното разрушително въздействие^{8,9}.

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

⁴Smirnov, 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>

⁵Why 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>

⁶Halldórsson, 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>

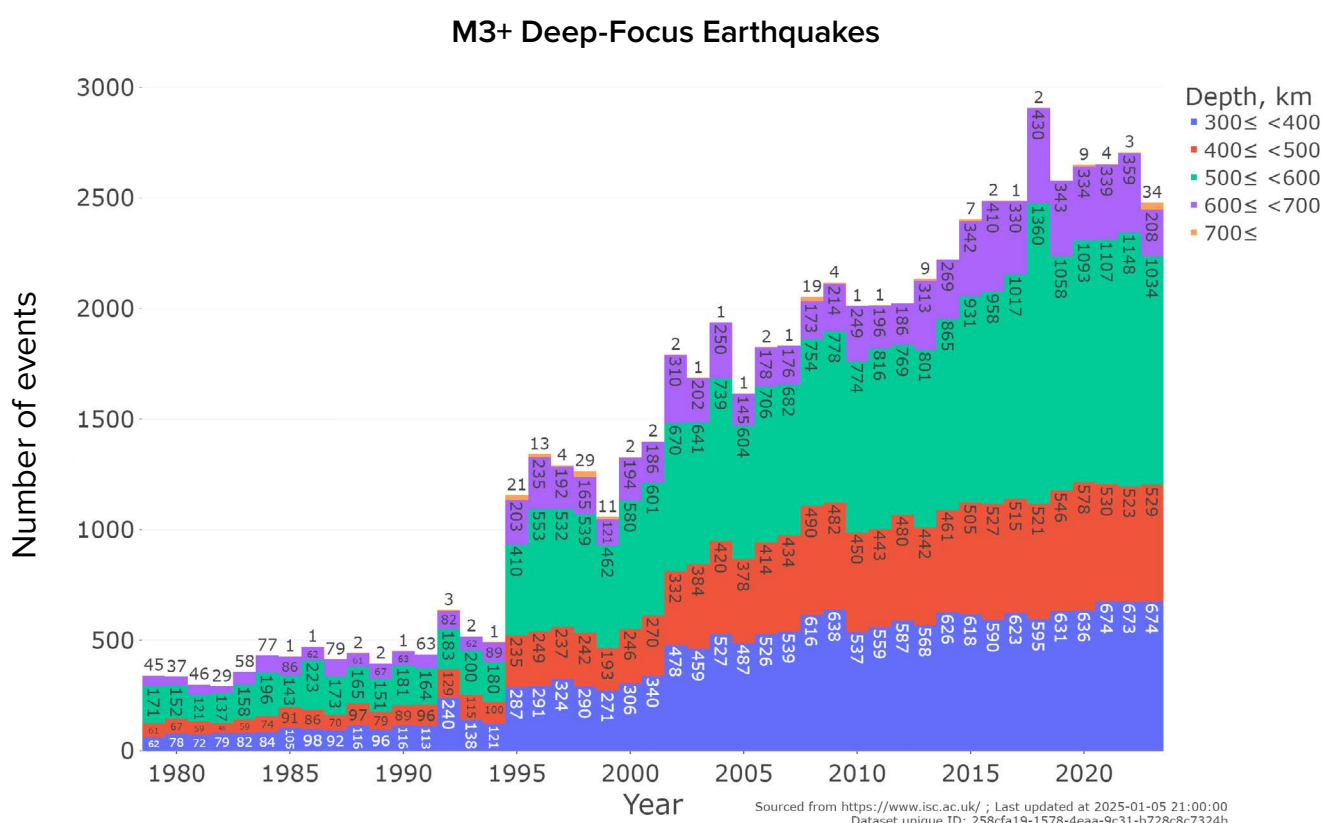
⁷D'Auria, L., Koulakov, I., Prudencio, J., et al. (2022). Rapid magma ascent beneath La Palma revealed by seismic tomography. *Scientific Reports*, 12, 17654. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21818-9>

⁸Mikhailova, 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>

⁹Mikhailova, 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>

От 1995 г. се наблюдава стремителен експоненциален ръст на броя на такива дълбочинни земетресения (фиг. 7 и 8), което съвпада с други геодинамични аномалии, започнали в същия период. Нарастването на

тези вътрешномантийни взривове показва увеличаването на енергията в дълбините на планетата и интензивното разтапяне на мантията, което може да доведе до мащабни вулканични изригвания.



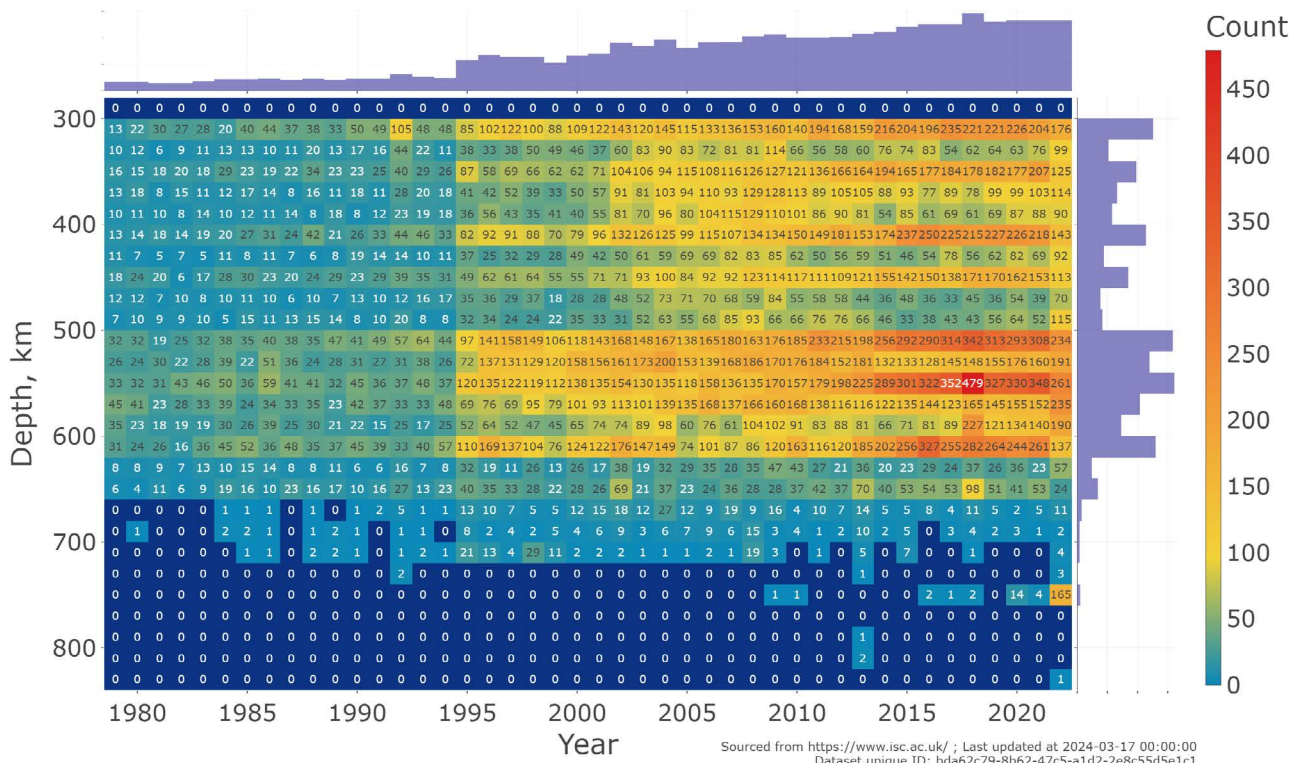
Фиг. 7.

Експоненциално нарастване на броя на дълбокофокусните земетресения с магнитуд над 3,0 на планетата от 1979 г. насам. Графиката е изготвена въз основа на извадка от данни по специален алгоритъм за медианни стойности на магнитуда (вж. Приложение 1), съдържащи се в базата данни на ISC за всяко от събитията.

База данни: ISC.

Графиката показва геометрична прогресия в нарастването на броя на земетресенията на дълбочини над 300 км в горната мантия на Земята, където средата се счита за пластична и неспособна да се напуква. Съществен скок се наблюдава през 1995 г., който е налице и при много други геодинамични аномалии. Увеличаването на броя на дълбокофокусните земетресения не е свързано с увеличаването на датчиците.

M3+ Deep-Focus Earthquakes



Фиг. 8.

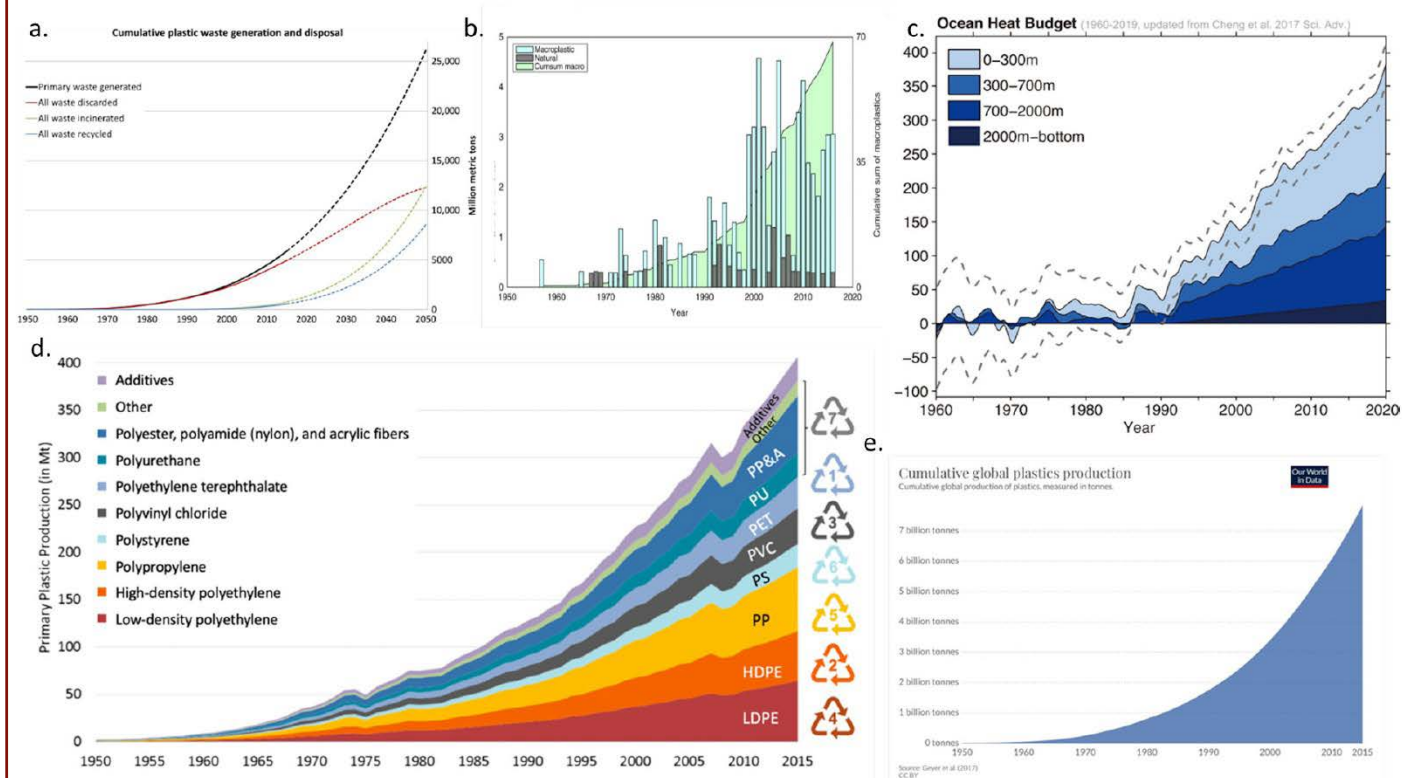
Схема на броя на дълбокофокусните земетресения по години и дълбочини с магнитуд над 3,0.
База данни: ISC.

Нарастването на дълбокофокусните земетресения показва разтопяване на мантията. Нагрявана от ядрото, под влияние на центробежните сили, разтопената магма в мантията започва рязко да се издига към повърхността на Земята, разрушавайки и нагрявайки литосферата отвътре повече от обичайното. Точно това издигане на магма предизвиква увеличаване на геотермалния поток от недрата и активира магматичните плюмове под ледниците на Западна Антарктида и централна Гренландия, което от своя страна ускорява топенето на ледниците и вечната замръзналост отдолу нагоре.

В момента, океанът се нагрява както никога досега, което значително засилва екстремните природни явления като наводнения, урагани

и тропически циклони. Океанът играе ключова роля в регулирането на топлинния баланс на планетата, тъй като е способен да поглъща и преразпределя излишната топлина, предотвратявайки катастрофални последици.

Сега, в условията на засилено нагряване на Земята поради геодинамичната активност, предизвикана от астрономическите цикли, океанът е загубил своята функция да отвежда топлината от недрата. Това се е случило в резултат на предизвиканото от хората замърсяване на океана. Пластмасовите отпадъци се разграждат до микро- и нано-пластмаса, което намалява топлопроводността на водата (фиг. 9).



Фиг. 9.

Графика на изменението на температурата на океана за периода 1960–2019 г. и съпоставяне с графики за нарастването на производството на синтетични полимери, използването им в различни сектори и изхвърлянето на пластмасови отпадъци в океана (от различни източници).

a) Сумарно количество произведени и изхвърлени пластмасови отпадъци

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) Сумарно количество микропластмаса в океана и годишни показатели

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>

с) Изменение на температурата на Световния океан за 1960–2019 г. (Purkey and Johnson, 2010; с обновяване на данните от Cheng и др., 2017)

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) Световно производство на първична пластмаса по видове

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) Сумарно количество произведена пластмаса от 1950 г. насам

Източник на данни: Plastic Marine Pollution Global Dataset

Повишаването на температурата на водата се случва не само на повърхността, но и в цялата водна маса, включително и на дъното на океана. Причината за нагриването на океана е предизвикана от издигащата се магма, която особено силно загрева океанската кора, тъй като тя е по-тънка и по-уязвима в сравнение с континенталната.

Историческите данни от изследвания на геоложки и ледени кернове показват, че Земята е преживявала подобни катастрофични цикли на всеки 12 000 години¹⁰. Освен това, на всеки 24 000 години планетарните катастрофи са били многократно по-силни, което се потвърждава от изследванията на пепловите слоеве от вулканични изригвания в ледените кернове¹¹ (фиг. 10) и други геохронологични проучвания. В момента Земята навлиза именно в такъв цикъл.

Текущият цикъл, обаче, се утежнява от антропогенни фактори, като например замърсяването на океана, което допълнително е влошило неговата функция за регулиране на енергийния баланс на Земята.

С нагриването на океана пластмасовите отпадъци се разграждат до микро- и нано-пластмаса, което допълнително намалява топлопроводимостта на океана. Тази загуба на топлопроводимост е критично важна в периоди на засилена

геодинамична активност, предизвикана от астрономическите цикли.

Натрупването на излишна енергия в недра на Земята води до увеличаване на броя на дълбокофокусните земетресения и ускорено формиране на нови магматични огнища, което още повече засилва нестабилността на планетата. Този затворен цикъл ускорява нагриването и дестабилизацията на планетата, приближавайки Земята към неизбежна гибел.

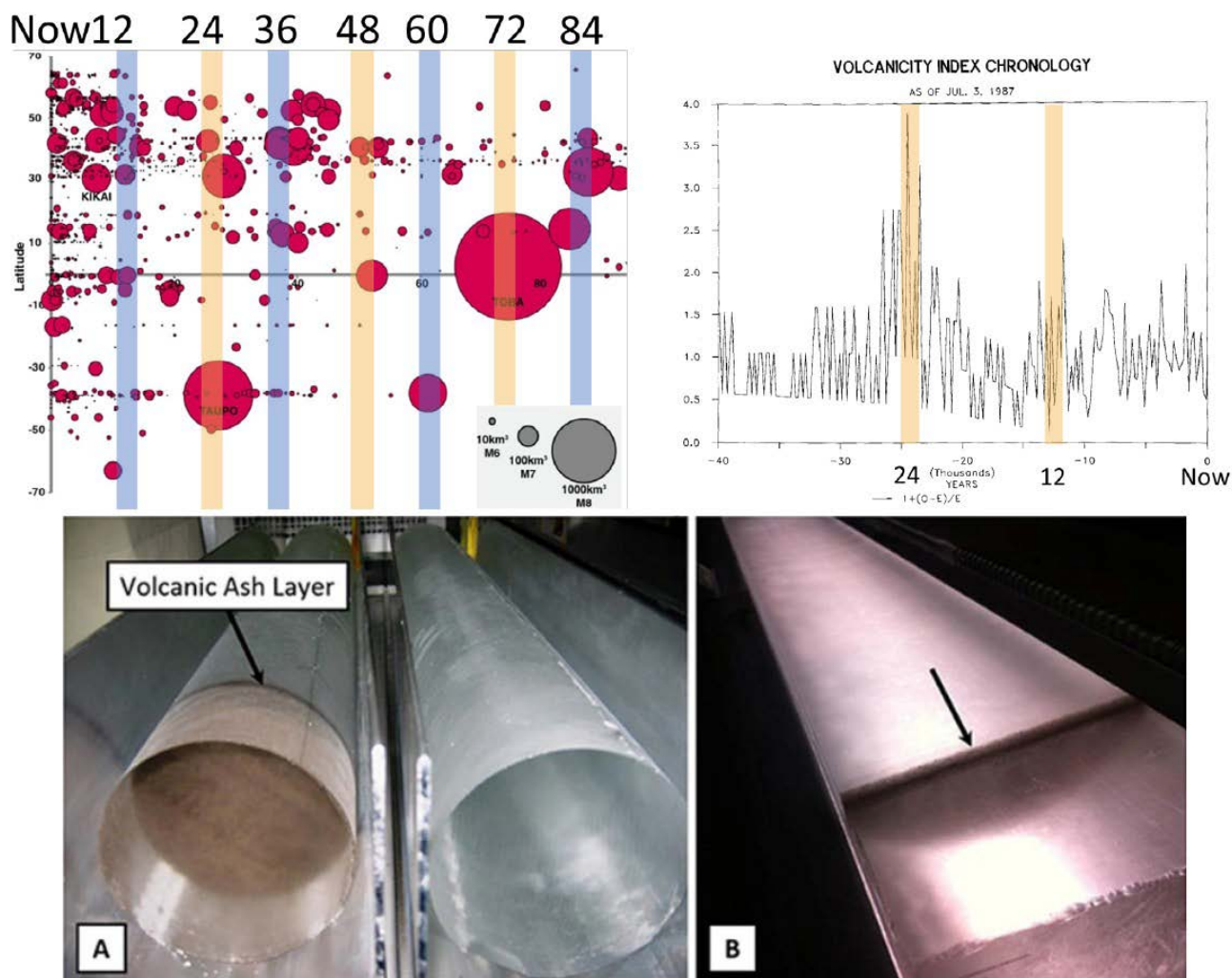
Математическото моделиране показва, че икономическите и социалните системи в света могат да рухнат в рамките на следващите 4–6 години поради нарастващите щети от климатични катастрофи. Експоненциалният ръст на броя на катастрофалните събития застрашава да направи Земята непригодна за живот в рамките на следващото десетилетие (фиг. 11).

За разлика от предходните цикли, настоящото състояние на планетата се утежнява от замърсяването, причинено от човешката дейност, което оставя малко надежда за оцеляване на екосистемите и самата Земя. Важно е да се разбере, че **решаването на проблема със замърсяването и нагриването на океана може да забави развитието на катаклизмите, но няма да ги спре.**

¹⁰ Арушанов, М.Л. (2023) Динамика климата. Космические факторы. Hamburg: LAMBERT Academic Publishing.

¹¹ 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>

Catastrophic Volcanic Eruptions Happening With a 12,000-Year Cycle



Фиг. 10.

Данни от изследвания на пепловите слоеве от вулканични изригвания през последните 100 000 години в ледените кернове на Антарктика и Арктика, базирани на работи на различни автори.

Източник: 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

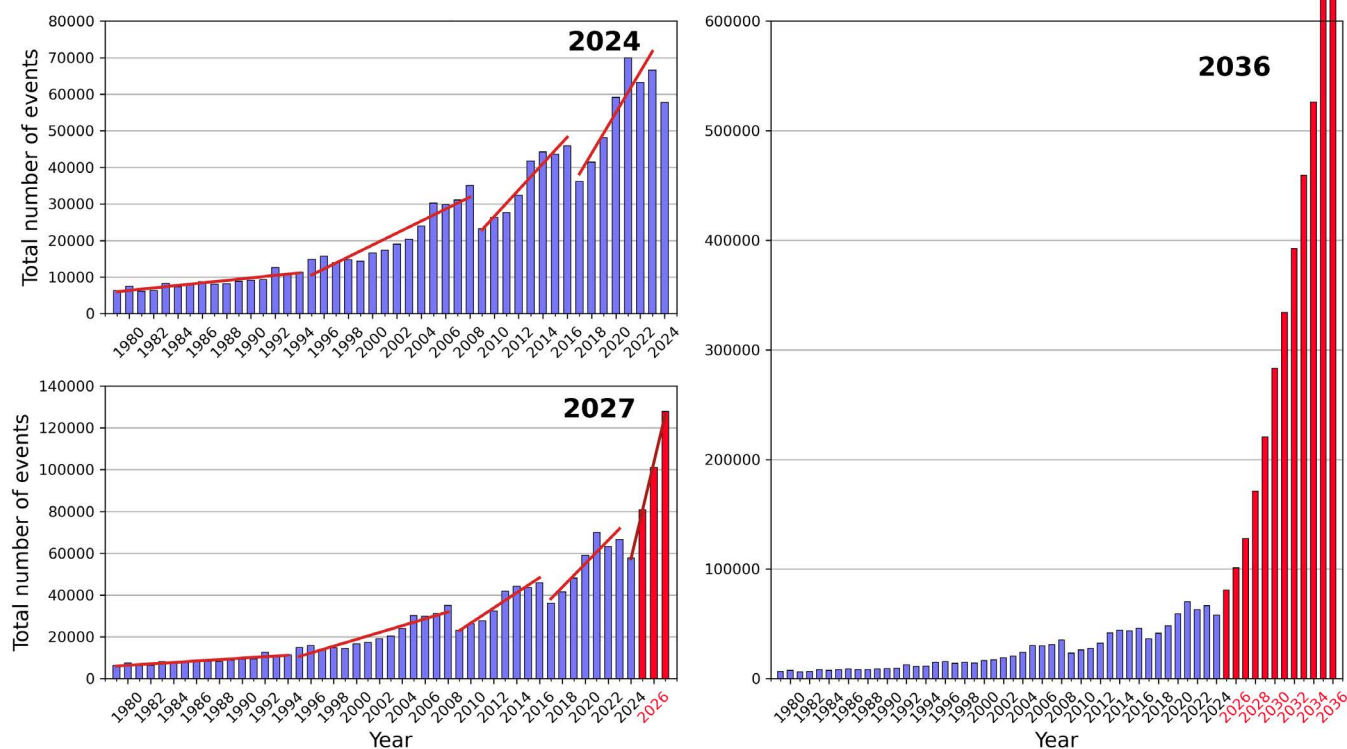
modulation of Milankovitch climate forcing. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 115–125. <https://doi.org/10.1007/bf00868307>

Графиките илюстрират катастрофалната вулканична активност на всеки 12 000 години и още по-мощни изригвания на всеки 24 000 години (с отчитане на грешките в датирането). Такива катастрофални събития са водили до резки температурни аномалии, природни бедствия, вулканични зими и масови измириания на видове. Много супервулкани, които са изригвали в предходните цикли, започнаха да проявяват аномална активност в наши дни, особено от 1995 година насам.

Progression of Escalating Disasters, Illustrated by Earthquakes

M3+ Earthquakes Globally 1979-2024

volcanodiscovery.com



Фиг. 11.

Модел на експоненциалния ръст на броя на природните катаклизми чрез пример със земетресенията до 2036 година

Графиките демонстрират геометрична прогресия в нарастването на броя и силата на земетресенията на планетата, като се отчита текущата тенденция. На всеки следващ етап броят на земетресенията се утроява.

Още до 2028 г. на Земята ще се случват 1 000 земетресения дневно с магнитуд над 3,0, докато в момента дневно се регистрират 125 земетресения с магнитуд над 3,0.

С висока вероятност след шест години на Земята ежедневно ще се случват земетресения, които по своята разрушителност ще бъдат еквивалентни на земетресението в Турция и Сирия от 6 февруари 2023 г.

Този доклад е посветен на допълнителната заплаха, предизвикана от изменения в ядрото в резултат на постъпването на допълнителна енергия. През 1997–1998 г. използвайки сателитни данни от изследванията за Центъра на масата на Земята, учените регистрираха безпрецедентно явление – рязък скок на вътрешното ядро на Земята. В резултат на това събитие ядрото на планетата се измести на север по линията от Западна Антарктида към Източен Сибир и полуостров Таймир в Руската федерация.

Това изместване на ядрото предизвиква неконтролиран подем на магма в същата посока, вследствие на което под Сибир започна стремително да се издига огромен магматичен плюм.

Към настоящия момент, Сибирският плюм вече е достигнал основата на земната кора в северната част на Източно-сибирския кратон и е започнал да повдига литосферната плоча, което означава, че нагорещената магма вече започва да проправя пътя си към повърхността.

Неконтролираният пробив на Сибирския плюм може да доведе до глобално измиране, без да остави на човечеството никакви шансове за оцеляване, тъй като, според изчисленията, такова изригване ще надмине по мощност най-силното изригване на супервулкана Йелоустоун 1 000 пъти.

Подобни изригвания на магматичния плюм в Сибир вече са се случвали преди 250 млн. години и са довели до Великото пермско измиране.

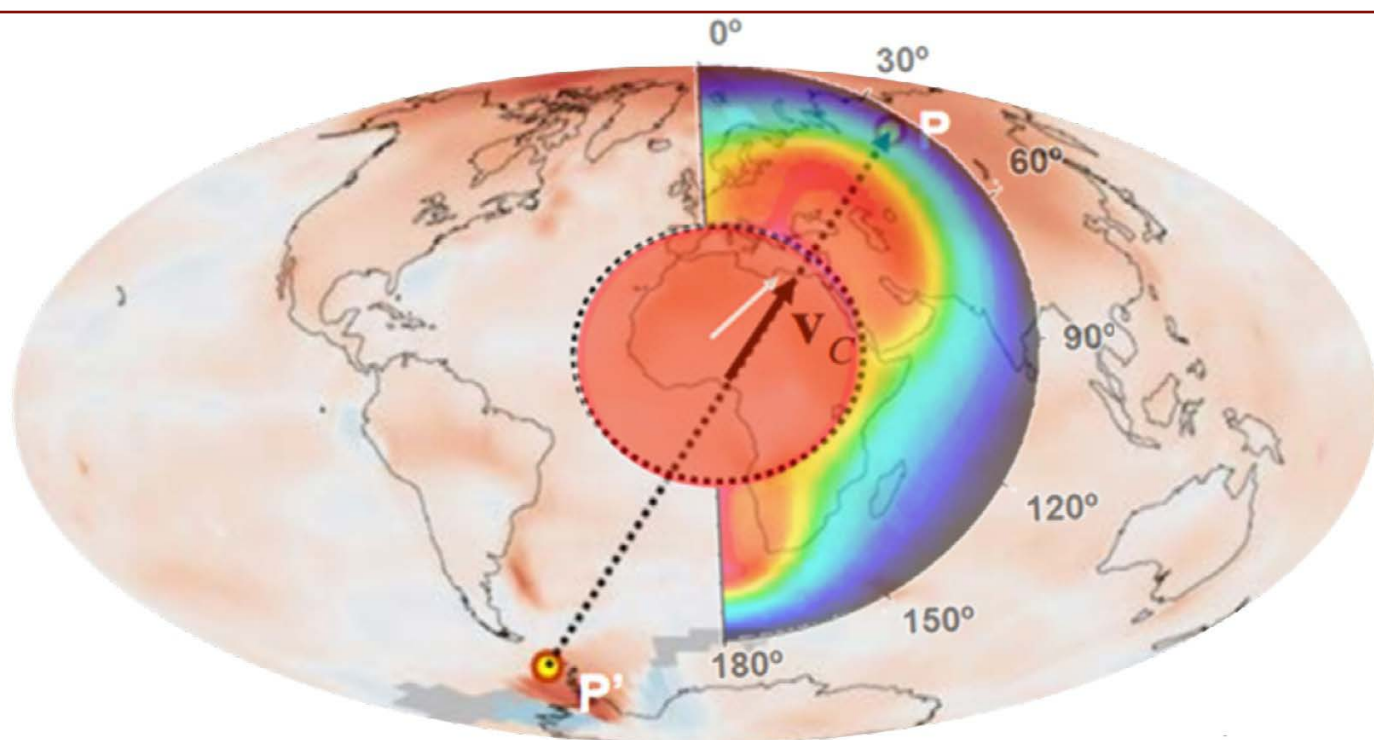
В този доклад са разгледани три възможни сценария за по-нататъшното развитие на събитията.

Също така в доклада са предложени стъпки за справяне с проблема с издигането на Сибирския плюм и минимизиране на рисковете от неговия неконтролиран пробив.

Изместване на ядрото в посока Сибир през 1998 година

През 1997–1998 г. учените, използвайки сателитни данни от изследванията за Центъра на масата на Земята, регистрираха безпрецедентно явление – рязък скок на вътрешното ядро на Земята^{12,13}.

В резултат на това събитие ядрото на планетата се измести на север по линията от Западна Антарктида към полуостров Таймир в северната част на Източен Сибир (фиг. 12).



Фиг. 12.

Скок на ядрото през 1997–1998 г. и топлинни вълни в магмата, предизвикани от изместването на ядрото. Ю. В. Баркин.

Картата илюстрира вектора на изместване на вътрешното ядро по линията от Западна Антарктида към Източен Сибир, към полуостров Таймир. Схемата е нанесена върху карта на топлинните аномалии в атмосферата.

Източник: Геофизические следствия относительных смещений и колебаний ядра и мантии Земли. Презентация Ю. В. Баркина, Москва, ИФЗ, ОМТС. 16 септември 2014 г.

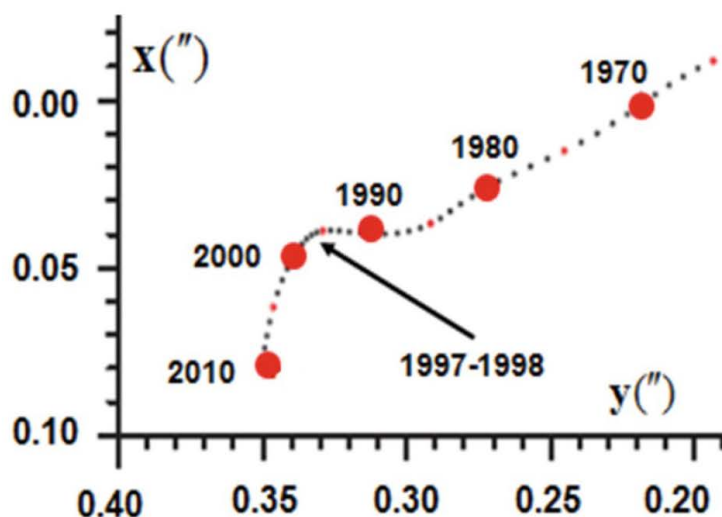
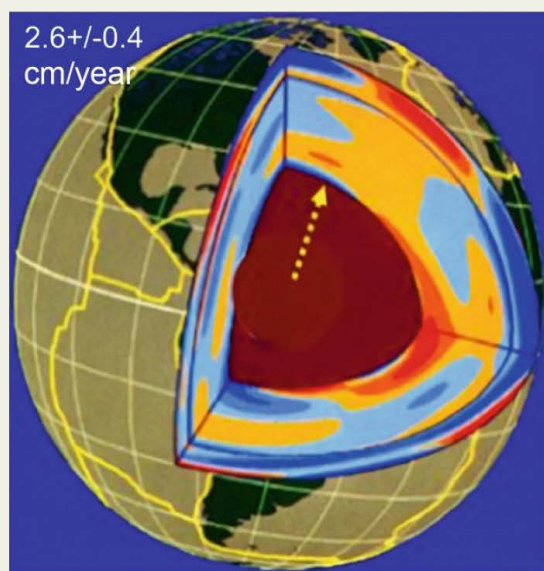
¹² Баркин, Ю.В. (2011) 'Синхронные скачки активности природных планетарных процессов в 1997-1998 гг. и их единый механизм', в Геология морей и океанов: Материалы XIX Международной научной конференции по морской геологии. Т.5. Москва: ГЕОС, сс. 28-32.

¹³ 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>

Едновременно с това, четири различни научни колектива, независимо един от друг, регистрираха аномални изменения в различни геофизични параметри на Земята. Според сателитни данни, екип от автори от МГУ „Ломоносов“ и Института по физика на Земята към РАН установи скок в центъра на масата на Земята през 1998 г.¹⁴ (фиг. 13). През същия период, Международната служба за въртене на Земята (МСВЗ) регистрира рязко ускоряване на въртенето на планетата. По това време на станцията Медичина в Италия учените засякоха скок в гравитационната сила¹⁵. Едновременно с това е било наблюдавано и рязко изменение във формата

на Земята¹⁶, което е било регистрирано с помощта на лазерна далекотметрия от сателитите на САЩ.

Според доктора на физико-математическите науки, професор Ю. В. Баркин, доктора на техническите науки, професор Г. Я. Смолков¹⁷, доктора на географските науки, професор М. Л. Арушанов¹⁸, академика на РАН, заслужен професор на МГУ „Ломоносов“, доктора на геолого-минералогичните науки В. Е. Хаин¹⁹, както и много други учени, скокът на ядрото е станал причина и за изменения във всички обвивки на Земята.



Фиг. 13.

Вътрешен строеж на Земята, посока на вековния дрейф на центъра на масата на Земята и траекторията на неговия полюс на повърхността на Земята през 1990–2010 г., с почти 90° завои през 1997–1998 г. в посока към полуостров Таймир.

Източник: Г. Я. Смолков // Гелиогеофизические исследования. Выпуск 25, 14–29, 2020. <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=569> (дата на достъп: 01.02.2024). Източник на графиката: Ю. В. Баркин, Р. К. Клиге, 2012.

¹⁴ Зотов, Л.В., Баркин, Ю.В. и Любушин, А.А. (2009) 'Движение геоцентра и его геодинамика', в Труды конференции «Космическая геодинамика и моделирование глобальных геодинимических процессов», Новосибирск, 22-26 сентября. Новосибирск: Гео, сс. 98-101.

¹⁵ 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)

¹⁶ 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>

¹⁷ Баркин, Ю.В. и Смолков, Г.Я. (2013) 'Скачкообразные изменения трендов геодинимических и геофизических явлений в 1997-1998 гг.', в Всероссийская конференция по солнечно-земной физике, посвященная 100-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН В.Е. Степанова, Иркутск, 16-21 сентября.

¹⁸ Арушанов, М.Л. (2023) 'Причины изменения климата Земли как результат космического воздействия, развеивающие миф об антропогенном глобальном потеплении', *Deutsche Internationale Zeitschrift Für Zeitgenössische Wissenschaft*, 53, сс. 4-14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7795979>

¹⁹ 'Коммюнике и первый доклад IC GCGE GEOCHANGE «Глобальные изменения окружающей среды: угроза для развития цивилизации»' (2010) Том 1. Лондон. ISSN 2218-5798.

Важно е да се отбележи, че именно в тази посока през 1995 г. започна рязък дрейф на северния магнитен полюс. От началото на миналия век той се е движел със средна скорост от 10 км/год, но впоследствие внезапно увеличава скоростта си, достигайки максимум от 57 км/год, и променя траекторията си, насочвайки се към Сибир и полуостров Таймир²⁰ (фиг. 3, 14).

Това показва, че условията за изместване на ядрото в посока към полуостров Таймир са започнали да се формират още през 1995 г. в резултат на разреждането на външното течено ядро на Земята. През 2013 г. учени от Университета в Лийдс установиха, че тези промени в магнитното поле са започнали вследствие на ускоряването на потока от течено желязо във външното ядро на Земята²¹ (фиг. 15), което вероятно е започнало през 1995 г.

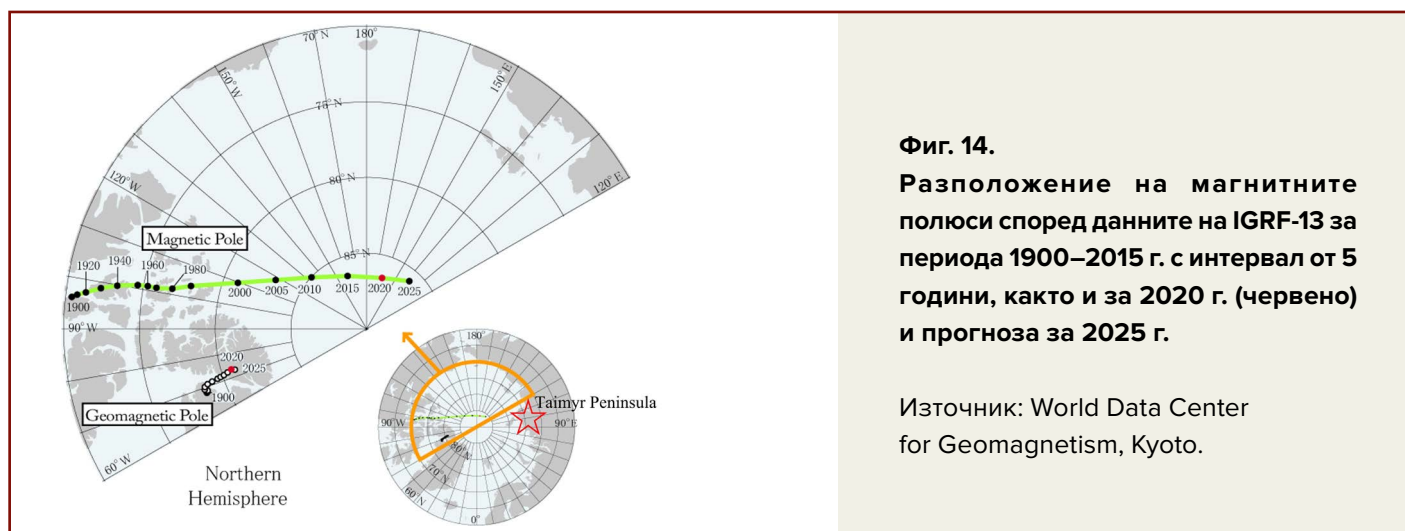
Според литературните данни е установена корелация между честотата на инверсиите

на магнитното поле и интензивността на мантийния магматизъм^{22,23,24}. Известно е също, че инверсиите на магнитното поле вероятно са свързани с процеси, протичащи във външното ядро в близост до границата ядро-мантия²⁵.

Корелацията между изменението на интензивността на мантийния магматизъм и честотата на инверсиите на магнитното поле на Земята показва, че смущенията в магнитното поле възникват във външното ядро в резултат на промени в интензивността на топлопредаването в основата на плюмовете, разположени на границата ядро-мантия.

Увеличението на общата топлинна мощност на плюмовете настъпва както следствие от формирането на нови плюмове, както и чрез увеличаване на топлинната мощност на вече активните плюмове.

Може да се предположи, че геодинамичните смущения във външното ядро и мантията възникват в периоди на формиране и издигане на плюм към повърхността²⁶.



²⁰Дьяченко А.И. Магнитные полюса Земли. // М.: МЦНМО, 2003. 48 с.

²¹Livmore, 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>

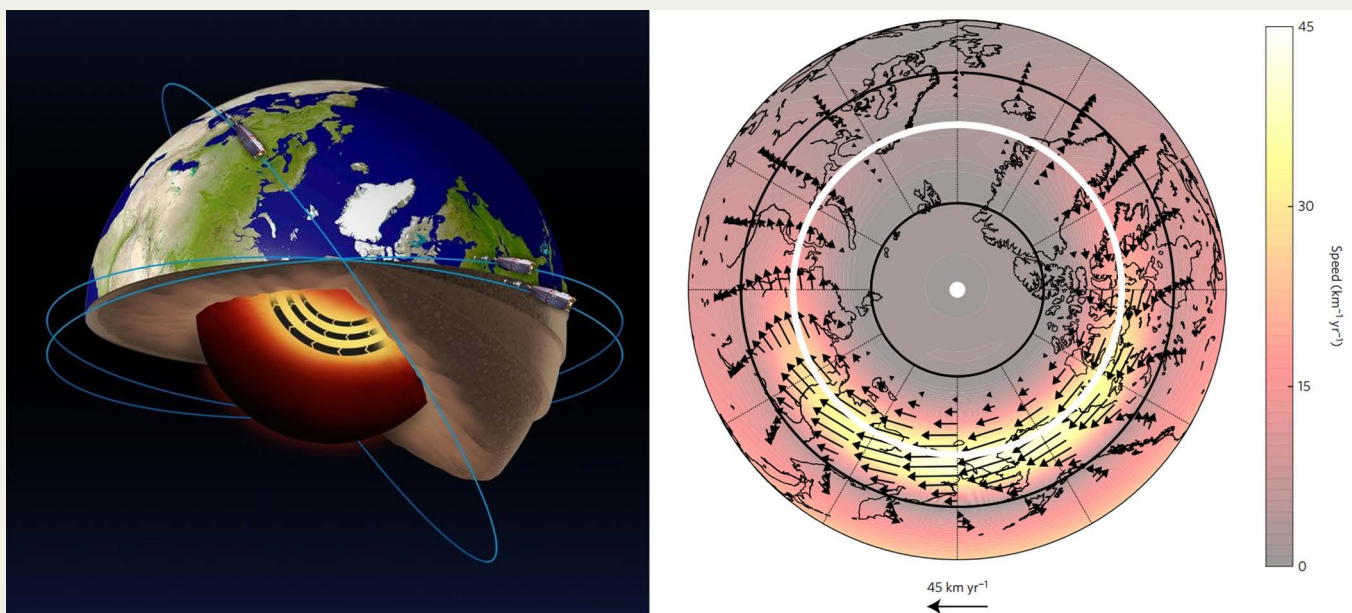
²²Alain Mazaud, Carlo Laj, The 15 m.y. geomagnetic reversal periodicity: a quantitative test, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 107, Issues 3–4, 1991, Pages 689–696, ISSN 012-821X, [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90111-T](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90111-T)

²³Roger 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)

²⁴Зоненшайн, Л.П. и Кузьмин, М.И. (1993) 'Глубинная геодинамика Земли', *Геология и геофизика*, 34(4), сс. 3-13.

²⁵Добреев, Н.Л., Кирдяшкин, А.Г. и Кирдяшкин, А.А. (2001) *Глубинная геодинамика*. Новосибирск: Издательство СО РАН, филиал «ГЕО»

²⁶Кирдяшкин, А.А. и Кирдяшкин, А.Г. (2013) 'Взаимодействие термохимического плюма с мантийными свободно-конвективными течениями и его влияние на плавление и перекристаллизацию мантии', *Геология и геофизика*, 54(5), сс. 707-721.



Фиг. 15.

Анализът на сателитните данни на ЕКА Swarm разкри наличието на реактивен поток в течната желязна част на земното ядро на дълбочина 3 000 км под повърхността, както и факта, че това реактивно течение се ускорява.

Източник: ЕКА

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>

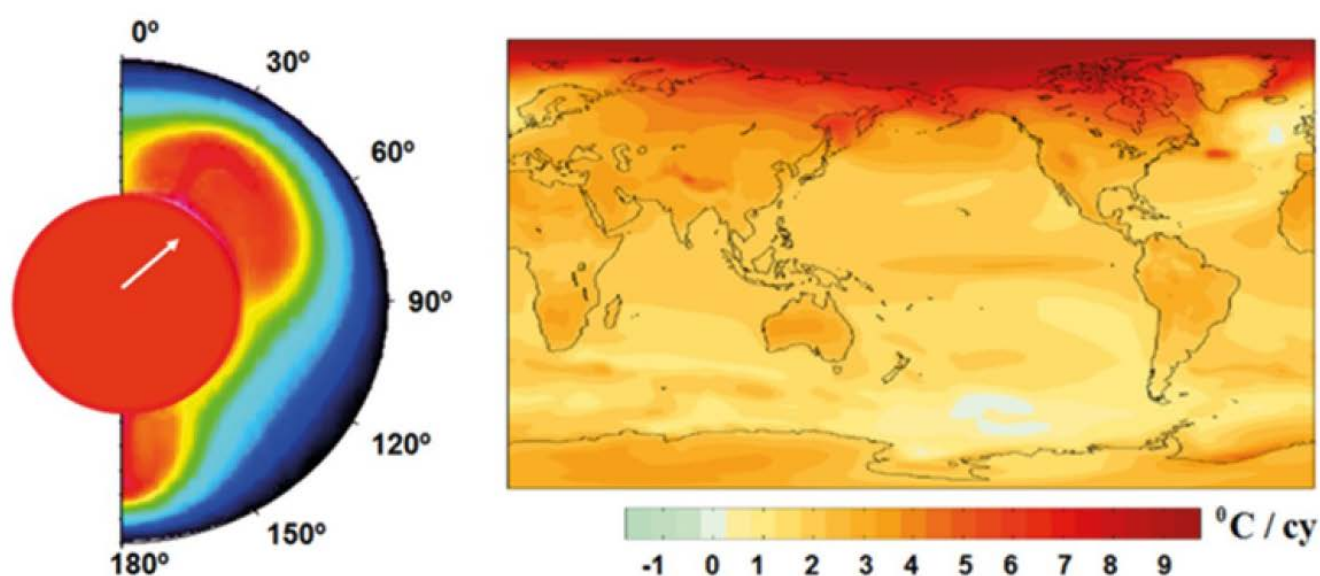
По този начин, съвременният дрейф на северния магнитен полюс в посока към полуостров Таймир може да бъде допълнително потвърждение за настъпващите изменения във външното течено ядро на Земята и рязкото издигане на плюма от границата ядро-мантия под Сибир.

Така, в резултат на външното космическо въздействие върху ядрото на Земята през 1995 г. започна нагряването на вътрешното ядро и разтопяването на външното ядро, което доведе до рязко ускоряване на дрейфа на северния магнитен полюс. Втечняването на външното ядро създаде условията, при които през 1997–1998 г. настъпи изместване на ядрото в посока към Сибир, към полуостров Таймир.

Според хипотезата, изказана от доктора на науките, професор Ю. В. Баркин, изместването на ядрото е предизвикало асиметрично подаване на топлина в посока към Сибир (фиг. 16).

Важно е да се отбележи, че преносът на топлина в мантията се осъществява основно чрез конвективно смесване. Това означава, че скокът на ядрото първоначално е довел до издигане на магмата в посока към Сибир.

Впоследствие, започва да се наблюдава аномално нагряване на атмосферата в този регион на Сибир, като с всяка изминала година това нагряване се засилва.



Фиг. 16. Принудително относително люлеене на ядрото и мантията и схема на асиметричното подаване на топлина в горните слоеве на мантията (вляво). Линеини трендове на повърхностното затопляне (в °C на век) според данните на NCAR CCSM3, усреднени по специален сценарий http://www.realclimate.org/bitz_fig3.png (вдясно).

Източник: Баркин Ю. В. Циклические инверсионные изменения климата в Северном и Южном полушариях Земли // Геология морей и океанов: Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. — М.: ГЕОС. 2009. С. 4–8.

Сибир и Сибирска Арктика се затоплят 3–4 пъти по-бързо от останалата част на света

Според данни от различни организации територията на Русия, особено Арктическият регион, изпитва екстремално затопляне.

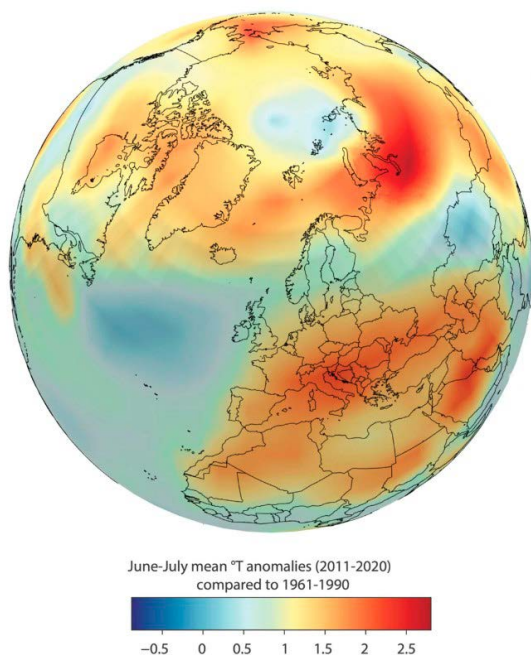
Споредучените от Междуправителствената група експерти по изменение на климата (МГЭИК) към 2021 г. Русия се затопля три пъти по-бързо от останалия свят, а нейните арктически и сибирски региони се затоплят четири пъти по-бързо от средното за планетата.

През 2022 г. ръководителят на Росгидромет Игор Шумаков, позовавайки се на данни от Световната метеорологична организация²⁷, заяви, че територията на Русия се затопля 2,5 пъти по-бързо от останалата част на планетата, като най-голямо повишение на температурата се наблюдава в северната

полярна област на страната, особено през последните десетилетия.

Сибир е сред регионите с най-силно затопляне в света (фиг. 17), което е безпрецедентно за последните 7 000 години според реконструирания климатични условия, базирани на изследвания на годишните пръстени на дърветата²⁸.

Американският Център за изследване на климата Вудвел (WCRC)²⁹ проведе мащабно проучване с цел да оцени как климатичните промени са повлияли върху температурата, влажността на почвата, дебелината на снежната покривка, нивото на валежите и други ключови климатични параметри в различни региони на Арктика.



Фиг. 17.

Средни температурни аномалии през юни-юли в Северното полукълбо (полуостров Ямал и полуостров Таймир) за последното десетилетие на наблюдения (2011–2020 г.). Температурите са изразени като аномалии спрямо базовия климат за периода 1961–1990 г., използвайки набора от данни HadCRUT.5.

Източник: 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>

²⁷ТАСС (2024) 'Территория России теплеет в 2,5 раза быстрее остальной планеты' [Электронный ресурс]. Доступно по адресу: <https://tass.ru/obschestvo/16009287>

²⁸Hantemirov, 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>

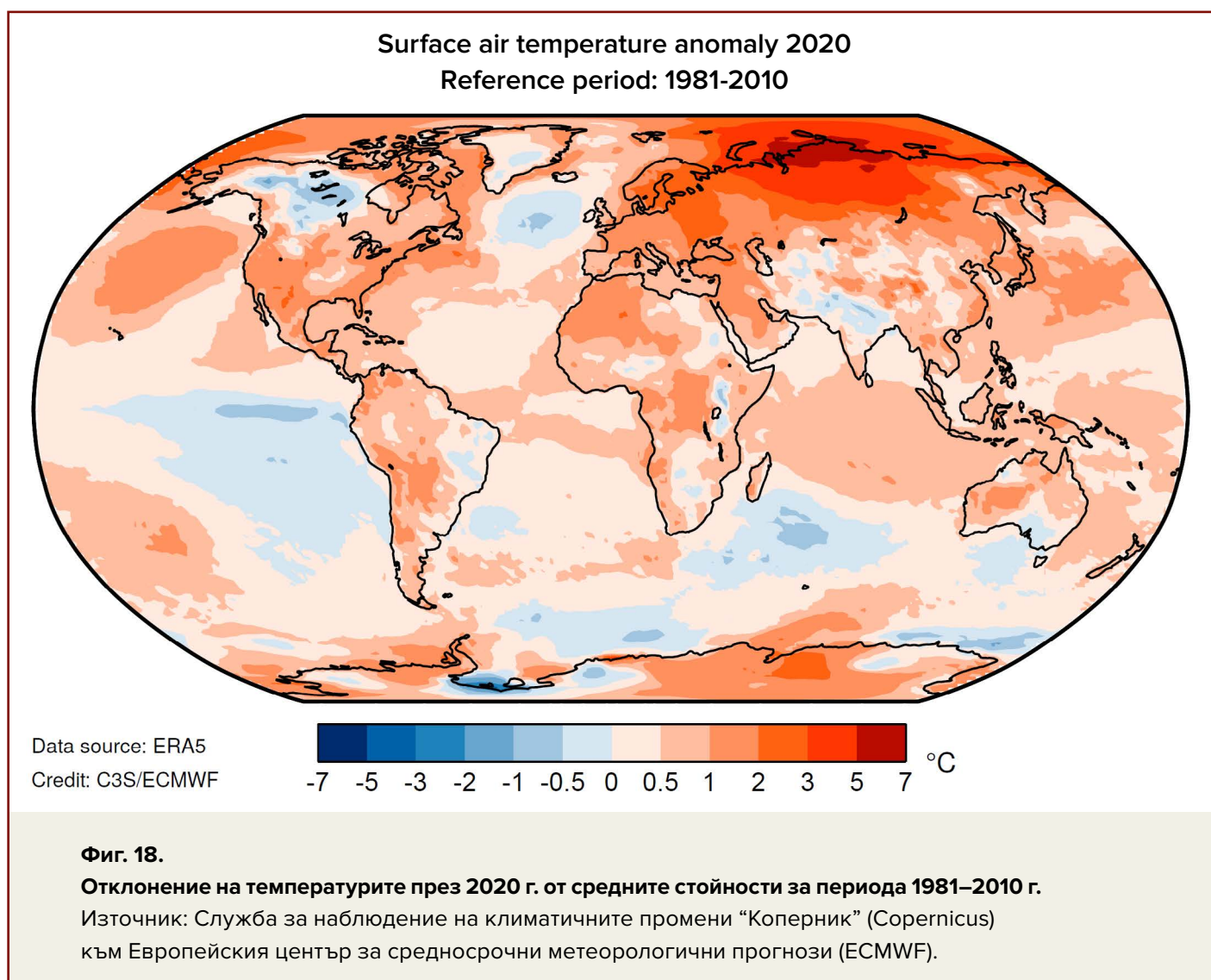
²⁹Watts, J. D., Potter, S., Rogers, B. M., Virkkala, A.-M., Fiske, G., Arndt, K. A., et al. (2025). Regional hotspots of change in northern high latitudes informed by observations from space. Geophysical Research Letters, 52, e2023GL108081. <https://doi.org/10.1029/2023GL108081>

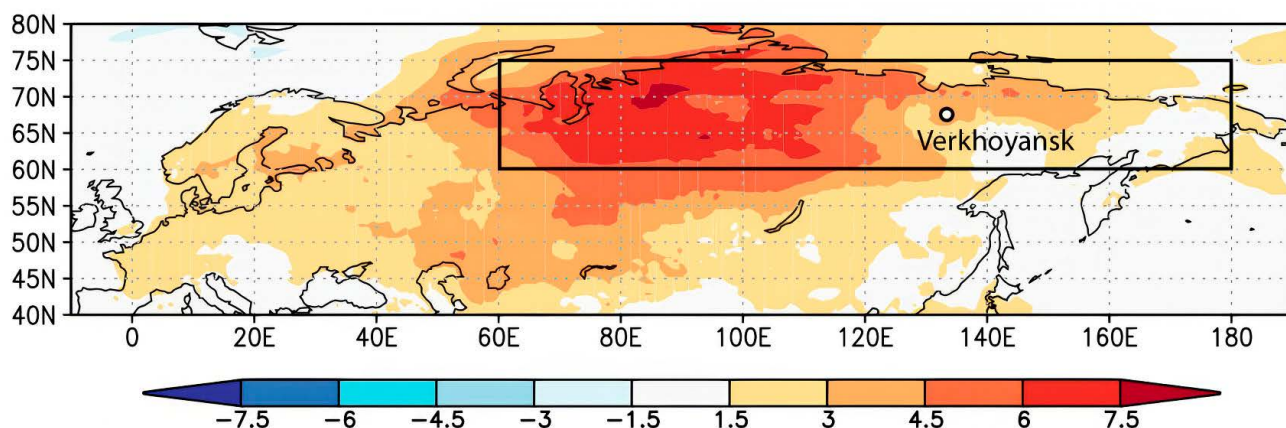
За тази цел учените обединиха и систематизираха данни, събрани с помощта на сателити, самолети, дроне и наземни метеорологични станции през последните 40 години. Последващият анализ на тези данни позволи на изследователите да идентифицират около две десетки климатични „горещи точки“. Най-силно затоплянето е засегнало приполярните и централните райони на Източен Сибир, където средногодишните температури са се увеличавали с 1,1 градуса по Целзий за всяко десетилетие – многократно по-бързо от средното глобално затопляне. Още по-бързо е нараствала температурата в Таймир – с 1,7 градуса на десетилетие.

По аналогичен начин температурата в сибирската тайга се е увеличавала от края

на 1980-те години със скорост 0,6 градуса на десетилетие. Топлинните вълни в Сибир през последните години достигнаха ново тревожно ниво, особено през 2020 г., когато температурата рязко се повиши в целия регион (фиг. 18).

Температурите в Сибир бяха с повече от 5 °C над средното от януари до юни, а през юни – до 10 °C над средното (спрямо периода 1981–2010 г.). Този изключително горещ период доведе до надхвърляне на местните температурни рекорди, включително на метеорологичната станция във Верхоянск, която на 20 юни регистрира абсолютен рекорд от +38 °C (фиг. 19). Руската метеорологична служба заяви, че тази измерена температура е най-високата, която някога е била регистрирана зад Полярния кръг.





Фиг. 19.

Продължителна сибирска жегга: средни температури за януари–юни 2020 г. в сравнение с нормата (1981–2010 г.) в сибирския регион и местоположението на град Верхоянск, където през юни беше регистрирана рекордна дневна температура зад Полярния кръг от +38 °C.

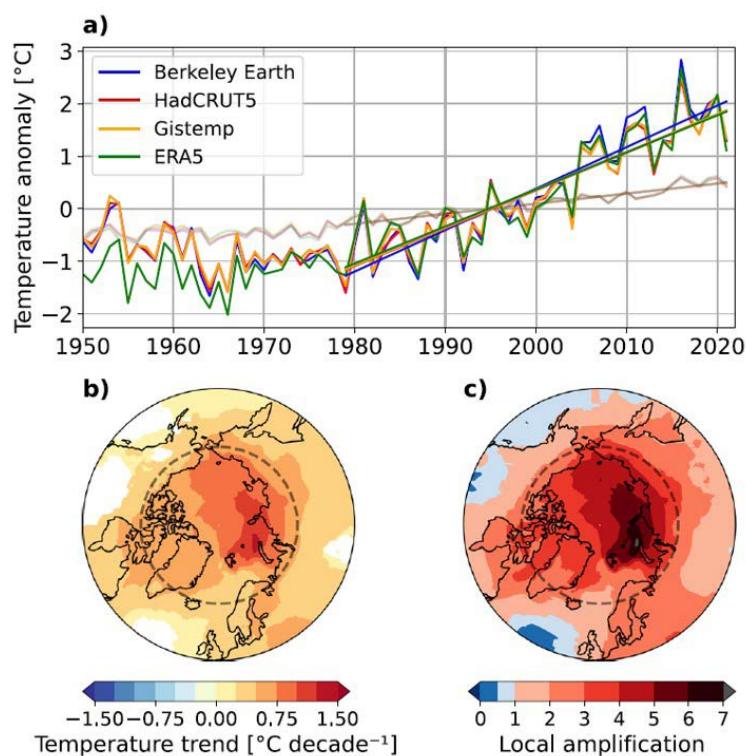
Източник: Ciavarella, A., Cotterill, D., Stott, P. et al. Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence. *Climatic Change* 166, 9 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03052-w>

Дадените топлинни вълни не се намират постоянно над Сибир, те имат характер на пулсиращи колебания. Това е обусловено от факта, че проникванията на магмата причиняваща тези вълни топлина, имат вълнообразен характер. В атмосферата, където въздушните маси свободно се движат и смесват, топлинните вълни могат да отслабват след няколко месеца, както това се случи през 2020 година, в отличие от топлинните вълни във водни условия.

Съгласно изследванията от 2022 година, Сибирска Арктика се затопля почти 4 пъти по-бързо от цялото земно кълбо. Това съотношение е по-високо от предходно-отчетените в климатичните модели досега, което се явява изключително неочаквано за учените³⁰ (фиг. 20).

Важно е да се отбележи, че даденото затопляне на Арктическия регион се наблюдава именно в областта на полуостров Таймир. Такава аномалия именно в акваториалната зона на Сибир може да се обясни с факта, че океанската кора е по-тънка и по-бързо провежда топлина, а водата притежава по-голяма топлинна капацитетност (топлоемкост) отколкото атмосферата. Затова именно океанската вода интензивно натрупва и задържа топлината от издигания се магматичен плюм, въпреки че издигането на плюма се случва под континенталната кора, на относително голямо разстояние от брега.

³⁰Rantanen, 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>



Фиг. 20.

Динамика на средногодишната температура в Арктика.

а) Аномалии на средногодишната температура в Арктика (66,5°–90° с. ш.) (тъмни цветове) и в световен мащаб (светли цветове) за периода 1950–2021 г., получени въз основа на различни набори на данни от наблюдения. Аномалиите в температурата са изчислени спрямо средните стойности за 30-годишния период 1981–2010 г.

Пунктираната линия на (b) и (c) обозначава Полярния кръг (66,5° с. ш.).

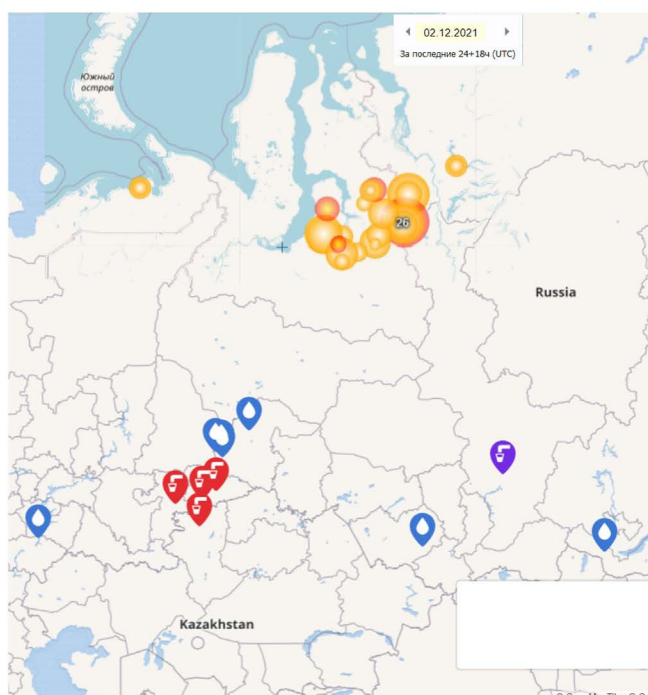
Източник: Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment*, 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>

Косвени признаци за издигането на Сибирския плюм

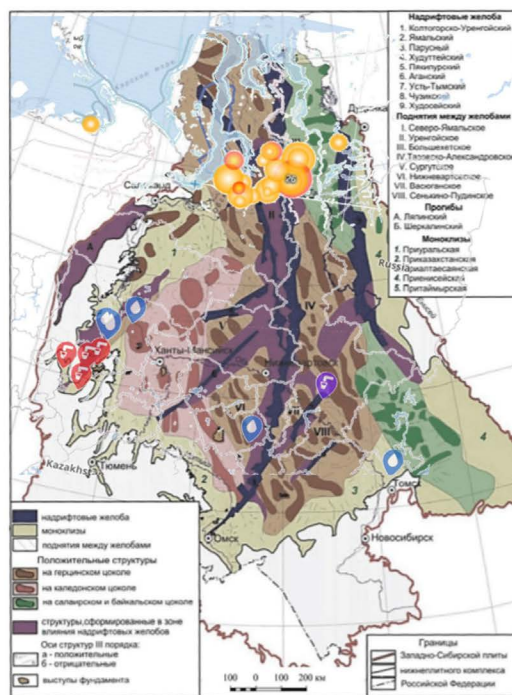
В резултат от внедряването на магматично огнище в земната кора под Сибир се наблюдава не само нагряване на атмосферата, но и цял комплекс от други аномалии: топене на вечната замръзналост отдолу нагоре; нарастване на сеизмичната активност в региона; издигане на горещи води към повърхността, което води до кипене на водата в кладенците; безпрецедентни горски пожари в цял Сибир, включително и под снега.

През последните години максимална локализация на пожари под снега се е наблюдавала в южните части на полуостровите Таймир, Ямал и Гидан в полярните региони.

Важен фактор е, че проявленията на пожари под снега („зомби-пожари“) и кипенето на вода в кладенците се регистрират в зоните на дълбоки разломи (фиг. 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]"

Фиг. 21.

Карта на локализацията на зимните пожари под снега зад Полярния кръг през 2021 г.



Снимки на пожари под снега в Свердловския регион

В северните ширини се наблюдава увеличение на емисиите на метан и водород от земните недра, нарастване на броя на карстовите дупки от природни газови експлозии, както и засилване на калния вулканизъм в Арктическият шelf.

Подгряването отдолу предизвиква деградация на многогодишно замръзналите почви и разрушаване на газохидратите, което води до освобождаване на газове,

образуване на взривни пропадания и увеличаване на калния вулканизъм.

Освобождаваният от недрата газ влияе върху състоянието на атмосферата, предизвиквайки допълнителни топлинни, геохимични и електромагнитни аномалии.

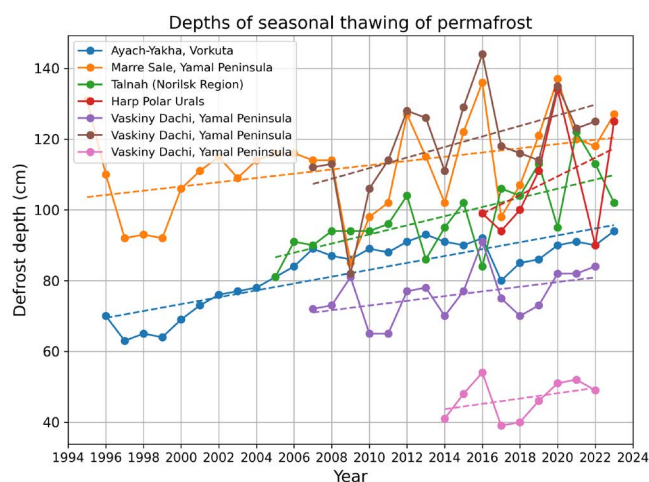
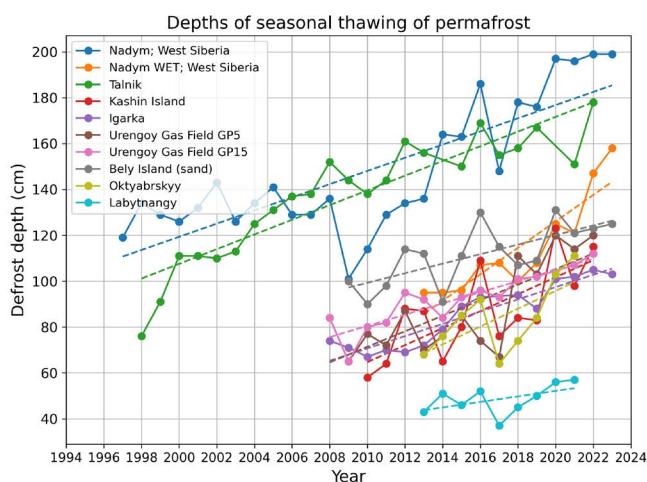
Ще разгледаме тези процеси по-подробно.

Топене на вечната замръзналост

Още един от маркерите за допълнителното геотермално нагряване, предизвикано от мантиен плюм, е състоянието на многогодишно замръзналите почви. Авторите на доклада извършиха анализ на данните за дълбочината на сезонното размразяване на вечната замръзналост на територията на Русия в периода 1994–2023 г. Базата данни е съставена въз основа на измервания, провеждани в рамките на международната програма за циркумполярен мониторинг на активния слой и повърхностната вечна замръзналост (CALM). Информацията е достъпна на уебсайта permafrost.su.

В момента, на територията на Русия действат 58 площадки, които извършват

наблюдения на многогодишно замръзналите почви по стандартизирана методика. На 46 от тези площадки измерванията се извършват повече от 10 години, което позволява да се установят дългосрочни тенденции. Анализът на събраните данни позволи да се идентифицират площадки, на които се наблюдава устойчив тренд на увеличаване на дълбочината на размразяване, което е индикатор за допълнително затопляне в тази зона. Бяха обособени две групи данни: Площадки с по-изразен тренд на увеличаване на дълбочината на размразяване на дълбочини от 40 см до 200 см (фиг. 22, а). Площадки с по-слаба скорост на размразяване на многогодишно замръзналите почви на дълбочини от 40 см до 140 см (фиг. 22, б).



Фиг. 22.

Динамика на дълбочината на сезонното размразяване на вечната замръзналост в различни региони с различна интензивност: а) с по-изразен растеж на дълбочината на размразяване; б) с по-слабо изразен растеж на дълбочината на размразяване.

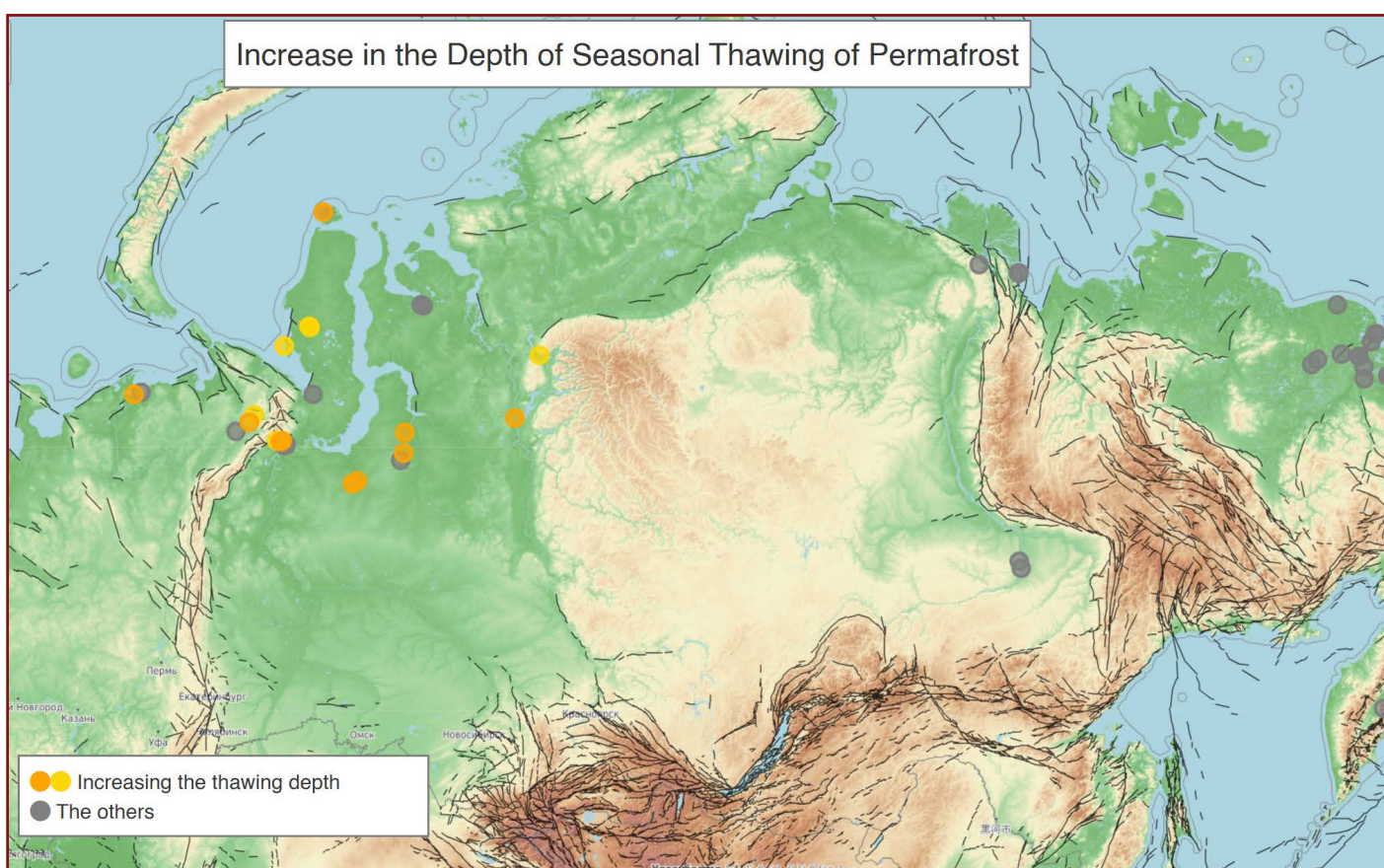
Източник на данни: <https://permafrost.su>

Измерванията се извършват в рамките на международната програма за циркумполярен мониторинг (CALM): <https://www2.gwu.edu/~calm>

За по-голяма нагледност всички изследвани точки бяха нанесени на карта и съответно отбелязани с оранжев и жълт цвят (фиг. 23). Важно е да се отбележи, че тези точки са съсредоточени основно в определен район: в северната част на Западен Сибир, на полуостров Ямал и южно от полуостровите Гидан и Таймир.

Такава локализация на участъците с максимално размразяване на вечната

замръзналост съответства на областта с понижени скорости на сеизмичните вълни в мантията, в предполагаемата зона на разпространение на главата на магматичния плюм. Това, от своя страна, е причина за повишаването на температурата на почвата, включително и в рамките на замръзвания слой.



Фиг. 23.

Места на увеличаване на дълбочината на сезонното размразяване на многогодишно замръзвания слой. Точките обозначават местата на измервания: сиви – места, където не се наблюдава значително увеличение на сезонното размразяване; жълти – места, където дълбочината на размразяване нараства.

Източник на данни: <https://permafrost.su>

Измерванията се извършват в рамките на международната програма за циркумполярен мониторинг (CALM): <https://www2.gwu.edu/~calm>

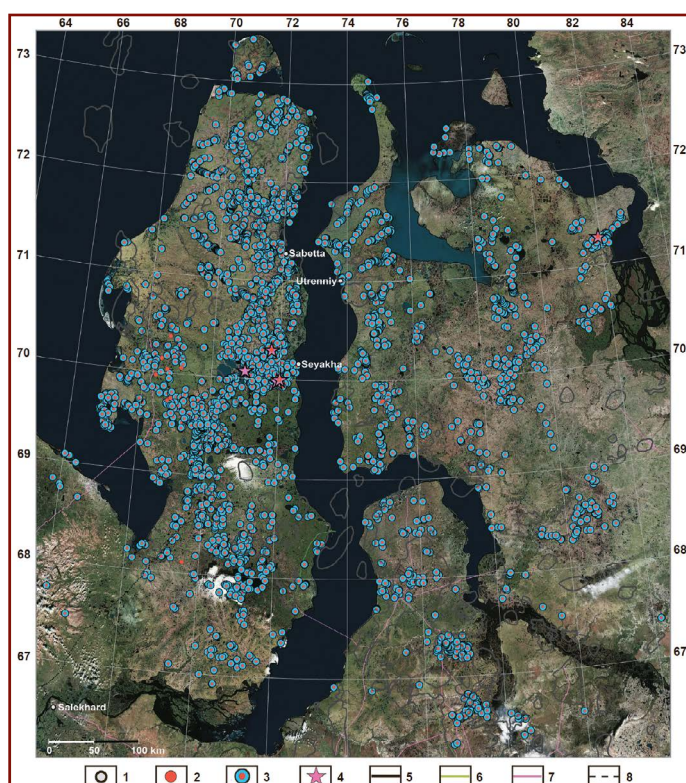
Проявления на калния вулканизъм

Допълнителното нагряване от издигащата се магма води до деградация на многогодишно замръзналите почви и оказва влияние върху консервираните в тези почви газохидрати, освобождавайки големи обеми газове, които са били заключени в тях. Освен това се наблюдава миграция на газ от находища на природен газ и силно газонаситени пластови води, което намалява еластично-механичните свойства на почвите и допринася за размекването на глините, водещо до възможни процеси на кален вулканизъм.

Калният вулканизъм представлява геологичен процес на изригване на смес от газ, вода и разрушен скален материал през

пукнатини в земната кора под въздействието на вътрешно геостатично налягане.

Именно такива процеси са били установени от учени от Руската академия на науките (РАН) на арктическият полуостров Ямал³¹. В резултат на комплексни геолого-геофизични изследвания, проведени с помощта на дистанционно сондиране на Земята в периода 2014–2022 г., бяха идентифицирани над 3 000 зони на мощни газови изхвърляния с образуване на кратери на дъното на термокарстови езера, реки и крайбрежната част на Карско море (фиг. 24).



Фиг. 24.

Разпространение на зоните на мощни газови изхвърляния в северната част на Западен Сибир.

Обозначения:

1 — населени места, 2 — изолирани кратери от газови изхвърляния, 3 — кратери от газови изхвърляния на дъното на водоеми, 4 — проявления на кални вулкани, 5 — контури на нефтогазови находища, 6 — нефтопроводи, 7 — газопроводи, 8 — железопътна линия.

Основа на картата — мозайка от сателитни изображения от базата данни ESRI.

Източник: Богоявленский В. И., Никонов Р. А., Богоявленский И. В. Новые данные об интенсивной дегазации земли в Арктике на севере Западной Сибири: термокарстовые озёра с кратерами выбросов газа и грязевыми вулканами. Арктика: экология и экономика 13, 353–368 (2023).

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

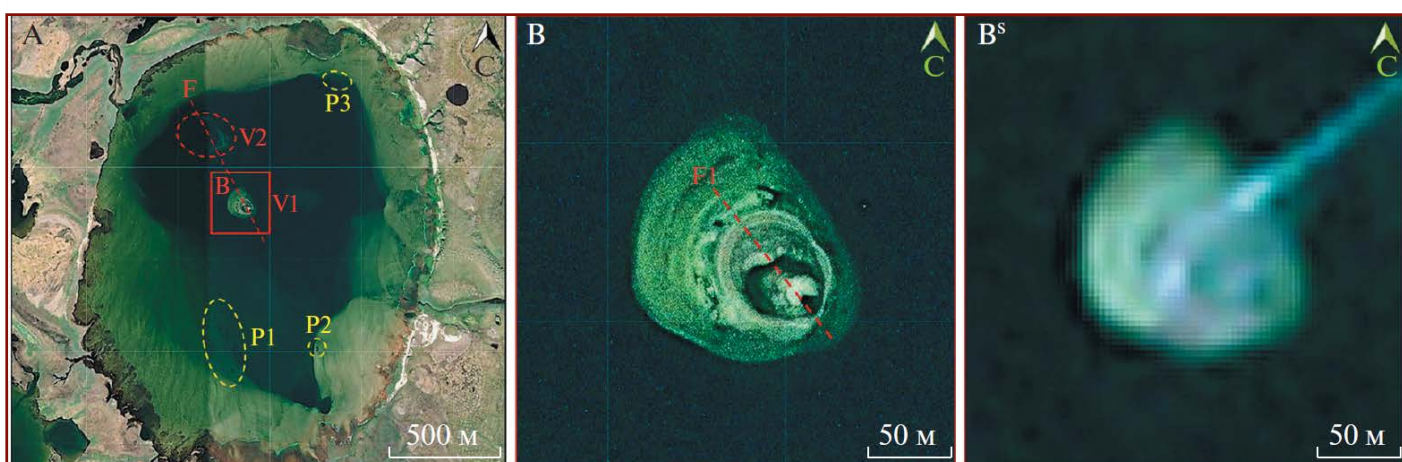
³¹ Богоявленский, В.И., Никонов, Р.А. и Богоявленский, И.В. (2023) 'Новые данные об интенсивной дегазации земли в Арктике на севере Западной Сибири: термокарстовые озёра с кратерами выбросов газа и грязевыми вулканами', Арктика: экология и экономика, 13, сс. 353-368. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-3-353-368>

Според данни от дистанционно сондиране на Земята, през 2022–2023 г., на дъното на термокарстовите езера Лабарто и Ямбута за първи път са открити големи калновулканични образувания, които периодично проявяват активен кален вулканизъм³² (фиг. 25).

Термокарстовото езеро е водоем, който се образува в резултат на размразяването на многогодишната замръзналост.

Така не само размразяването на езерото, но и втечняването на глината дълбоко под него показва наличието на дълбочинен източник на нагряване.

Според авторите на изследването, по-рано в целия циркуларктически регион не са били известни толкова явни калновулканични образувания на дъното на термокарстови езера.



Фиг. 25.

Сателитно изображение WorldView-2 на термокарстовото езеро Лабварто (А) и негов увеличен фрагмент (В) с допълнение на фрагмент от сателитно изображение Sentinel-2 (B^s).

Обозначения: P1, P2 и P3 — покмарки; V1 и V2 — кални вулкани; F и F1 — прогнозирани разломи.

Източник: Богоявленский В. И. Новые данные о грязевом вулканизме в Арктике на полуострове Ямал. Доклады Российской академии наук. Науки о Земле 512, 92–99 (2023) <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>

³² Богоявленский, В.И. (2023) 'Новые данные о грязевом вулканизме в Арктике на полуострове Ямал', Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 512, сс. 92-99. <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>

Нагриване на почвата

На основата на данните на Росхидромет за периода 2021–2023 г. бяха анализирани карти на температурите на почвата на дълбочини 80, 160 и 320 см. Най-информативно се оказва сравнението на температурните трендове за периодите 1976–2021 г. и 1976–2023 г. (фиг. 26).

Между 2021 и 2023 г. на картата на трендовете се прояви ясна аномалия южно от полуостровите Гидан и Таймир, която териториално съвпада с област с понижени скорости на сеизмичните вълни в мантията,

установени чрез сеизмотографски методи под литосферата на Сибирския регион.

Като се вземат предвид значителната дълбочина на измерванията (320 см) и широкият обхват на наблюденията (466 метеорологични станции в Русия), може да се предположи, че откритата температурна аномалия е свързана с увеличаване на геотермалното топлоотделяне вследствие на издигане на магматичен плюм.

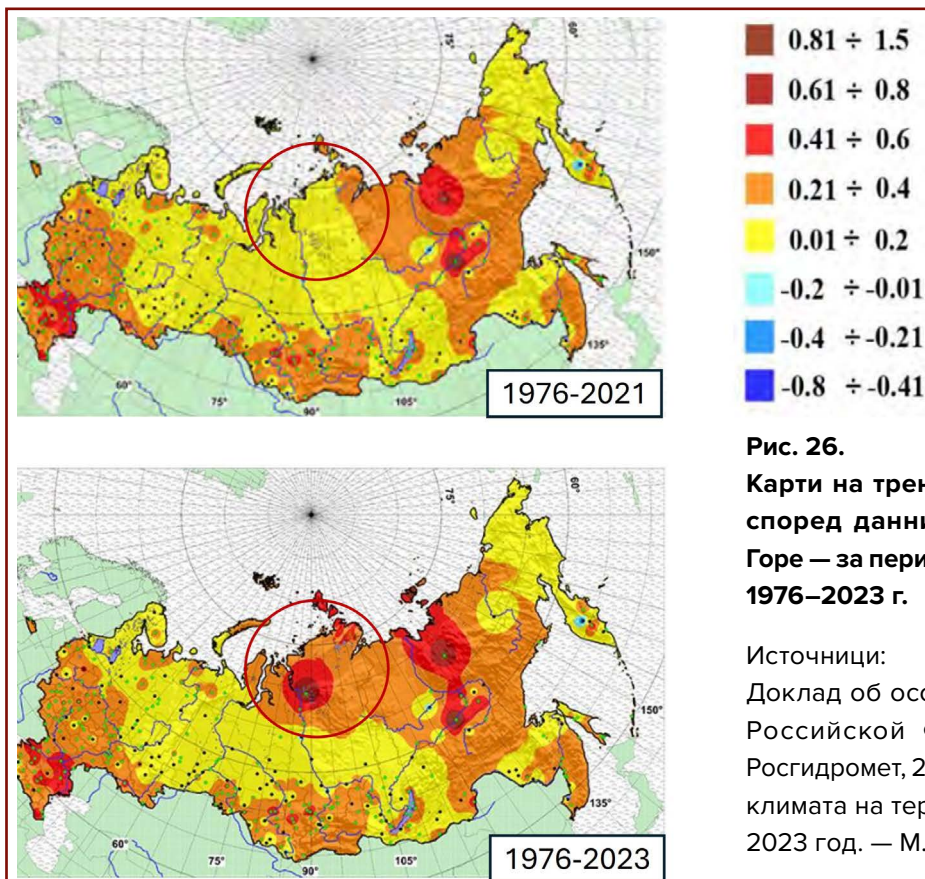


Рис. 26.

Кarti на трендовете на нагриване на почвите според данните от отчетите на Росхидромет. Горe — за периода 1976–2021 г., долy — за периода 1976–2023 г.

Источници:

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. — М.: Росгидромет, 2022. — 110 с. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. — М.: Росгидромет, 2024. — 104 с.

Температура на приземния въздух

Данните от температурните наблюдения за зимния период 2023–2024 г. също отразяват аномалния характер на приземните температури на въздуха (фиг. 27).

Картата на средните температурни аномалии за периода декември 2023 – февруари 2024 г. показва в района на

полуостровите Гидан и Таймир повишение на температурата с 2,0–4,5 °C спрямо нормата.

Като се има предвид северното разположение на тази територия, толкова значително повишение на температурата през зимния период може да бъде свързано с топлинното въздействие на мантийния плън.

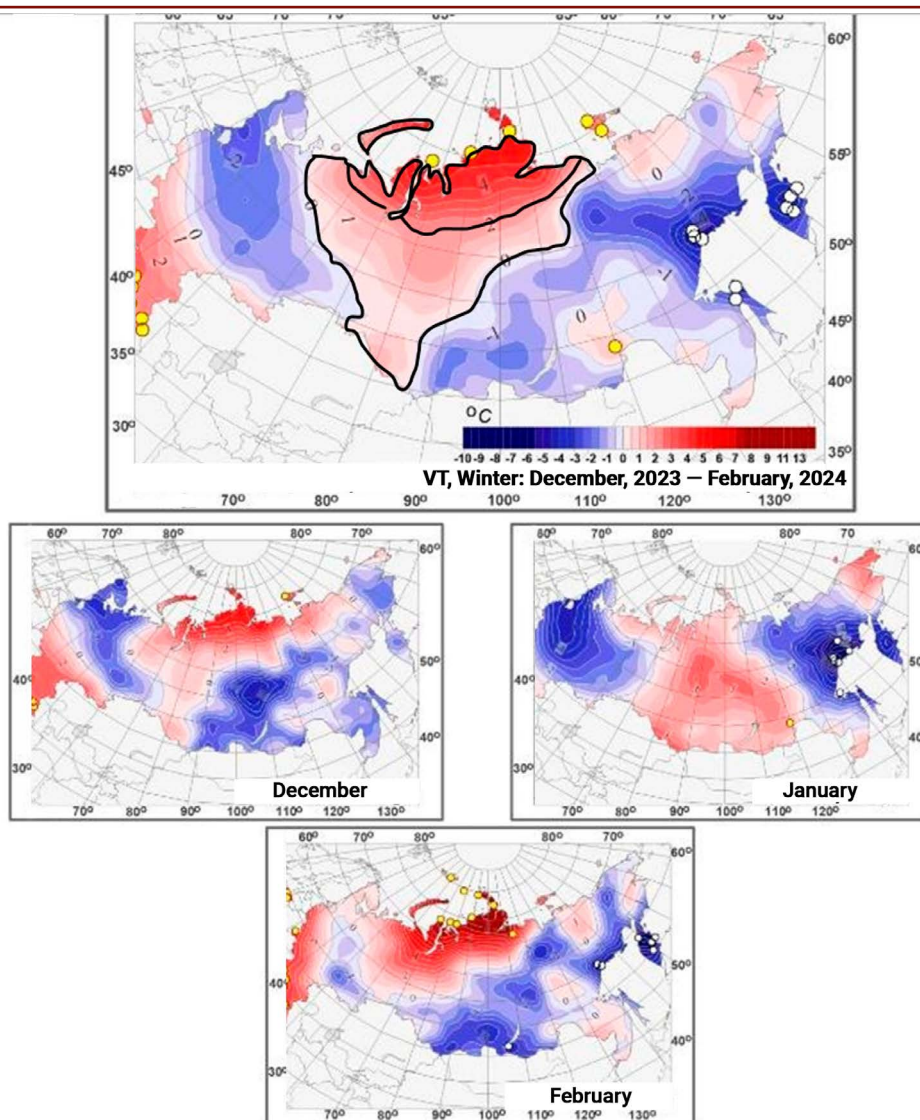


Рис. 27.

Полега на средната сезонна и средните месечни аномалии на температурата на приземния въздух (°C) на територията на Русия през зимата на 2023–2024 г.

Източник: Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. — М.: Росгидромет, 2024.

Отбелязваме, че анализът на картите на средномесечните температури³³ за януари и юли в периода 2001–2022 г. показва устойчива температурна аномалия в изследвания регион (фиг. 28, 29). Така може да се констатира, че тази аномалия

се наблюдава не само през последните 2 години, но и стабилно се присъства през целия 23-годишен период на наблюдения, което потвърждава изводите за влиянието на внедряването на плюма, върху приземните температури.

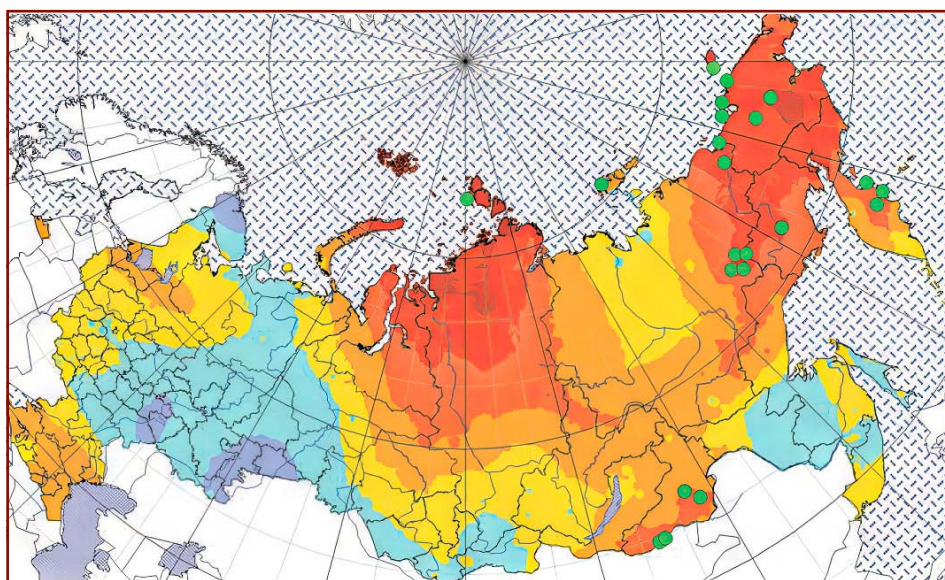
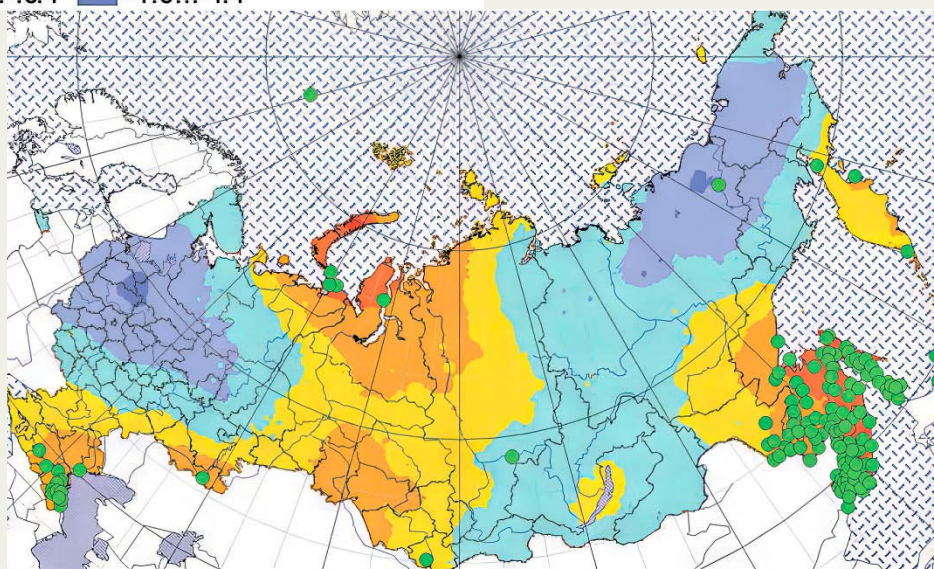


Рис. 28.
Коефициенти на линейния тренд (°C/10 години) на средномесечната температура на въздуха за периода 2001–2022 г. (в границите на Русия до февруари 2022 г.) — януари.

Источник: Шерстюков Б. Г. Глобальное потепление и его возможные причины // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 7–37. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>

Рис. 29.
Коефициенти на линейния тренд (°C/10 години) на средномесечната температура на въздуха в Москва за периода 2001–2022 г. (в границите на Русия до февруари 2022 г.) — юли.

Источник: Шерстюков Б. Г. Глобальное потепление и его возможные причины // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 7–37. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>



Legend for Figure 29:
 >=2.0 (red), 1.0...1.4 (orange), 0.0...0.4 (yellow), -0.5...-0.9 (light blue), -1.5...-1.9 (dark blue)
 1.5...1.9 (orange), 0.5...0.9 (yellow), -0.0...-0.4 (light blue), -1.0...-1.4 (dark blue)

³³ 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>

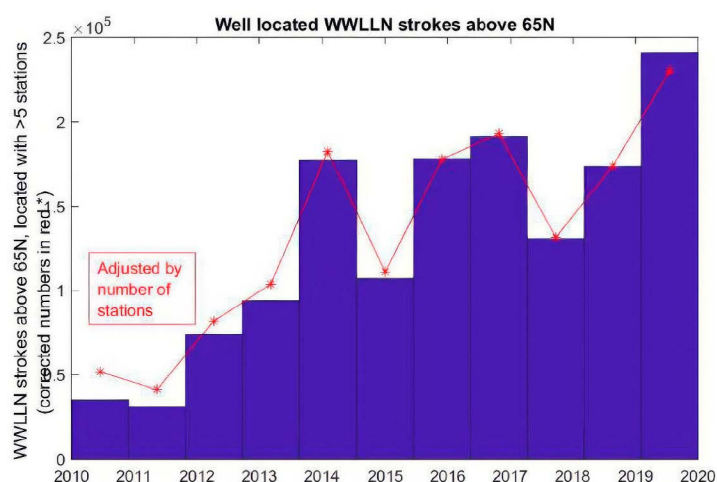
Увеличаване на броя на мълниите

Научната общност изразява загриженост относно нарастването на броя на гръмотевичните бури и ударите на мълнии в Арктика.

Броят на ударите на мълнии в Арктика на ширина над 65° с. ш. се е утроил в периода 2010–2020 г.³⁴ (фиг. 30). Особеността на този процес е, че по-голямата част от тези удари на мълнии са концентрирани в района на

Северен Сибир, докато в северните части на Канада и Гренландия практически липсват (фиг. 31, 32).

Мълниите се придвижват към Северния полюс, като през август 2019 г. широко се съобщаваше, че няколко удара на мълнии са били регистрирани само на няколко километра от Северния полюс³⁵.



Фиг. 30.

Коректно регистрирани мълниеразряди от WWLLN на географски ширини над 65°N (отбелязани в синьо), а червената линия на графиката показва корекция, основана на общия брой станции на WWLLN. WWLLN – Световна мрежа за локация на мълнии (World Wide Lightning Location Network).

Източник: 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>

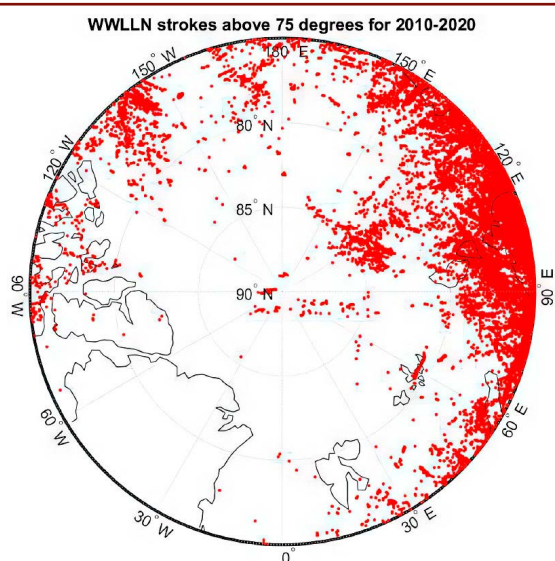


Рис. 31.

Глобално разпределение на ударите на мълнии според данните на WWLLN през юни, юли и август за периода 2010–2020 г. на ширина над 75° с. ш. WWLLN – Световна мрежа за локализиране на мълнии (World Wide Lightning Location Network).

Източник: 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>

³⁴Holzworth, 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>

³⁵Samenow, 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/>

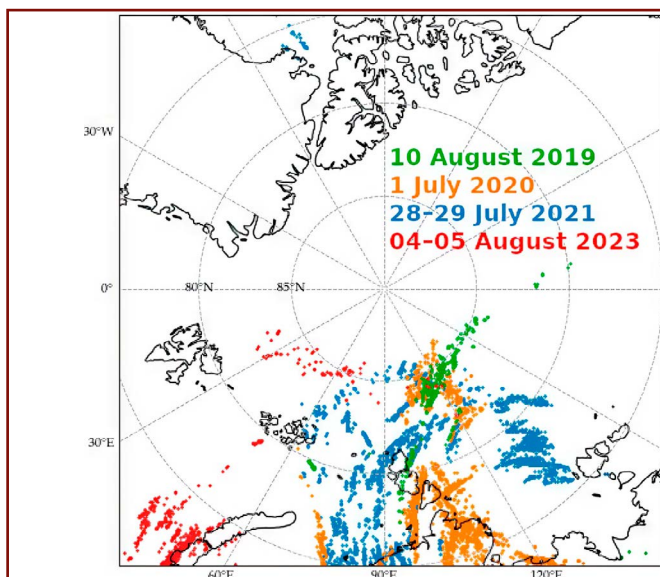


Рис. 32.

Местоположения на мълнии, засечени от WWLLN по време на гръмотевични бури в периода 2019–2023 г. Зелено — 2019 г., оранжево — 2020 г., синьо — 2021 г., червено — 2023 г.

Източник: Popykina, Alena, Nikolay Ilin, Maria Shatalina, Colin Price, Fedor Sarafanov, Andrey Terentev, and Andrey Kurkin. (2024). Thunderstorms near the North Pole. Atmosphere 15, no. 3: 310.
<https://doi.org/10.3390/atmos15030310>

Повечето мълнии в полярните региони (на север от 80° с. ш.) всяко лято биват предизвиквани и се случват само в няколко интензивни гръмотевични дни. Въпреки това, тези гръмотевични бури се превърнаха в нова характеристика на региона, тъй като в предходните години те са били изключително редки. Причината за тази фиксирана локация през последните няколко години е екстремната лятна жегата, наблюдавана в северната част на Сибир, с температури, достигащи 35 °C през летните месеци. Освен това се предполага, че увеличаването на общата йонизация на атмосферата в този регион вследствие на внедряването на магматичния плюм също е важен фактор за нарастването на броя на мълниите. Това се случва в резултат на преобразуването на топлинната енергия в електрическа чрез ефекта на Юткин по време на вътрешномантийни взривове, които се случват при контакт на потоци магма с различна температура.

В резултат от недрата се освобождава огромно количество енергия, което води до увеличаване на статичното напрежение на повърхността на почвения слой, промяна на повърхностния потенциал, повишаване на йонизацията на въздуха и, като следствие — увеличаване на броя на мълниите.

Отделят се също и значителни обеми газове през пукнатините в земната кора. Това може да влияе както върху формирането на облаци, така и върху локалните метеорологични условия. Внедряването на магма е ключов фактор за нагряването на повърхността, увеличаването на влажността и възникването на топлинни аномалии, които водят до образуване на гръмотевични облаци и мълнии.

Тъй като за възникването на гръмотевични бури и мълнии е необходимо съчетание на студен въздух, топъл въздух и конвективна нестабилност, разположението на Сибирския мантиен плюм създава оптимални условия за тяхното формиране.

Изтъняване на озоновия слой

Магматичната активност в недрата е съпроводена с отделянето на значително количество вулканични газове, сред които водород, метан и въглероден диоксид. Според изследванията на В. Л. Сывороткин³⁶, водородните емисии водят до разрушаване на озоновия слой. Тъй като издигането на магмата има пулсационен характер, дегазацията и последващото разрушаване на озоновия слой също ще се проявяват спорадично, т.е. епизодично.

Аномалии в озоновия слой се наблюдават над северната част на Сибир от 1997–1998 г., тоест след изместването на земното ядро в посока към полуостров Таймир. Епизоди на изтъняване

на озоновия слой са регистрирани през 2011, 2016 и 2020 г.³⁷ Максималният дефицит на съдържанието на озон е отчетен през 2016 г.³⁸ В края на януари 2016 г. (за първи път от началото на наблюденията през 1973 г.) над северната част на Урал и Сибир е регистрирана озонова аномалия с общо съдържание на озон 190–200 е.Д., което е с 40–45 % по-малко от средните многогодишни стойности. Продължителността на това явление е достигнала до 1 седмица (фиг. 33).

Значително намаление на общото съдържание на озон също беше регистрирано с помощта на инструмента OMI, инсталиран на сателита AURA (САЩ) (фиг. 34).

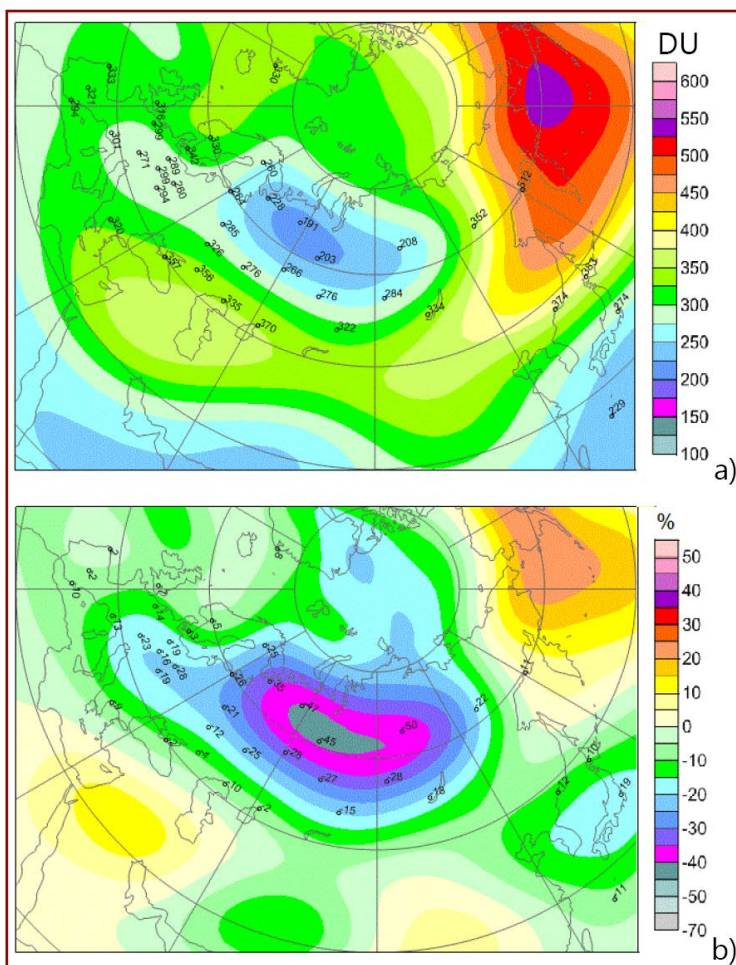


Рис. 33.

Общо съдържание на озон (а) и неговите отклонения от нормата (б) на 28 януари 2016 г. според сателитните данни на WOUDC [<http://woudc.org/>]. Числата на картата представляват измервания на общото съдържание на озон от станции на озонометричната мрежа.

Източник: Никифорова М. П., Варгин П. Н., Звягинцев А. М., Иванова Н. С., Кузнецова И. Н., Лукьянов А. Н. (2016). Озоновая мини-дыра над Северным Уралом и Сибирью. Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, № 360, с. 168–180. В материалах Гидрометеорологической конференции, 9–10 февраля, Том 4, с. 91–96. Воронеж: Научно-исследовательские публикации.

³⁶Сывороткин, В.Л. (2018) 'Глубинная дегазация в полярных регионах планеты и изменение климата', Актуальные проблемы нефти и газа, 23. doi:[10.29222/impng.2078-5712.2018-23.art48](https://doi.org/10.29222/impng.2078-5712.2018-23.art48)

³⁷Xia, 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>

³⁸Никифорова, М.П. (2017) 'Экстремально низкие значения общего содержания озона над северным Уралом и Сибирью в конце января 2016 года', Атмосфера и океан. Оптика, 30(1). doi:[10.15372/AOO20170102](https://doi.org/10.15372/AOO20170102)

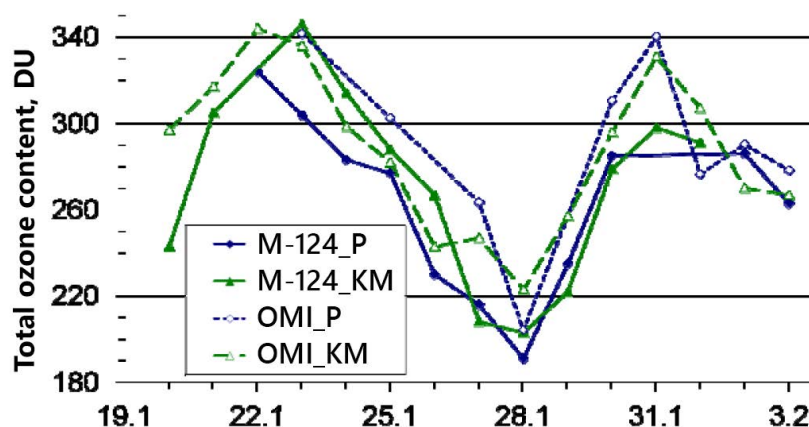


Рис. 34.

Общо съдържание на озон според измервания с помощта на наземния озонотетър М-124 и инструмента ОМІ на сателита АURA (САЩ) на станциите Печора (П) и Ханти-Мансийск (ХМ) в периода 20 януари – 3 февруари 2016 г.

Източник: Никифорова М. П., Варгин П. Н., Звягинцев А. М., Иванова Н. С., Кузнецова И. Н., Лукьянов А. Н. (2016). Озоновая мини-дыра над Северным Уралом и Сибирью. Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, № 360, с. 168–180. В материалах Гидрометеорологической конференции, 9–10 февраля, Том 4, с. 91–96. Воронеж: Научно-исследовательские публикации.

Важно е да се отбележи, че средният многогодишен сезонен ход на общото съдържание на озон в извънтропичните ширини на Северното полукълбо има минимум през септември и максимум през март-април.

Но през 2016 г. деградацията на озона се е формирала нетипично рано – още през януари 2016 г., като общото съдържание на

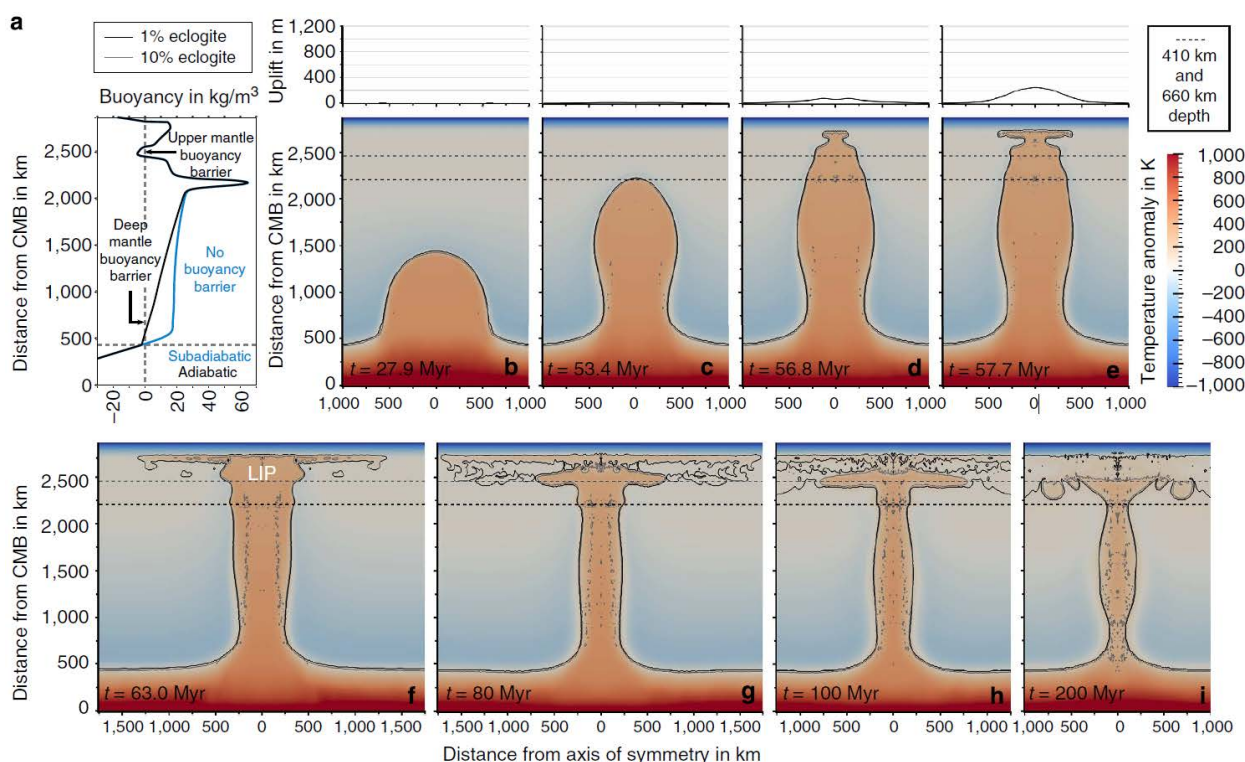
озон през този месец е било минималното за цялата история на инструменталните наблюдения.

По този начин, изтъняването на озоновия слой над сибирския регион може да бъде допълнителен индикатор за освобождаването на газове през разломи в резултат на издигането на магматичния плюм към повърхността.

Структура, възможни размери и локализация на магматичния плюм, въз основа на публични данни и данни от наблюдения

Структурата на плюма може условно да се сравни с гъба. Той има така наречената “опашка”, която издига разтопения материал от границата между ядрото и мантията на планетата. Горната част на плюма, която се внедрява в процеса на издигането, това е

“главата” на плюма. Когато плюмът достигне границата (основата) на литосферата и се сблъска с огнеупорния слой от втвърдени скали, главата на плюма започва да се разпростира под нея, като шапка на гъба (виж фигура 35).



Фигура 35.

На фигурата е изобразен модел на еволюцията на магматичен плюм, подобен на този, който е формирал Сибирските трапове преди 250 милиона години.

Графиката отляво (а) показва как магмата се издига през различните слоеве на мантията на Земята. Основната част на изображението (b-i) представлява своеобразна „времева лента“, която показва етапите на развитие на плюма. Първоначално се формира „стълб“ от гореща магма, който се издига от основата на мантията. Постепенно този стълб достига горните

слоеве на мантията. В горната част той се разширява, формирайки „гъбовидна“ шапка. С времето плюмът става по-тънък и започва да се разпада на отделни части. Цветовете на схемата показват температурата: червените и оранжевите участъци са най-горещите, а сините са по-студените.

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

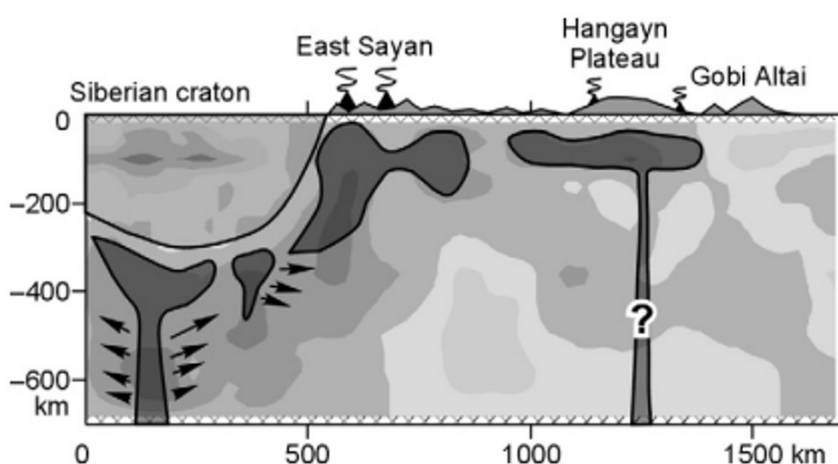
<https://doi.org/10.1038/ncomms7960>

Според публичните данни, докато плюмът се приближава до литосферата, радиусът му се удвоява при разпростирането, а скоростта рязко намалява³⁹. Горещият материал, който постъпва от “опашката”, натиска и пробива литосферата, създавайки пукнатини, и там, където има слаби места, се формират вторични плюмове – горни магматични камери, които вече са вътре в земната кора. Подобни камери има, например в Йелоустоун, Кампи Флегрей и други супервулкани. Това е точното място, където може да се случи пробив на кората и масово изригване на магма на повърхността.

Важно е да се отбележи, че според съществуващите представи, издигането на плюма до повърхността може да отнеме десетки милиони години. Обаче тези данни се базират на теоретични изчисления, докато практическите наблюдения на съвременната ескалация на геодинамичните процеси говорят за обратното. Наблюденията на процесите в Сибир показват, че издигането на плюма може да се случи в рамките на няколко десетилетия.

Изхождайки от публичните данни⁴⁰ е известно, че аналогичният магматичен суперплюм, който е причинил множество изригвания на базалти в Евразия (в Сибир) на границата между пермския и триасовия период (преди 250 милиона години), е имал следните размери: 4000 км от запад на изток и 3000 км от север на юг. Предполага се, че главата на плюма е имала диаметър от 1000 до 2000 км.

Известно е, че Западносибирската плоча е по-млада и по-тънка, с дебелина 35–40 км. Източносибирската платформа обратното — е стара и дебела, по-студена, с дебелина 40–45 км. Тя се нарича Сибирски кратон. Според данни от сеизмотомографията учените предполагат⁴¹, че под южния край на Източносибирската платформа в момента се наблюдават малки магматични огнища, които текат под Сибирския кратон (фигура 36), поради факта, че плочата е по-студена.



Фигура 36.

Схематично изображение на обтичането на Сибирския кратон от малки магматични огнища (отляво са показани със стрелки).

Източник: Кулаков И. Ю. Структура верхней мантии под Южной Сибирью и Монголией по данным региональной сейсмической томографии // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 3. С. 187–196.

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

³⁹Ernst, 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.

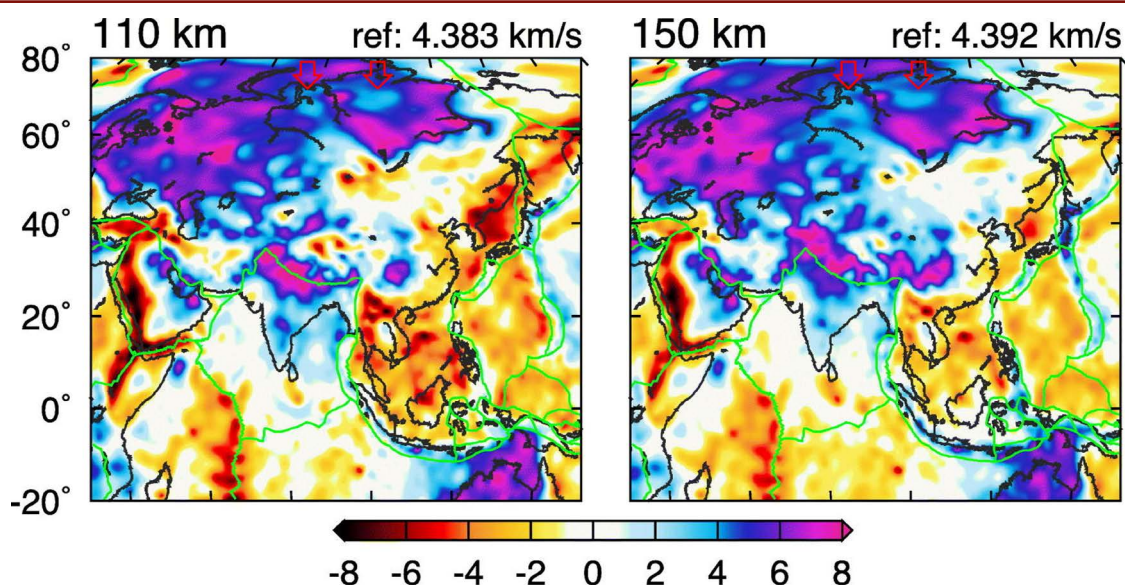
⁴⁰Львова, Е.В. (2010) 'Тектоника мантийных плюмов: эволюция основных представлений', Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, 5, сс. 21-29.

⁴¹Кулаков, И.Ю. (2008) 'Структура верхней мантии под Южной Сибирью и Монголией по данным региональной сейсмической томографии', Геология и геофизика, 49(3), сс. 187-196.
<https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.06.012>

Според хипотезата, в момента съвременният Сибирски плюм се разпростира под основата на Източносибирската платформа и частично под Западносибирската плоча. Разпростирането може да е налице, според публичните данни, на дълбочина от 50–60 км, а “опашката” на плюма вероятно се наблюдава най-ясно на дълбочина от 100 км. Внедряването на вторични плюмове вероятно вече е налице на дълбочина от 40 км.

Някои сеизмотомографски модели показват аномалии на намалени скорости⁴²

(по-течна среда) на дълбочина от 110–150 км, което съответства на по-течна среда в недрата южно от полуостровите Гидан и Таймир (фигура 37). Това се вижда на картите на скоростите според данни от статия, публикувана през август 2024 година. Тези аномалии вероятно могат да се асоциират с два притока на магматично вещество, тоест опашките на плюма (фигура 38). Ако този модел е верен, тогава диаметърът на всяка опашка, която се издига под Източносибирския кратон, е около 600–700 км.

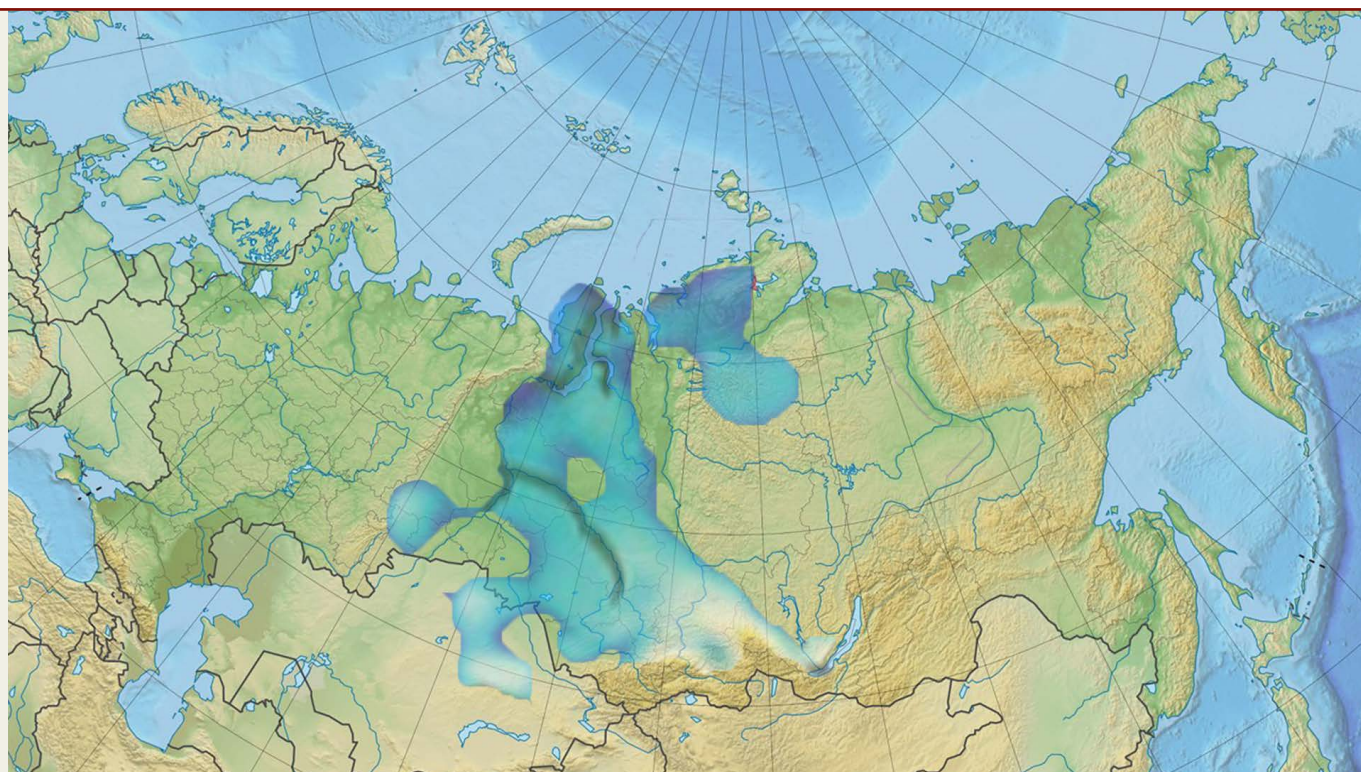


Фиг. 37.

На картата лилавите цветове показват бързи скорости на преминаване на акустичната вълна (през твърди скали), а сините – по-бавни скорости (през по-течно, разтопено вещество). Аномалиите на намалени скорости на сеизмичните вълни, които съответстват на зони с по-течно вещество в мантията, са отбелязани с две червени стрелки.

Източник: 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. 255. P. 104841. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104595>

⁴²Dou, 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>

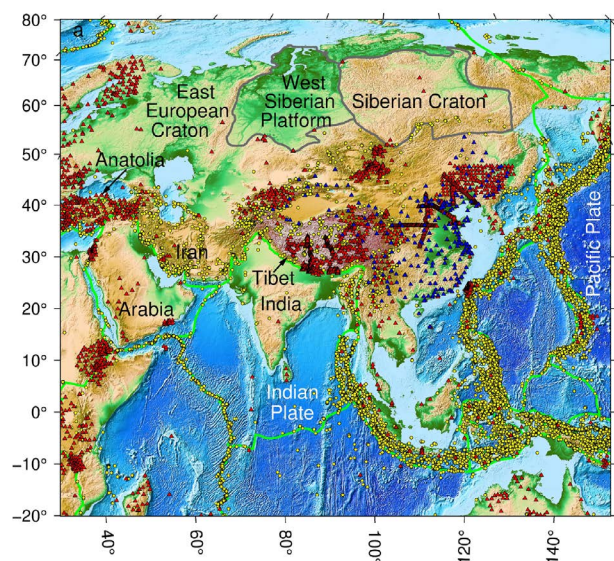


Фиг. 38.

На физическата карта на Русия са нанесени и адаптирани аномалии на намалени сеизмични скорости, съгласно данни от Dou et al., 2024

Важно също да се отбележи, че в представения в статията сеизмотографски анализ (Dou et al., 2024) за териториите на Сибир са използвани данни от по-малко от 10 сеизмични датчика (фиг. 39), които са разположени по границите на плочите и практически липсват в Западен и Източен

Сибир. В анализа са използвани данни от всички публично достъпни широколентови записи на земетресения от 1994 година до 4 септември 2023 година. За сравнение: на картата с червени триъгълници са отбелязани датчиците, използвани в анализа за Азия, като техният брой се измерва в хиляди.



Фиг. 39.

Разположение на датчиците (червени триъгълници), използвани при сеизмотографския анализ.

Източник: 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>

Още едно изследване, проведено от китайски учени през 2023 година, потвърждава, че в момента под въздействието на магмата под Сибир, земната кора се стопява и изтънява⁴³ (фиг. 40). Този процес прогресира и намалява здравината на плочата. Авторите представят модел на електропроводимостта на мантията за Северна Азия, изграден въз основа на геомагнитни данни. Моделът показва голяма аномалия с висока електропроводимост, която се е намирала в преходната зона на мантията под Сибирските трапове по време на тяхното изригване. Учените интерпретират това като термична аномалия със следи от разтопена материя в района на съществуващата Пермска аномалия (фиг. 41).

Като цяло, сеизмотомографските модели, които изследват дълбочини от 40 до 110 км в района на Източносибирския кратон, показват значително различаващи

се резултати. В същото време в територията на Сибир се наблюдава явен недостиг на сеизмологични данни за създаването на точни модели.

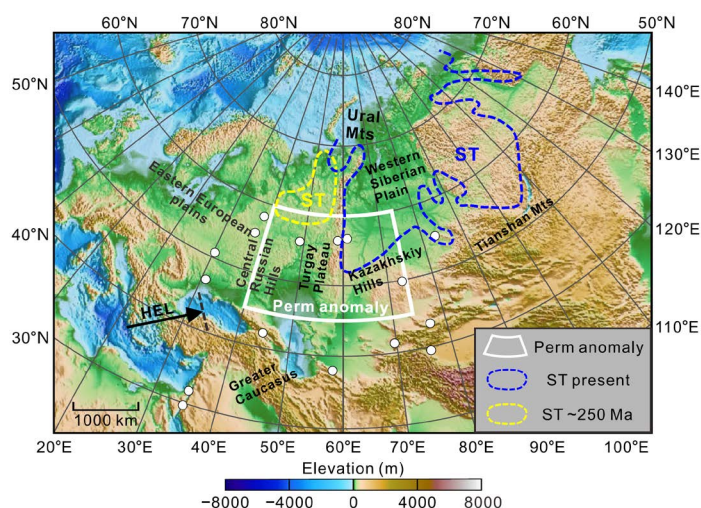
Съвременните томографски модели се създават на базата на сеизмични данни, събирани за дълъг период — около 30 години. От гледна точка на класическите представи за развитието на мантийните плумове, което продължава милиони години, 30-годишният период се счита за изключително кратък. Въпреки това, наличните данни сочат, че именно през този интервал от време в структурата на Сибирския плум са настъпили ключови промени. Тези наблюдения водят до разбирането за необходимостта от преразглеждане на съществуващите представи за скоростта на развитие на мантийните плумове и методите за тяхното изучаване.

Фиг. 40.

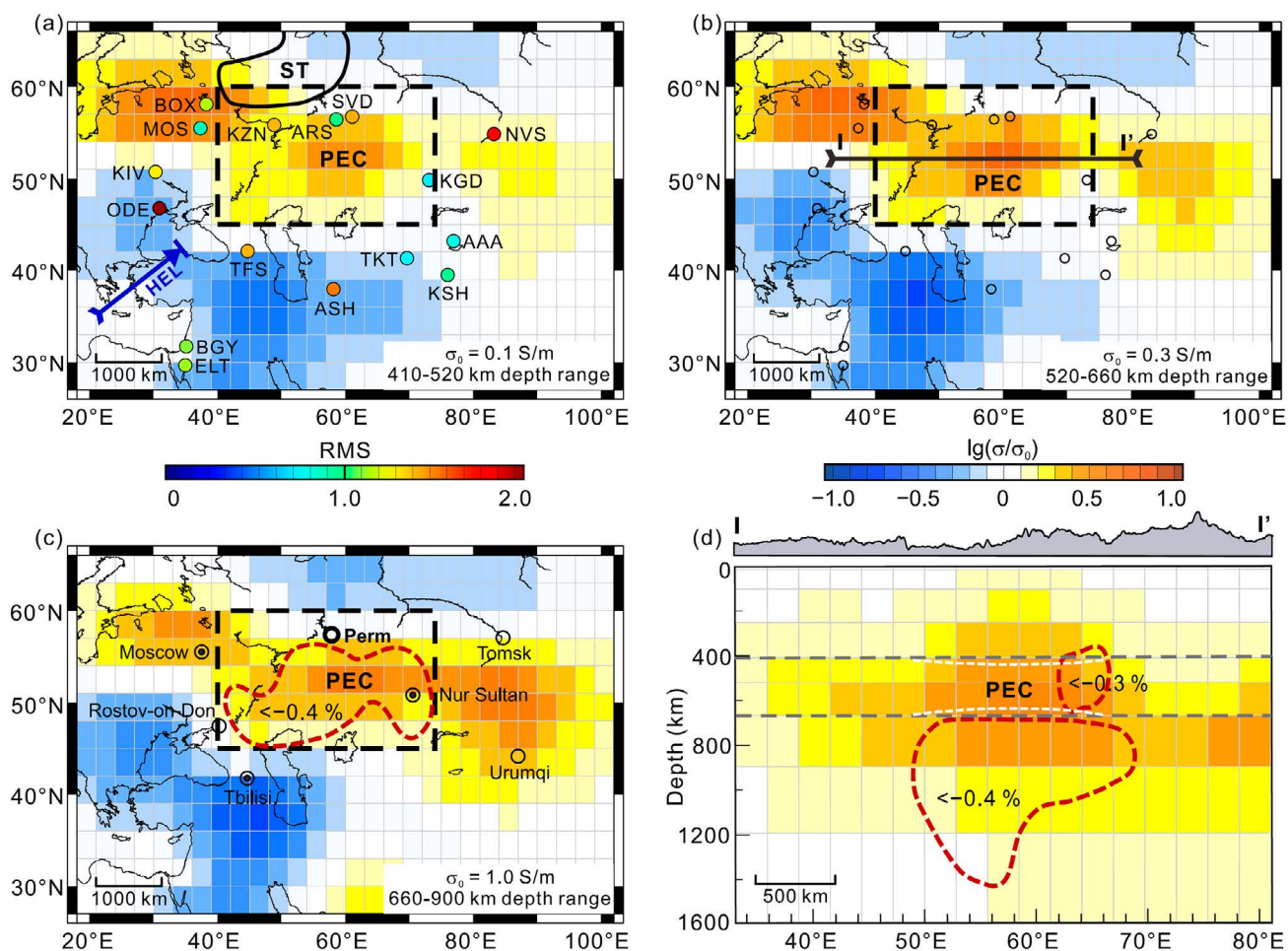
Белите точки обозначават станциите, чиито С-отговори са използвани в това изследване. Диапазонът на Пермската аномалия е показан като зона, очертана с бели линии. Сегашното (синьо) и миналото (жълто) местоположение на Сибирските трапове са обозначени с пунктирни линии.

Източник: 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>



⁴³ 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>



Фиг. 41.

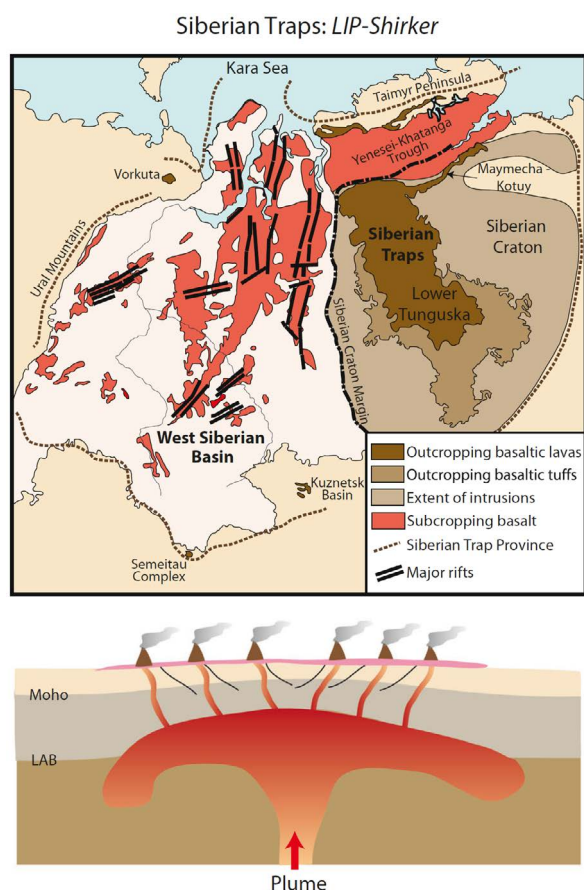
Учени от Дзилинския университет (Jilin University) и Университета Шъдзяджуан Тедо (Shijiazhuang Tiedao University) използваха данни от геомагнитното поле (geomagnetic field data) от 16 станции в Северна Азия, за да изчислят електрическата проводимост на мантията на различни дълбочини. Те откриха забележимо увеличение на проводимостта спрямо средната проводимост по целия свят в областта под Сибирските трапове (жълто-кафяви области на фигурите). Учените установиха, че тези области

на дълбочина от 400 до 900 км са средно с 250 градуса по-горещи от околната мантия. В тези области присъства част от разтопена мантия.

Източник: 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>

Струва си да се отбележи, че предишните изригвания преди 250 милиона години (на границата между пермския и триаския период) са се случили също в този регион.

Епицентърът е бил разположен под Източносибирския кратон (под платото Путорана), а разливанията са се простирали по цял Западен и Източен Сибир (фиг. 42).



Фиг. 42.

Сибирските трапове като пример за голяма магматична провинция.

На картата са отразени изригванията в Западен Сибир (в червено) и траповете в Източен Сибир (в кафяво), които са изригнали преди 250 милиона години. Горещото вещество на мантийния плум се издига и се разтича под границата между литосферата и астеносферата, образувайки структура с формата на гъба. Това е довело до мащабна магматична активност на площ от около 5 милиона km². В резултат на въздействието на плума се е образувала Западносибирската рифтова система, чиято активност се е прекратила след приблизително 10 милиона години през средния триас.

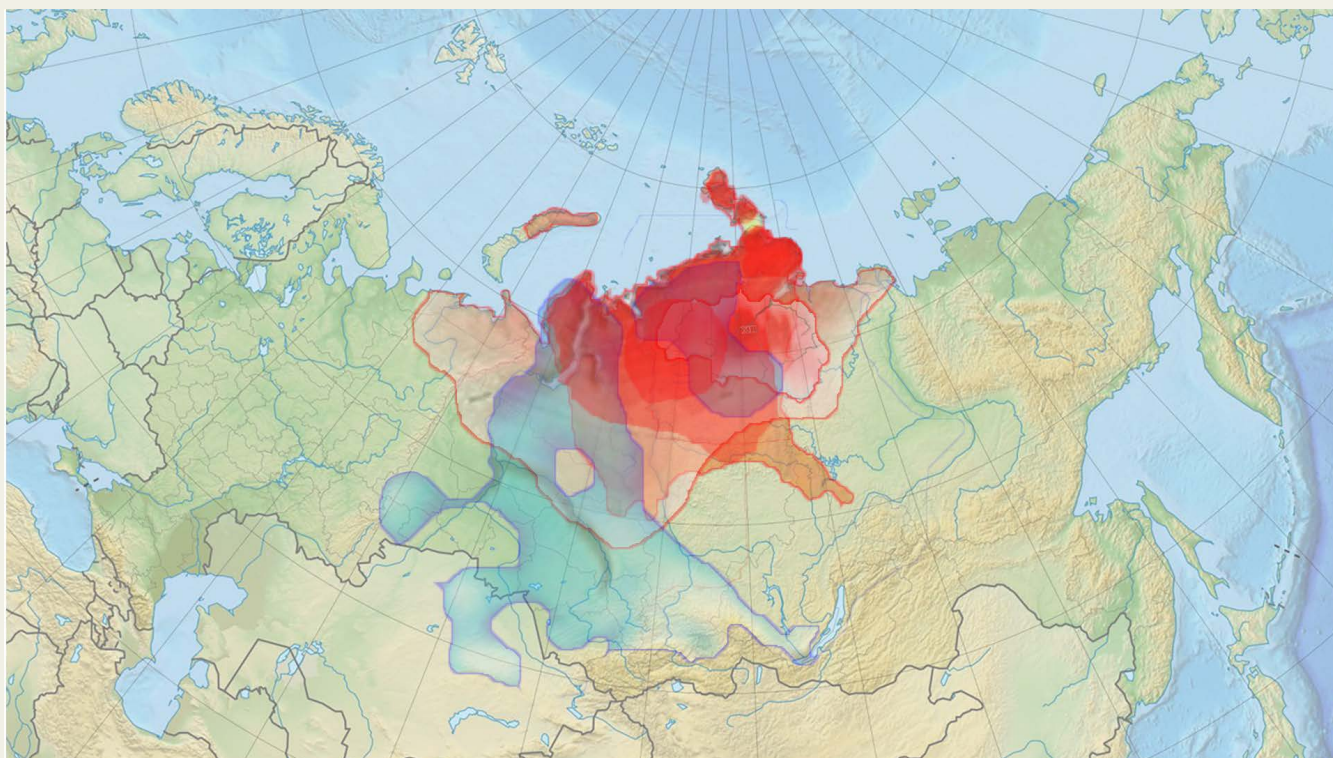
Източник: Koptev, A., Cloetingh, S. Role of Large Igneous Provinces in continental break-up varying from “Shirker” to “Producer”. *Commun Earth Environ* 5, 27 (2024).

<https://doi.org/10.1038/s43247-023-01191-9>

Локализация на магматичния плум

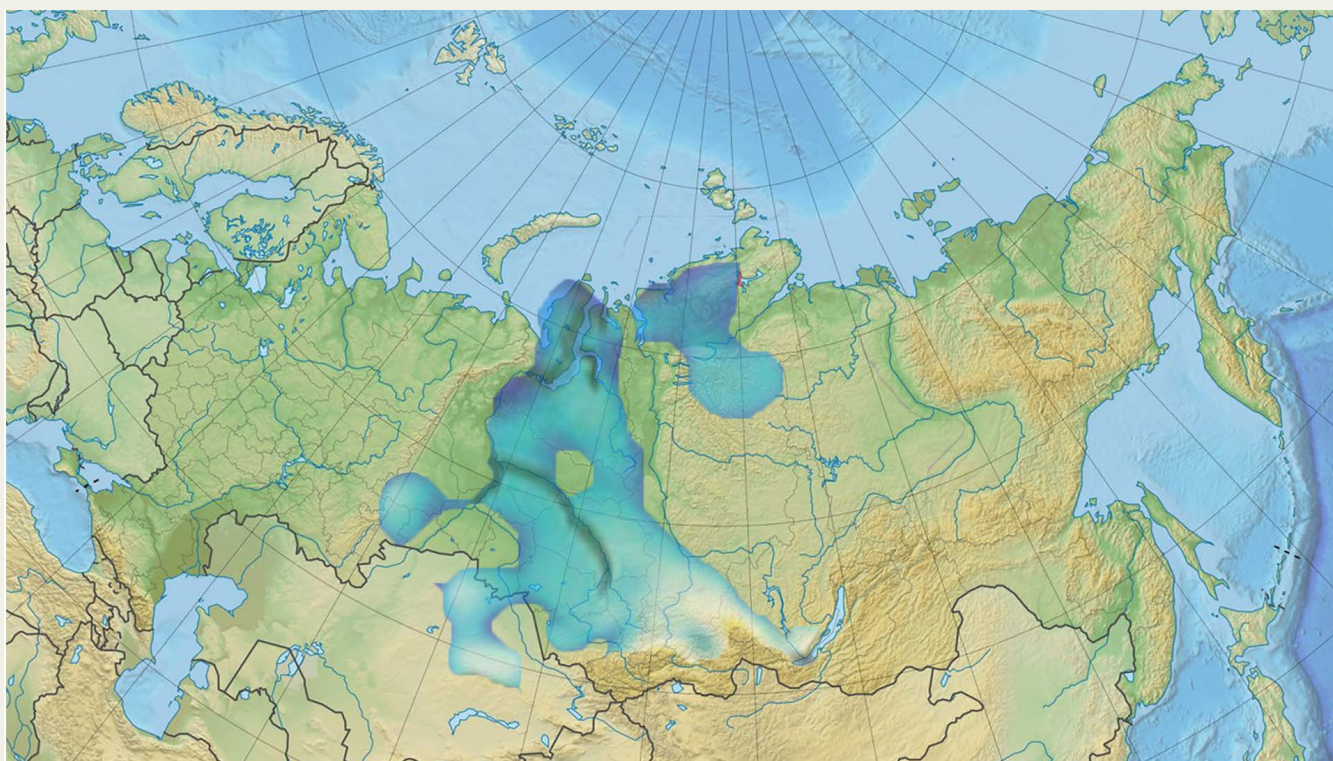
Ако обобщим представения по-горе анализ на данните за температурните аномалии на почвите, дълбочината на разтапяне на вечната замръзналост, повърхностните температури, аномалиите на намалени сеизмични скорости

в мантията и магнитната аномалия, това ще позволи да се определи текущото положение и размерите на плума (фиг. 43).

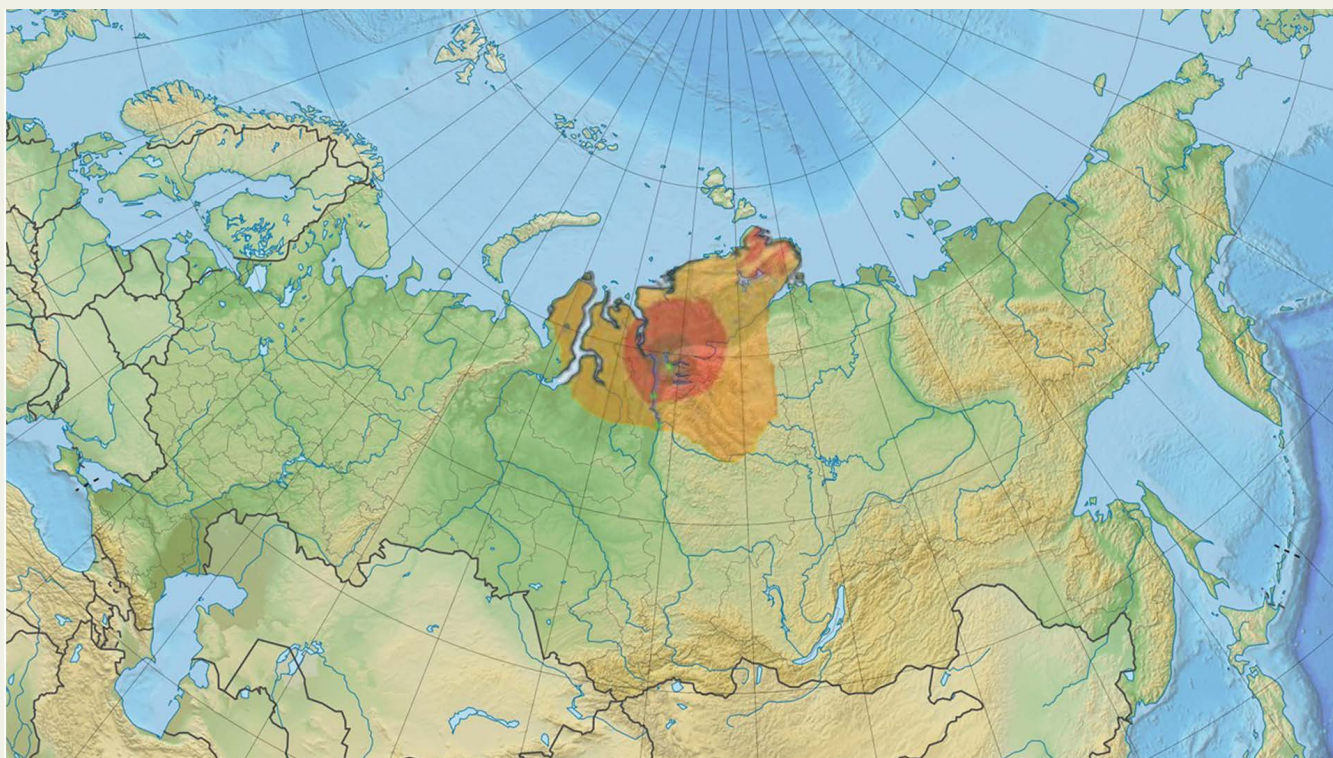


Фиг. 43.

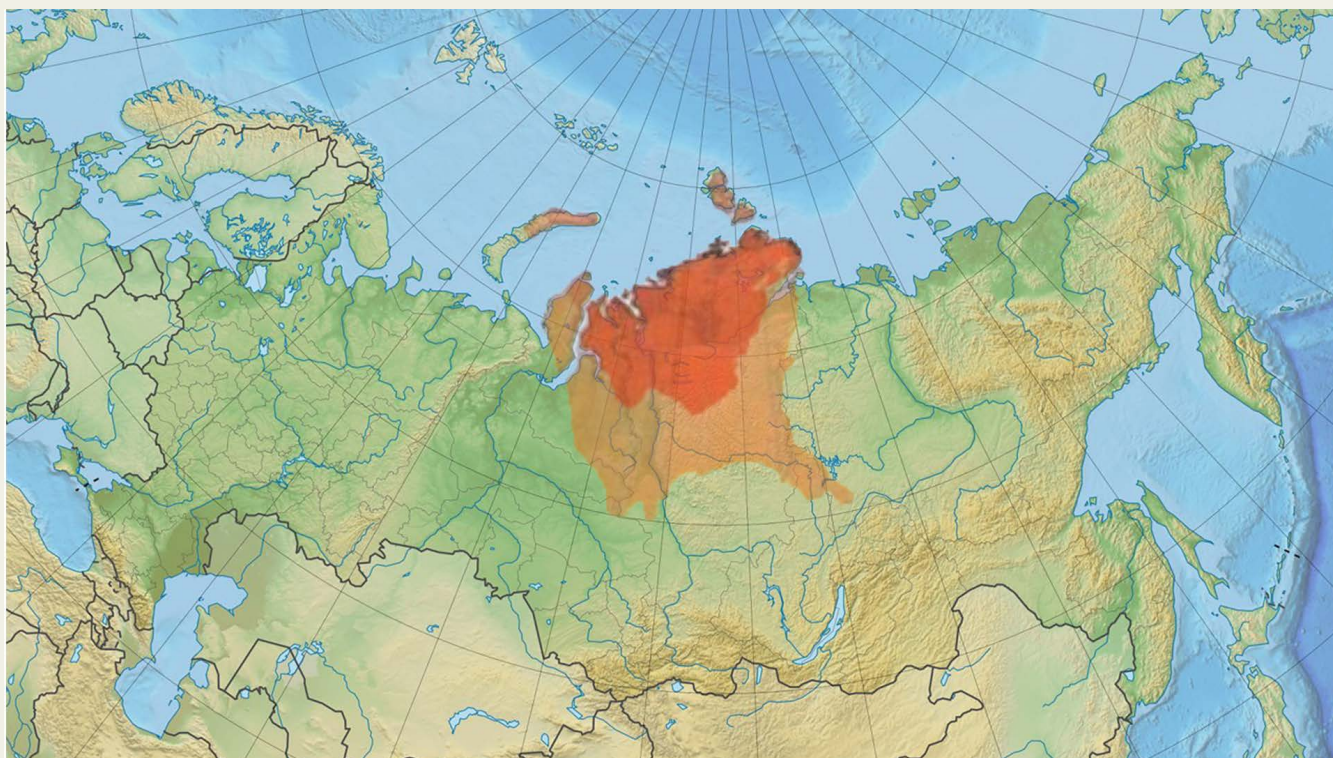
А. Карта с наложени основни аномалии според различни параметри, които са приведени по-долу:



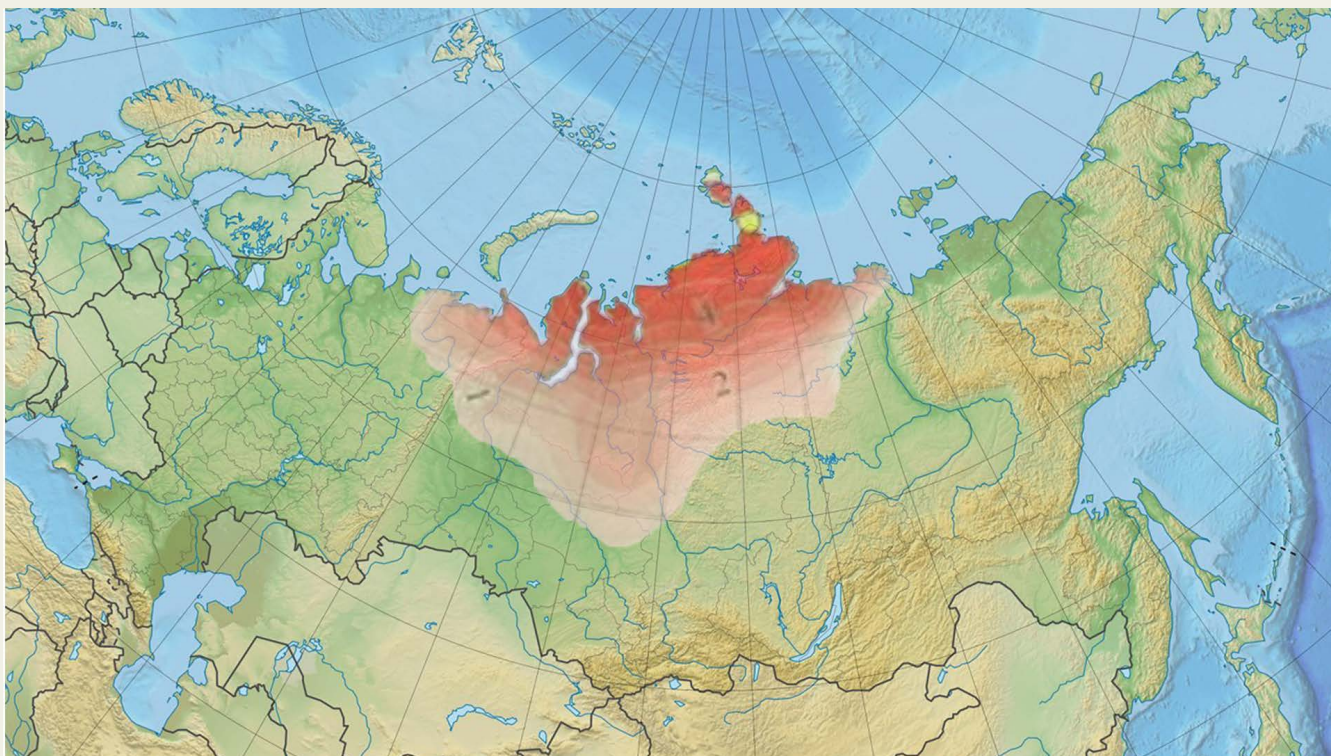
Б. Карта на аномалии с намалени скорости (по-течна материя) на дълбочина 110 км, получени чрез сеизмотомография, според данните на Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J., & Weng, A. (2023).



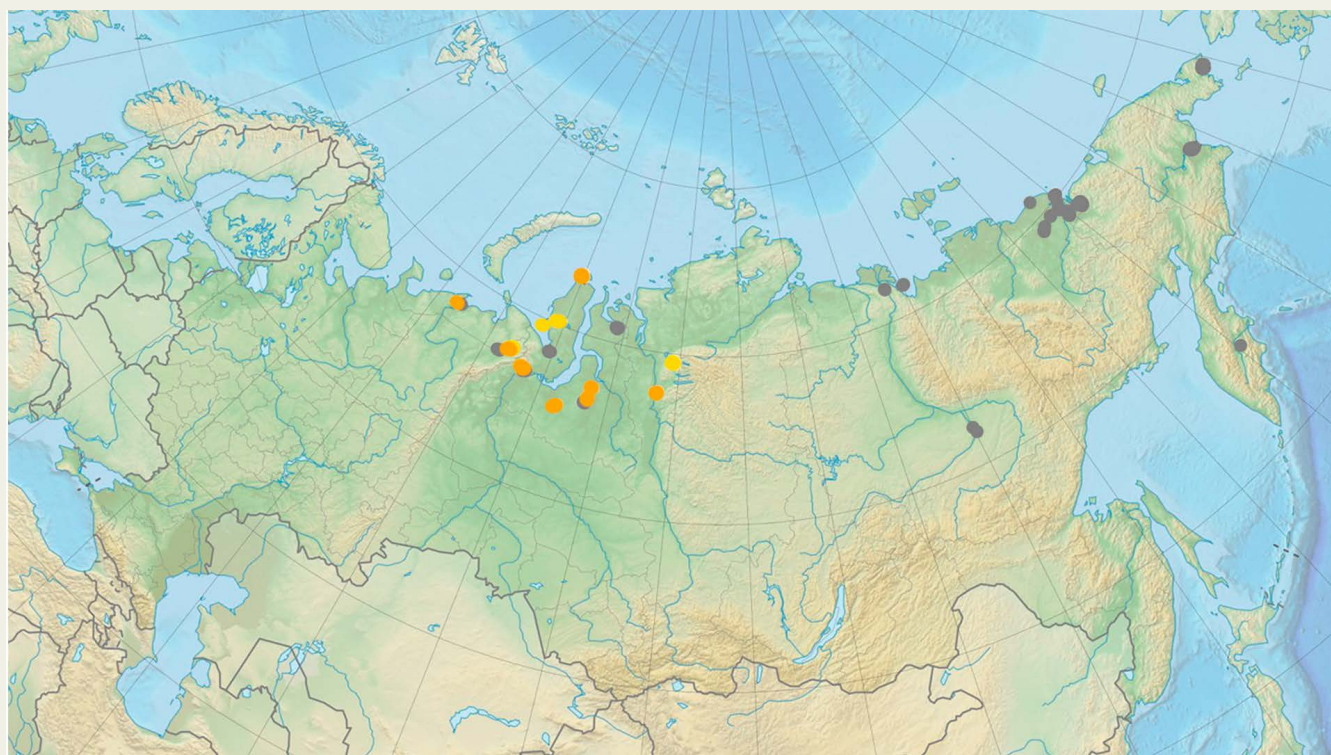
В. Нова аномалия на нагряване на почвата при сравнение на тенденциите за периодите 1976–2021 и 1976–2023 г. според данните на Росхидромет (2021, 2023).



Г. Тенденция на средната месечна температура на въздуха за януари през периода 2001–2021 г., според данните на Шерстюков (2023).



Д. Средна сезонна температура от декември 2023 до февруари 2024 г., според данните на Росхидромет (2024).



Е. Места на увеличаване на дълбочината на сезонното разтапяне на вечно замръзналия слой. Източник на данните: <https://permafrost.su/>

Според хипотезата, възходящата част на плюма се намира южно от полуостровите Гидан и Таймир и има няколко разклонения. Диаметърът на главата на плюма се оценява на 1200–1500 км, а зоната на разтичане на магматичните потоци може да достигне 2500–3000 км. Тази област обхваща тектонските структури на Западносибирската плоча и Източносибирския кратон. В момента главата на плюма въздейства върху основата на Източносибирския кратон, разпространявайки магматични потоци под неговата територия. Този процес вероятно

влие на повишаването на сеизмичната активност в района на крайните части на плочата, например в зоната на Байкал и дори на Урал. Причината за такива аномалии именно в крайните части на плочите е дестабилизацията на плочите вследствие на омекване на подлежащата астеносфера и незначително издигане на централната част на Сибирския блок от земната кора, тоест тектонските структури на Западносибирската плоча и Източносибирския кратон заедно с тектонската структура на Верхояно-Чукотската нагъната система.

Ръстът на сеизмичната активност като признак за дестабилизация на тектоничните плочи вследствие

Методиката за анализ на сеизмичната активност включва изтегляне и специална обработка на данни, получени от уебсайта на Международния сеизмологичен център (International Seismological Centre — ISC). Тъй като данните съдържат информация от различни източници, включително различни държави и изследователски институти, както и различни типове магнитуди (Mw, Ms, Mb, ML, MD и др.), беше приложен специален алгоритъм за обработка на данни, за да се избере най-подходящият тип магнитуд от различните източници (виж Приложение 1). Основната идея на алгоритъма за обработка беше, да се избере медианната стойност сред най-разпространените типове магнитуди за всяко от събитията, тъй като за всяко събитие различните източници предоставят различни типове и стойности на магнитудите в базата данни на ISC. Такава обработка обикновено води до леко намаляване на стойността на магнитуда в сравнение с максималната

предадена стойност, но, както показва опитът, медианният алгоритъм предоставя адекватно поведение на Закона на Гутенберг-Рихтер и други закономерности, както и добре съответства с данните от други сеизмологични бази, като IRIS и USGS.

Получените чрез алгоритъма данни бяха филтрирани според типовете събития в базата данни на ISC (виж Приложение 1), за да бъдат изключени събития, причинени от човешка дейност, свързана с минното производство: взривове, възможни взривове, минни удари и така нататък. Също така, тъй като на територията на Русия има много минни предприятия, данните от базата на ISC бяха съпоставени с данните от Единната геофизична служба на РАН⁴⁴ към януари 2025 г., в която са посочени всички известни взривове и минни удари на територията на Русия. Тези събития също бяха изключени, за да се гарантира, че в получените данни не са останали събития, свързани с взривове.

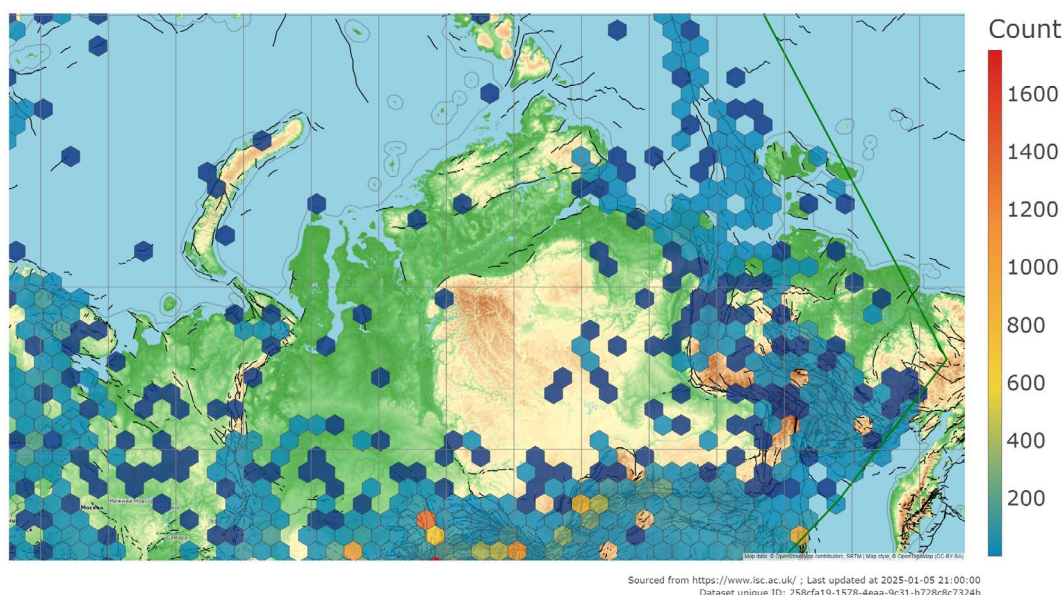
⁴⁴ Федеральный исследовательский центр Единая геофизическая служба Российской академии наук <http://www.ceme.gsr.ru/zr/contents.html>

Нека разгледаме резултатите от анализа на данните в региона на издигането на магматичния плюм и крайните части на големите тектонски блокове, върху които той оказва пряко влияние. Тъй като Сибирският кратон се счита за относително стабилна асейсмична платформа, появата дори на малък брой земетресения в неговите граници ще се счита за аномалия.

Фиг. 44 Плътност на разпределението на земетресенията на територията на Русия. В района на Сибир най-голямото натрупване

на земетресения естествено се наблюдава в нагънатите области: Верхоянския хребет на изток, по хребета Гакел на север, Уралските планини на запад и в Алтай-Саянския регион на юг. Единични събития се срещат и на територията на самия Сибир: няколко земетресения с магнитуд около 4,0 са регистрирани южно от полуостров Таймир. Нека разгледаме по-подробно динамиката на земетресенията в локалните участъци в областта на Сибирския плюм и съседните региони.

M3+ Earthquakes Density on the Territory of Siberia



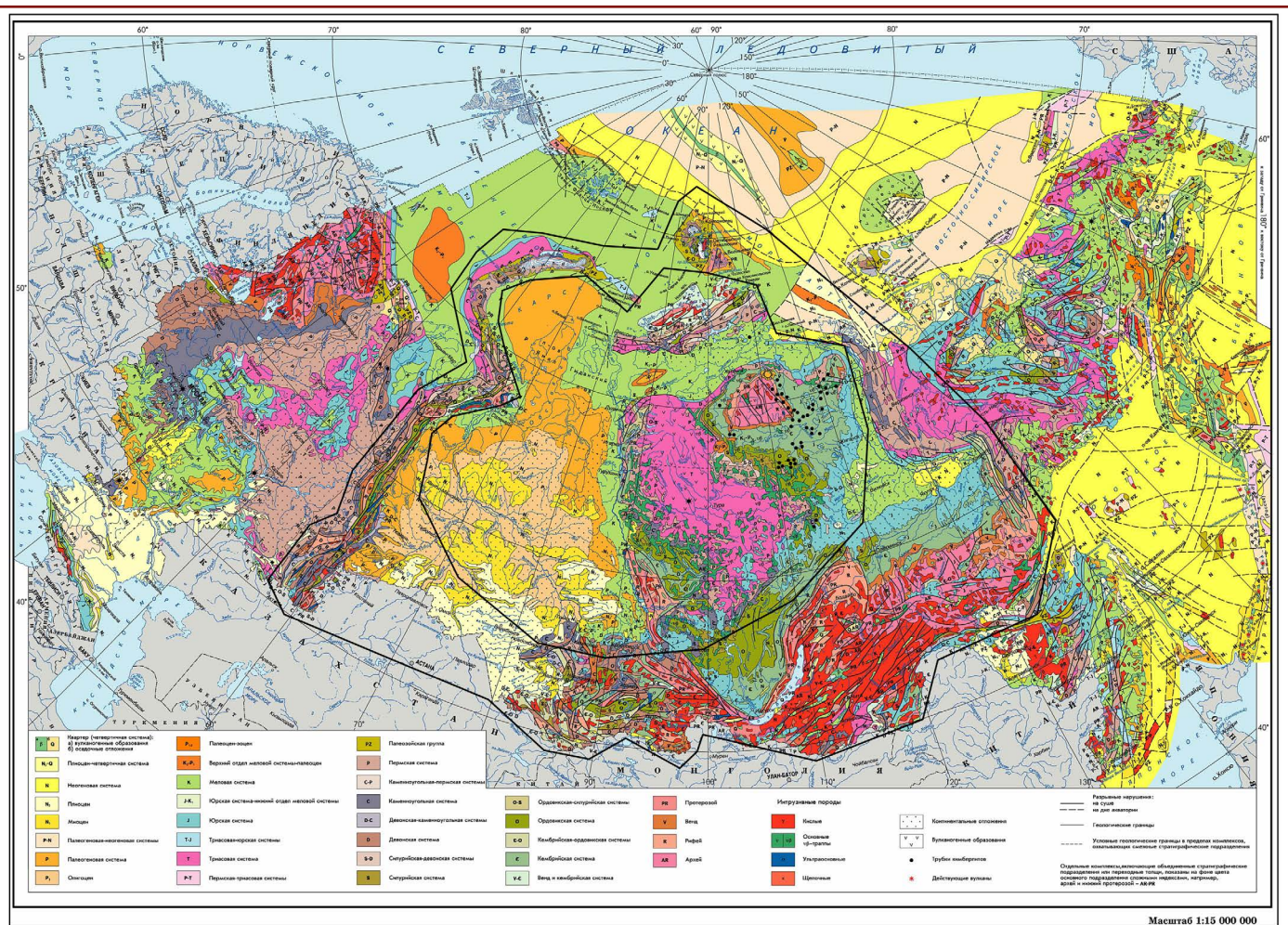
Фиг. 44.

Гъстота на земетресения с магнитуд от 3,0 на територията на Сибир от 1990 до 2024 г.

База данни: ISC

Според геологичните структури са определени области, където мантийният плюм може да окаже различно влияние (фиг. 45). Беше локализирана областта на самия плюм, където въздействието може да бъде свързано с проникването и налягането на магма и флуидна фаза (магматични газове). В крайните

части на Източносибирската платформа и Западносибирската плоча е по-вероятно влиянието на плюма върху сеизмичността чрез дестабилизиране на положението на плътните блокове от земната кора.



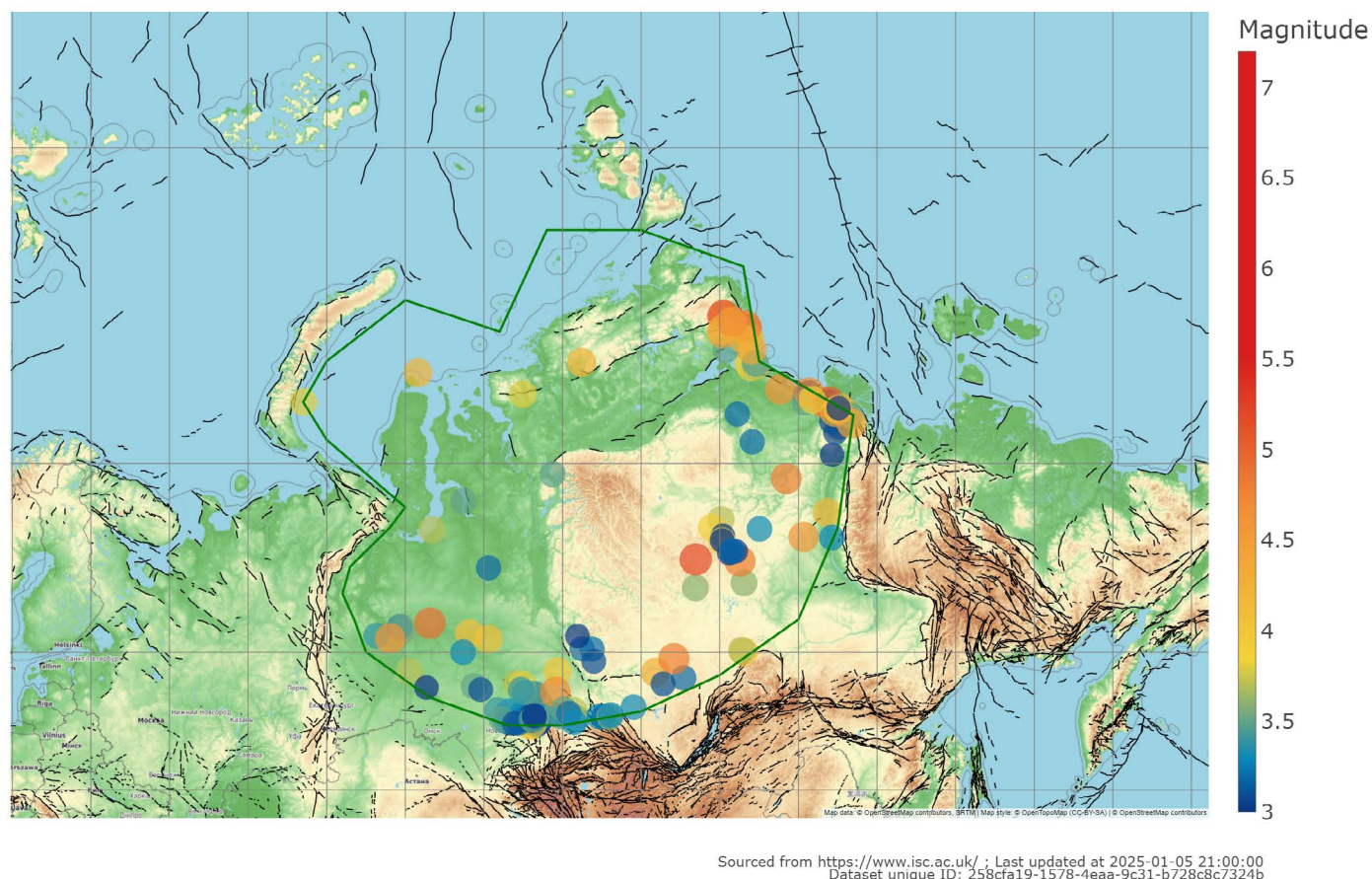
Фиг. 45.

Ограден е по геологични структури полигон в областта на проникване и разпространение на Сибирския плюм (вътрешен черен полигон) за анализ на сеизмичността. Външният черен полигон съответства на областта на крайните ефекти от натиска на Сибирския плюм върху плочите.

И така, нека разгледаме земетресенията в централната област на Сибирския плюм. На фиг. 46 е представена карта на разположението на земетресения с магнитуд от 3,0 и повече. Земетресенията се регистрират в южната част на полуостров Таймир. Особено тревожно е, че наскоро, през август и септември 2024 г., в този регион са се случили две земетресения с магнитуд

съответно 3,5 и 3,8. Земетресения с подобни магнитуд са регистрирани и в южната част на полуостров Гидан (М 3,5) и на полуостров Ямал (М 3,7 и М 4,2) на дълбочина 10 км. Тези земетресения са регистрирани в зоната на локализация на главата на Сибирския плюм, което е тревожна тенденция, за която ще бъде разказано по-нататък.

M3+ Earthquakes, Siberian Plume Region



Фиг. 46.

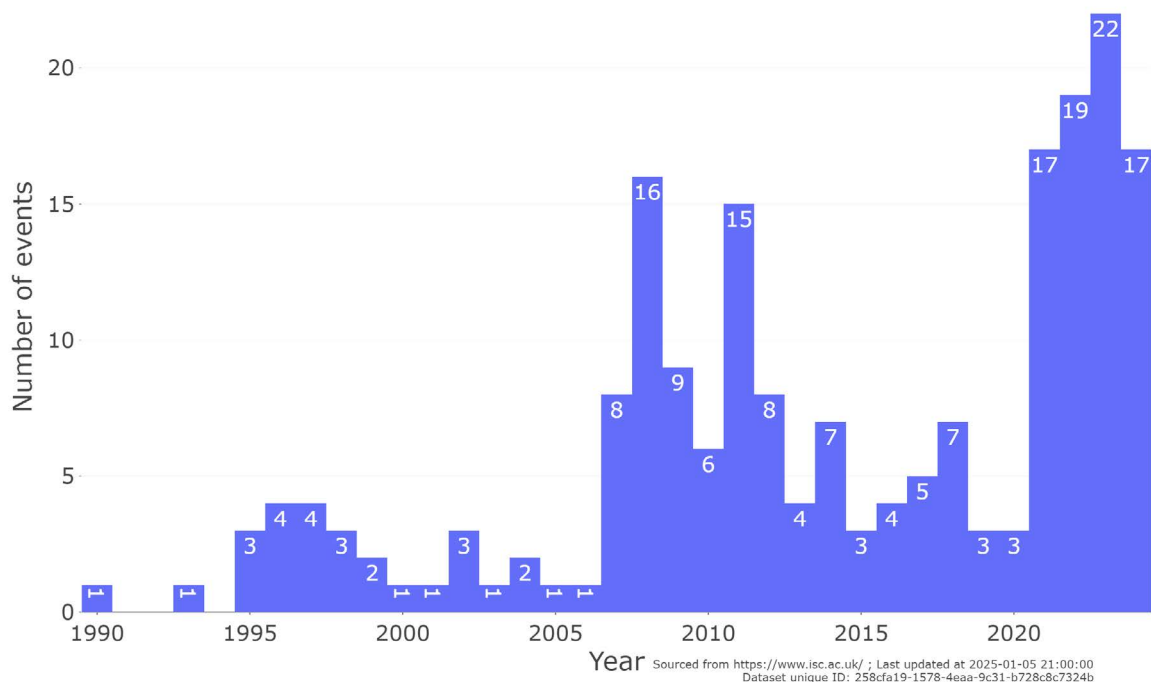
Карта на земетресения с магнитуд от 3,0 и повече в областта на Сибирския плюм от 1990 до 2024 г.

База данни: ISC

В определената област на Сибирския плюм от 1990 до 2024 г. са регистрирани общо 205 земетресения с магнитуд от 3,0. През 1995 г. се наблюдава увеличение на броя на земетресенията (фиг. 47), което съвпада с общопланетарната тенденция за повишаване на сеизмичността през 1995 г., свързана с магматична активизация. От 2007 г. се наблюдава значителен ръст на броя на земетресенията с постепенно намаляване на сеизмичната активност. От 2021 г.

броят на земетресенията отново рязко се увеличава, надхвърляйки предходните годишни показатели. По този начин в областта на Сибирския плюм се наблюдава вълнообразно нарастване на сеизмичната активност. През последните години стабилно се регистрират значително повече събития, отколкото е било типично за тази територия в миналото.

M3+ Earthquakes, Siberian Plume Region



Фиг. 47.

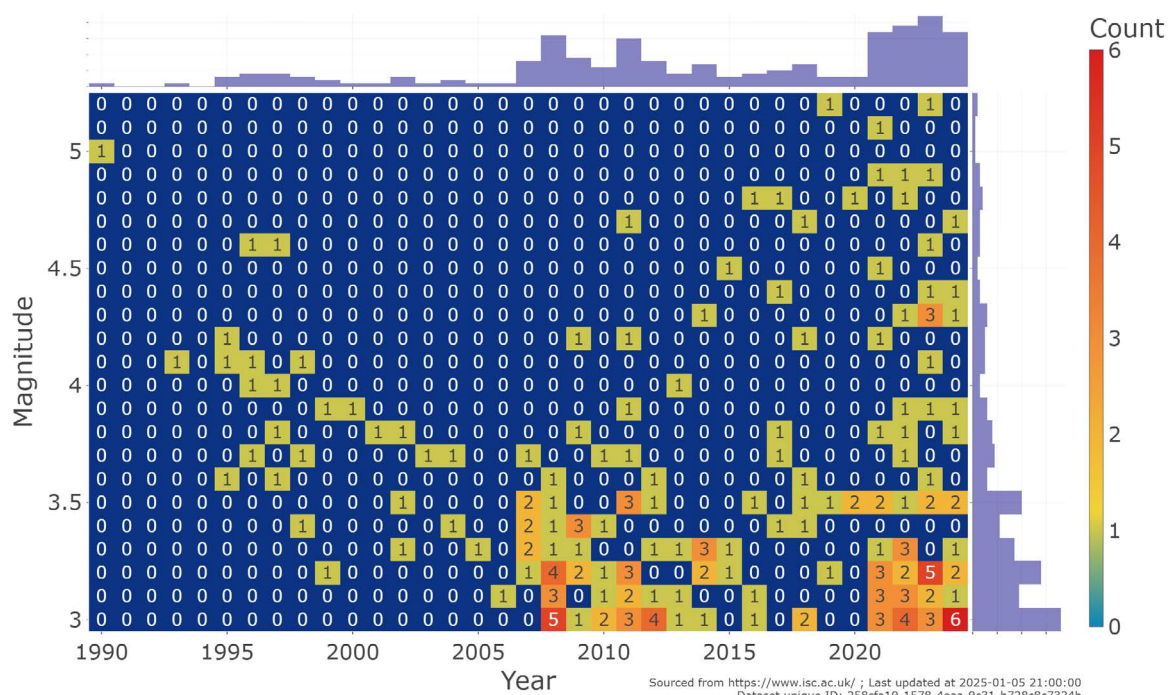
Брой на земетресения с магнитуд от 3,0 и повече в областта на Сибирския плюм от 1990 до 2024 г.

База данни: ISC

След земетресението с магнитуд 5,0 през 1990 г. се наблюдава постепенно намаляване на магнитудите и броя на земетресенията (фиг. 48). От 1990 до 2007 г. са регистрирани само 3 земетресения с магнитуд над 4,5. От 2007 г. се наблюдава постепенно увеличаване на магнитудите на земетресенията. За първи път в историята

на наблюденията се появяват земетресения с магнитуд 5,1 и 5,2 от 2019 г. насам. Всички земетресения с магнитуд от 4,5 са разположени в периферията на плюма (фиг. 49), като част от тях са свързани със стабилни области, където няма известни разломи.

M3+ Earthquakes, Siberian Plume Region

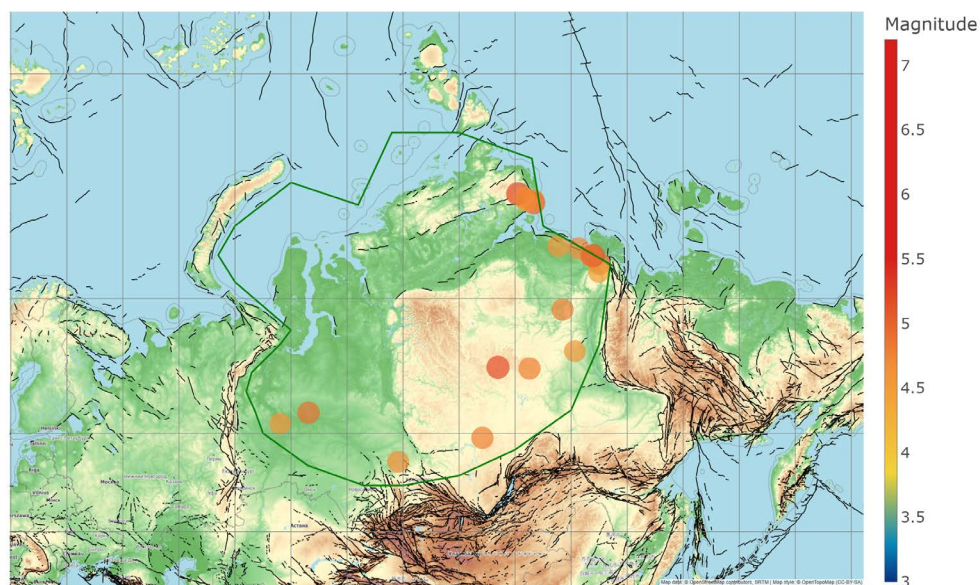


Фиг. 48.

Разпределение на земетресенията, случили се в областта на Сибирския плюм от 1990 до 2024 г., според магнитуда.

База данни: ISC

M4.5+ Earthquakes, Siberian Plume Region



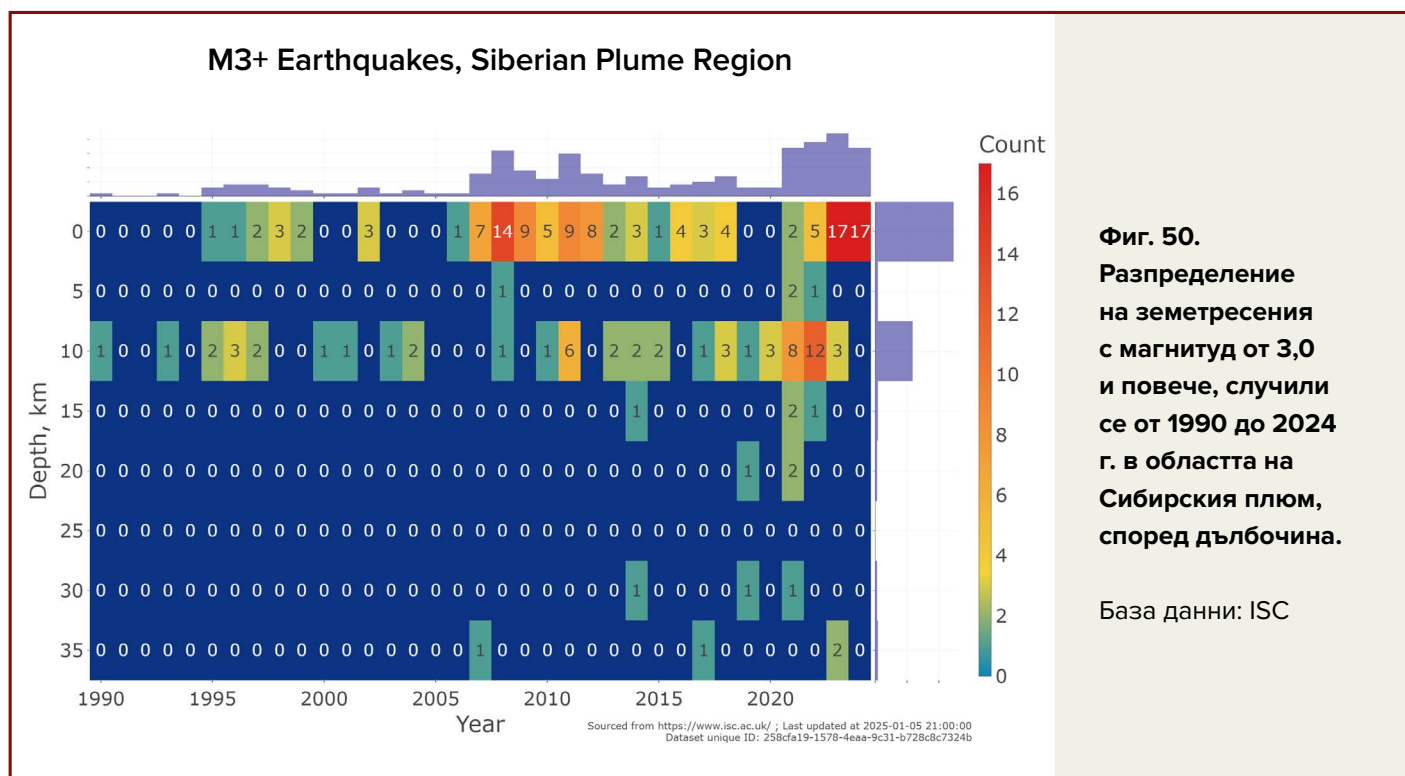
Фиг. 49.

Карта на земетресения с магнитуд от 4,5 и повече в областта на Сибирския плюм от 1990 до 2024 г.

База данни: ISC

Също така, през 2007 г. за първи път е регистрирано земетресение с магнитуд 3,7 на дълбочина 33 км близо до границата на Мохо (фиг. 50). След 2014 г. земетресения в района на основата на земната кора на

дълбочина 30–35 км започват да се случват значително по-често, като техните магнитуд достигат до 5,0. Всички те са разположени в периферията на предполагаемия център на плюма.



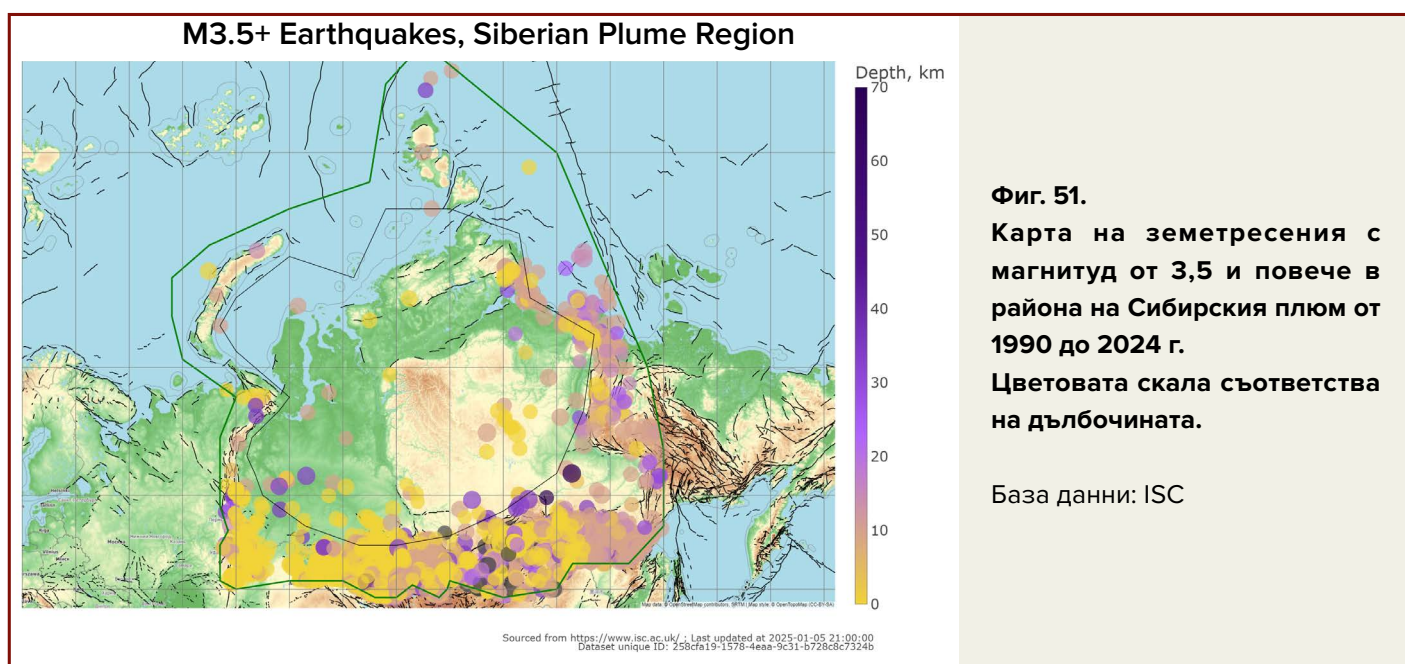
Представеният анализ на земетресенията в областта на предполагаемото разположение на Сибирския плюм демонстрира вълнообразно увеличаване на сеизмичността: расте броят на земетресенията, нарастват техните магнитуд, появили се земетресения на по-големи дълбочини. Това свидетелства за процеси на деформация на плочата под въздействието на колосалното налягане на магмата отдолу. Прогресирането на тези процеси неизбежно ще доведе в близко бъдеще до изригване на Сибирския плюм поради следните причини:

Фундаментът на Източносибирския кратон е „циментиран“ от магматични и

метаморфни скали, които създават плътна монолитна кора, формирана в резултат на изригвания, случили се преди 250 милиона години. Появата на силни земетресения с магнитуд 7,0 и повече в този регион означава, че платформените структури на Сибирския кратон претърпяват деформации, които надхвърлят границата на якост на скалите. За да разберем как монолитният Сибирски кратон може да се разкъса под въздействието на налягането на плюма, може да се използва аналогията с пукнатината на стъкло в момента преди то да се разлети напълно на парчета.

В дадения момент, за да се разбере реалната ситуация с напредването на плюма и състоянието на якостта на земната кора в областта на магматичния Сибирски плюм, е крайно необходимо поставянето на допълнителни сеизмични датчици, за предпочитане в сонди на дълбочина от няколко километра. Това ще позволи да се направи детайлен сеизмотомографски анализ на земната кора и мантията и да се води постоянен мониторинг на положението и активността на плюма (виж раздел

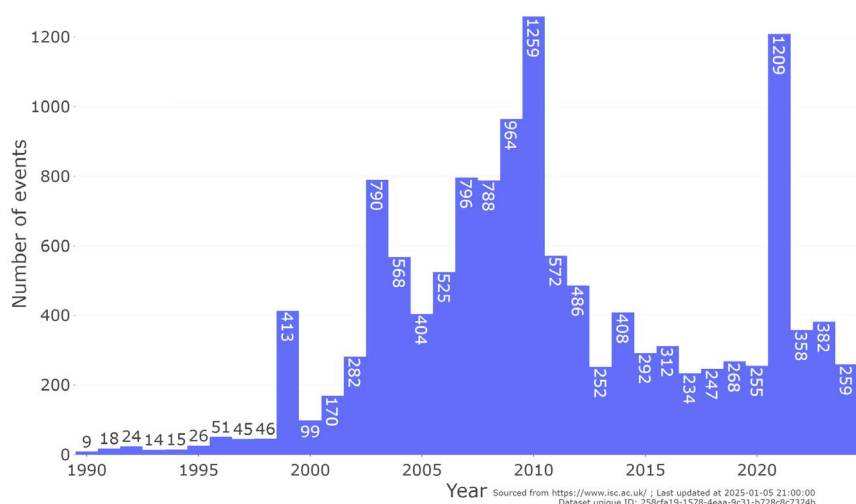
„Сценарий 3. Планирана контролирана дегазация“). Следва да се обърне внимание на разпределението на земетресенията според дълбочината в областта на Сибирския плюм и неговите крайни зони (фиг. 51). Земетресения на дълбочини близо до границата на Мохо (повече от 30 км) и в самата мантия се случват основно в районите на нагънатите области, като може да се забележи, че те обграждат областта на предполагаемото разположение на Сибирския плюм.



Нека разгледаме сеизмичната активност само в крайните части на Сибирския плюм. Геологически тези области принадлежат към нагънатите пояси, които са сеизмично активни региони, като сеизмичността в тях може да бъде обусловена както от тектонични движения, така и от влиянието на магматичния плюм. Графиката на броя на земетресенията показва смесена картина на наслагване на различни фактори за сеизмичност (фиг. 52). В някои години се наблюдават значителни вълни на сеизмична активност. За по-точно разбиране на природата на тези процеси е необходимо разглеждането на всеки регион поотделно.

Ако разгледаме зоната на Верхоянските нагънати структури и разломи на дъното на море Лаптеви (фиг. 53), виждаме, че силни вълни на земетресения с магнитуд от 3,0 са се случили през 2013 г. и през 2021–2022 г. (фиг. 54). Такива вълни са характерни за етапи на проникване на магма, които причиняват значителни нарушения на непрекъснатостта на земната кора и изтичане на флуидна фаза през пукнатини в скалите и близките разломи. Такива прояви също са придружени от увеличаване на броя на земетресенията с малки магнитуди и възникване на рояци земетресения, а понякога дори серии от рояци.

M3+ Earthquakes in the Marginal Parts of the Siberian Plume

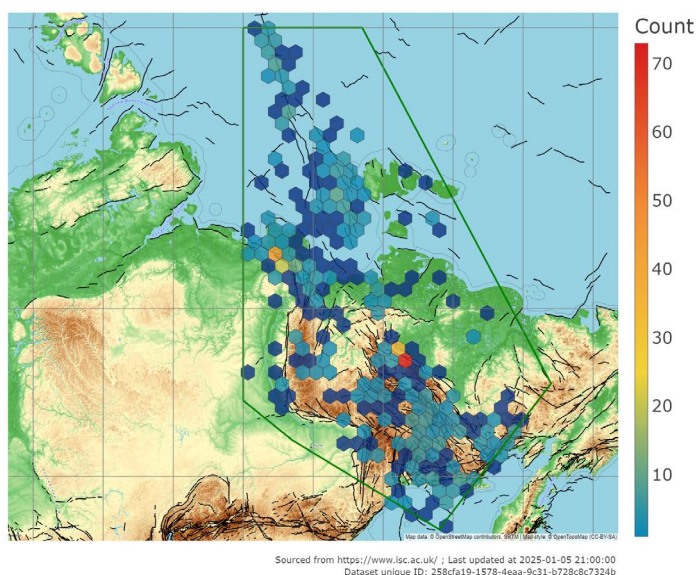


Фиг. 52.

Брой на земетресения с магнитуд от 3,0 и повече в крайните части на Сибирския плум от 1990 до 2024 г. Земетресенията вътре в полигона (фиг. 47) са изключени.

База данни: ISC

M3+ Earthquakes Density, Northeastern Part

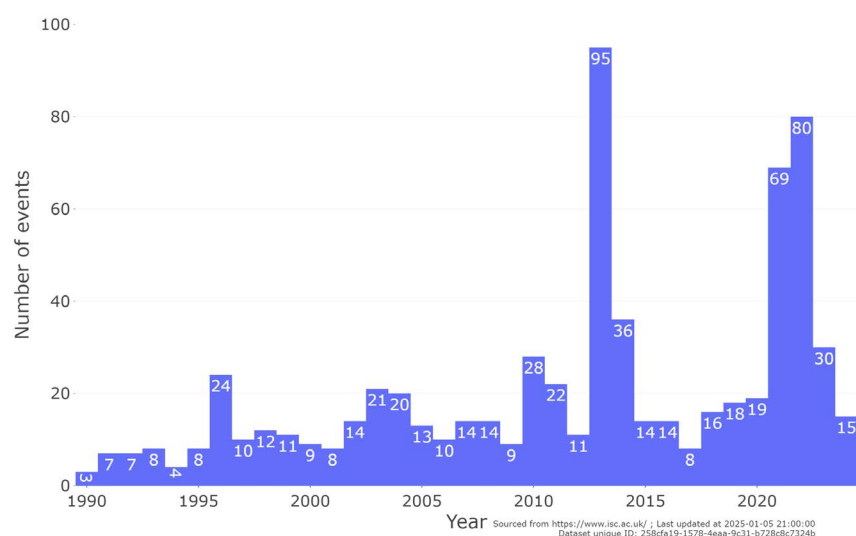


Фиг. 53.

Гъстота на земетресения с магнитуд от 3,0 в избрания участък на североизточния край на Сибирския блок от земната кора от 1990 до 2024 г. Черните линии обозначават разломите.

База данни: ISC

M3+ Earthquakes Density, Northeastern Part



Фиг. 54.

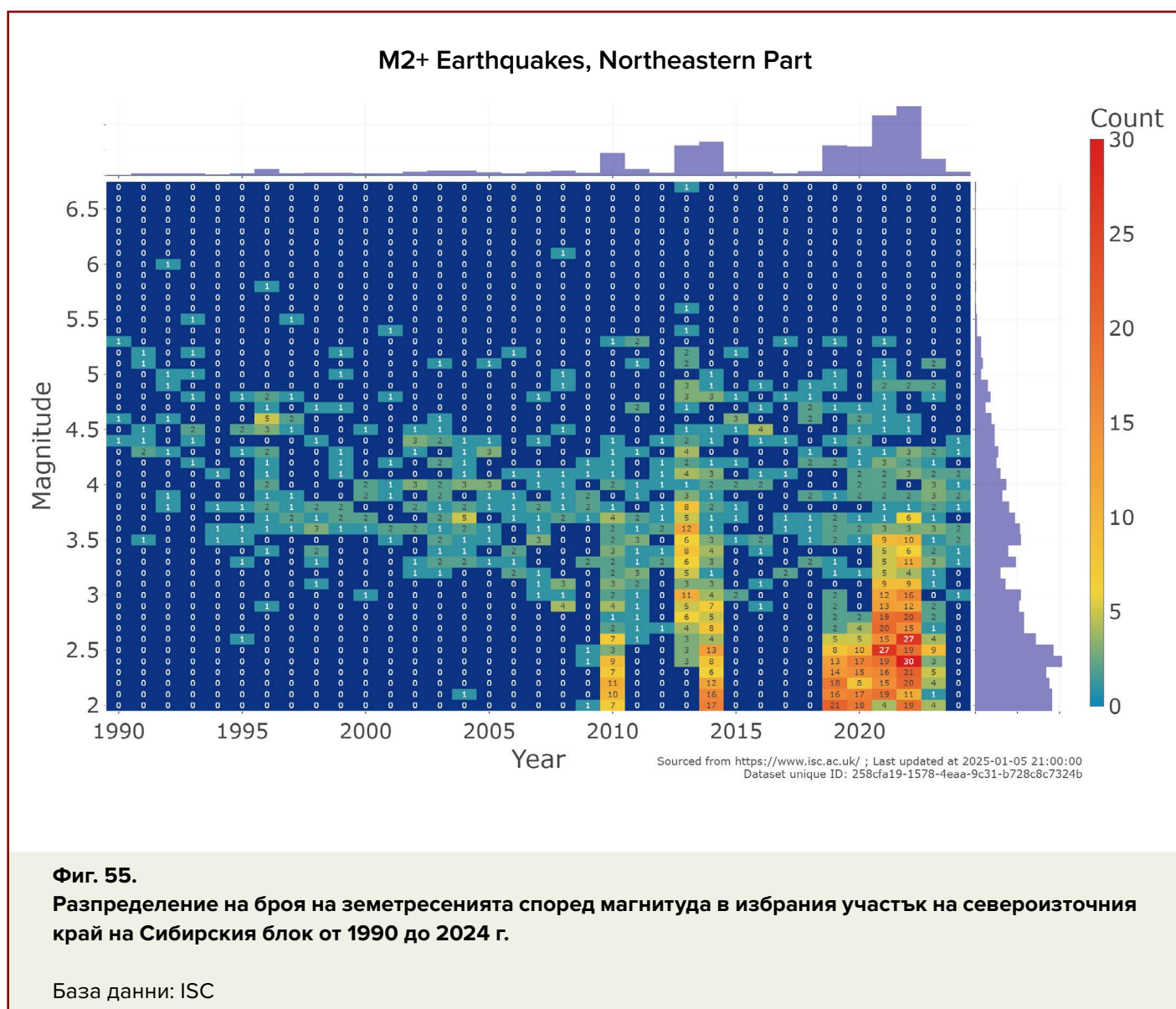
Графика на броя на земетресения с магнитуд 3,0 и повече в избрания участък на североизточния край на Сибирския блок от 1990 до 2024 г.

База данни: ISC

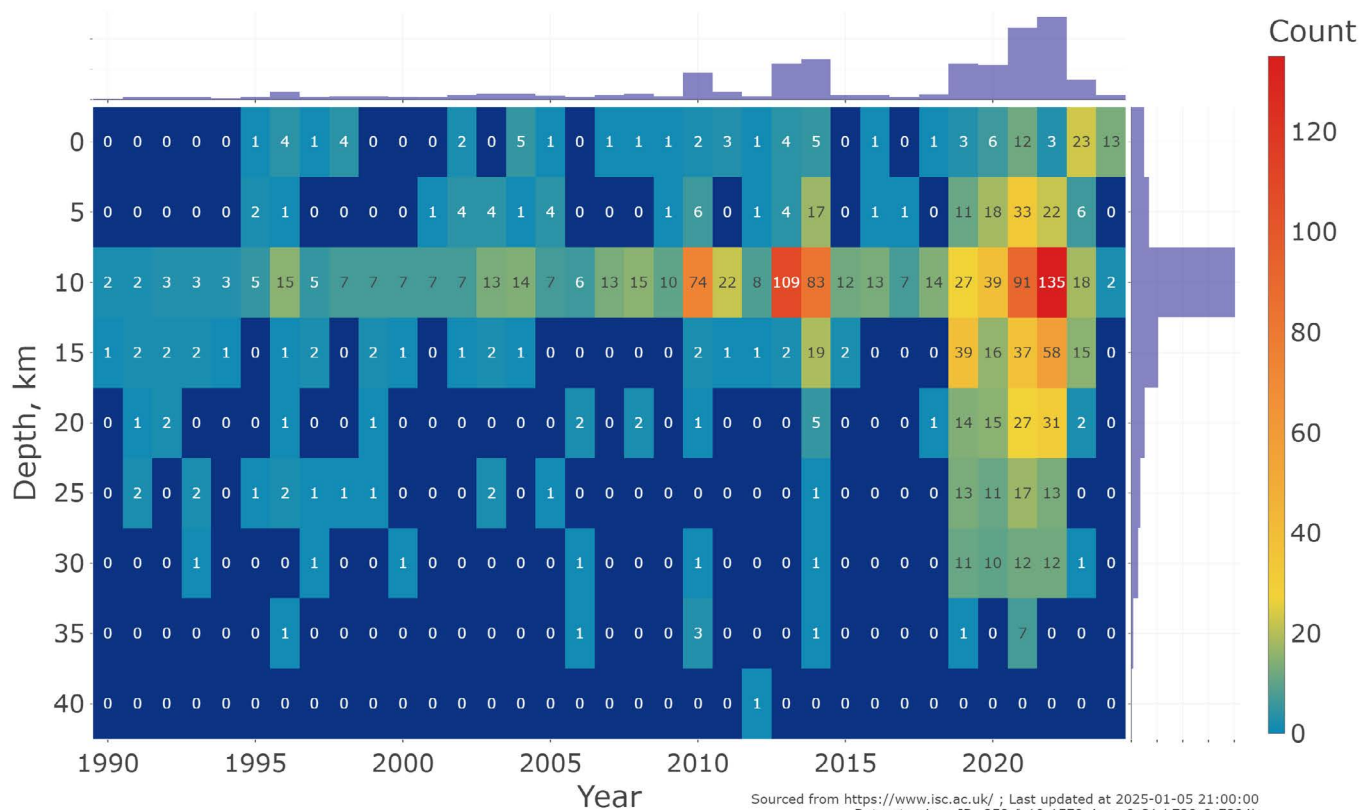
Изследването на магнитудите на земетресенията в тази зона показва вълна на увеличение на броя на земетресенията с магнитуд от 2,0 до 3,5 през 2010 г. и 2013–2014 г. и значително увеличаване на техния брой от 2019 г. насам (фиг. 55). От 2019 г. също така се наблюдава значително увеличаване на броя на земетресенията, които засягат земната кора почти до основата □, на дълбочина до 35 км (фиг. 56). През 2013 г. за първи път

в този регион се появява земетресение с магнитуд 6,7, което явно свидетелства за дълъг етап на натрупване на напрежение или за разтоварване на натрупани магматични флуиди.

Нека разгледаме отделно групата земетресения в югоизточна посока от полуостров Таймир (фиг. 57).



M2+ Earthquakes, Northeastern Part

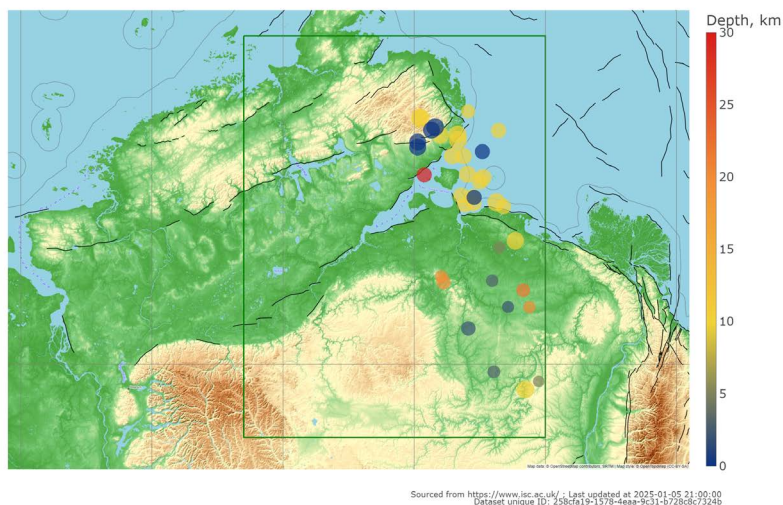


Фиг. 56.

Разпределение на броя на земетресенията с магнитуд 2,0 и повече според дълбочина в избрания участък на североизточния край на Сибирския блок от 1990 до 2024 г.

База данни: ISC

M2+ Earthquakes, Northeast of the Taimyr Peninsula



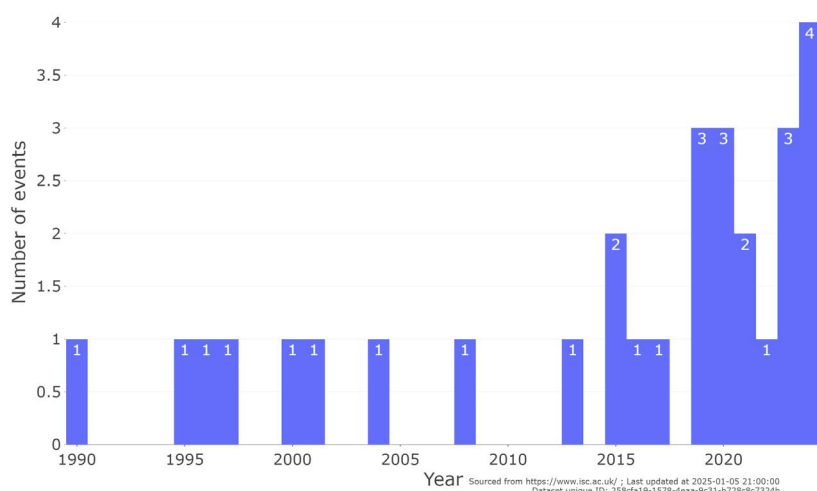
Фиг. 57.

Карта на разпространението на земетресения с магнитуд от 2,0 в избрания участък на североизток от полуостров Таймир от 1990 до 2024 г.

База данни: ISC

През 2019–2020 г. тук също се наблюдава вълна на сеизмична активност с малки и средни магнитуди (фиг. 58, 59).

M3+ Earthquakes, Northeast of the Taimyr Peninsula

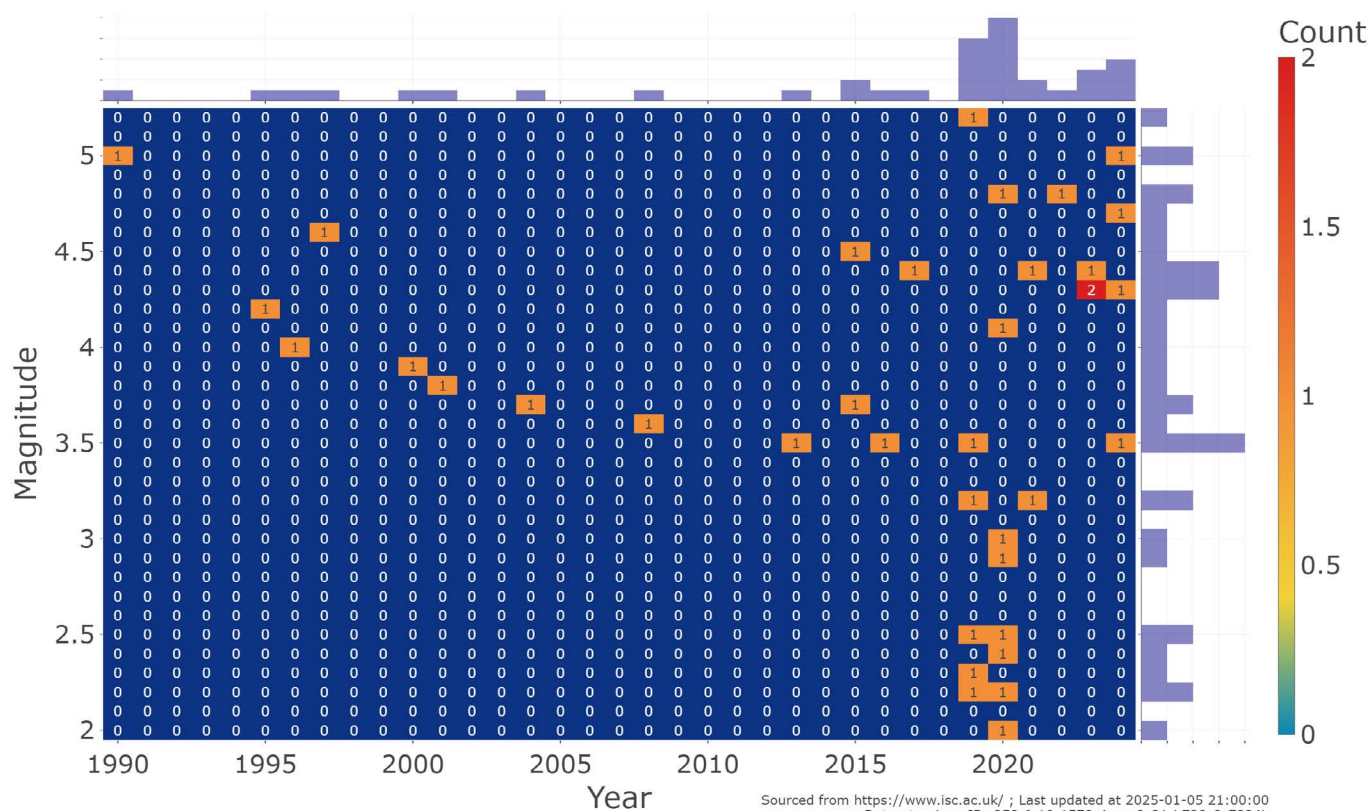


Фиг. 58.

Графика на броя на земетресенията с магнитуд 3,0 и повече в избрания участък на североизток от полуостров Таймир.

База данни: ISC

M2+ Earthquakes, Northeast of the Taimyr Peninsula



Фиг. 59.

Разпределение на броя земетресения според магнитуда в избрания участък на североизток от полуостров Таймир от 1990 до 2024 г.

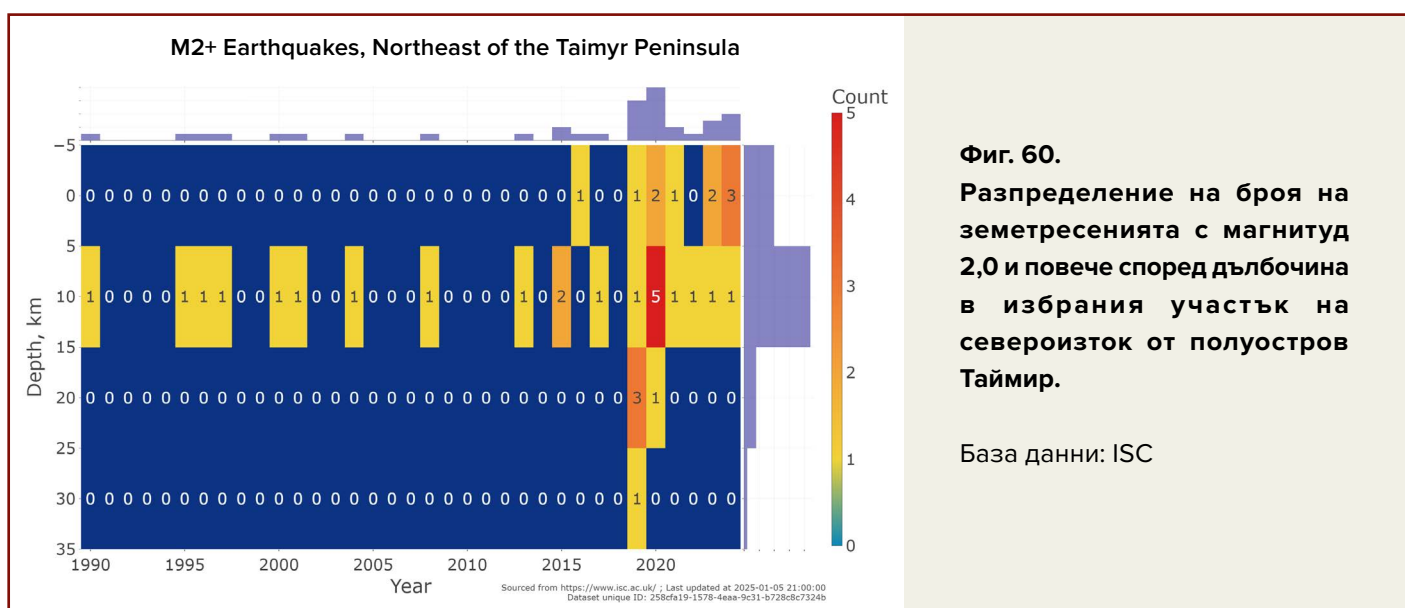
База данни: ISC

Също така през 2019–2020 г. се наблюдава увеличаване на дълбочината на поява на земетресения до основата на земната кора (фиг. 60) в същите временни периоди, както в района на Верхоянската нагъната структура.

Трябва да се подчертае, че тази зона се намира в областта на влияние на главата на Сибирския плюм, и въпреки малкия брой земетресения, в нея се наблюдава аналогична тенденция за увеличаване на дълбочината и броя на земетресенията,

както във Верхоянските нагънати структури, но започвайки от 2019 г.

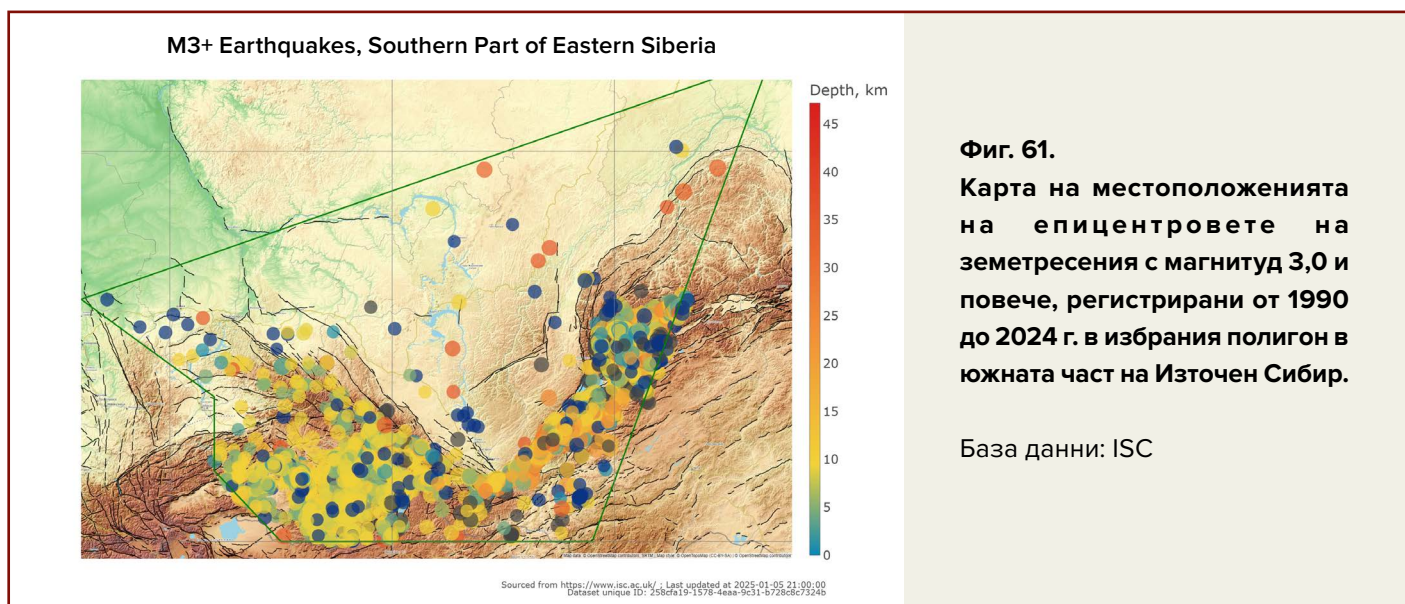
Южната част на разглежданата територия включва Алтае-Саянската нагънатост и региона на Байкал (фиг. 61). Това е тектонично подвижен и сеизмично активен регион. Тук се наблюдава вълна на земетресения през 1999 г. и 2021 г. (фиг. 62). Магнитудът на земетресенията от 2007 г. започва да нараства, дори достига 6,8 през 2021 г. (фиг. 63).



Фиг. 60.

Разпределение на броя на земетресенията с магнитуд 2,0 и повече според дълбочина в избрания участък на североизток от полуостров Таймир.

База данни: ISC

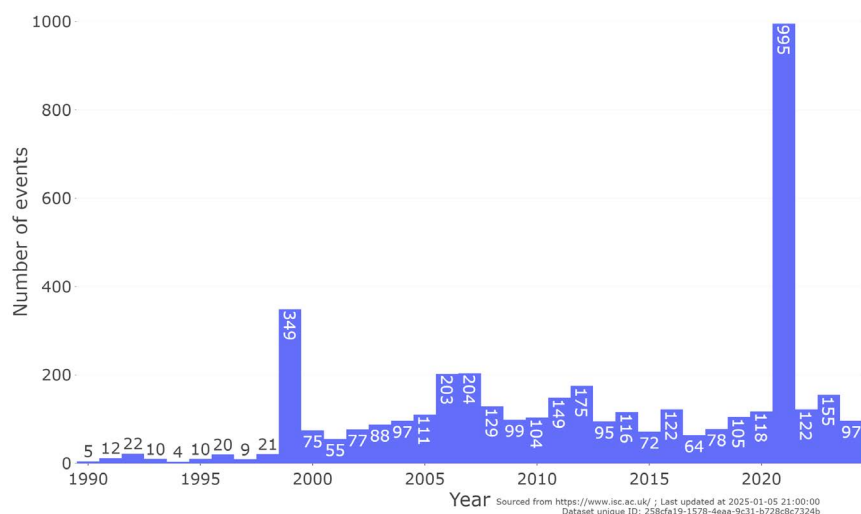


Фиг. 61.

Карта на местоположенията на епицентровете на земетресения с магнитуд 3,0 и повече, регистрирани от 1990 до 2024 г. в избрания полигон в южната част на Източен Сибир.

База данни: ISC

M3+ Earthquakes, Southern Part of Eastern Siberia

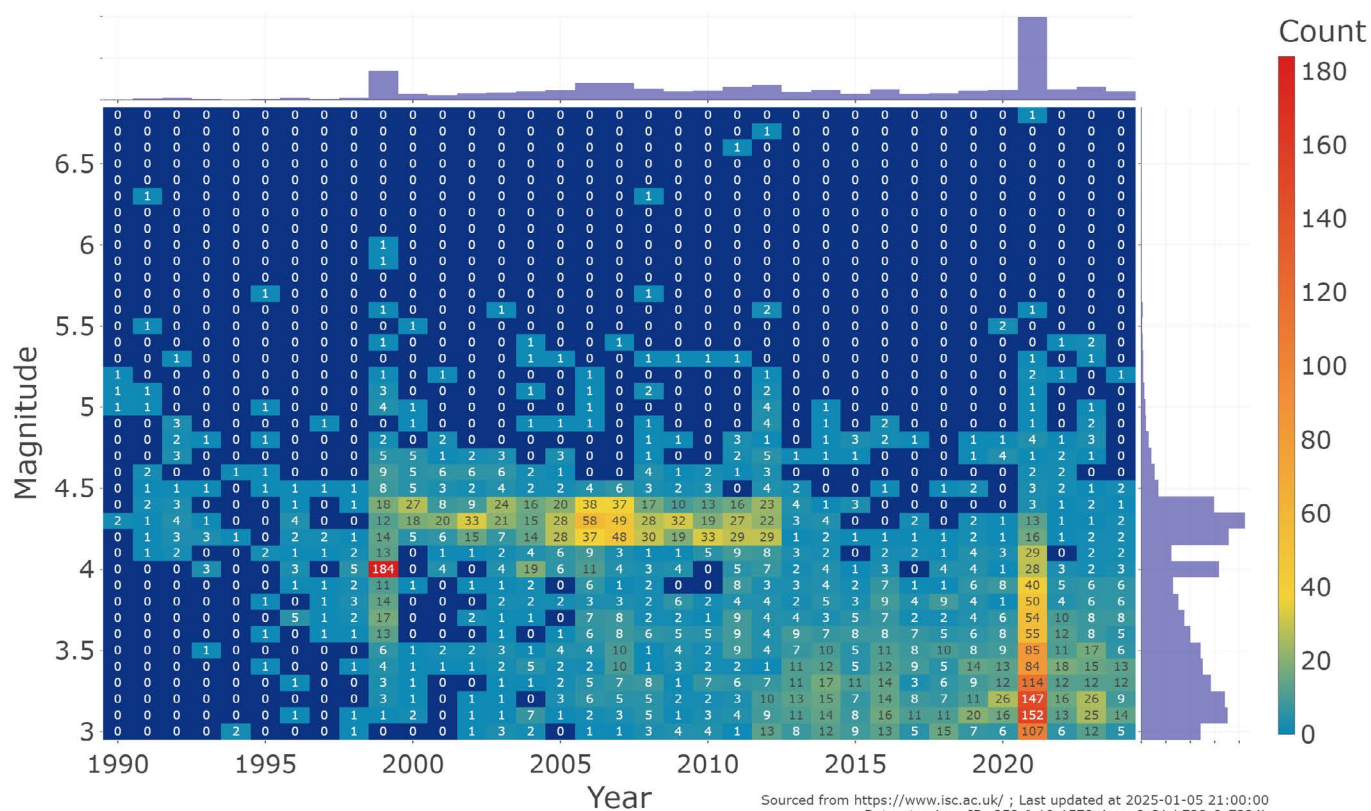


Фиг. 62.

Брой на земетресения с магнитуд от 3,0 и повече на територията на южната част на Източен Сибир.

База данни: ISC

M3+ Earthquakes, Southern Part of Eastern Siberia



Фиг. 63.

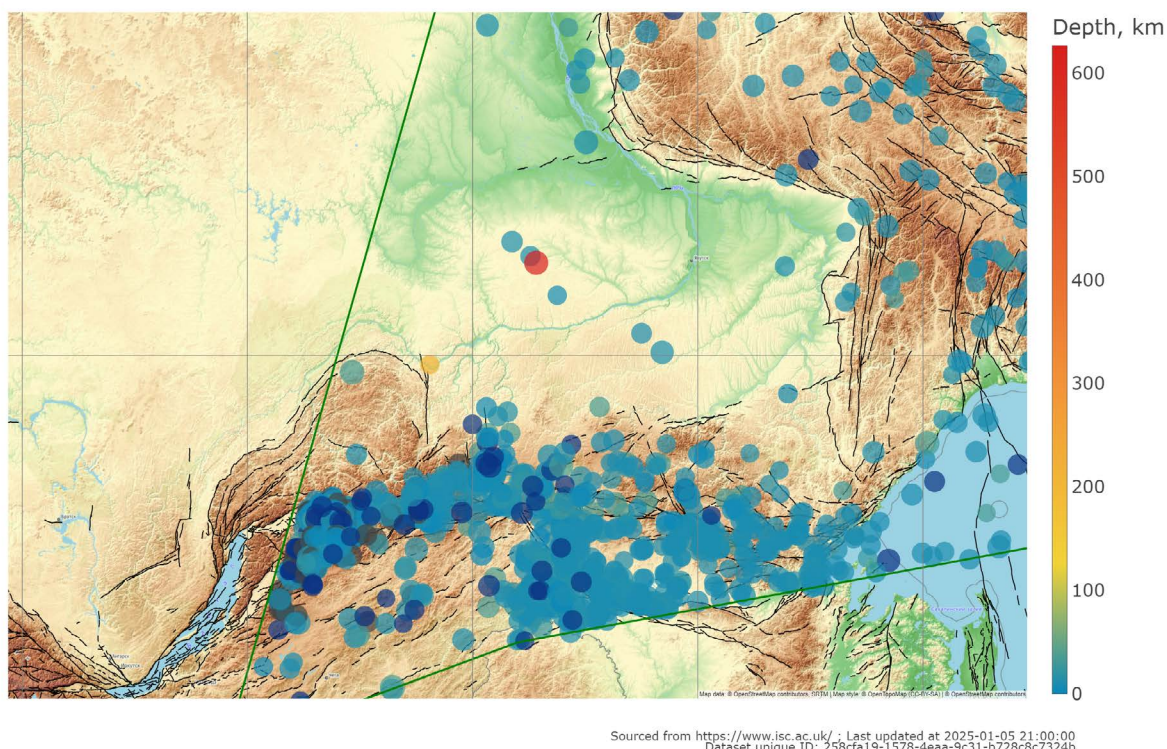
Разпределение на земетресения в избрания полигон в южната част на Източен Сибир от 1990 до 2024 г. според магнитуда.

База данни: ISC

Важно е да се отбележи и появата на мантийни земетресения под Сибирския кратон. Още през 1998 г. е регистрирано земетресение с магнитуд 3,3 на дълбочина 211 км в района на Вилюйската синеклиза. Това беше неочакван факт, но още по-уникално събитие е земетресението със значителен магнитуд 5,1 на дълбочина 627 км през 2023 г. в същия регион (фиг. 64). Самото проявление на дълбокофокусна сеизмичност под платформенен устойчив блок от земната кора е уникално събитие. Традиционно се смята, че такива вътремантийни земетресения се случват в така наречените зони на субдукция, но най-близката такава зона се намира на хиляди километри оттук и не може да оказва влияние. Авторите на доклада смятат, че причините за дълбокофокусните земетресения са вътремантийни експлозии с огромна мощност, които възникват при контакт

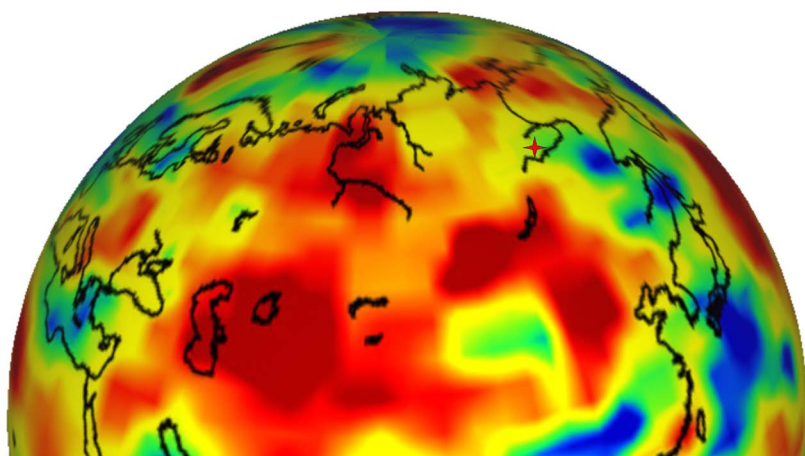
на относително по-горещи потоци магма с относително по-студени потоци. Според сеизмотомографския модел, на мястото на възникване на двете дълбокофокусни земетресения се наблюдават аномалии в скоростите на сеизмичните вълни, които съответстват на относително по-гъсти и течни потоци, което вероятно отразява температурните им различия. По този начин тези две мантийни земетресения са се проявили на местата на контакт между относително студени и относително горещи мантийни потоци (фиг. 65), което е предизвикало освобождаването на голямо количество енергия, породило акустични вълни, регистрирани от сеизмичните датчици като земетресения. Това недвусмислено показва значителна активност на мантийните потоци в този район.

Location of Deep Earthquakes in Siberia



Фиг. 64.

На картата е отбелязан епицентърът на дълбокофокусно земетресение с магнитуд 5,1 на дълбочина 627 km (червен маркер) под Сибирската платформа през 2023 г. и земетресение с магнитуд 3,3 на дълбочина 211 km през 1998 г. (жълт маркер).



Фиг. 65.

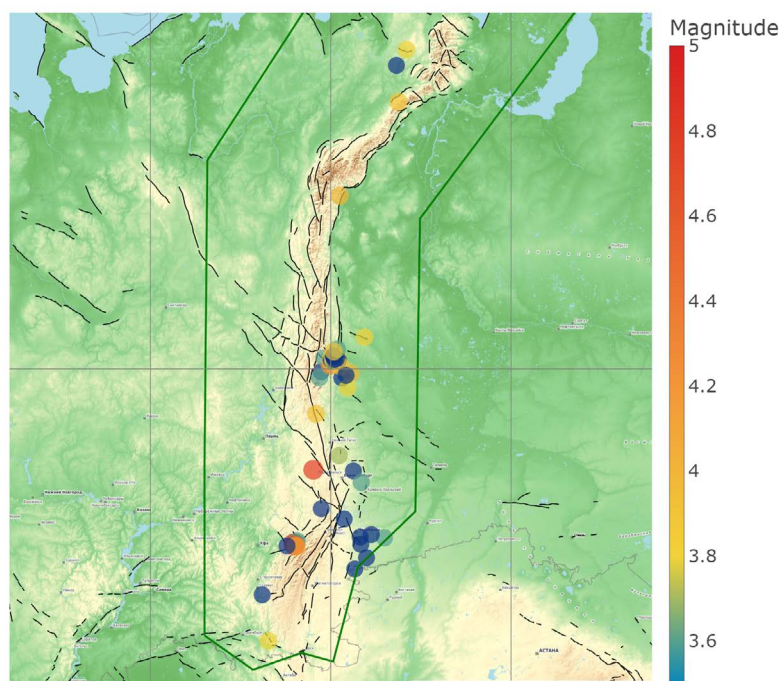
Зони с намалени скорости на преминаване на сеизмични вълни в мантията на дълбочина от около 600 км. Хипоцентърът на земетресението с магнитуд 5,1 през 2023 г. попада в зоната на контакт между относително горещи и относително студени области на мантията.

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

Разклащането на крайните части на Сибирския блок предизвиква нарастване на сеизмичната активност в Уралския регион. Данните за анализ са филтрирани, като са взети предвид планинските удари, породени от миннодобивната дейност. Също така е

избран магнитуд от 3,5, за да се гарантира точно изключване на събития, свързани с човешка дейност (фиг. 66 и 67). Следователно наблюдаваното вълнообразно увеличаване на сеизмичността отразява естествени процеси.

M3.5+ Earthquakes in the Ural

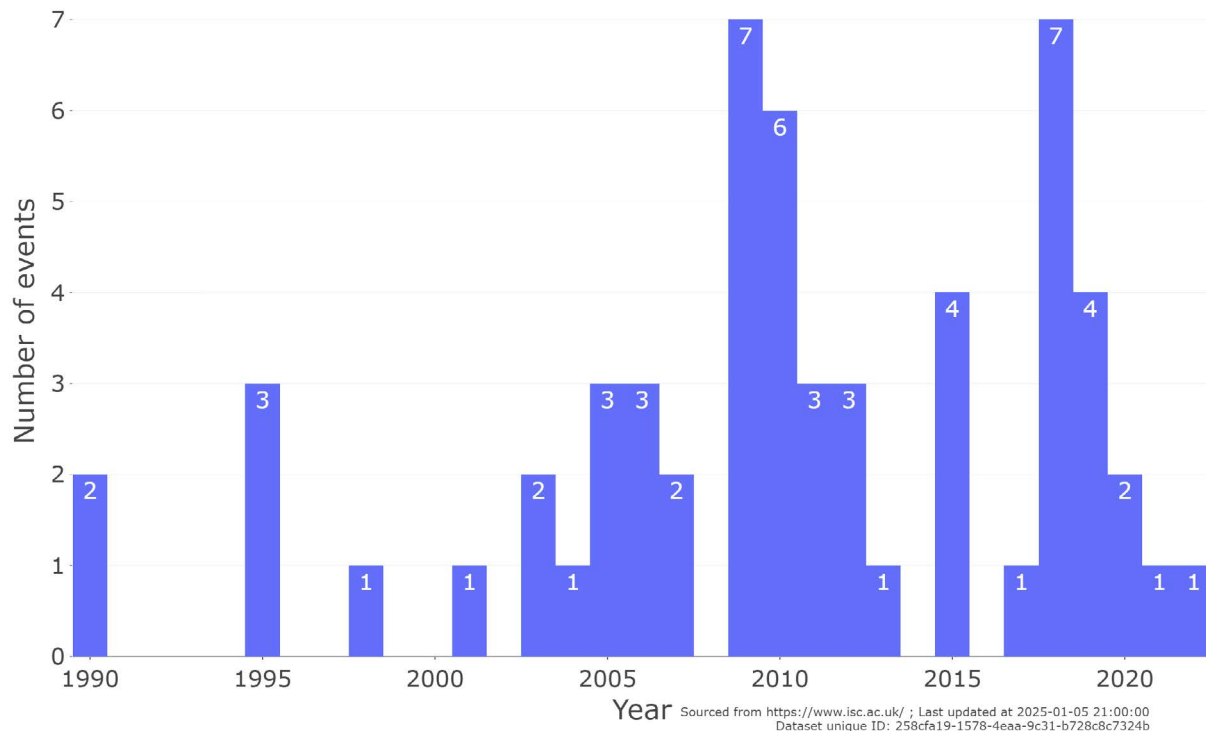


Sourced from <https://www.isc.ac.uk/> ; Last updated at 2025-01-05 21:00:00
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

Фиг. 66.

Карта на разположението на епицентрите на земетресения с магнитуд от 3,5 и повече, регистрирани в Уралския регион от 1990 до 2022 г.

M3.5+ Earthquakes in the Ural

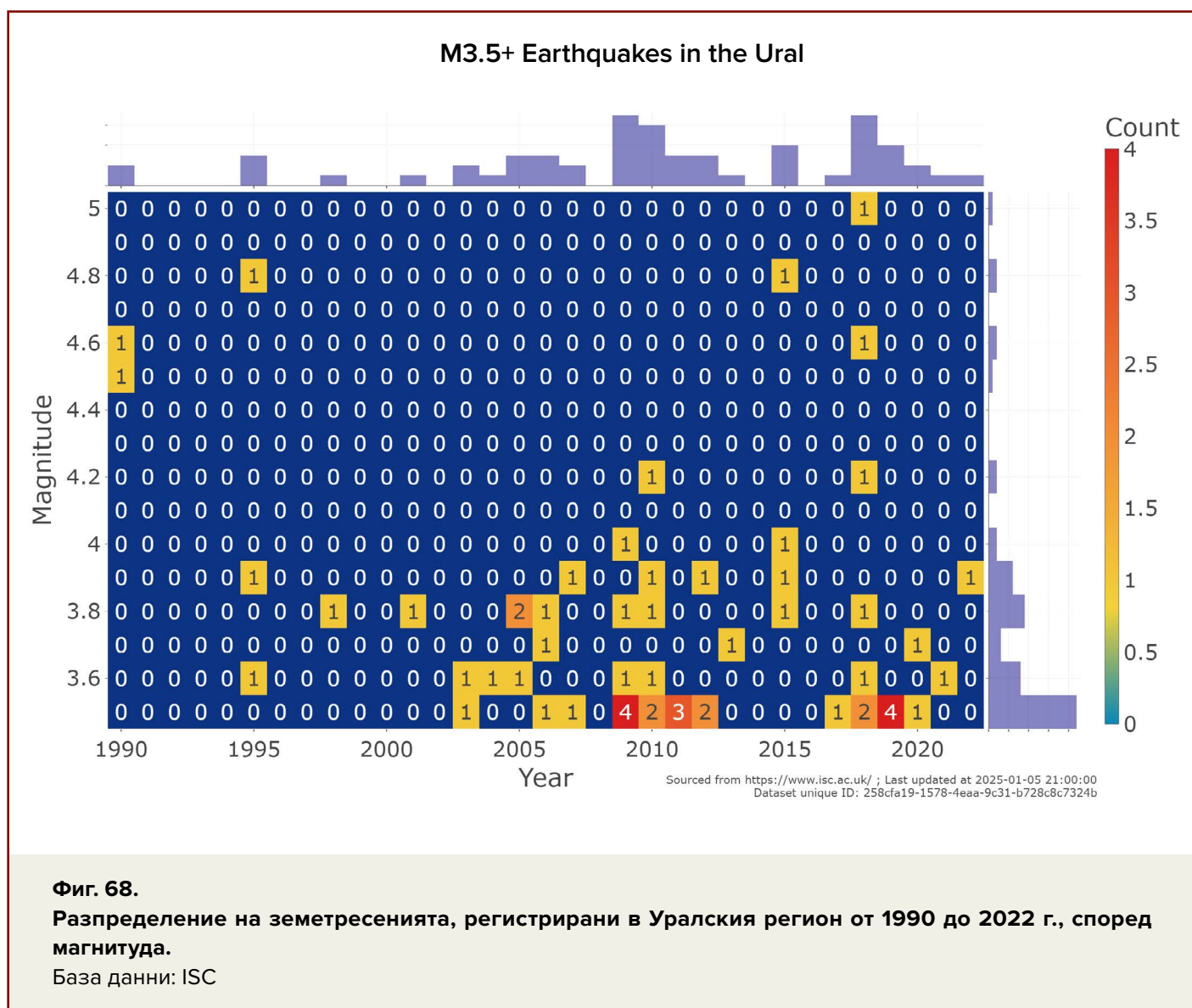


Фиг. 67.

Брой на земетресения с магнитуд от 3,5 и повече, регистрирани в Уралския регион от 1990 до 2022 г.

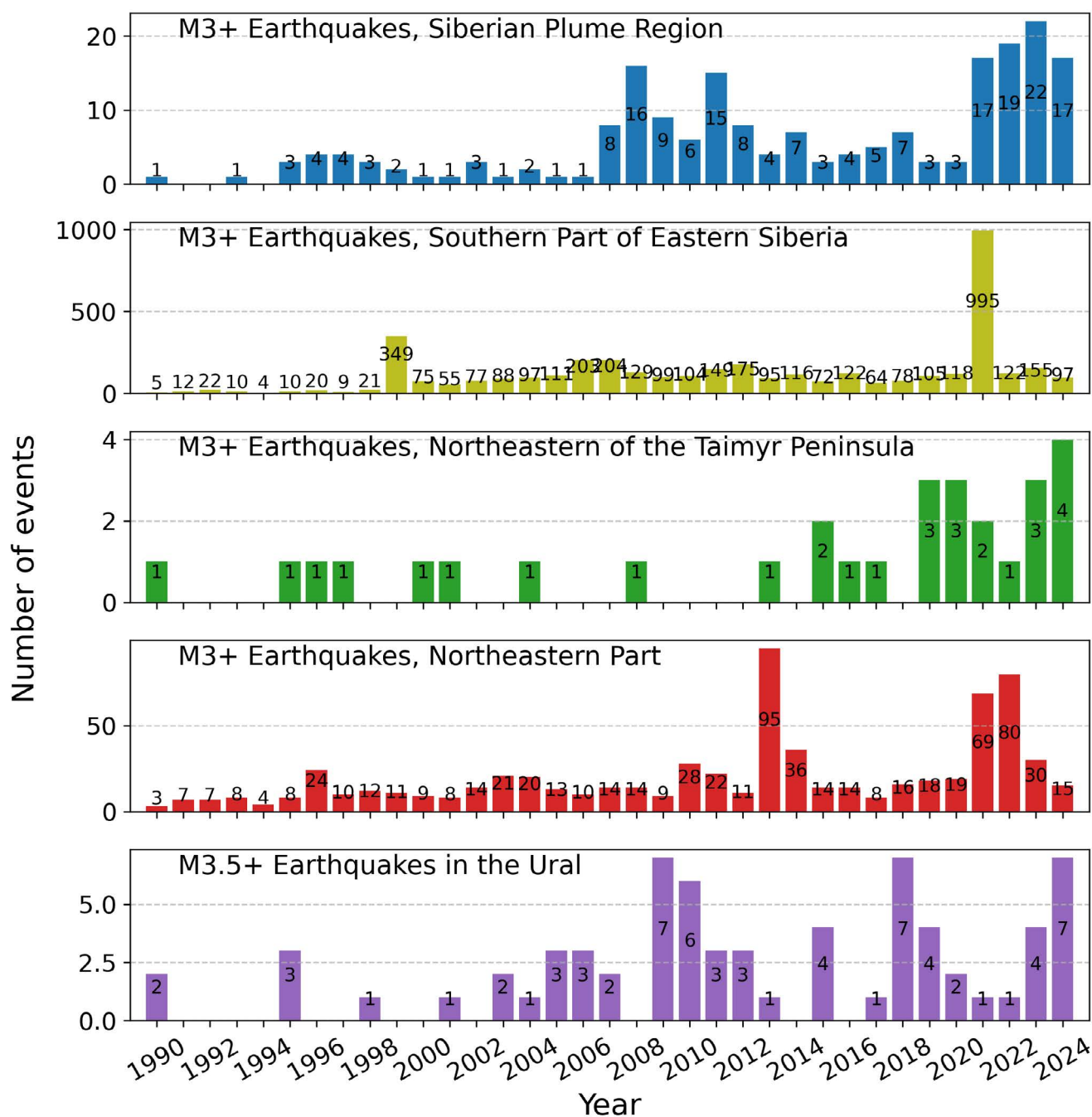
Освен това в региона се появяват земетресения с магнитуд от 4,0 до 5,0, което също е показател за естествено нарастване на земетресенията (фиг. 68). Нарастването

на сеизмичността в Уралския регион не се случва равномерно, а на вълни, което е естествена закономерност.



За сравнение на времето на пикове на сеизмичната активност в различни части на областта на Сибирския плюм и около него е представена графика (фиг. 69). През 2021 г. се наблюдава нарастване на сеизмичната активност във всички разглеждани региони, с изключение на Урал. На графиката се вижда, че във всички региони има сеизмична активност, която през последните години се засилва. Нарастването не става едновременно, а на пулсиращи вълни в различни региони. В същото време се наблюдава известна закономерност, напомняща постепенно разклащане на плочата в посока от запад на изток и от север на юг.

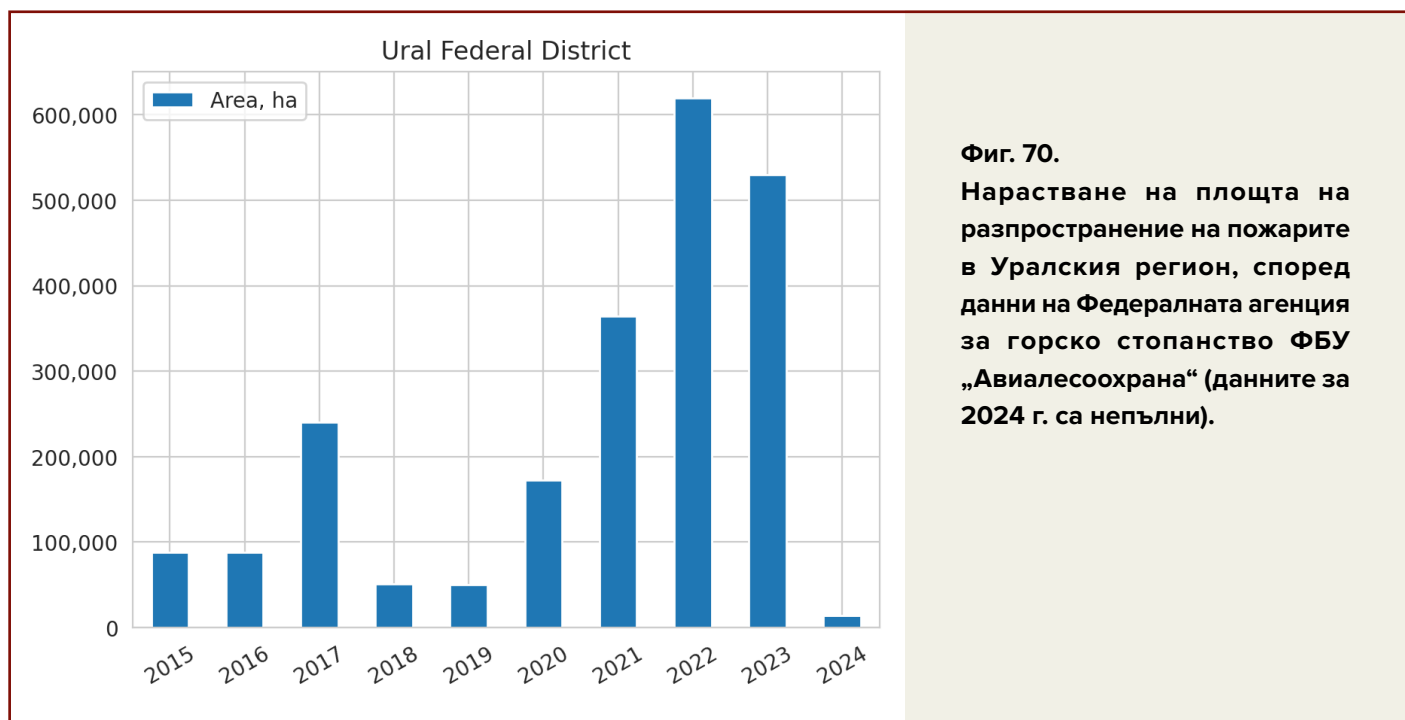
Нека разгледаме появата на горските пожари в някои региони. Увеличаването на площта на пожарите в даден регион маркира нарастване на активността на недрата, тъй като пожарите често възникват на местата на разломи, където има изтичане на запалими газове. Такива пожари е трудно да бъдат угасени. Те се разпространяват изключително бързо на големи територии. В Уралския регион се наблюдава рязко нарастване на площта на природните пожари, започвайки от 2020 г. (фиг. 70). Графиката е съставена на базата на данни от Федералната агенция за горско стопанство „Авиалесоохрана“.



Фиг. 69.

Разпределение на пиковите на сеизмична активност във Верхоянския регион (източно от Сибирската платформа), южната част на Източен Сибир, Урал (западно от Източен Сибир) и централната част на Сибир (включително Западносибирската плоча и Източносибирската платформа) по години. Земетресенията са с магнитуд от 3,0 и повече.

База данни: ISC



The area affected by the fires in the Far Eastern region is also growing exponentially, as clearly illustrated in the graph (Fig. 71).

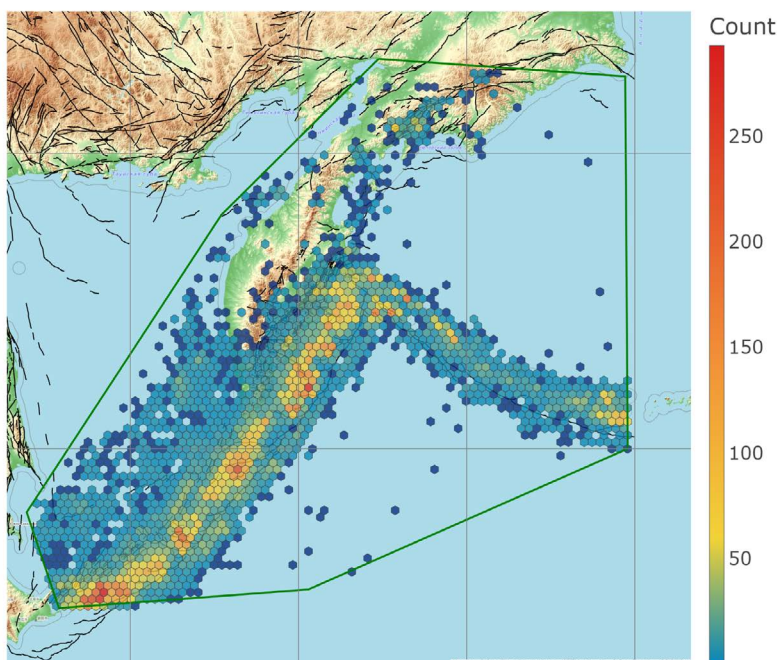


По този начин, подобни процеси на нарастване на пожарите се наблюдават и от другата страна на Сибирския и Далектоизточния блок от земната кора, на границата с Тихоокеанската плоча.

Предполага се, че внедряването на Сибирския плюм също влияе и на Курило-Камчатския регион като на област на периферията на континенталния блок от земната кора, който е под натиска на плюма. Анализът на масива от сеизмични данни в района на Камчатка и Курилските

острови показва забележимо нарастване на броя на земетресенията с магнитуд от 4,0 и повече (фиг. 72 и 73). Регионът влиза в Тихоокеанския огнен пръстен (фиг. 74) и съответно демонстрира тенденция за нарастване на сеизмичността, в съответствие с тенденциите на тази тектонична структура. Въпреки това, повечето сеизмични вълни имат независим характер. Това може да показва, че Сибирският плюм оказва собствено влияние върху региона на Камчатка и Курилските острови.

**M4+ Earthquakes Density
in the Kamchatka Peninsula and Kuril Islands**



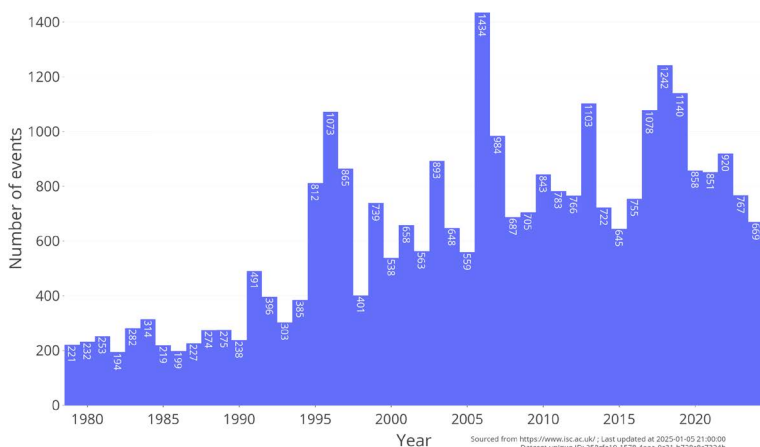
Sourced from <https://www.isc.ac.uk/> ; Last updated at 2025-01-05 21:00:00
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

Фиг. 72.

Гъстота на земетресения с магнитуд от 4,0 и повече в района на полуостров Камчатка и Курилските острови, 1979–2024 г.

База данни: ISC

M4+ Earthquakes in the Kamchatka Peninsula and Kuril Islands



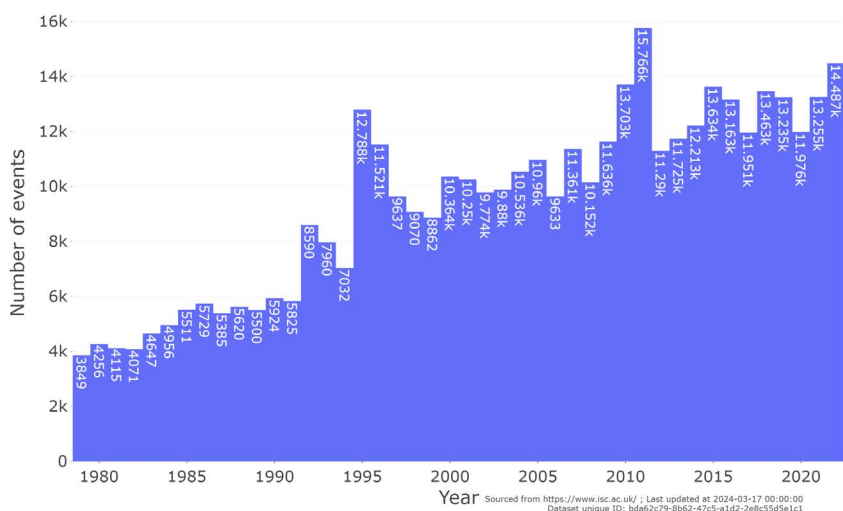
Sourced from <https://www.isc.ac.uk/> ; Last updated at 2025-01-05 21:00:00
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

Фиг. 73.

Нарастване на броя на земетресения с магнитуд 4,0 и повече в района на полуостров Камчатка и Курилските острови, 1979–2024 г.

База данни: ISC

M4+ Earthquakes in the Ring of Fire 1979-2022



Фиг. 74.

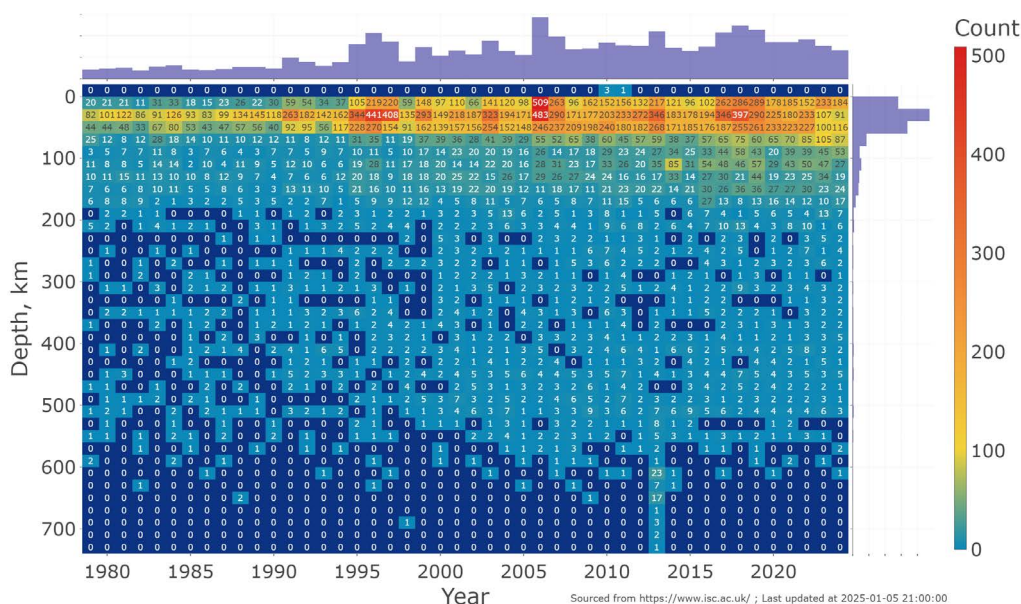
Нарастване на броя на земетресения с магнитуд 4,0 и повече в района на Огнения пръстен, 1979–2022 г.

База данни: ISC

Важно е да се отбележи, че в Курило-Камчатския регион се наблюдава и увеличаване на дълбочината на земетресенията (фиг. 75). Това показва, че съединението на литосферните плочи става по-подвижно поради влиянието на Сибирския магматичен плум. Очаква се увеличаване на активността на вулканите в

Курило-Камчатския регион, както и появата на аномалии на бързо издигане на дълбочинна магма и бърза промяна в нейния състав по време на изригванията на вулканите към по-дълбочинни мафични магми. Подобна промяна в състава към по-дълбочинна магма демонстрира вулканът Безименен по време на изригването през 2017 г.⁴⁵

M4+ Earthquakes in the Kamchatka Peninsula and Kuril Islands



Фиг. 75.

Разпределение на земетресения с магнитуд 4,0 и повече, регистрирани в избрания полигон в района на полуостров Камчатка и Курилските острови от 1979 до 2024 г., според дълбочината.

База данни: ISC

⁴⁵ V.O. Davydova, V.D. Shcherbakov, P.Yu. Plechov, I.Yu. Koulakov, Petrological evidence of rapid evolution of the magma plumbing system of Bezimianny 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>

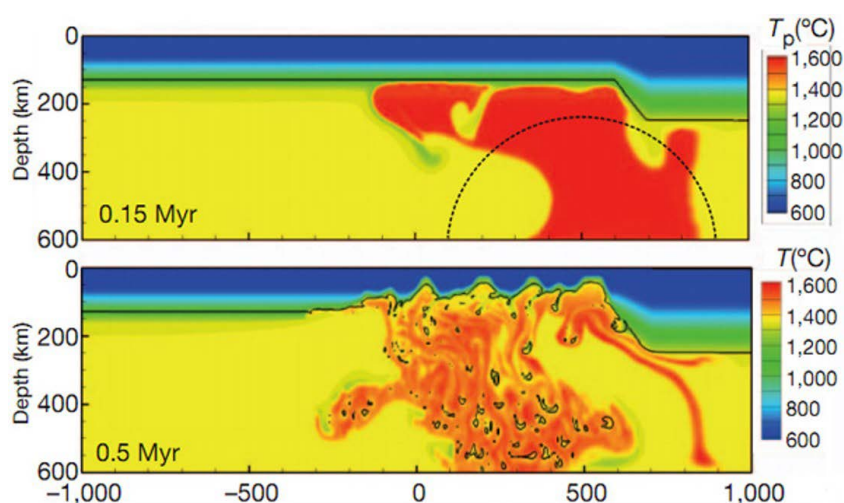
Нарастването на сеизмичността, пожарите и аномалиите във вулканичната активност са крайни ефекти от издигането на Сибирския блок от земната кора, който изпитва натиск от внедряването на Сибирския плюм.

Нарастването на сеизмичната активност не само в Сибир, но особено по краищата на Западносибирската плоча и Източносибирския кратон показва, че издигането на плочата в резултат на натиска от магматичния плюм отдолу вече е започнало. Това сочи към мащабно и значително влияние на магматичния плюм върху плочата.

Традиционните модели предполагаха, че мантийните плюмове при издигане и нагряване трябва да създават значително издигане на повърхността с височина до

2 км до момента на пробива на магмата. Геологическите доказателства за такова драматично издигане в района на Сибирските трапи, формирани в резултат на внедряването на магматичен плюм преди 250 милиона години, отсъстват.

На базата на изследванията на магматичните скали на Сибирските трапи, учени от институти в Русия, Германия и Франция установиха⁴⁶, че вместо издигане под формата на „мехур“, плюмът постепенно ерозирал литосферата отдолу (фиг. 76). Когато ерозията в зоната на контакт между разтопения материал на плюма и скалите на горната мантия достигат дълбочина 50 км, в този момент са започнали мащабни разливания и изригвания на лава на повърхността.



Фиг. 76.

Реконструкция на началните етапи на образуване на Сибирските трапи.

По вертикалната ос е показана дълбочината (в km). С различни цветове е показана температурата на скалите. Началното положение на върха на мантийния плюм е обозначено с пунктиран полукръг. Плюмът се приближава до долната граница на литосферата (плътна черна линия) и „се разлива“ под нея. В долната част — върхът на плюма чрез ерозия (видими са потъващите в недрата фрагменти от литосферата) е пробил път през горната мантия към земната кора. Това съответства на началото на основната фаза на траповия магматизъм.

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

⁴⁶ 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

Съвременната активност на плюма вероятно следва същия механизъм. Следователно, не се очаква значително издигане на повърхността само на едно място при внедряването на главата на плюма, но този механизъм не изключва мащабно регионално издигане на цялата Източносибирска платформа с някаква малка величина. Въпреки това, според тектонофизичното моделиране, дори и това издигане ще бъде достатъчно за пробив на магмата, което ще изведе разтопения материал на повърхността под високо

налягане, което ще доведе до огромна катастрофа.

Мястото на предполагаемото разположение на центъра на главата на плюма е районът северно от плато Путорана, на около 225 км североизточно от Норилск. Също така пробивите ще обхванат и цялата Западносибирска тънка плоча, където ще се разширят старите шевове – рифтовете и дълбоките разломи в земната кора.



Обосновка на неизбежността на изригването на Сибирския плюм

Причините, поради които пробивът на магма от съвременния Сибирски плюм носи високи рискове в настоящия период, са свързани със следните условия.

През последните 30 години на Земята се наблюдава постепенно нарастване на геофизичните аномалии, които са пряко следствие от външно въздействие, увеличаващо топлинната енергия в района на ядрото на планетата. Въпреки това, настоящата ситуация се различава коренно от предходния период: **в края на 2024 година планетата навлезе във фаза на повишено енергийно въздействие върху ядрото на планетата. Според изчисленията, до 2030 година тази фаза ще достигне своя максимум.**

Критичен фактор, влошаващ ситуацията, е глобалното замърсяване на океана вследствие на антропогенния фактор, включително замърсяването с въглеводороди, микро- и нанопластмаса. Този антропогенен фактор съществено промени топлопроводните свойства на океанската вода, като наруши нейната способност ефективно да отвежда топлината от недрата на Земята. Океанът, който исторически е служил като основен терморегулатор на планетата, е загубил значителна част от своята топлопроводна функция. В резултат на това се наблюдава аномално натрупване на топлинна енергия в мантията, което води до нейното интензивно топене в по-голяма степен, отколкото когато и да било в историята на Земята.

Геофизичните изследвания показват безпрецедентен ръст в броя на

дълбокофокусните земетресения, които са пряк индикатор за активно топене на мантията. Разтопената магма, увеличавайки своя обем, създава колосално налягане върху земната кора. Този процес може да се сравни с постепенното надуване на въздушен балон — в даден момент налягането ще надвиши границата на якост на обвивката.

Сибирският регион е особено уязвим към тези процеси поради специфичната си геологична структура: именно тук се издига мощен магматичен плюм — възходящ поток от разтопено мантийно вещество, предизвикан от изместването на ядрото в тази посока през 1997–1998 г. Нарастването на температурните аномалии в Сибир показва, че обемът на магмата под Сибирския кратон продължава да се увеличава в геометрична прогресия. Въз основа на геоложките данни и съвременните наблюдения може с висока степен на вероятност да се твърди, че Сибирският плюм се намира в критична фаза на готовност за изригване.

Особено тревожен е фактът, че едновременно със Сибирския плюм критична ситуация се развива и в района на Марианската падина. Това е най-дълбоката точка на океанското дъно, където земната кора е най-тънка и уязвима. Тук също се наблюдава издигане на нагрятата магма и като следствие — значително нарастване на сеизмичната активност. Съществува реална заплаха от разкъсване на океанското дъно в този регион и възможен сценарий за катастрофални последици за планетата.

Има два вероятни сценария за развитие на събитията. Първият е пробив на Сибирския плюм, който може да се случи във всеки момент поради нарастващото налягане на магмата. Вторият е разкъсване на земната кора в Марианската падина, което би могло да предшества сибирската катастрофа. Сибирският плюм няма да избухне единствено ако първо се разкъса Марианската падина. Геологическата история на Марс ни показва възможните последици от подобен сценарий: долината Маринър остава безмълвен свидетел на аналогична катастрофа, при която пробивът на плюма под океана е довел до глобални последици за цялата планета.

Според изчисленията, отчитащи текущите тенденции на растеж на геофизичната активност, критичната точка на пробива на Марианската падина може да бъде достигната до 2036 г. Важно е обаче да се разбере, че този срок е условен. Земната кора в Сибир може да не издържи нарастващото налягане значително по-рано. При настоящото развитие

на събитията пробивът на Сибирския плюм или разкъсването на земната кора в Марианската падина се очертават като неизбежни следствия от процесите, протичащи в недрата на Земята. Единствената неопределеност е в точния момент и място на катастрофата, но не и в самия факт на нейното приближаване.

Ще разгледаме три възможни сценария за развитието на събитията със Сибирския плюм. Първи сценарий — едномоментно изригване на Сибирския плюм. Ще настъпи внезапен, еднократен пробив на Сибирския плюм. Втори сценарий — постепенно изригване на Сибирския плюм. Ще се случат бавни и постепенни изригвания на лава в Сибир, подобно на формирането на Сибирските трапове. Трети сценарий — планирана контролирана дегазация. Този сценарий е възможен, ако човечеството предприеме необходимите мерки за дегазация на вторичните магматични огнища на Сибирския плюм в земната кора.

Сценарий 1.

Едномоментно изригване на Сибирския плюм

За да се оцени потенциалния мащаб на щетите от едномоментното изригване на Сибирския плюм, може да се използва сравнителен метод с примери от геоложката история. Въпреки това, трябва да се има предвид, че сегашните условия на Земята, а именно съвпадението на най-силния 24 000-годишен цикъл и антропогенното замърсяване на „основната охлаждаща система на планетата“ — океана — никога досега не са съществували. Именно поради тази причина едномоментният пробив на Сибирския плюм

се разглежда като най-вероятното събитие, ако човечеството не предприеме никакви стъпки за намаляване на рисковете от този пробив.

За оценка на мощността на вулканичните изригвания се използва обемът на изхвърления материал. Например, по време на едно от най-силните изригвания на супервулкана Йелоустоун преди 2,1 млн. години, обемът на изхвърлената магма е бил 2 500 км³, което е установено чрез изучаване на туфовите отложения в Северна Америка⁴⁷.

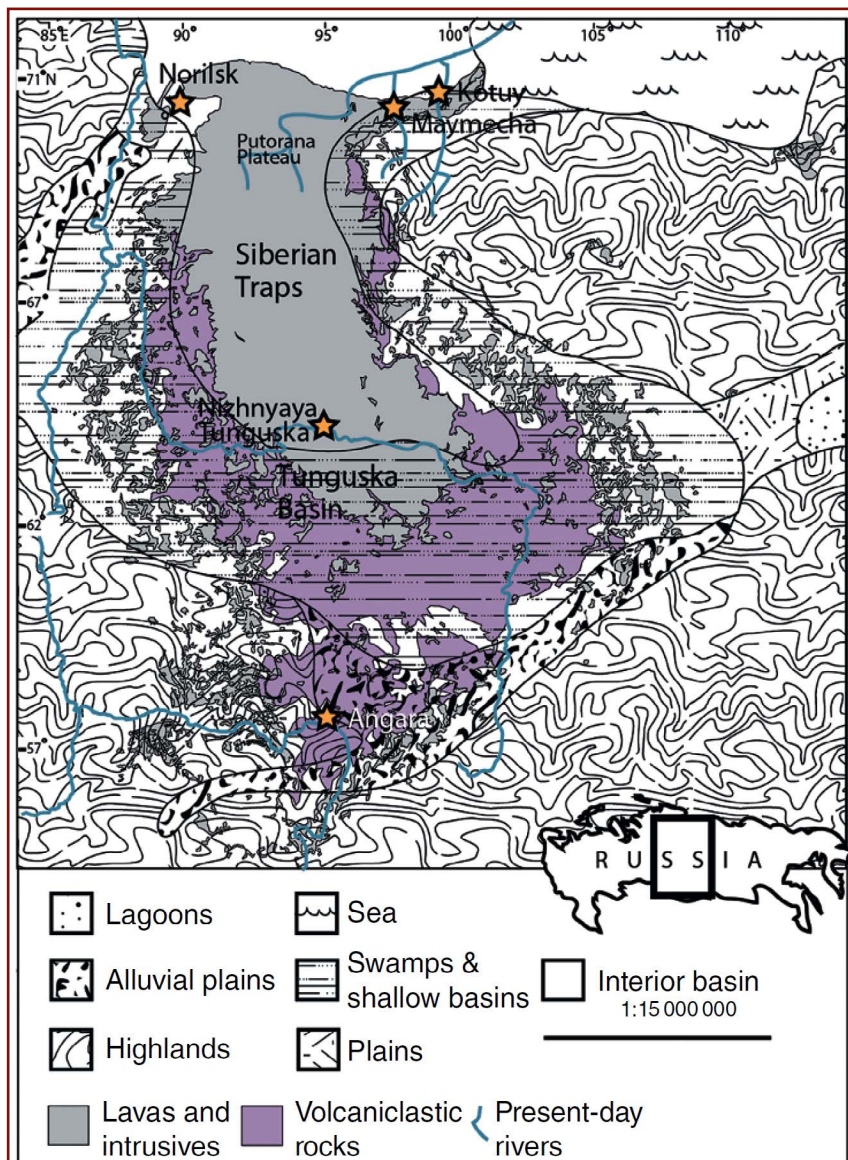
⁴⁷ Swallow, E. J., Wilson, C. J. N., Charlier, B. L. A., & Gamble, J. A. (2019). The Huckleberry Ridge Tuff, Yellowstone: evacuation of multiple magmatic systems in a complex episodic eruption. *Journal of Petrology*, 60, 1371-1426. <https://doi.org/10.1093/petrology/eqz034>

По време на това изригване емисиите от пепел и газове са достигнали височина от 50 км, стигайки до горната граница на стратосферата. По мащаб това изригване е съпоставимо с изригването на супервулкана Тоба на остров Суматра, станало преди около 72 000–74 000 години, което е било най-мощното вулканично изригване за последните 25 млн. години.

По време на изригванията на Сибирските трапове преди около 250 млн. години обемът на изхвърления материал е бил, според различни оценки, от 3 до 4 млн. км³ лава и туфи⁴⁸ (фиг. 77). Тоест изригванията

на Сибирските трапове е било 1 000 пъти по-голямо по обем на изхвърления материал в сравнение с най-мощните изригванията на Йелоустонската калдера или супервулкана Тоба.

По този начин, като се има предвид едномоментният характер на потенциалното изригване на Сибирския плюм, неговата активация може да доведе до изригване, чиято мощност ще надхвърли известните исторически събития, като изригванията на Йелоустонската калдера или супервулкана Тоба, 1000 пъти.



Фиг. 77.

Карта на палеогеографията на Сибирските трапове, показваща мащабите на основните вулканокластични потоци и разпространение. По данни на Малич и др. (1974), Полозова и др. (2010), Блек и др. (2015), с опростена къснопермска палеогеография от Czamanske et al. (1998).

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

⁴⁸Black, 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>

Предполага се, че ако се случи едномоментен пробив на Сибирския плюм, изригването ще има експлозивен, тоест взривен характер, и ще образува единна калдера. Според хипотезата се очаква, че калдерата от пробива на Сибирския плюм ще има площ от 75 000 km², като област с такава площ ще има радиус 150 km (или, например, 380 km на 250 km). По време на изригването на Сибирските трапове преди 250 млн. години, според литературните данни⁴⁹, площта на залятата с лава територия е била между 4 и 7 млн. km²⁵⁰. Аналогични територии могат да бъдат засегнати и при евентуално ново изригване.

Мнението, че лавовите потоци представляват най-голямата заплаха сред вулканичните явления, е погрешно. В действителност пепелта често се превръща в основна причина за фатални последици. При супервулканите, които се характеризират с висока взривоопасност, значителна част от магмата не успява да се трансформира в лава. Вместо това тя се фрагментира при взрива, образувайки огромно количество фини частици вулканична пепел – нажежени отломки от остри и назъбени скални породи, които се разпространяват в атмосферата. При вдишване тази пепел образува циментоподобна смес в белите дробове на човека, което води до неизбежна смърт.

Предполага се, че по време на изригването на Сибирския плюм радиусът на разпространение на такава нажежена пепел ще бъде приблизително 9 000 km, което означава, че ще покрие площ от около 255 млн. km². Тъй като цялата повърхност на Земята е малко над 510 млн. km², то радиусът на поражение с пепел, която няма да може да се вдишва, ще обхване половината от

планетата: тази територия ще представлява около 50 % от повърхността на Земята.

По този начин, при едномоментен пробив на Сибирския плюм се очакват три смъртоносни радиуса.

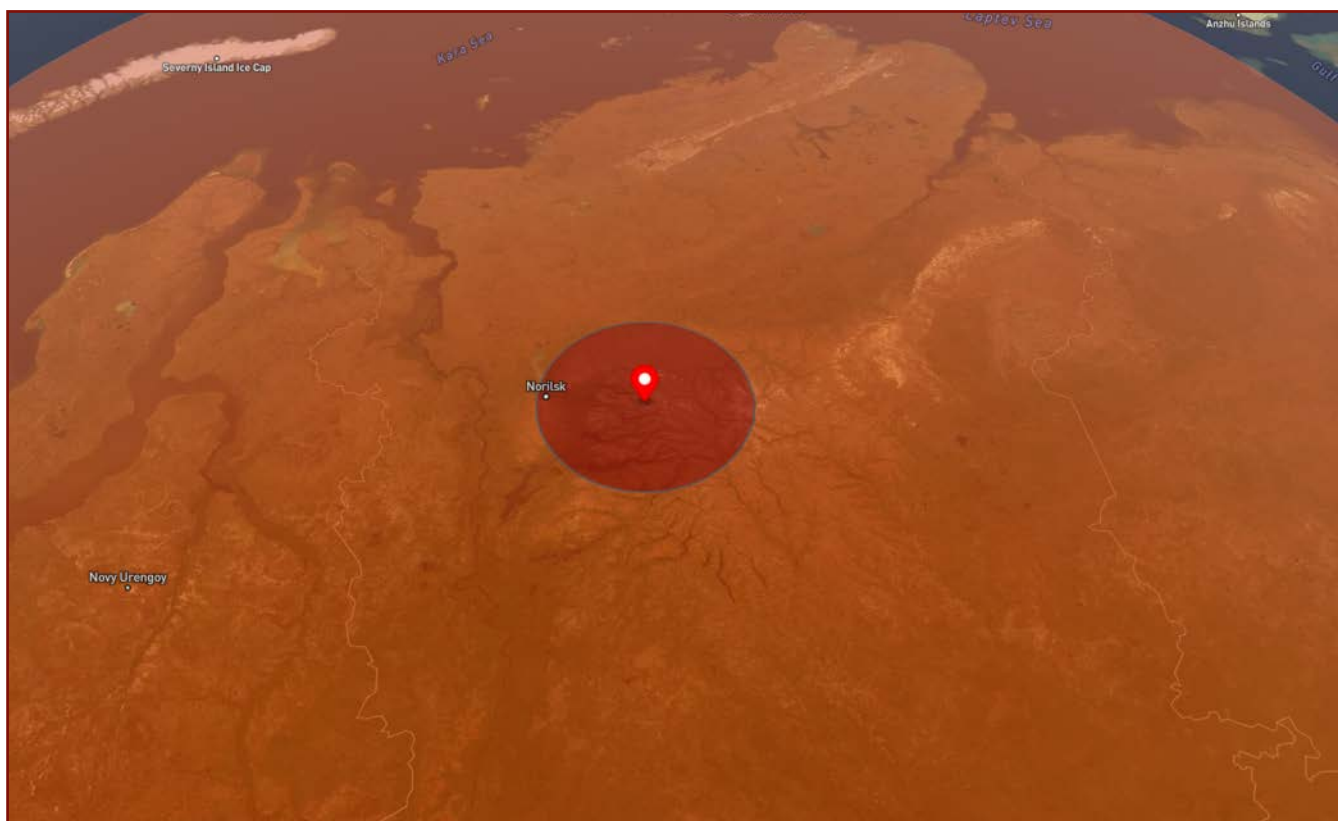
Първата (централна) зона на въздействие е област с радиус 150 km и център в северозападната част на платото Путорана, където се предполага формирането на калдерата (фиг. 78). В тази зона попадат градовете Норилск, Дудинка и Талнах в Красноярския край. При активизацията на плюма в границите на тази зона ще настъпи моментално разрушение на всички обекти поради ударната вълна и нажежените пирокластични потоци в началната фаза на изригването.

Втората зона на въздействие (с радиус 1 500 km) е територията на разпространение на лавата и тежките вулканични материали (фиг. 79). Тя ще обхваща обширни райони на Северен Сибир, включително териториите на Ямало-Ненецкия автономен окръг, Таймирския полуостров, части от Ханتي-Мансийския автономен окръг, северната част на Красноярския край, западната част на Якутия и североизточната част на европейска Русия.

В този радиус попадат големи градове като Игарка, Нови Уренгой, Надым, Салехард, Воркута, Нарян-Мар, Мирный, Когалим, Лесосибирск, Сургут, Красноярск, Ханتي-Мансийск, Томск и Нижневартовск. В първите часове след изригването тази територия ще бъде изложена на въздействието на бързо движещи се (до 700 km/h) потоци нажежен газ, пепел и лава. Тези потоци ще унищожат всяка форма на живот и ще покрият района с дебел слой вулканични материали, погребвайки под себе си градове и природни ресурси.

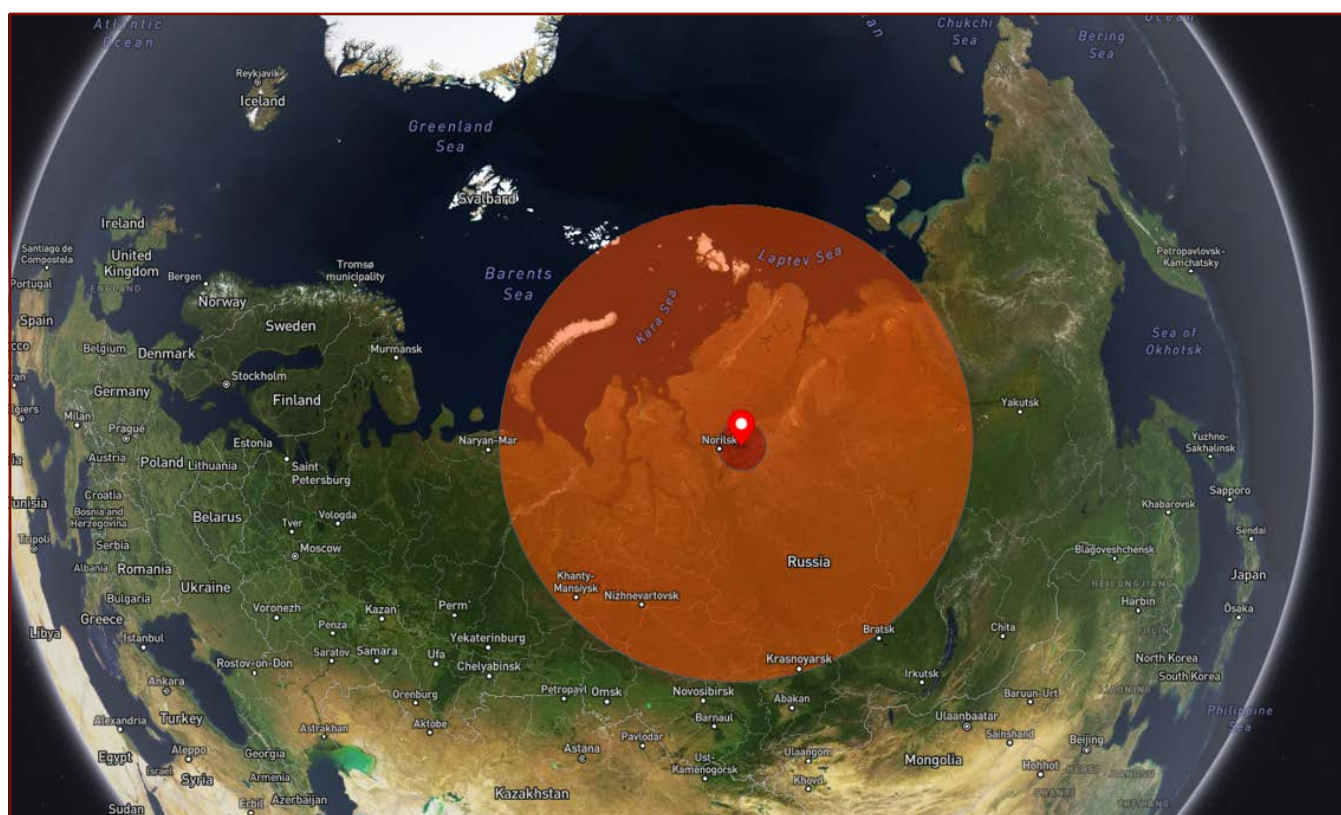
⁴⁹ Fedorenko, V. A., Lightfoot, P. C., Naldrett, A. J., Czamanske, G. K., Hawkesworth, C. J., Wooden, J. L., & Ebel, D. S. (1996). Petrogenesis of the Flood-Basalt Sequence at Noril'sk, North Central Siberia. *International Geology Review*, 38(2), 99-135. <https://doi.org/10.1080/00206819709465327>

⁵⁰ Ivanov, A.V., He, H., Yan, L., Ryabov, V.V., Shevko, A.Y., Palevskii, 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>



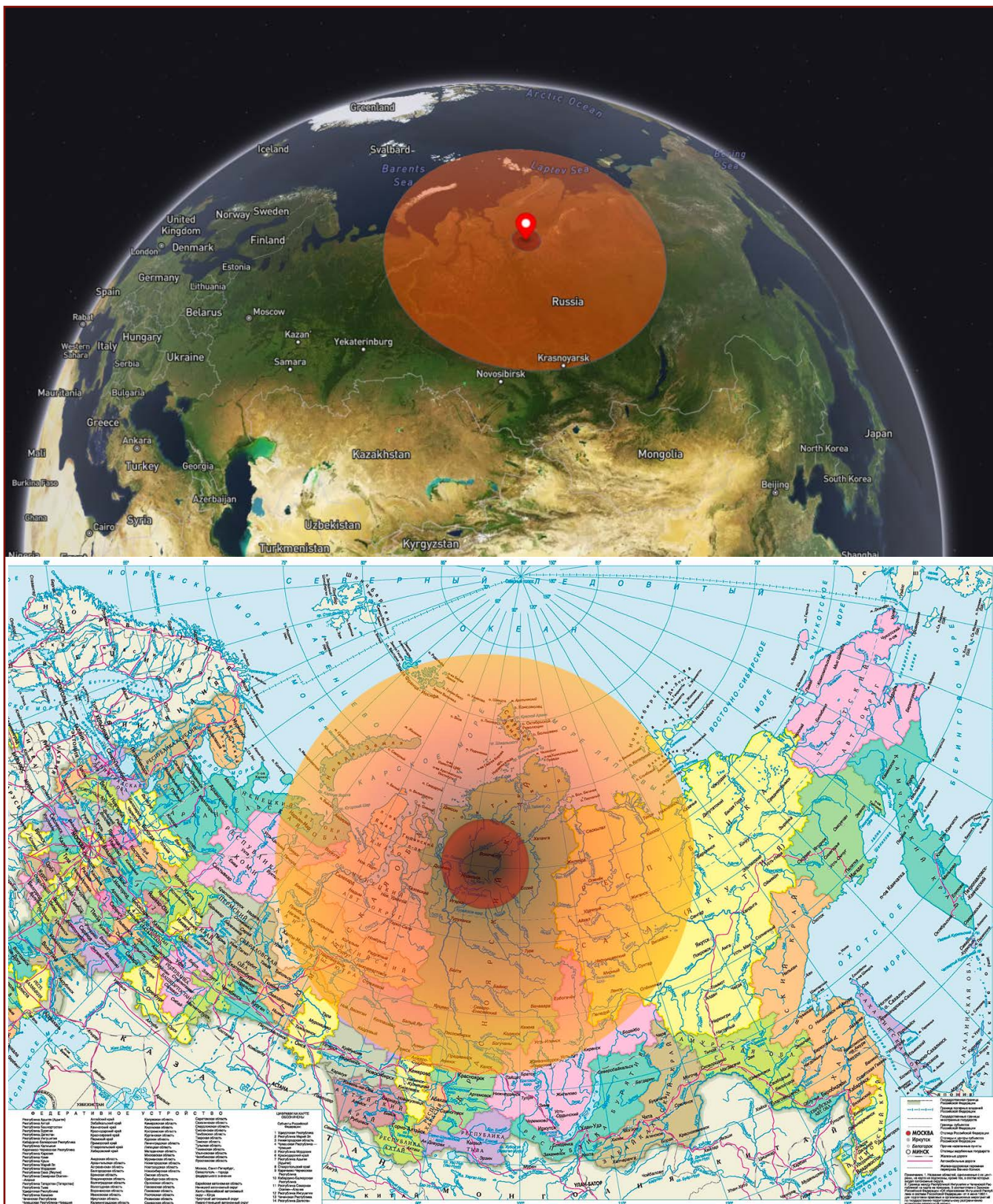
Фиг. 78.

С червено е обозначена зоната на формиране на калдерата с приблизителен радиус около 150 km.



Фиг. 79.

С оранжево е обозначена зоната на разливане на лава и изхвърляне на тежки пирокластични фракции — радиус приблизително 1 500 km.



Фиг. 79.

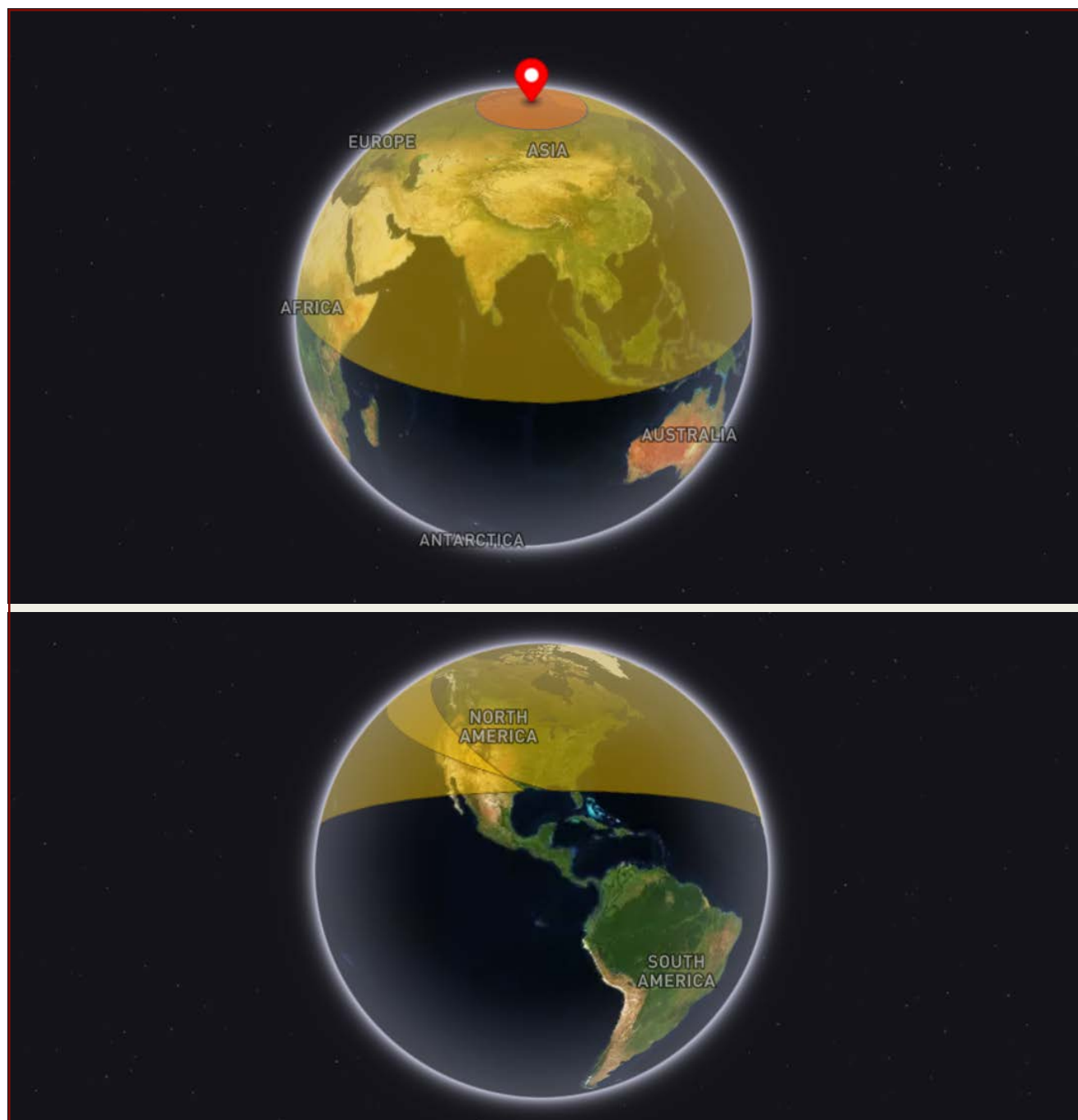
С оранжево е обозначена зоната на разливане на лава и изхвърляне на тежки пирокластични фракции — радиус приблизително 1 500 km.

Третата зона на въздействие (с радиус около 9 000 km) е областта на разпространение на финодисперсни пирокластични материали и вулканична пепел, обхващаща приблизително 50 % от земната повърхност (фиг. 80).

В началния етап (през първите 24 часа след изригването) максимално въздействие от емиисиите на пепел ще изпитат териториите

на Руската федерация, континентална Азия, Европа, Арабския полуостров, северната част на Африка и Северна Америка.

В рамките на следващите 7–10 дни се прогнозира разпространение на масите пепел над териториите на Австралийския континент, Южна Америка и Антарктида.



Фиг. 80.

С жълто е обозначена областта на разпространение на фината вулканична пепел – с радиус приблизително 9 000 km.



Фиг. 80.

С жълто е обозначена областта на разпространение на фината вулканична пепел – с радиус приблизително 9 000 km.

Изследването на геологичните процеси показва, че активизирането на Сибирския плюм ще предизвика цяла поредица от допълнителни катастрофални явления. Очаква се появата на мощна ударна вълна, възникването на земетресения с изключителна сила (магнитуд около 10), образуването на разрушителни цунами и вероятното събуждане на други от най-големите вулканични системи на Земята.

Освобождаваната при изригването енергия може да задейства верижна реакция, водеща

до активизацията на супервулкани и големи вулканични области по цялата планета. Тези изводи са основани на математически изчисления на енергийните процеси и тяхното влияние върху земната кора.

По-нататък ще разгледаме допълнителните рискови фактори, които застрашават човечеството в резултат на едномоментния пробив на Сибирския плюм.

Ударна вълна

Според данни от открити източници, изригването на Йелоустоунския супервулкан може да освободи енергия от около 900 000 мегатона и да предизвика земетресение с магнитуд 11,2. Тъй като магнитудната скала е логаритмична (увеличение с една единица означава нарастване на енергията 32 пъти), изригването на Сибирския плюм, което е 1 000 пъти по-мощно от Йелоустоун, може да предизвика земетресение с магнитуд 13,2. Това е 350 000 пъти по-силно от най-мощното регистрирано земетресение – Великото Чилийско земетресение (магнитуд 9,5, 1960 г.) – и е сравнимо с падането на голям астероид.

Отделяната енергия, приблизително 10^{24} J, ще създаде изключително мощна ударна вълна с глобален мащаб. В центъра на изригването налягането ще бъде толкова високо, че скалите мигновено ще се изпарят и ще бъдат изхвърлени в горните слоеве на атмосферата.

Свръхзвуковата ударна вълна ще предизвика разрушения на хиляди километри разстояние в рамките на броени минути, подобно на падането на Тунгуския метеорит,

но с многократно по-голяма мощност.

В Сибирската тайга ще възникнат масови пожари, а огромни територии ще бъдат покрити с дебел слой вулканичен пепел.

Ще се задейства ускорено топене на вечната замръзналост на хиляди километри, придружено от масивни емисии на парникови газове. Ландшафтът ще претърпи мащабни разрушения, активирайки разломи в земната кора.

Сеизмичните вълни ще обиколят планетата, предизвиквайки вторични земетресения със сила над 10 по Рихтер.

В Северния ледовит океан ще се образуват цунамита със стотици метри височина, които ще застрашат бреговете на Русия, Канада, Гренландия и Скандинавия.

Вторични цунамита ще ударят бреговете на Индонезия, Япония, Австралия, Северна и Южна Америка.

Глобални атмосферни смущения ще предизвикат формирането на изключително мощни урагани и бури.

Активизация на супервулкани и вулканични системи

Сеизмичните вълни от изригвания ще се разпространяват не само по въздуха и повърхността на Земята, но и дълбоко в мантията. Тъй като всички супервулкани са свързани помежду си чрез разтопени слоеве на мантията, сеизмичните вълни, заредени със силата, от изригването на Сибирския плюм вероятно ще предизвикат верижна реакция от изригвания на други

супервулкани още в първите дни (рис. 81). Очаква се активизация на най-големите вулканични системи, включително калдерите Йелоустоун и Лонг-Вали (Северна Америка), Флегрейските полета (Апенинския полуостров), Тоба (Зондския архипелаг), Айра (Японските острови) и вулканичния комплекс Таупо (Нова Зеландия).

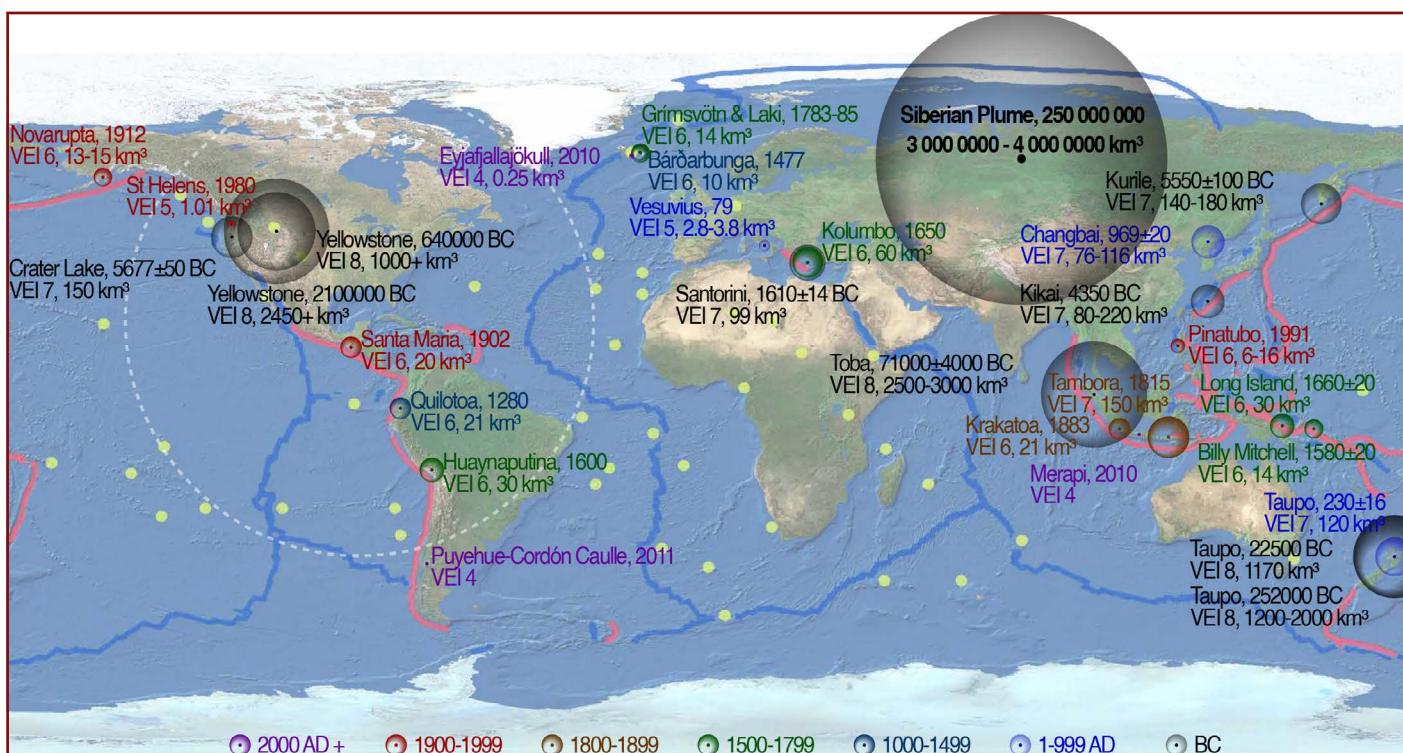


Рис. 81.

Схемата представя глобална карта на най-големите вулканични изригвания, класифицирани по времеви периоди, от докембрия до съвременността. Размерът на символите е пропорционален на обема на изхвърления материал (в km^3). Картата отразява времевата последователност на изригвания с $\text{VEI} \geq 4$, като особено се открояват събитията Тоба ($71\,000 \pm 4\,000$ години пр. н. е., $2\,500\text{--}3\,000\text{ km}^3$), Йелоустоун ($640\,000$ години пр. н. е., $>1\,000\text{ km}^3$) и Тамбора (1815 г., 150 km^3). Подобни изригвания се очаква да възникнат и при взрив на Сибирския плум, което би било най-голямото събитие в историята ($3\text{--}4$ млн km^3). С червени линии са обозначени границите на тектоничните плочи, показващи пространствена корелация с локализацията на големи изригвания.

Освен изригванията на супервулкани, вероятно ще започнат изригвания на много вулкани, разположени по Тихоокеанския огнен пръстен и в други сеизмично активни зони. Висока е вероятността за възобновяване на вулканична активност на такива вулкани като Фудзияма (Япония), Кракатау и Мерапи (Индонезия), Везувий и Етна (Италия), Попокатепетъл (Мексико), вулканските групи на Камчатка, Андите и Аляскинския вулканичен пояс, както

и подледниковите вулканични системи на Западна Антарктида. Предполага се реактивация на дълго неактивни вулканични структури, включително стратовулкана Арарат (Анатолийското плато), вулканичния масив Елбрус (Кавказки регион), вулкана Лахер-Зе (Централна Европа), стратовулканите Килиманджаро и Нирагонго (Източнаафриканската рифтова система) и вулканичните системи на Арабския полуостров.

Киселинни дъждове

Катастрофалните изхвърляния на вулканична пепел и серен диоксид в резултат на изригването ще доведат до това, че валежите по цялата планета ще приемат формата на киселинни дъждове. За илюстрация на мащабите на емисиите може да се разгледа изригването на супервулкана Йелоустоун преди 630 000 години, когато в атмосферата са били изхвърлени около 500 мегатона серен диоксид. Ако тези данни бъдат мащабирани спрямо хипотетичното изригване на Сибирския плюм, може да се предположи обем на емисиите на серен диоксид от порядъка на 1 500 000 мегатона (или $1,5 \times 10^{12}$ тона), което надхвърля емисиите на Тамбора през 1815 г. („годината без лято“) приблизително един милион пъти. Трябва да се подчертае, че този изчислителен модел не отчита емисиите от други вулкани, които могат да се активират в рамките на верижната реакция.

Такава концентрация на изхвърляния на серен диоксид ще предизвика глобално образуване на аерозолни частици в стратосферата, които постепенно ще се отмиват от атмосферата в продължение на десетилетия под формата на киселинни дъждове. Основният период на киселинни валежи, според прогнозите, ще продължи от 3 до 10 години, в зависимост от климатичните процеси и циркулацията на веществата в атмосферата. Региони, разположени по-близо до епицентъра на тези изхвърляния, като територията на съвременен Сибир, ще бъдат изложени на валежи с рН под

1,5, което е сравнимо с разрежена сярна киселина. Това ще доведе до унищожаване на растителността, включително корените, листата и клоните на дърветата, както и до отмиване на минерали от почвата, което ще я направи непригодна за поддържане на живот. Водните екосистеми също ще претърпят рязко подкиселяване: водоемите ще се превърнат в киселинни езера с рН 2–3, което ще ги направи токсични за повечето форми на живот. Освен това, киселината, навлизаща във водопроводните системи, ще направи питейната вода непригодна за консумация без сложна филтрация. Инфраструктурата, включително сгради от цимент, мрамор и метали, ще бъде изложена на ускорена корозия под въздействието на сулфатните съединения.

Обаче максималната концентрация на киселинните дъждове ще продължи само първите месеци след изригването, след което валежите постепенно ще се локализируют в определени региони. С настъпването на вулканичната зима по-голямата част от валежите ще преминат в снежна форма, което ще намали киселинното натоварване върху екосистемите, но дотогава глобалното разрушение на флората и фауната, причинено от киселинните валежи, вече ще бъде необратимо. Щетите, нанесени на екосистемите, ще окажат значително влияние върху природните и антропогенните процеси дълго преди началото на глобалното охлаждане.

Вулканична зима

Сумарното въздействие на изригването на Сибирския плюм, усилено от едновременното активиране на множество вулкани, ще има колосален катастрофален ефект, изразен в промяна на глобалните климатични и екологични условия. Мащабните изхвърляния на вулканична пепел, газове (особено серен диоксид — SO_2) и аерозоли в атмосферата ще създадат непреодолима бариера за слънчевото излъчване в продължение на десетилетия.

Високата концентрация на сулфатни аерозоли в стратосферата ще отразява по-голямата част от слънчевата радиация, което ще доведе до нарушаване на енергийния баланс на планетата. Очаква се рязко намаляване на постъпващата топлина, което ще доведе до екстремално охлаждане на климата – състояние, което може да бъде определено като „хипервулканична зима“. В резултат на тези процеси Земята ще се превърне в „ледена топка“, където условията за поддържане на живот ще се запазят само в ограничени региони, предимно в екваториалната зона.

Оценките за възможното въздействие се основават на исторически данни за значителни изригвания. Например, по време на най-мощното изригване на Йелоустоун преди 2,1 млн. години температурата на планетата е спаднала средно с 3–5 °C. Според изчисленията, по време на изригването на Сибирския плюм, чиито мащаби многократно надвишават това събитие, средната температура на Земята ще спадне с ~24–31 °C. В полярните зони снижаването на температурата се очаква да достигне 28–36 °C и повече, което ще доведе до пълно замръзване на ключови водоеми, включително Северния

Атлантически океан и значителни части на Тихия океан. Средните ширини ще изпитат понижение на температурата с 24–31 °C, което ще унищожи цялата растителност и ще предизвика масова гибел на организми.

Океанските екосистеми ще претърпят рязко разрушение. Замръзването ще започне от повърхността и крайбрежните зони на океаните, което ще доведе до изчезване на морската биота на глобално ниво. В екваториалните региони температурата ще спадне с 20–27 °C, което ще направи дори тропическите зони твърде студени за поддържане на живот.

Почти цялата суша ще се превърне в безплодна територия поради глобалния студ, затъмнението и спирането на фотосинтезата. Хранителните вериги ще бъдат разрушени, което ще доведе до крах на селското стопанство и масово измиране както на флората и фауната, така и на значителна част от човечеството. Жизнеспособни ще останат само отделни микробни екосистеми, адаптирани към екстремни условия.

Сулфатните аерозоли, които дълго време ще се задържат в стратосферата, ще продължат да блокират слънчевата светлина в продължение на няколко десетилетия. Въпреки това, последствията от „хипервулканичната зима“ ще се усещат значително по-дълго. Дори след приключването на утаяването на пепелта и аерозолите, на планетата ще са необходими стотици или дори хиляди години, за да възстанови естествения климатичен и екологичен баланс, като се има предвид замръзването на океаните, формирането на ледници и радикалните промени в биосферата.

Изводи по сценарий 1: Едномоментен пробив на Сибирския плюм

Едномоментното изригване на Сибирския плюм ще бъде катастрофално геоложко и климатично събитие, предизвикващо глобални промени в атмосферата, хидросферата и биосферата. Мощният взрив на платото Путорана мигновено ще унищожи всичко в радиус от 150 km, формирайки гигантска калдера, а пирокластичните потоци и лавата ще обхванат територия с радиус 1 500 km, превръщайки Сибир в изпепелена пустиня. Половината от повърхността на планетата ще бъде покрита със слой пепел. Земетресение с магнитуд до 13,2, предизвикано от взрива на плюма, ще породи разрушителни сеизмични вълни, които ще се разпространят по цялата планета, активирайки линии на разломи, вторични земетресения и мегацунамита с височина от стотици метри, които ще наводнят крайбрежните зони на континентите.

Изхвърлянията на 1,5 млн. мегатона SO_2 ще предизвикат киселинни дъждове с pH под 1,5, унищожавайки почвите, растителността и водните екосистеми. Водоемите ще станат непригодни за живот, а сушата бързо ще загуби своето плодородие. Колапсът на фотосинтезата и хранителните вериги ще

доведе до масово измиране на флората, фауната и, съответно, на човешката цивилизация.

The massive activation of supervolcanoes, including Yellowstone, Campi Flegrei, and Toba, would exacerbate global climate changes by increasing emissions of volcanic ash, sulfur dioxide (SO_2), and aerosols. Their accumulation in the stratosphere would block sunlight, causing planetary cooling (“hypervolcanic winter”) and temperature drops of tens of degrees. In polar regions, temperatures would plummet by more than $28\text{--}36^\circ\text{C}$ ($50.4\text{--}64.8^\circ\text{F}$); in temperate zones, by $24\text{--}31^\circ\text{C}$ ($43.2\text{--}55.8^\circ\text{F}$); and in the tropics, by $20\text{--}27^\circ\text{C}$ ($36.0\text{--}48.6^\circ\text{F}$). This would result in frozen oceans, halted oceanic circulation, ecosystem collapse, and the formation of massive glaciers on land.

Въздействието на „хипервулканичната зима“ ще направи Земята практически необитаема, възстановяването на природните условия ще изисква от хиляди до милиони години. Това събитие ще стане най-голямото измирание в геологичната история на планетата.

Сценарий 2:

Постепенно изригване на Сибирския плюм

Вторият сценарий на изригване на Сибирския плюм предполага не едновременно взрив, а постепенна серия от изригвания на газове и потоци лава през разломи и отслабени зони на земната кора. Този процес може да се сравни с формирането на Сибирските трапове, настъпило в края на пермския период преди 250 млн. години в същия регион.

Образуването на Сибирските трапови провинции се явява най-мащабното проявление на земния вулканизъм. По онова време Земята е преживяла най-голямата

екологична катастрофа в своята история — пермско-триасовото масово измиране, при което изчезнали до 90% от морските и 70% от наземните видове (рис. 82, 83).

Геоложките данни⁵¹ показват, че сибирските изригвания на територията на Източносибирския кратон са могли да бъдат изключително взривни (Campbell et al. 1992), а дебелината на пирокластичните отлагания е достигала 800 метра (Khain 1985). Мощността на взривовете била толкова висока, че изхвърляла седиментни скали понякога от дълбочина 10 км.



Рис. 82.
Художествено изображение на изригвания в Сибир по време на пермо-триасовото измиране.

Илюстрация:
Image by Tigran Nshanyan

Рис. 83.
Художествено изображение: листрозаврите, преживели масовото измиране, доминират в опустошения ландшафт, илюстрирайки изменението на екосистемата след пермо-триасовата криза.

Илюстрация:
Хулио Ласерда (Julio Lacerda)



⁵¹Beerling, 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>

Вулканичната активност в региона се е проявила на няколко етапа, коренно променяйки геологичния ландшафт. Първоначално магмата прониквала в дебелината на седиментните отлагания, формирайки различни интрузивни тела, като сили. След това характерът на изригванията се променил на взривен, което довело до изхвърляне на огромно количество пирокластичен материал и образуване на мощни вулканични отлагания. Кулминацията на този процес била изливанията на колосални обеми базалтова лава, измервани в стотици хиляди кубични километра. Общо обемът на вулканичните скали, включително интрузии, пирокластични отлагания и лавови потоци, се оценява приблизително на 3 млн. км³. Важно е да се отбележи, че тази цифра отразява само запазените до наши дни скали, и може да се твърди с увереност, че първоначалните мащаби на изригванията са били значително по-големи, но по-късно са били подложени на ерозия.

Формирането на сибирските траппове довело до колосални изхвърляния на въглероден диоксид (CO₂), серен диоксид (SO₂), водороден хлорид (HCl) и други летливи вещества. Тези газове рязко засилили парниковия ефект и предизвикали стремително затопляне след вулканична зима.

Концентрацията на CO₂ в атмосферата достигала 8000 ppm, което е 20 пъти по-високо от съвременните нива. В резултат на това температурата на тропическите морета се е покачила от 22–25 °C до 30 °C,

а океаните започнали да се подкисляват, убивайки организми с карбонатни скелети.

Общото количество изхвърлена сяра било до 7800 гигатона, хлор — до 8700 гигатона, а флуор — до 13 600 гигатона⁵².

Вулканичната пепел и аерозолите блокирали слънчевата светлина, нарушили фотосинтезата, предизвикали масово изчезване на горите и разрушаване на хранителните вериги, което засилило измирането както на растителни, така и на животински видове. Екологичната криза от онова време служи като свидетелство за мащаба на възможните последици дори при постепенно изригване на Сибирския плюм.

Според изследванията, периодът на изригвания, започнал преди 250 милиона години, е бил причинен от издигането на мантиен плюм — мощен поток магма, издигащ се от дълбините на Земята в района на съвременното плато Путорана. Повторението на такъв сценарий днес ще доведе до формиране на обширни лавови плата — едни от най-големите геологични образувания на планетата, които ще унищожат практически целия живот в радиус от няколко хиляди километра, обхващайки териториите на Сибир и съседните региони. Геоложките данни свидетелстват, че подобни катастрофи, придружени от изливането на гигантски базалтови полета⁵³, са се случвали нееднократно, причинявайки всеки път мащабни масови измирания (виж фиг. 84).

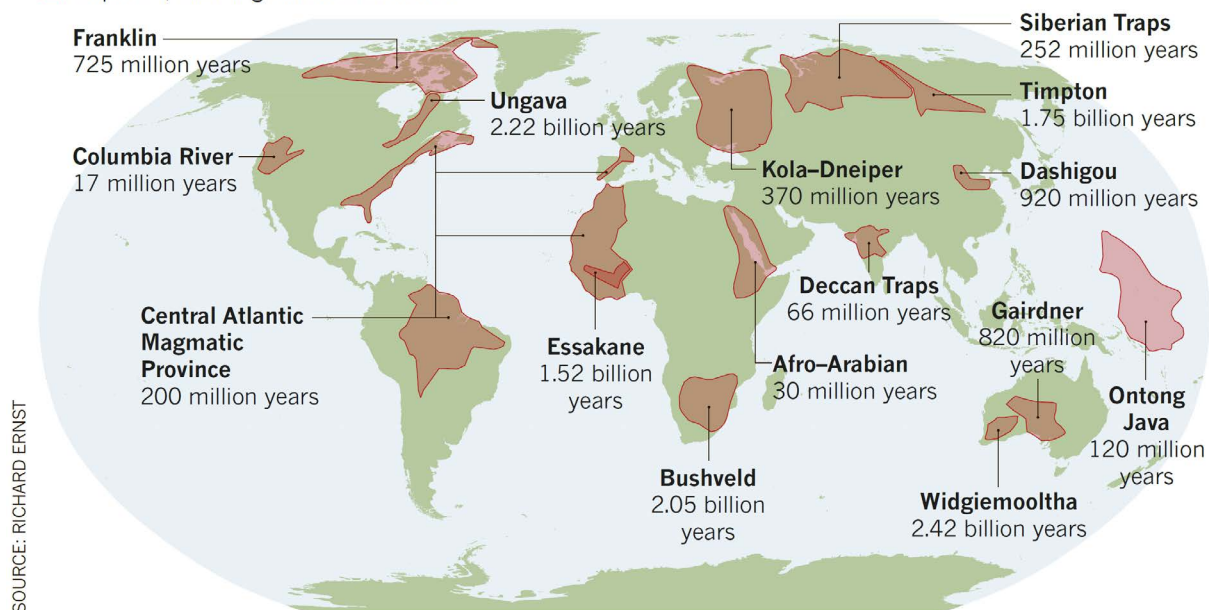
⁵²Benjamin A. Black, Linda T. Elkins-Tanton, Michael C. Rowe, Ingrid Ukstins Peate, Magnitude and consequences of volatile release from the Siberian Traps, *Earth and Planetary Science Letters*, Volumes 317–318, 2012, Pages 363–373, ISSN 0012-821X, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.12.001>

⁵³Witze, 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



Фиг. 84.

На изображението е представена карта на най-големите вулканични изригвания в историята на Земята с указание на географското разположение и възрастовите данни на лавовите плати, формирани в резултат на тези събития.

Илюстрация: Richard Ernst

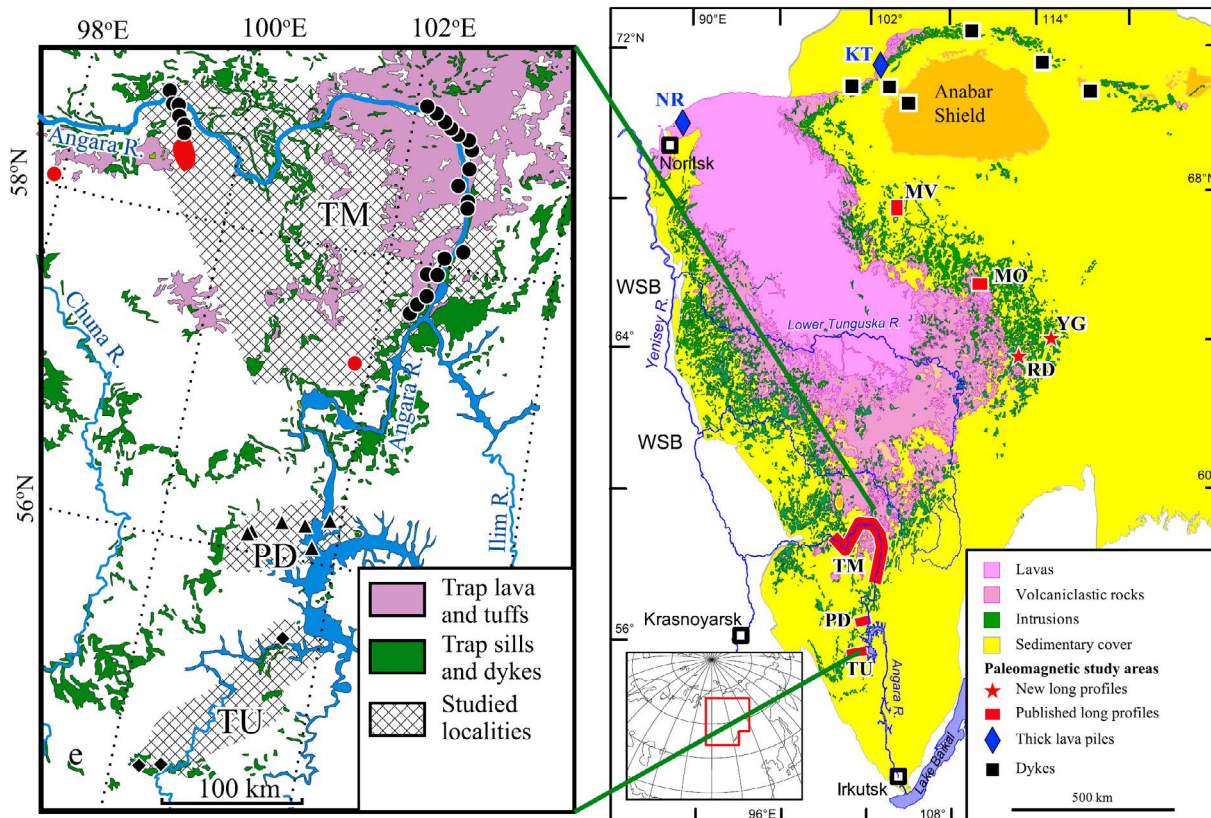
Източник: Witze, A. Earth's lost history of planet-altering eruptions revealed. Nature 543, 295–296 (2017).

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

Както и в предишните геологични епохи, магмата ще се издига от мантията, прониквайки през пукнатини в земната кора, по подобие на меко вещество се просмукващо през плътен филтър. Този процес ще доведе до прегряване на повърхността, образуване на множество вътрешнокорови магматични интрузии и топене на литосферата.

На фиг. 85 е показано разпределението на ефузивните скали в Сибир: лилавият

цвят показва лавовите потоци, а зеленият – магматични тела, втвърдени в земната кора. Зелените зони на картата демонстрират как магмата, разяждайки земната кора, е формирала пукнатини и е прониквала по тези отслабени зони. Подобно засилено налягане на магмата може отново да предизвика аналогичен процес.



Фиг. 85.

Отдясно: Обзорна карта на Сибирската трапова провинция (опростена и модифицирана според Svensen et al., 2009). На обзорната карта различни цветове обозначават основните геологични структури: розово – лавови потоци, зелено – интрузивни тела, жълто – седиментна покривка.

Отляво: На детайлната карта на лявата част на фигурата е представено разпределението на траповия магматизъм: лилаво – лави и туфи, зелено – сил и дайки.

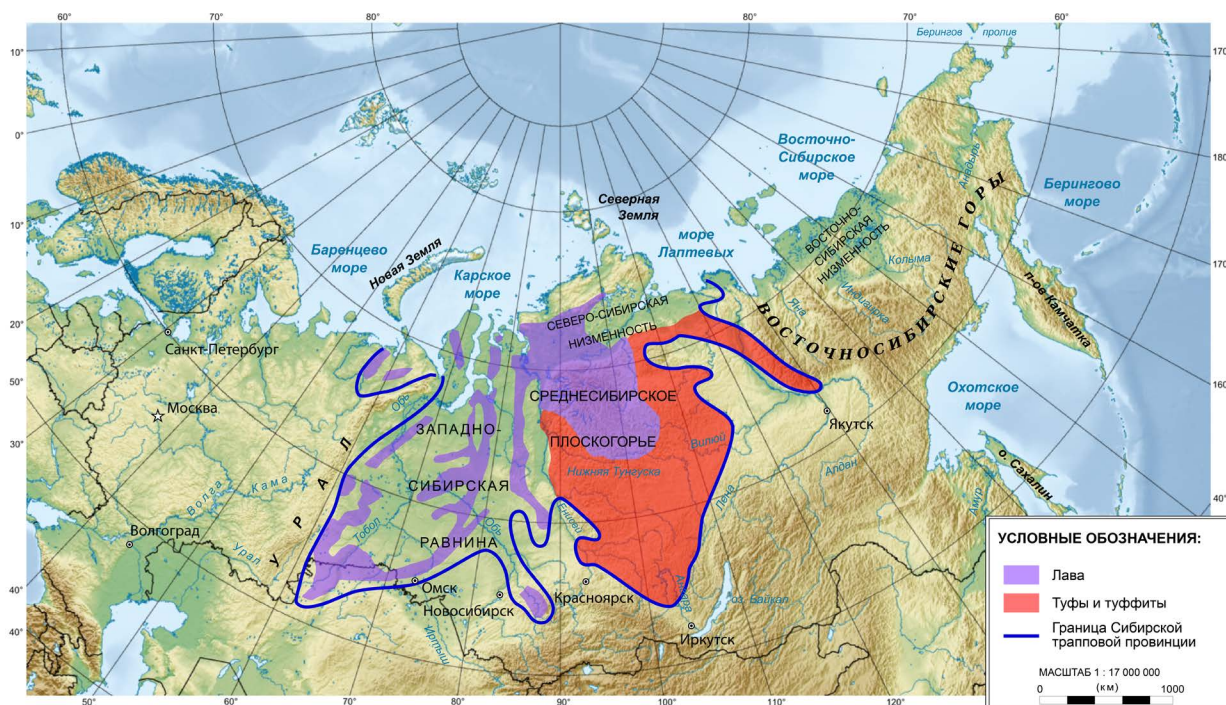
Източник: Konstantinov, K. M., Bazhenov, M. L., Fetisova, A. M., & Khutorskoy, M. D. (2014). Paleomagnetism of trap intrusions, East Siberia: Implications to flood basalt emplacement and the Permo–Triassic crisis of biosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, 394, 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.03.029>

Сценарият на постепенно изригване е съпоставим с едномоментния взрив на Сибирския плум, но е разтегнат във времето. Това може да се представи като поредица от вулкани, изригващи всяка седмица, заедно с внезапни пукнатини, през които базалтови лави ще се разливат из цял Западна Сибир.

На картата (фиг. 86) виолетовият цвят обозначава областите на лавовите потоци. В района на по-плътната и устойчива кора на Източносибирската платформа, лавите са се разливали върху големи площи, докато на територията на Западен Сибир,

който се характеризира с по-тънка, млада и нехомогенна кора, изригванията са се случвали по протежение на удължени пропадания или рифтове. Червеният цвят на картата обозначава зоните на туфите, състоящи се от циментирани пирокластични отломки и пепел.

Следва да се отбележи, че изригванията в Източен и Западен Сибир ще се различават. Под Източен Сибир магмата се сблъсква с плътен архейски кратон, което създава значителна бариера. В процеса на издигане магмата „разяжда“ вместилищата скали,



Фиг. 86.

Карта на Сибирската трапова провинция. На картата са представени основните геологични структури, включително районите на разпространение на лавовите потоци (лилав цвят) и туфите с туфити (пурпурен цвят). Сините линии обозначават границите на Сибирската трапова провинция.

Източник: wikipedia.org по данни на Masaitis, 1983 г.

охлажда се и се насища с летливи компоненти, което може да доведе до експлозивни изригвания с високо съдържание на пепел и възможно образуване на кисела, вискозна магма. За разлика от това, под Западен Сибир, където кората е тънка и млада, се предполага преобладаване на изливи на течни базалтови лави.

Очаква се площта, покрита с лавови потоци и туфи, да достигне около 7 млн. km² в Западна и Източна Сибир, което е съпоставимо с територията на съвременна Австралия. Въпреки това, зоните, засегнати от деградация, вероятно ще надхвърлят десетки милиони квадратни километри. Тези територии ще бъдат подложени на масови пожари, ерозия вследствие на киселинни дъждове, пеплопади, свлачища и селеви потоци, носещи вулканични отлагания. Цялата вечна замръзналост на Сибир ще бъде разрушена.

Заслужава да се отбележи, че на полуостров Таймир, западно от платото Путорана, се

намират най-големите в света находища на никел, мед и метали от платиновата група, разработвани от компанията „Норникел“. Тези находища имат магматичен произход и са се формирали преди около 250 млн. години по време на изригванията в Сибирската трапова магматична провинция, което е допринесло за образуването на уникални рудни възли. Високата концентрация на никел в магмите от онова време вероятно е била свързана с изнасянето на вещества от ядрото на Земята към повърхността. В момента се наблюдава издигане на магматичния плюм в Сибир, чието ускорение е било предизвикано от изместването на ядрото на Земята през 1998 г. в посока полуостров Таймир, установено от доктора на науките Юрий Баркин. В близко бъдеще съществува висок риск от пробив на Сибирския плюм в района на град Норилск, точно на същото място, където това се е случило преди 250 млн. години.

Последици за Русия от постепенния пробив на Сибирския плюм

Съществуват изследвания, които точно определят разположението на астеносферните разтопени лещи в литосферата на южната част на Сибир, което се обяснява с тънката кора в този регион. Въпреки това, северната част на Сибир остава практически неизучена на сеизмичните карти, представлявайки „бяло петно“ в изследванията на долната кора и мантията. Това прави невъзможно точното прогнозиране на местата на първите пробиви на лавата и изригванията на газонаситени магми, особено предвид липсата на пълноценен мониторинг на недрата в зоната на Сибирския плюм.

Известно е, че първите признаци на надвисналата катастрофа ще бъдат зачестяванията на земетресенията и локалните изхвърляния на газ по периферията на Сибирския блок от земната кора. При напредване на магма към повърхността ще започне бързо топене на вечната замръзналост, което може да доведе до разрушаване на инфраструктурата върху замръзналите почви. Също така, след затоплянето на почвата, са възможни експлозии на газохидрати (метан в структурата на леда), което ще предизвика появата на големи дупки и унищожаване на населени места. Масовите пожари ще станат неизбежни, дължащи се на отделянето на метан, прегряването на почвата и освобождаването на вулканични газове. Въглеводородите в находищата на Сибир и въглищните басейни, като Кузбас, могат да се запалят, както вече се е случвало през пермо-триасовия период⁵⁴,

когато въглищните залежи са били подложени на термично нагряване до 600 °C.

Изригванията ще започнат внезапно, обхващайки множество места на обширна територия. Земетресения с магнитуд 7–8, пукнатини и разломи ще доведат до разлив на лава върху стотици хиляди квадратни километра. В областите около пробивите на лавата ще настъпи масова гибел на растения, животни и хора поради токсичните емисии, които ще образуват в атмосферата отровен „коктейл“. Още в първите дни ще загинат милиони хора, а вулканичната пепел ще унищожи транспортната мрежа, като се утаява върху пътищата и релсите, влошавайки видимостта и разрушавайки инфраструктурата. Авиацията също ще спре напълно работата си поради опасността, която пепелта представлява за двигателите на самолетите и хеликоптерите.

Топенето на вечната замръзналост ще влоши още повече ситуацията: пътищата за комуникация, тръбопроводите, сградите и комуникационните мрежи ще започнат да се рушат. Много градове ще останат без достъп до вода, храна и електричество, което ще предизвика хуманитарна криза. Масовото евакуиране ще се окаже невъзможно в значителна част от зоната на изригване, тъй като лавата, газовете, пожарите и киселинните дъждове ще направят транспортните пътища неизползваеми. Паника ще обхване милиони хора; евакуацията на милиони жители на Сибир ще доведе до социална нестабилност и масови безредици.

⁵⁴Elkins-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>

Икономиката на страната ще понесе катастрофални загуби: добивът на нефт, газ, въглища, диаманти и метали ще спре поради физическото унищожаване на инфраструктурата, което ще доведе до спиране на предприятията, недостиг на суровини и електроенергия. Вулканичната активност ще разруши природните богатства на региона, включително нефт и въглища, унищожавайки ключовите икономически активи на страната.

Десетилетия след изригването Сибир ще остане зона на екологично бедствие.

Катастрофата, която ще постигне Русия ще промени необратимо нейната география, икономика и общество. Само 25% от територията на страната ще остане годна за живот, но тя ще се сблъска с огромен натиск от екологични и социални кризи.

Икономическите позиции, историческите паметници и по-голямата част от природните богатства ще бъдат загубени, а Сибир ще стане непригоден за съществуването на съвременната цивилизация.

Последици за целия свят от постепенния пробив на Сибирския плюм

Глобалните последиствия от изригването на Сибирския плюм ще засегнат целия свят и ще се развият на няколко етапа.

В първите дни ще спре транспортната връзка през Сибир между Европа и Азия, а авиационните превози ще спрат поради вулканичната пепел в атмосферата. Тези процеси ще нарушат глобалната логистика, предизвиквайки мащабна продоволствена криза, тъй като Русия като един от водещите износители на храни ще спре доставките на пшеница и други продукти. Нарушаването на експорта на нефт, газ и други суровини от Русия ще доведе до скок на цените, енергийна криза и икономическа нестабилност в много страни. Световната икономика ще се сблъска с верижна реакция от финансови и социални сътресения.

Облаците от пепел и сернисти аерозоли ще предизвикат ефект на глобално затъмняване, намалявайки постъпването на слънчева светлина. Това ще доведе до „вулканична зима“ с падане на температурите с 2–3 °C.

Киселинните дъждове и замърсяването на почвите ще нанесат щети на селското стопанство не само в Русия, но и по целия свят. Масов глад, недостиг на вода, токсичен въздух и разрушаване на климатичната система ще доведат до постепенна гибел на милиарди хора и животни. След няколко години социалните системи ще се сринат.

С времето вулканичната пепел ще започне да се утаява, но ще настъпят резки климатични промени. Изхвърлянето на метан и въглероден диоксид, поради, топенето на вечната замръзналост, ще доведе до засилване на парниковия ефект. Температурата ще започне постепенно да се повишава с 5–10 °C, което ще доведе до нестабилен климат, характеризиращ се с резки температурни промени. Разрушаването на озоновия слой ще доведе до повишаване на нивото на ултравиолетовото лъчение в Северното полукълбо, влошавайки последиствията от изригванията.

Въпреки отдалечеността от Сибир, Европа ще се сблъска със сериозни последствия от изригването на Сибирския плюм: пепелта ще покрие Северна и Източна Европа, предизвиквайки множество респираторни заболявания сред населението. Киселинните дъждове ще унищожат горите, градската инфраструктура и земеделските земи. След фазата на временно охлаждане ще започне рязко затопляне, придружено от суши на юг и наводнения в централната и северната част на Европа. Масовите миграции от Русия, Азия и Близкия Изток ще предизвикат демографска криза и ще засилят конкуренцията за ресурси. Европейските държави ще се борят с непрекъснати екологични, икономически и социални предизвикателства.

Азия, която е най-близо до епицентъра на изригванията, ще поеме основния удар. Замърсяването на въздуха с прах и пепел ще предизвика задушаване и киселинни дъждове, особено в Китай,

Монголия и Казахстан. Селското стопанство в северен Китай, ключов хранителен регион, ще бъде унищожено поради липса на слънчева светлина и влошаване на качеството на почвата. Температурните колебания ще разрушат инфраструктурата и селскостопанските системи на целия континент. Постепенното затопляне на океаните ще предизвика снижаването на нивото на кислорода във водата, което ще унищожи морските екосистеми и ще доведе до крах на риболовната индустрия.

С времето последствията от продължаващите изригвания ще станат още по-разрушителни. Климатичните и екологичните кризи ще се изострят, човечеството ще загуби много от съвременните технологии и знания, претърпявайки дълбоко изоставане в развитието си. Световната цивилизация ще се окаже на ръба на колапс.

Дългосрочни последици от постепенния пробив на Сибирския плюм за планетата

Постепенното изригване на Сибирския плюм ще предизвика мащабни дългосрочни последствия, които радикално ще променят планетата за милиони години. Атмосферата ще бъде подложена на глобално замърсяване с токсични вещества, което ще доведе до образуването на киселинни дъждове с планетарен мащаб и разрушаване на озоновия слой. Океаните ще бъдат подложени на критично окисляване, което ще предизвика масово измиране на морски организми. Тези процеси ще доведат до

разпад на морските екосистеми, нарушаване на глобалните хранителни вериги и колапс на цялото морско биоразнообразие.

На сушата, масовото измиране ще стане неизбежно поради токсичните емисии в атмосферата, разрушаването на почвените екосистеми и изчезването на повечето растения. Загубата на опрашители ще доведе до разпад на наземните екосистеми. Предполага се, че измирането ще засегне между 75% и 95% от всички съществуващи видове.

В резултат на изригването ще настъпи комплексна климатична, биологична и геологична криза, която ще трансформира напълно биосферата на Земята. Този процес ще доведе до колапс на човешката цивилизация, гибел на милиарди хора и връщане на оцелелите разпръснати групи

хора до нивото на развитие на каменната ера. Мащабите на тази катастрофа ще бъдат сравними с най-големите масови измирания в историята на Земята, което ще отвори нов еволюционен етап на биосферата не по-рано след милиони години.

Сценарий 3:

Планирана контролирана дегазация

Съществуващи методи за вулканична геоинженерия

Като се има предвид нарастващото напрежение под Западносибирската плоча и Източносибирския кратон, свързани с издигането на Сибирския плюм, е необходимо да се предприемат неотложни мерки за минимизиране на възможните катастрофални последици. Едно от възможните решения е контролирано освобождаване на налягане, лава и газове от вторичните магматични огнища, тоест **планирана и контролирана дегазация**.

Съвременните научни изследвания разглеждат дегазацията на магматичните камери като перспективен метод за предотвратяване на мащабни изригвания. Този подход дава основание за прилагането на технологии за вулканична геоинженерия не само при вулкани или супервулкани, но и за управление на активността на магматични плюмове. Концепцията за контролирана дегазация е намерила отражение в редица научни публикации и патенти, разработени от специалисти от различни страни.

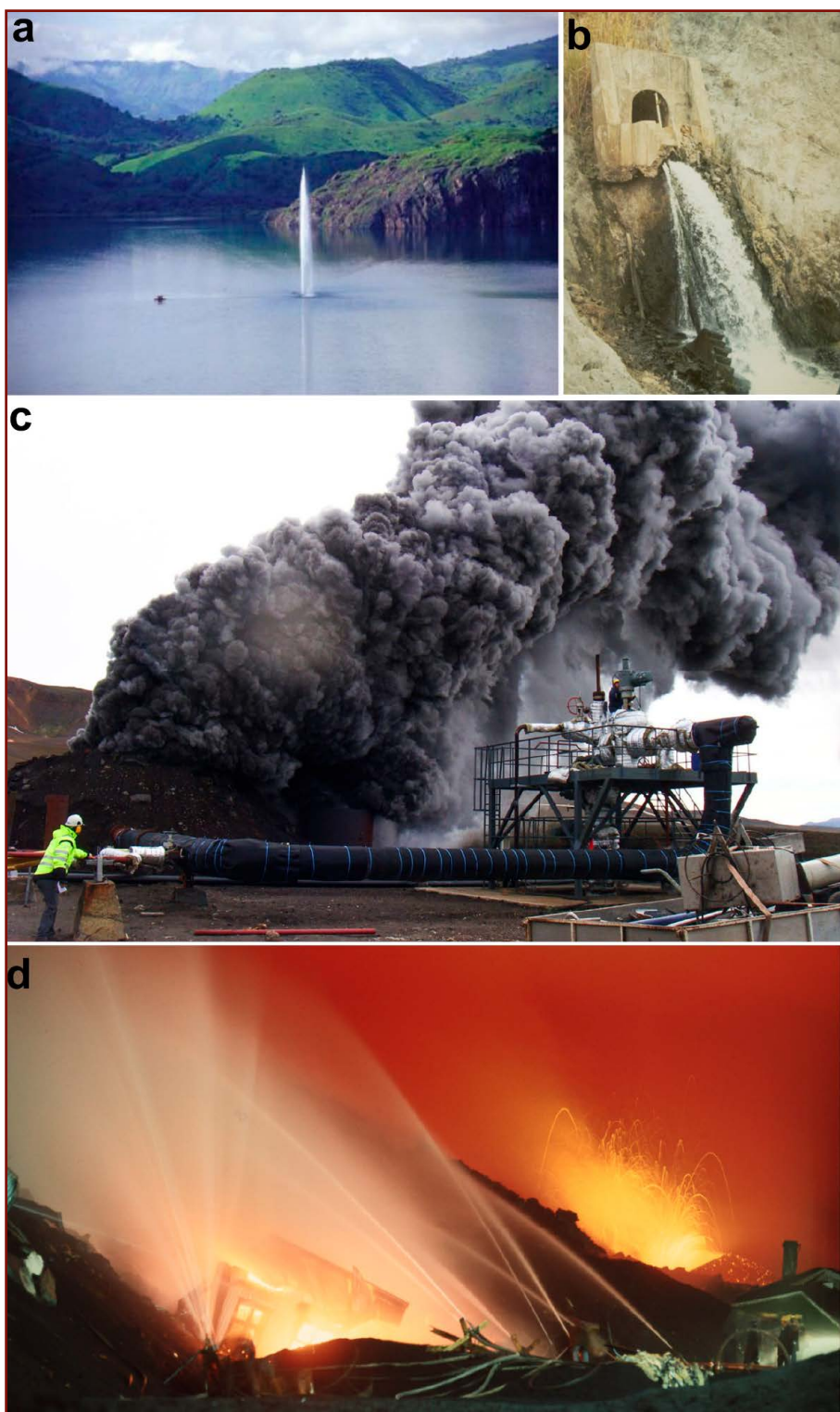
Теоретичните основи на вулканичната геоинженерия са поставени още от XX век, а практически експерименти са провеждани през последното столетие. Методите на вулканична интервенция включват сондиране на кратери, изсушаване на вулканични езера, създаване на канали за отвеждане на лава, охлаждане на лавови потоци с морска вода, бомбардиране на лавови потоци и изпомпване на парникови газове (въглероден диоксид и метан) (фиг. 87).

От 1960-те години Геоложката служба на САЩ (USGS) провежда сондиране в областите на лавови езера на вулкана Килауеа на Хаваите с цел пренасочване на лавата. Подобни инициативи се осъществяват и в Япония, Исландия и Италия. Например, в Япония са тествани технологии за намаляване на налягането в магматичните камери, а в Исландия има успешен опит с пренасочване на лава на остров Хеймаей, където потоците са охлаждадени с водни оръдия. В Италия се развиват системи за

ранно предупреждение, както и методи за управление на лавови потоци; пример за това е взривното разрушаване на лавови бариери на Етна през 1983 година.

Днес се провеждат международни научни конференции и симпозиуми, посветени

на дълбокото сондиране в зоните на вулканична и геотермална активност, което разширява перспективите за приложение на вулканичната геоинженерия за предотвратяване на изригвания и намаляване на техните последствия на глобално ниво.



Фиг. 87.

а) Дегазация на въглероден диоксид от езерото Ниос, Камерун, според данни на Halbwachs et al. (2020).

б) Дренажен тунел в стената на кратера на вулкана Келуд, Индонезия (Глобална програма за вулканизъм, изображение GVP-01120).

с) Съпътстващо сондиране на магматичен джоб в Крафла, Исландия, през 2009 г. (изображение от GO Friðleifsson/IDDP).

д) Охлаждане на лавови потоци чрез изпомпване на морска вода в Хеймаей, Исландия, през 1973 г., Тристин Х. Бенедиктсон.

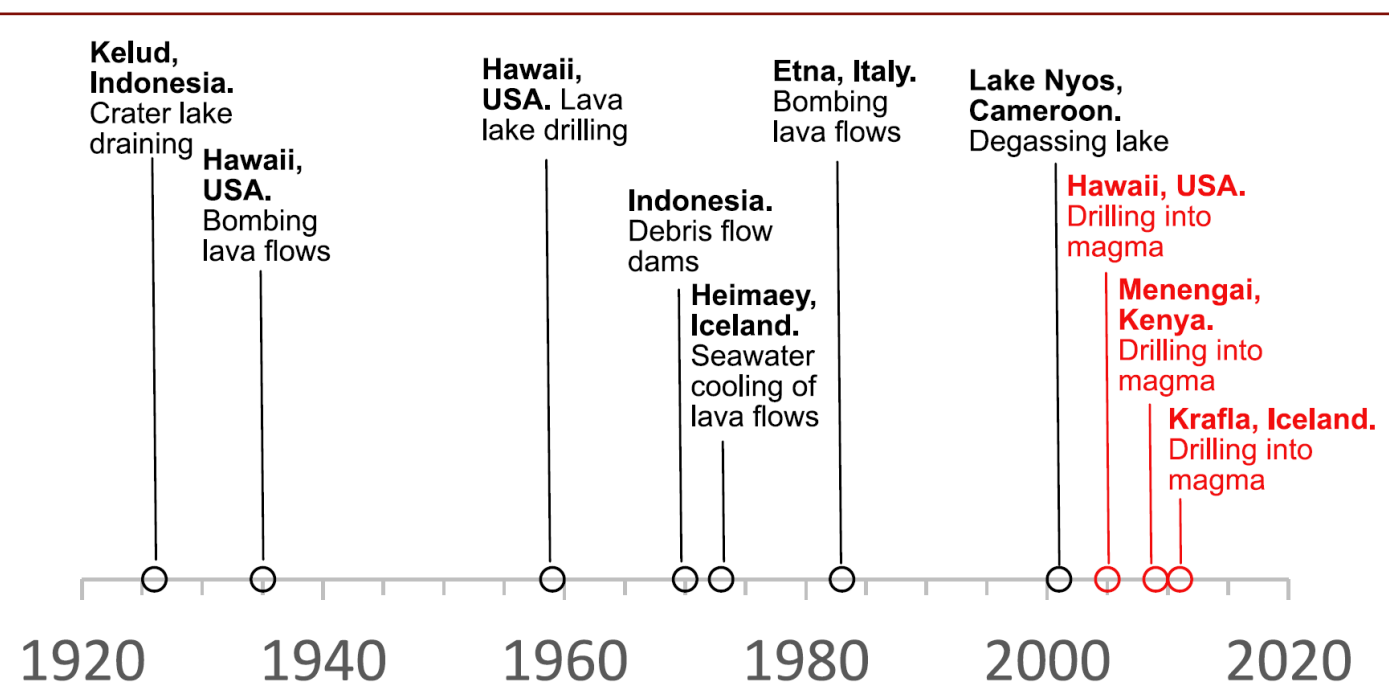
Източник: Cassidy, M., Sandberg, A., & Mani, L. (2023). The Ethics of Volcano Geoengineering. *Earth's Future*, 11(10), e2023EF003714.

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

На диаграмата (фиг. 88) е представена хронология на най-забележителните случаи на вулканичен геоинженеринг. Черните кръгове обозначават целенасочени намеси, а червените — непреднамерени въздействия върху вулканичната активност.

Съществуват и патентовани методи за планирана дегазация и намаляване на риска от изригвания на вулкани и супервулкани.

Например, принципът на една от технологиите, патентована от двама руски специалисти, се основава на предотвратяване на неконтролирано лавинообразно изригване на вулкани чрез наклонено пробиване на сондажи и регулиране на налягането в магматичните камери (фиг. 89).



Фиг. 88.

Хронология на някои забележителни случаи на вулканичен геоинженеринг. Черните кръгове обозначават целенасочени намеси, докато червените кръгове обозначават непреднамерени намеси във вулканичната активност.

Източник: 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.

Фиг. 89.

Патент: Начин за предотвратяване на лавинообразно изригване на вулкани.

Изобретението се отнася до методи за предотвратяване на неконтролирано лавинообразно изригване на вулкани и организиране на контролирано транспортиране на магма за нейното използване в строителството. Това повишава ефективността на подхода.

Същност на изобретението: Методът управлява налягането във вторичните магматични огнища под вулкани, проявяващи солифатарна активност. За целта се извършва наклонено пробиване на канали в основата на вторичното магматично огнище. В това огнище се подава сгъстен газ, което води до повишаване на налягането и забавяне на постъпването на магма от първичното огнище. Едновременно с това се осъществява добив и транспортиране на натрупаната във вторичното магматично огнище магма през пробитите канали за строителни цели. При този процес се предотвратява достигането на критично налягане, което би довело до лавинообразно изригване.

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

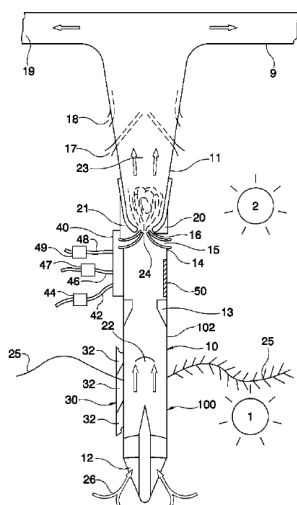
RU 2 343 508 C1

5 0 8 C 1

Друга технология е разработена от американски изобретател (фиг. 90). Тази технология описва методи за изпомпване на магма от вулканични магматични камери, като например камерата в Йелоустоунския супервулкан, с цел предотвратяване на

възможно катастрофално изригване. Основната идея се състои в създаването на изкуствени канали (тръби) за извеждане на магмата на повърхността, където тя може да бъде обработена и използвана, например за производство на енергия.

(12) United States Patent Stratford		(10) Patent No.: US 7,284,931 B2
		(45) Date of Patent: Oct. 23, 2007
(54)	MAGMA EVACUATION SYSTEMS FOR THE PREVENTION OF EXPLOSIONS FROM SUPERVOLCANOES	3,357,505 A * 12/1967 Armstrong et al. 175/16
(76)	Inventor: Brian Stapleton Stratford , 40 Field Ris , Little ver, Derby DE23 1DE (GB)	3,396,806 A * 8/1968 Benson 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.	3,693,731 A * 9/1972 Armstrong et al. 175/16
		3,957,108 A * 5/1976 Van Huisen 165/45
		3,967,675 A * 7/1976 Georgii 166/302
		3,991,817 A * 11/1976 Clay 165/45
		4,134,462 A * 1/1979 Clay 175/16
		4,776,169 A * 10/1988 Coles, Jr. 165/45
FOREIGN PATENT DOCUMENTS		
(21)	Appl. No.: 10/230,549	GB 2362410 11/2001
(22)	Filed: Aug. 29, 2002	JP 070071020 A 3/1995
(65)	Prior Publication Data	JP 100076104 A 3/1998
	US 2003/0145592 A1 Aug. 7, 2003	JP 100077952 A 3/1998
		JP 100078497 A 3/1998
(30)	Foreign Application Priority Data	* cited by examiner
	Feb. 4, 2002 (GB) 0202465.1	<i>Primary Examiner</i> —Tara L Mayo
(51)	Int. Cl.	(74) <i>Attorney, Agent, or Firm</i> —Woodard, Emhardt, Moriarty, McNett & Henry LLP
	E21B 36/00 (2006.01)	
	E21B 43/24 (2006.01)	
(52)	U.S. Cl. 405/131; 405/258.1; 405/303; 166/302; 166/57	(57) ABSTRACT
(58)	Field of Classification Search 405/52, 405/258.1, 130, 131, 303; 165/45; 166/302, 166/304, 57–62	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.
	See application file for complete search history.	
(56)	References Cited	
U.S. PATENT DOCUMENTS		
3,115,194 A * 12/1963 Adams 376/273		
25 Claims, 2 Drawing Sheets		



Фиг. 90.

Патент: Системи за евакуация на магма за предотвратяване на взривове на супервулкани.

Устройството контролира изпомпването на вулканична магма, за да се предотвратят експлозии. Изпомпването на магмата се осъществява чрез евакуационна тръба, в която потокът магма се нагрява, за да се предотврати сцепването ѝ в тръбата. За нагряване могат да се използват малки камери за горене, които подават пара, която от своя страна нагрява и стабилизира потока магма. При необходимост стабилността се поддържа чрез централно охлаждане с водни струи от дюзи, разположени по стените на тръбата.

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

Пример за успешна дегазация се явява японският проект „[Научно сондиране на вулкана Ундзен](https://www.icdp-online.org/projects/by-continent/asia/usdp-japan/gallery/)“ (USDP). Това е 6-годишна инициатива, започната през април 1999 г., която има за цел изследване на историята на ръста, подповърхностната структура и процесите на издигане на магмата на вулкана Ундзен (фиг. 91). Първата фаза включвала пробиване на два сондажа по склоновете на

вулкана и създаване на модел на неговата структура. Втората фаза се фокусира върху пробиване на канала на магмата от изригванията през 1990–1995 г. за анализ на механизма на дегазация. За успешното сондиране била разработена стратегия, включваща вертикално пробиване с последващо увеличаване на наклона на ствола на сондажа (фиг. 92).

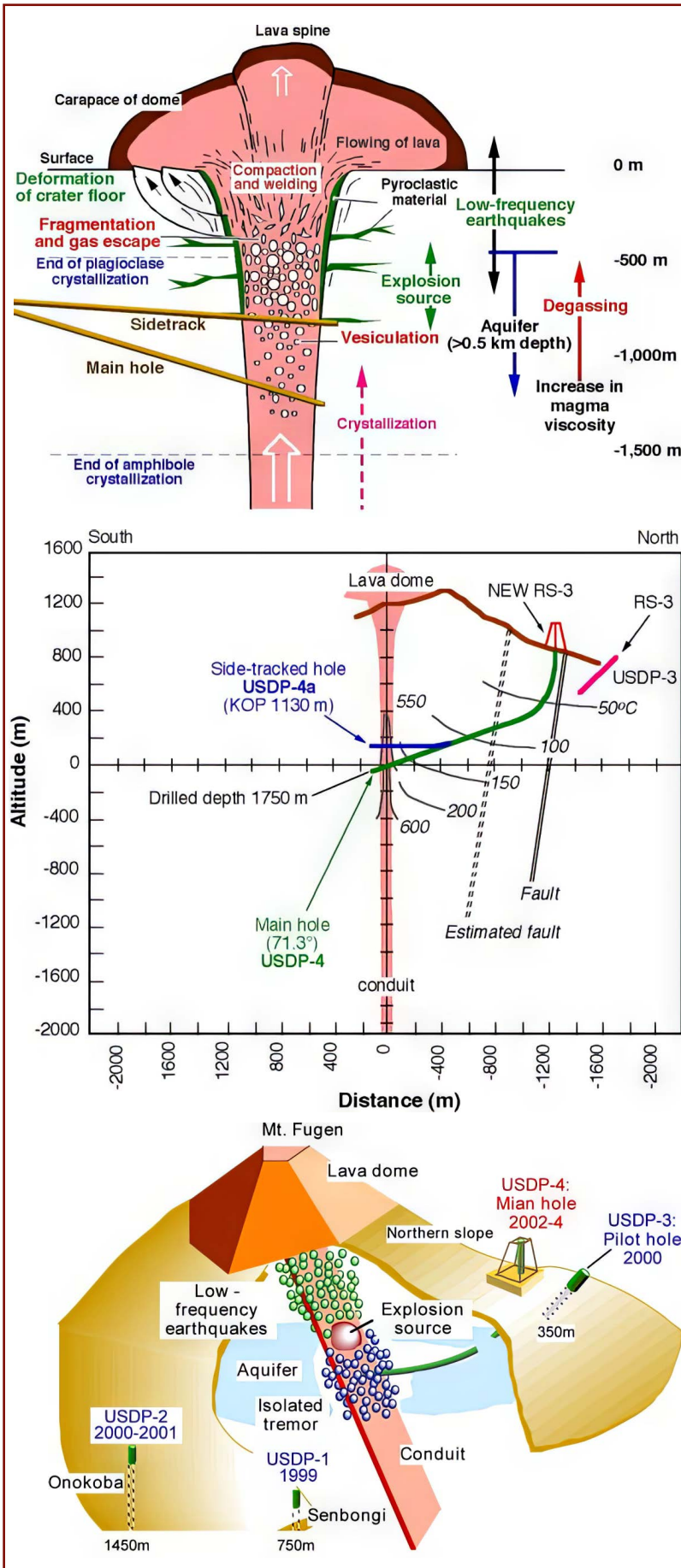


Фиг. 91.

Сондажно оборудване за сондиране на вулкана Ундзен през 1995 г.

Източник:

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



Фиг. 92.

а)

Изображение на лавовия купол и горната част на шахтата на вулкана Ундзен.

Ефективната дегазация от пенестата магма се осъществява при нейната фрагментация и охлаждане в горната част на шахтата. Състоянието на шахтата е изследвано по време на сондиране на основния ствол (USDП-4) през 2003 г., а непрекъснатото вземане на кернови проби е осъществено при сондиране на страничния ствол (USDП-4а) през 2004 г.

Източник: Проект USDП. Институт за изследване на земетресения, Токийски университет. Последен достъп: 31 декември 2024 г. <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/Yoran2003/sec4-5-eng.htm#:~:text=USDП%20consists%20of%20two%20phases%20>

б)

Траектории на сондиране на шахтата. От точки New RS-3 и RS-3 се предвижда осъществяване на сондиране на основния и страничния ствол, както и на пилотния сондаж.

Източник: Проект USDП. Институт за изследване на земетресения, Токийски университет. Данните са взети на 31 декември 2024 г. от уебстраницата <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/Yoran2003/sec4-5-eng.htm#:~:text=USDП%20consists%20of%20two%20phases%20>

в)

Триизмерна схема на сондиране на шахтата

Източник: Център за изследване на вулканични флуиди. Преглед на системата на шахтите на вулкана Ундзен. Институт за изследване на земетресения, Токийски университет. Данните са взети на 31 декември 2024 г. от уебстраницата <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/VRC/vrc/usdp/conduit.html>

Днес човечеството разполага с достатъчен технологичен и инженерен потенциал за намеса във вулканичните системи, но всеки случай на планирана дегазация изисква изключително внимателна подготовка, анализ на голям масив от данни и прецизни изчисления. Дори и при тези условия, рисковете остават значителни.

Приведените примери са тествани при обикновени вулкани, които несъмнено се различават по мащаб от гигантския магматичен плюм в Сибир. Този плюм представлява заплаха, която значително надминава дори мощта на един супервулкан, сравнима с енергията на взривове на хиляди калдери като Йелоустоун. Въпреки това, дискусията по този проблем стана актуална именно благодарение на факта, че съществуват потенциални подходи за нейното решаване.

При правилен подход, човечеството е способно да разработи програма за дегазация на магматичния плюм, базирана на глобалния опит на специалисти. Основната ѝ задача ще бъде минимизиране на последствията от издигането на Сибирския плюм чрез намаляване на налягането на лавата и газовете във вторичните магматични огнища, което ще позволи предотвратяване на мащабни неконтролирани изригвания.

Осъществяването на такава програма ще изисква тясно международно сътрудничество и консолидация на усилията на учени и инженери от целия свят. Само обединеният подход ще позволи изработването на ефективни решения, насочени към осигуряване на безопасността на цялото човечество.

Примерна програма за планирана дегазация на Сибирския плюм

Програмата може да включва в себе си едновременно разработки в няколко направления:

1. Създаване на мрежа за мониторинг

1.1 Необходимо е да се създаде мрежа от високочувствителни сензори и сателитно наблюдение за мониторинг на сеизмичната и термалната активност в региона. Това ще позволи своевременно откриване на зони с вторични магматични огнища.

1.2 Ще е необходимо да се извърши детайлно картографиране на вторичните магматични огнища с помощта на методите на сеизмичното разузнаване. Важно е

предварително да се оцени налягането и обемът на магмата във всяко вторично огнище.

1.3 След това ще е необходимо да се пробият научноизследователски и мониторингови сондажи, както и да се инсталират сензори за налягане, температура и сеизмична активност в аномалните зони.

2. Разработка на технология за контролирана дегазация и блокиране на магматичните канали

2.1 Необходимо е да се разработи план за пробиване на наклонени дълбоки сондажи (на дълбочина до 8 км) в безопасни зони.

Ще се изисква детайлно изчисляване на траекториите на наклонените сондажи за достигане на вторичните огнища. Ще е необходимо да се използват технологии за сондиране, устойчиви на високи температури и налягане, включително използване на топлоустойчиви материали за укрепване на стените на сондажите и създаване на система за мониторинг на налягането и температурата в сондажите.

2.2 Ще трябва да се разработи процес за отвеждане на газове и лава чрез поетапно управление на налягането във вторичните огнища с помощта на система. За целта е необходим контрол върху скоростта на дегазацията, за да се предотвратят резки промени в налягането, както и използване на система от компресори за управление на налягането на газовете. Ще е необходимо използването на система за филтрация и охлаждане, за да се предотврати изхвърлянето на токсични вещества в атмосферата. Отвеждането на лавата и газовете ще се извършва до стабилизиране на налягането във всяко от огнищата.

2.3 След това ще е необходимо да се разработи план за насочен ядрен взрив в определени сондажи, за да се блокират пластовете над вторичното магмено огнище. Това ще предотврати излишното изтичане на магма към повърхността и ще минимизира изхвърлянето на пепел.

Постепенното намаляване на налягането ще осигури стабилност в Сибирския регион и ще защити основните населени места, с изключение, вероятно, на Норилск и заобикалящите го населени пунктове.

2.4 В процеса на отвеждане на лавата от огнищата ще е необходимо да се контролират нейните разливи, доколкото е възможно. Ще се предприемат усилия за насочване на лавата през специално подготвени канали към арктическите морета. Също така ще се разработи програма за използване на магмата за строителни цели (например, за създаване на изкуствени острови или укрепване на бреговата линия).

3. Евакуация на населението

Ще е необходимо да се внедри система за ранно предупреждение и да се разработят планове за евакуация в случай на непредвидени ситуации. Също така ще се изисква планирана организация на безопасна евакуация на населението от рисковите зони, както и неговата адаптация и социално осигуряване, като се вземе предвид възможността за дългосрочно преселване.

4. Запазване на инфраструктурата

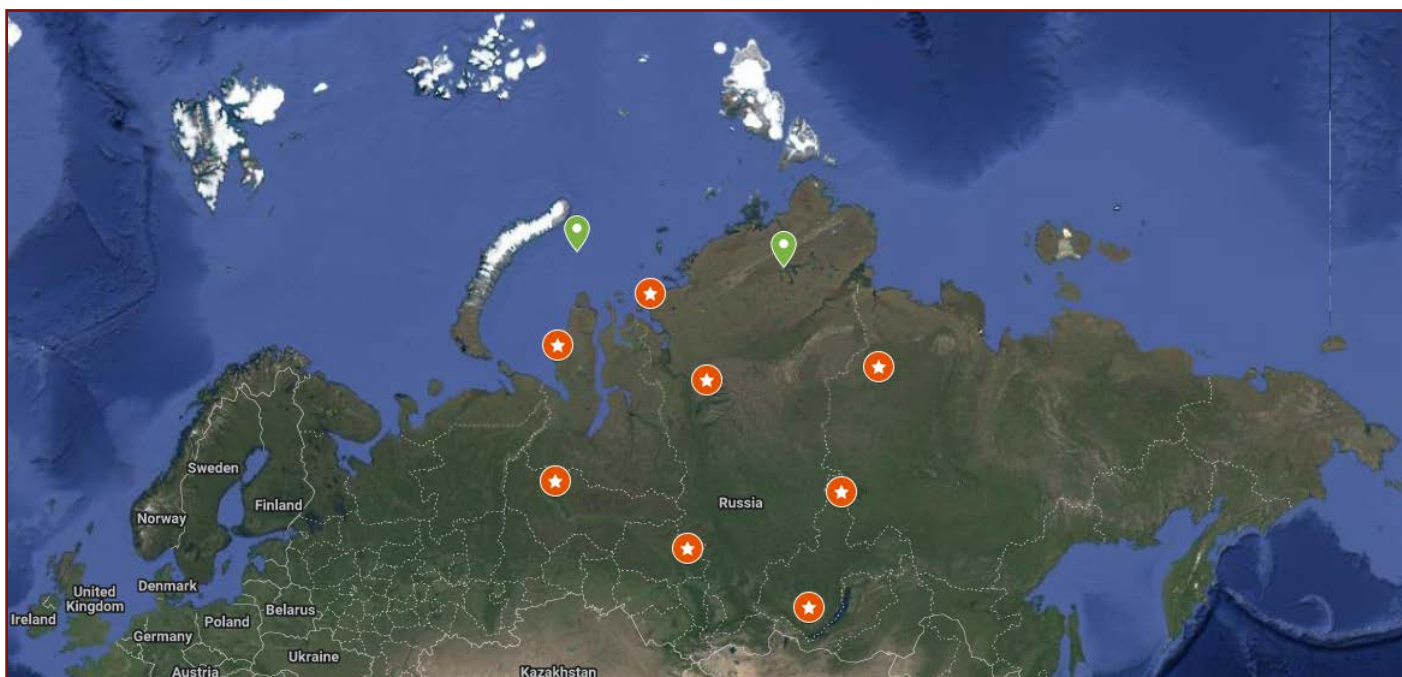
Необходимо е да се разработят планове за защита и евакуация на стратегически обекти от зони, изложени на риск от заливане с лава. Трябва да се създадат резервни хранилища на безопасни територии за евакуирани стратегически ресурси на региона, като нефт, газ, цветни и скъпоценни метали, руди, торове, храни, вода и медикаменти.

Обосновка за избора на място за поставяне на научноизследователски сондажи за мониторинг на динамиката на съвременния магматичен плюм в Сибир

За да се разбере колко бързо и в каква посока се издига плюмът и как се разпространява главата му, прониквайки по пукнатини в земната кора, първата стъпка е да се осъществи мониторинг на геотермални и геофизични параметри на дълбочина. За такива изследвания е необходимо пробиване на нови сондажи и

провеждане в тях на редовни измервания на температурата, налягането, вземане на проби от газовия състав и маркери за засилване на магматичните процеси, сейсмични шумове и други параметри.

Затези изследвания са определени 10 точки за пробиване на научноизследователски сондажи (фиг. 93 и 94).



Фиг. 93.

Предварително местоположение на 10 препоръчани точки за пробиване на научноизследователски сондажи.

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

Фиг. 94.

Таблица на 10 препоръчителни сондажа за научноизследователско пробиване с цел мониторинг на придвижването на Сибирския плюм, включваща наименование на сондажа, координати, населено място или близка инфраструктура и геоложки строеж на разреза.

Критериите за избор на тези сондажи се основават на следните принципи:

1. Разположение на сондажа спрямо най-голямото пресичане на топлинни и геодинамични аномалии, свързани с проникването и разпространението на главата на плюма. Въз основа на този принцип, един сондаж е планиран в района на централната част на предполагаемото издигане на главата на плюма, 7 сондажа са планирани по периметъра на предполагаемото разпространение на магмата. Още един сондаж е планиран в района на Байкал, в посока на предполагаемото активно придвижване на магмата под основата на Източносибирския кратон. И още един сондаж е планиран в района на Карско море за мониторинг на придвижването на плюма под океанската кора на Арктическият шелф.

2. Разположението на сондажите е избрано оптимално за бъдещи сеизмотографски изследвания, така че информацията от сеизмичните сензори в сондажите при последваща обработка да може да предостави най-ясното 3D изображение. тоест, мрежата от сеизмични сензори в сондажите да е разположена оптимално за сеизмотографията на недрата.

3. Местата за сондажите са избрани с оглед на възможността за доставка на оборудване за сондиране и осигуряване на достъпни транспортни маршрути. Тъй като в северните райони на Западен и Източен Сибир има изключително трудно проходими територии, блатисти ландшафти, малко пътища и екстремни климатични условия, изборът на площадки за сондиране се основава на разположението на вече съществуваща инфраструктура за провеждане на научноизследователски дейности: наличие на пътища, населени места и действащи сондажни площадки. Две точки са избрани на действащи към

момента петролни находища, принадлежащи на компаниите „Газпром“ и „Роснефт“, останалите са разположени в райони близо до находища на нефт, газ и други полезни изкопаеми. Необходимо е да се отбележи, че при невъзможност за пробиване на сондажи на указаните координати се допуска изместване на сондажите с 10–20 км във всички посоки.

Препоръчителни методи за изследвания в сондажите

За цялостен мониторинг и изследване на мантийния плюм е необходимо събиране на следните параметри от датчиците в научноизследователските сондажи:

- 1. Температурен мониторинг:** измерване на температурата на различни дълбочини за анализ на термичните аномалии и засилване на геотермалния поток в резултат на придвижването на магмата в зоната на разпространение на плюма.
- 2. Налягане:** определяне на налягането в сондажа за оценка на промените в хидродинамичните условия вследствие на активността на магмата и флуидната фаза.
- 3. Вземане на газови проби:** събиране на проби от газове, постъпващи от дълбоките пластовете, за изследване на техния състав и възможно влияние на магматичната активност.
- 4. Сеизмични изследвания:** инсталиране както на стандартни, така и на широколентови сеизмични датчици за регистриране на сеизмичната активност с цел създаване на детайлна сеизмотография на земната кора и мантията за постоянен мониторинг на състоянието на плюма.

- 5. Състав на пластовия флуид:** изследване на състава на пластовите течности за идентифициране на възможно термално или магматично подхранване.
- 6. Геомеханични изследвания:** измерване на напреженията в скалите за анализ на напрегнатото състояние на литосферата, подложена на деформации от внедряването на плюма.
- 7. Електромагнитни методи:** провеждане

на електромагнитни изследвания за регистриране на промени в електрическите свойства на средата, свързани с внедряването на магмата.

Събраните данни ще послужат като основа за изграждане на комплексен модел на динамиката на мантийния плюм, както и за оценка на неговото влияние върху геоложките процеси в Сибир.

Особености на сондирането и блокирането на магматичните канали по време на планираната дегазация

Основната цел на сондирането по време на планираната дегазация е да се намали налягането във вторичните магматични огнища на плюма, да се предотвратят магмени експлозии и да се организира контролиран изход на газове и лава.

В началния етап сондирането ще се извършва с участието на оператори, тъй като на малка дълбочина процесът представлява стандартна технологична задача с минимални рискове за персонала. За тази цел ще бъдат използвани традиционни сондажни съоръжения, оборудвани със системи за мониторинг на температурата и налягането, което ще позволи контрол на процеса и бърза реакция при отклонения от нормата.

При достигане на критична дълбочина и приближаване към активните зони на магматичната система, рискът за хората значително се увеличава. На този етап работата трябва да премине изцяло в автоматизиран режим. Ще бъдат използвани специализирани сондажни съоръжения с автоматично управление. Процесът на сондиране ще се регулира дистанционно чрез софтуер, който анализира постъпващите

данни в реално време и коригира действията на оборудването.

За повишаване на точността на контрола, операторите ще използват технологии за виртуална реалност, които осигуряват детайлно управление на оборудването без физическо присъствие в опасната зона. Това ще намали вероятността от аварии, свързани с изхвърляне на газове под високо налягане или разрушаване на оборудването от ударна вълна.

Мониторингът на състоянието на сондажния комплекс и околната среда ще се осъществява с помощта на дронове и роботи. Дронове, оборудвани с камери, термовизьори и датчици, ще регистрират изтичане на газове, температурни аномалии и сеизмична активност. Роботи, работещи директно в зоната на сондиране, ще събират данни за температурата, налягането и химическия състав на средата, предавайки ги към автоматизирани центрове за управление. Тези технологии ще сведат до минимум присъствието на хора в зоните с повишен риск и ще осигурят високо ниво на точност и безопасност.

След завършване на сондирането на следващия етап се предвижда провеждане на контролирана дегазация – постепенно изпускане на налягането и извеждане на големи обеми лава. В заключителните фази, след значително намаляване на количеството магма и газове, може да възникне необходимост от провеждане на контролиран взрив за затваряне на пътищата за изкачване на магмата. Един от предложените методи включва насочен ядрен взрив в пробития сондаж. Неговата цел е да разтовари тектоничните напрежения и да създаде стабилни структурни бариери, блокиращи магматичните канали.

Такъв подход предполага разрушаване на скалите в зоните с високо напрежение,

последвано от тяхното сплавяване и охлаждане под въздействието на топлинната енергия. Това ще допринесе за формирането на монолитна бариера, която може напълно или частично да блокира достъпа на магмата до повърхността. Термодинамичното въздействие също може да намали тектоничното напрежение, намалявайки вероятността от бъдещи изригвания.

Реализирането на ядрени взривове изисква високо ниво на прецизност в изчисленията, включително оценка на литостатичното налягане, твърдостта и плътността на скалите, както и характеристиките на магмата. Тези фактори трябва да бъдат взети предвид, за да се постигне максимална ефективност на метода и да се минимизират възможните рискове.

Избор на оптимално време за сондиране по време на планираната дегазация

Понастоящем основното внимание на нашите специалисти е съсредоточено върху изследването на оптималните времеви рамки за сондиране с цел провеждане на планираната дегазация. Въпреки че е преждевременно да се правят окончателни изводи, предварителните изчисления вече показват възможността за точно определяне на най-благоприятния момент за започване на дегазацията. Получените резултати сочат, че при правилно избран срок, рискът от възможни усложнения може да бъде намален в пъти.

В процеса на сондиране е необходимо да се вземат предвид не само физико-механичните характеристики на скалите, включително тяхната здравина и напукнатост, но и времевите параметри, свързани с небесната механика.

Изчисленията трябва да се основават на анализ на положението на Земята върху еклиптиката, фазите на Луната, разположението на големи планети като Юпитер, както и текущото ниво на слънчевата активност. Освен това, важен фактор е мониторингът на дълбокофокусните земетресения в региона на бъдещото сондиране, тъй като те могат значително да повишат локалната сеизмична активност.

Към този момент е формирано общо разбиране за механизма и ключовите закономерности на процеса, но тези данни изискват многократна допълнителна проверка. Получените резултати трябва не само да бъдат внимателно преразгледани от нашата научна група, но и потвърдени чрез независими изследвания и модели, разработени от други специалисти.

Сценарии за резултатите от провеждането на планираната дегазация на Сибирския плюм

При осъществяването на планираната дегазация на Сибирския плюм са възможни три основни сценария за развитие на събитията, изчислени с оглед на двете фази на проекта: ранния и по-късния етап. Нека ги разгледаме по-подробно.

1. Минимални щети за територията на Русия

В случай, че процесът на дегазация и освобождаване на излишната лава от вторичните магматични огнища бъде моделиран от международен екип от експерти, а изчисленията бъдат извършени прецизно и с отчитане на всички геоложки особености, и двата етапа на дегазацията ще преминат без аварии и усложнения. В този случай щетите за територията на Русия ще бъдат сведени до минимум: загубата ще възлиза на 5–7% от площта на страната, а в крайни случаи – до 10% (радиус на поражение около 500–600 км).

В рамките на този сценарий е възможно осигуряването на защита за големите градове в Красноярския край, а жертви сред населението могат да бъдат избегнати. Освен това, при благоприятно развитие на събитията, отвеждането на лавата може да бъде насочено към арктическите морета, което ще позволи на Русия да увеличи територията си чрез разширяване на бреговата линия.

2. Средни щети за територията на Русия

В този сценарий се предполага успешно провеждане на ранния етап на дегазацията, но на по-късните стадии могат да възникнат

непредвидени усложнения, като внезапен газов взрив или изхвърляне на лава. Тъй като дотогава част от газовете и лавата вече ще бъдат освободени, последствията ще бъдат по-малко разрушителни.

Може да се случи разлив на течни базалтови лави, подобен на тези в Исландия или на Хавайските острови, или изригване със средна експлозивност. В този случай загубата на територия може да се увеличи до 25–30% (около 4–5 млн. км²). Последствията могат да засегнат градове в радиус от 1 000 км от активната зона.

Въпреки това, този сценарий няма да доведе до глобална катастрофа за човешката цивилизация или до необратими разрушения на територията на Русия. Човечеството ще може да се справи с възникналите климатични и екологични предизвикателства.

3. Максимални щети за Русия и целия свят

Този сценарий предполага, че късната инициатива или недостатъчната квалификация на специалистите ще доведат до сериозни проблеми. Липсата на достатъчно изследвания, грешки в изчисленията или сондиране през меки или напукани скали могат да компрометират хода на операцията. Ако усложнението възникне в ранния етап на дегазацията, когато налягането в магматичните огнища е максимално високо, това може да доведе до един от двата катастрофални изхода: мигновен взрив на цялата система на Сибирския плюм или бавни, но мащабни изливания на лава, подобни на формирането на Сибирските

трапове. Въпреки потенциалните рискове, вероятността от такова развитие на събитията е изключително малка, тъй като е трудно да си представим реализацията на толкова сложен проект без необходимата международна подготовка.

Оптимистичният и най-вероятен вариант предполага загуба само на 5–7% от територията на Русия при минимални щети. Дори в случай на усложнения в по-късните етапи, щетите могат да нараснат до 25–30%, което остава значително по-благоприятно в сравнение с последствията от бездействието. Рискът от по-сериозни разрушения в процеса на планираната дегазация за Русия или за целия свят е нищожно малък.

Реализирането на планираната дегазация ще осигури на Русия уникален опит в управлението на глобални геодинамични рискове, което ще укрепи нейните позиции като международен научен и технологичен лидер. Успешното осъществяване на проекта ще демонстрира способността на страната да се справя с предизвикателства от планетарен мащаб, като същевременно ще насърчи глобалното сътрудничество в областта на предотвратяването на природни катастрофи. Това не само ще стабилизира вътрешната политическа и социална обстановка, но и ще засили международното взаимодействие за решаване на глобални проблеми.

Контролираната дегазация на Сибирския плюм може да окаже влияние не само върху локалната зона, но и върху други вулканични системи, като Йелоустоун и стратовулканите по целия свят. Магматичните резервоари и тяхната динамика формират единна,

взаимосвързана глобална мрежа, която функционира като цялостен гео-механизъм. Контролираното намаляване на налягането в един сегмент може да понижи системата от напрежения в магматичните резервоари, предотвратявайки верижни реакции и изригвания.

Това може да се представи като разхерметизиране на автомобилна гума: намаляването на налягането в една нейна част позволява преразпределение на натоварването и предотвратява разкъсване в критично напрегнатите зони. Аналогичният подход към дегазацията може да допринесе за стабилизирането на магматичните системи в глобален мащаб.

По този начин провеждането на планираната контролирана дегазация остава единственият шанс за спасение както на Русия, така и на цялото човечество, което е несравнимо по-изгодно и разумно от бездействието. Този сценарий ще позволи да се избегне глобална катастрофа и ще даде на човечеството време за разработване на допълнителни решения.

Въпреки значителните перспективи, успешното осъществяване дори на оптимистичния сценарий ще представлява предизвикателство с огромен мащаб. Необходимо е да се действа незабавно, тъй като забавянето увеличава вероятността от катастрофални събития.

Изненадващо, но реализирането на подобен проект може да срещне възражения в самата Русия, като се има предвид потенциалните рискове от разрушаване на инфраструктурата и отслабване на контрола върху стратегическите ресурси.

■ Изводи

Сибирският плюм представлява глобална геодинамична заплаха, съизмерима по мащаб с хиляда катастрофални изригвания на най-големите супервулкани. В случай на неконтролирано изригване могат да настъпят последици от планетарен мащаб, включително настъпване на ледников период, унищожаване на екосистемите, разрушаване на инфраструктурата и изчезване на човечеството. Тези рискове налагат необходимостта от предприемане на превантивни мерки под формата на планирана дегазация на магматичната система на Сибирския плюм.

Бездействието създава заплаха от стихийни неконтролирани изригвания, чиито последици ще бъдат катастрофални не само за Русия, но и за цялата планета. Контролираното намаляване на налягането в магматичните огнища ще помогне да се избегнат най-лошите сценарии и ще осигури на човечеството жизненоважно време за разработване на дългосрочни решения.

Освен това, интеграцията на технологията за атмосферни генератори на вода в ежедневната употреба, заедно с дегазацията на Сибирския плюм, ще създаде нови възможности за възстановяване на екологичния баланс. Това ще позволи пречистване на океана от пластмаса, засилване на водния цикъл, както и възстановяване на топлинното равновесие на планетата. Комплексното прилагане

на тези решения може да стабилизира климатичната обстановка и да осигури бъдеще за цялото човечество, като освободи време за търсене на решение на проблема с външното космическо въздействие, предизвикващо катастрофални събития в 12 000-годишния цикъл.

Тези задачи изискват спешно международно сътрудничество между учени от различни дисциплини, включително квантови физици, за разработване и прилагане на цялостни решения. Въпреки това, геополитическите и военните конфликти възпрепятстват такова сътрудничество. Затова е необходим глобален мораториум върху войните и пренасочване на военните ресурси към смекчаване на последиците от катастрофи и хуманитарни усилия.

Човечеството разполага само с 4–6 години относително стабилно време, за да успее да предприеме необходимите мерки.

Ако бъдат създадени условия за открито сътрудничество, учените няма да започнат от нулата, тъй като вече съществуват реални разработки и разбиране на причинно-следствените връзки в тази област. Неспособността на човечеството да даде приоритет на глобалното единство и научното сътрудничество би довело до необратими последици за живота на Земята.

■ Приложение 1

Методиката за анализ на сеизмичната активност включва изтегляне и специална обработка на данните, получени от сайта на Международния сеизмологичен център (International Seismological Centre — ISC). Тъй като данните съдържат различни източници от различни държави и изследователски институти, както и различни типове магнитуди (M_w, M_s, M_b, M_L, M_D и т.н.), беше изпълнен определен алгоритъм за обработка на данните с цел избор на подходящ тип магнитуда от различните източници.

Бяха използвани два различни подхода:

1. Наричан в текста **специален алгоритъм на медианните стойности на магнитудата**. Методът се състои в избора на предпочитана оценка на величината на магнитудата и включването на събитието в извадката, ако предпочитаната оценка попада в необходимия диапазон на магнитудите. Избираме предпочитаната оценка на магнитудата, като търсим сред следните типове магнитуди (в ред на предпочитание): M_w, M_L, M_S, M_b, M_D, M_V.

Ако за предпочитания тип съществува извадка от магнитуди за едно събитие, за изчисляване на медианата се вземат всички оценки на магнитудата от избрания тип за това събитие. След това за тях се намира медианата. Ако за дадено събитие няма оценка на нито един от изброените предпочитани типове (което се случва рядко — само за няколко процента от събитията в цялата база данни), тогава се избира всяка оценка на магнитудата със стойност, съвпадаща с медианата, изчислена на базата

на всички типове магнитуди за това събитие.

2. Наричан в текста **алгоритъм на максималните стойности на магнитудата**. Избира се оценката на магнитудата с максимална стойност сред всички оценки на величината за дадено събитие.

Първият алгоритъм средно води до леко намаляване на величината на магнитудата спрямо максималната предадена стойност, но както показва опитът, медианният алгоритъм осигурява адекватно съответствие със Закона на Гутенберг — Рихтер и други закономерности. Освен това, той демонстрира добра съгласуваност с данните от други сеизмологични бази, като Геоложката служба на САЩ (USGS) и Обединените научноизследователски институти по сеизмология (IRIS).

Вторият алгоритъм позволява да се оцени броя на земетресенията, регистрирани от някой от изследователските институти със стойност на магнитудата, надвишаващ избрания. Такъв подход дава възможност да се проследи тенденцията в броя на земетресенията в избрания диапазон на магнитуди.

Всички графики, представени в раздела „Ръстът на сеизмичната активност като признак за дестабилизация на плочите в резултат на активността на Сибирския магматичен плюм“, са построени с използването на първия алгоритъм — специалния алгоритъм на медианните стойности на магнитудата (фиг. 44–75).

След избора на магнитуд, данните бяха филтрирани по тип събитие в базата ISC, за да се изключат събития, причинени от човешка дейност, свързани с минни операции, като взривове, предполагаеми взривове, сеизмични удари в мини и т.н

Бяха изключени следните типове събития:

km = known mine explosion — известен взрив в мина

sm = suspected mine explosion — предполагаем взрив в мина

kh = known chemical explosion (Not standard IMS) — известен химически взрив (нестандартен IMS)

sh = suspected chemical explosion (Not standard IMS) — предполагаем химически взрив (нестандартен IMS)

kx = known experimental explosion — известен експериментален взрив

sx = suspected experimental explosion — подозрителен експериментален взрив

kn = known nuclear explosion — известен ядрен взрив

sn = suspected nuclear explosion — подозрителен ядрен взрив.

Също така, тъй като на територията на Русия се намират множество миннодобивни предприятия, базата данни ISC беше съпоставена с данните на Единната геофизична служба на РАН към януари 2025 година, в която са посочени всички известни взривове и сеизмични удари в мините на територията на Русия.

Тези събития също бяха изключени, за да се гарантира, че в получените данни не остават събития, съответстващи на взривове.

Списък с литература

- 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
- 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 odnositel'nykh smeshcheniy i kolebaniy yadra i mantii Zemli* [Geophysical consequences of relative displacements and oscillations of the Earth's core and mantle]. Institute of Physics of the Earth, Moscow.
- Beerling, D.J., Harfoot, M., Lomax, B. & Pyle, J.A., 2007. The stability of the stratospheric ozone layer during the end-Permian eruption of the Siberian Traps. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 365, pp.1843–1866. Available at: <http://doi.org/10.1098/rsta.2007.2046>
- Black, B.A., Elkins-Tanton, L.T., Rowe, M.C., Ukstins Peate, I., 2012. Magnitude and consequences of volatile release from the Siberian Traps. *Earth and Planetary Science Letters*, 317–318, pp.363–373. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.12.001>
- Black, B., Mittal, T., Lingo, F., Walowski, K., & Hernandez, A. (2021). Assessing the Environmental Consequences of the Generation and Alteration of Mafic Volcaniclastic Deposits During Large Igneous Province Emplacement. In R. E. Ernst, A. J. Dickson, & A. Bekker (Eds.), *Geophysical Monograph Series* (pp. 117-131). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119507444.ch5>
- Bogoyavlensky, V.I., Nikonov, R.A. & Bogoyavlensky, I.V., 2023. New data on intensive Earth degassing in the Arctic in the north of Western Siberia: thermokarst lakes with gas blowout craters and mud volcanoes. *AEE*, 13, pp.353–368. Available at: <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-3-353-368>
- Bogoyavlensky, V.I., 2023. New data on mud volcanism in the Arctic on the Yamal Peninsula. *Doklady Rossiyskoy Akademii Nauk. Nauki o Zemle*, 512, pp.92–99. Available at: <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>
- Brown, S. K., Crosweller, H. S., Sparks, R. S. J., Cottrell, E., Deligne, N. I., Guerrero, N. O., ... & Takarada, S. (2014). Characterisation of the Quaternary eruption record: analysis of the Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions (LaMEVE) database. *Journal of Applied Volcanology*, 3(5). <https://doi.org/10.1186/2191-5040-3-5>
- Bryson, R. A. (1989). Late quaternary volcanic modulation of Milankovitch climate forcing. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 115-125. <https://doi.org/10.1007/bf00868307>

- Campbell I.H, Czamanske G.K, Fedorenko V.A, Hill R.I& Stepanov V. 1992 Synchronism of the Siberian Traps and the Permian–Triassic boundary. *Science*. 258, 1760–1763.doi:10.1126/science.258.5089.1760.
- Cassidy, M., Sandberg, A., & Mani, L. (2023). The Ethics of Volcano Geoengineering. *Earth's Future*, 11(10), e2023EF003714. <https://doi.org/10.1029/2023EF003714>
- Castro, J., & Dingwell, D. (2009). Rapid ascent of rhyolitic magma at Chaitén volcano, Chile. *Nature*, 461, 780-783. <https://doi.org/10.1038/nature08458>
- Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., & Mann, M. E. (2020). Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37, 137–142. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>
- Ciavarella, A., Cotterill, D., Stott, P., et al. (2021). Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence. *Climatic Change*, 166, 9. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03052-w>
- Nikiforova, M. P., Vargin, P. N., Zvyagintsev, A. M., Ivanova, N. S., Kuznetsova, I. N., & Luk'yanov, A. N. (2016). Ozone mini-hole over the Northern Urals and Siberia. *Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation*, 360, 168–180. In *Proc. of the Hydrometeorological Conf.*, February 9–10, Vol. 4, 91–96. Voronezh: Nauchno-Issledovatel'skie Publikatsii.
- Cox, C., & Chao, B. F. (2002). Detection of a large-scale mass redistribution in the terrestrial system since 1998. *Science*, 297(5582), 831–833. <https://doi.org/10.1126/science.1072188>
- Davydova, V.O., Shcherbakov, V.D., Plechov, P.Yu., Koulakov, I.Yu., 2022. Petrological evidence of rapid evolution of the magma plumbing system of Bezymianny volcano in Kamchatka before the December 20th, 2017 eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 421, 107422. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107422>
- D'Auria, L., Koulakov, I., Prudencio, J., et al. (2022). Rapid magma ascent beneath La Palma revealed by seismic tomography. *Scientific Reports*, 12, 17654. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21818-9>
- Dannberg, J., & Sobolev, S. (2015). Low-buoyancy thermochemical plumes resolve controversy of classical mantle plume concept. *Nature Communications*, 6, 6960. <https://doi.org/10.1038/ncomms7960>
- Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L., & Bauer Gottwein, P. (2021). Polar Drift in the 1990s Explained by Terrestrial Water Storage Changes. *Geophysical Research Letters*, 48(7). <https://doi.org/10.1029/2020gl092114>
- Dobretsov, N.L., Kirdyashkin, A.G. & Kirdyashkin, A.A., 2001. *Deep Geodynamics*. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, GEO Branch, 408 p.
- Dou, H., Xu, Y., Lebedev, S., Chagas de Melo, B., van der Hilst, R. D., Wang, B., & Wang, W. (2024). The upper mantle beneath Asia from seismic tomography, with inferences for the mechanisms of tectonics, seismicity, and magmatism. *Earth-Science Reviews*, 247, 104595. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104595>
- Dyachenko, A. I. (2003). Earth's magnetic poles. MCCME.
- Elkins-Tanton, L. T., Grasby, S. E., Black, B. A., Veselovskiy, R. V., Ardakani, O. H., & Goodarzi, F. (2020). Field evidence for coal combustion links the 252 Ma Siberian Traps with global carbon disruption. *Geology*, 48(10), 986-991. <https://doi.org/10.1130/G47365.1>
- Ernst, R. E., & Buchan, K. L. (2002). Maximum size and distribution in time and space of mantle plumes: evidence from large igneous provinces. *Journal of Geodynamics*, 34, 309-342.
- Federal Research Center, Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, n.d. Available at: <http://www.ceme.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. *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., Paleskii, 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 $M_w=7.5$, $I_0 \sim 7$: 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.