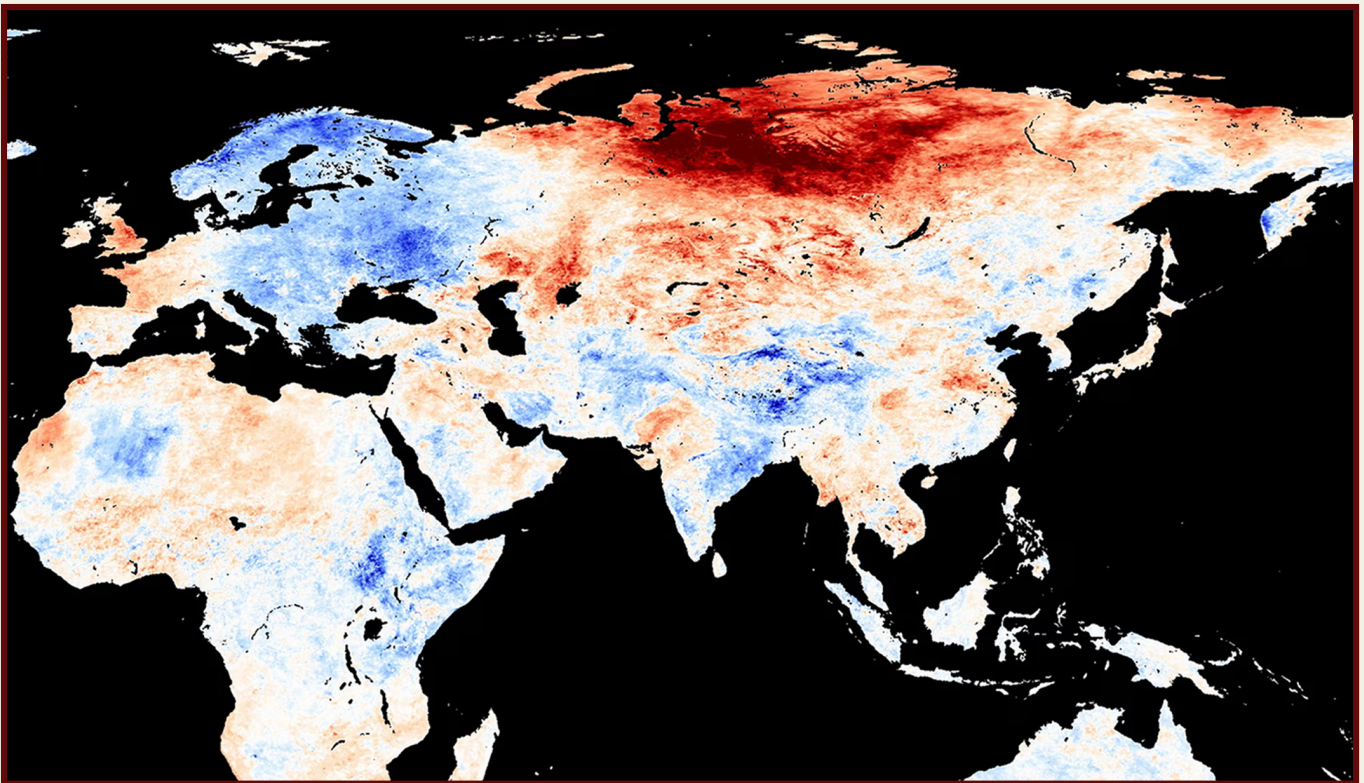


ÜBER DEN DROHENDEN

DURCHBRUCH DES MAGMAPLUMES IN SIBIRIEN

SOWIE ÜBER DIE LÖSUNGSWEGE FÜR DIESES PROBLEM



ÜBER DEN DROHENDEN

DURCHBRUCH DES MAGMAPLUMES IN SIBIRIEN

SOWIE ÜBER DIE LÖSUNGSWEGE FÜR DIESES PROBLEM

INHALT

Kurzbeschreibung des geodynamischen Modells des Klimawandels auf der Erde in der gegenwärtigen Zeitperiode	4
Erdkernverschiebung Richtung Sibirien im Jahr 1998	16
Sibirien und die Sibirische Arktis erwärmen sich 3-4 Mal schneller als der Rest der Welt	21
Indirekte Anzeichen für den Aufstieg des Sibirischen Plumes	25
Schmelzen des Permafrosts	27
Auftreten von Schlammvulkanismus	29
Erwärmung des Bodens	31
Oberflächennahe Lufttemperatur	32
Zunahme der Blitzaktivität	34
Rückgang der Ozonschicht	36
Struktur, mögliche Größe und Lokalisierung des Magmaplumes, basierend auf veröffentlichten und beobachteten Daten	38
Lokalisierung des Magmaplumes	44
Zunahme der seismischen Aktivität als Indikator für die Destabilisierung tektonischer Platten	48
Beweise für die Unvermeidbarkeit einer Eruption des Sibirischen Plumes	72
Szenario 1: Plötzliche, sofortige Eruption des Sibirischen Plumes	73
Schockwelle	80
Aktivierung von Supervulkanen und vulkanischen Systemen	80
Saurer Regen	82
Vulkanischer Winter	83
Schlussfolgerungen zu Szenario 1: Plötzliche Eruption des Sibirischen Plumes	84
Szenario 2: Allmähliche Eruption des Sibirischen Plumes	85
Folgen der allmählichen Eruption des Sibirischen Plumes für Russland	90
Globale Folgen der allmählichen Eruption des Sibirischen Plumes	91
Langfristige Folgen der allmählichen Eruption des Sibirischen Plumes für den Planeten	92
Szenario 3: Geplante kontrollierte Entgasung	93
Existierende Methoden des vulkanischen Geoengineering	93
Beispiel für ein Programm zur geplanten Entgasung des Sibirischen Plumes	100
Begründung für die Auswahl von Standorten für Forschungsbohrungen zur Überwachung der Dynamik des aktuellen Sibirischen Mantelplumes	102
Besonderheiten des Bohrens und der Blockierung von Magmakanälen während der geplanten Entgasung	105
Auswahl des optimalen Zeitpunkts für die Durchführung der Bohrungen bei der geplanter Entgasung	106
Voraussichtliche Ergebnisse der geplanten Entgasung des Sibirischen Plumes	106
Schlussfolgerungen	109
Anhang 1	110
Quellenangaben	112

Kurzbeschreibung des geodynamischen Modells des Klimawandels auf der Erde in der gegenwärtigen Zeitperiode

In den letzten 30 Jahren erlebt die Erde eine beispiellose und synchrone Zunahme von Klimaveränderungen, Anomalien und Extremereignissen in allen Hüllen des Planeten sowie seiner geophysikalischen Parameter. Die Progression dieser Veränderungen ist exponentiell.

Eine umfassende Analyse wissenschaftlicher Daten deutet darauf hin, dass die Hauptursache für die in allen Hüllen der Erde beobachteten Anomalien astronomische Zyklen sind, die alle 12.000 Jahre im gesamten Sonnensystem eintreten.

Diese Hypothese eines externen astronomischen Einflusses wird durch die Beobachtung ähnlicher klimatischer, geodynamischer und magnetischer Anomalien gestützt, die gleichzeitig auf anderen Planeten des Sonnensystems und ihren Trabanten auftreten. So wurden beispielsweise auf Uranus, Jupiter und Venus erhöhte Windgeschwindigkeiten und die Zunahme von Wirbelstürmen beobachtet.

Auf dem Mars schmelzen die Polkappen, und sowohl auf der Venus als auch auf dem Mars ist eine zunehmende vulkanische Aktivität festzustellen. Außerdem hat sich die seismische Aktivität auf dem Mars verstärkt, was auf das Auftreten anomaler geodynamischer Prozesse hindeutet.

Die kritischen Veränderungen im Erdsystem, die auf den 12.000-jährigen astronomischen Zyklus zurückzuführen sind, begannen im aktuellen Zyklus im Jahr 1995. Zu den bemerkenswerten geophysikalischen Anomalien, die damals registriert wurden, gehörten eine starke Beschleunigung der Erdrotation (Abb. 1), eine Verschiebung der Erdachse¹ (Abb. 2) und der Beginn einer abrupten Verschiebung des magnetischen Nordpols² (Abb. 3). Diese Phänomene lassen auf erhebliche Veränderungen im Erdkern schließen.

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>

²Dyachenko, A. I. (2003). Earth's magnetic poles. MCCME.

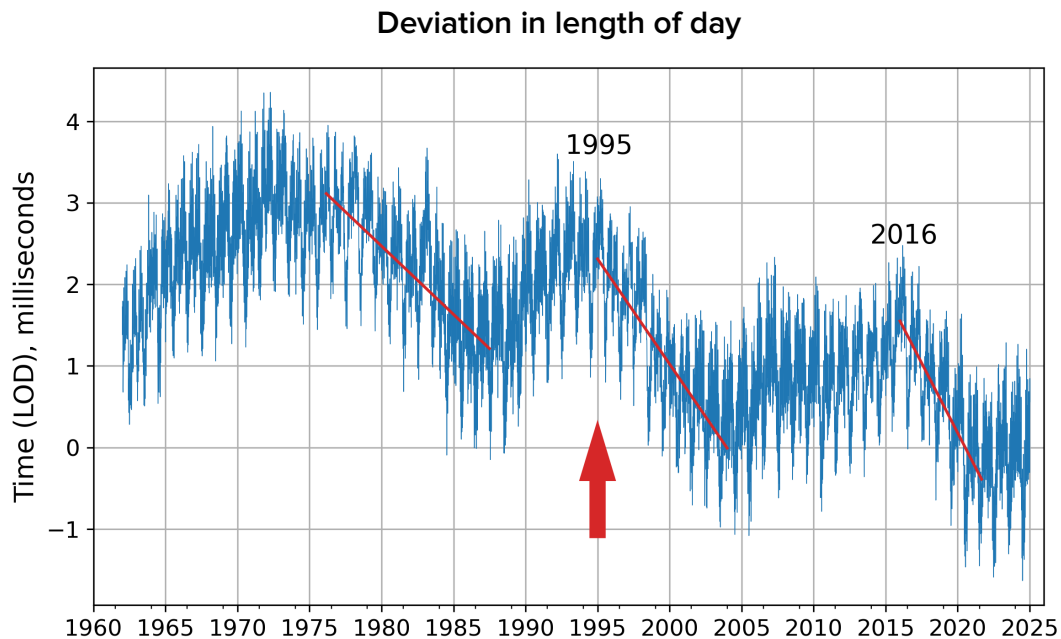


Abb. 1
Abweichung der Tageslänge in Millisekunden von 1962 bis 2023

Quelle: Center of the Paris Observatory

Day length – Earth orientation parameters: https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOP-C04_14_62-NOW_IAU1980-LOD&id=223

Die roten Linien in der Abbildung stellen Trendlinien dar, die die Geschwindigkeit, mit der die Länge eines Tages abnimmt, veranschaulichen. Die Trendlinie auf der linken Seite verläuft zum Beispiel weniger steil, während die Trendlinie auf der rechten Seite, die die Beschleunigung seit 2016 anzeigt, fast senkrecht verläuft. Dies zeigt, dass die Tageslänge deutlich schneller abnimmt, was bedeutet, dass sich die Rotation des Planeten beschleunigt.

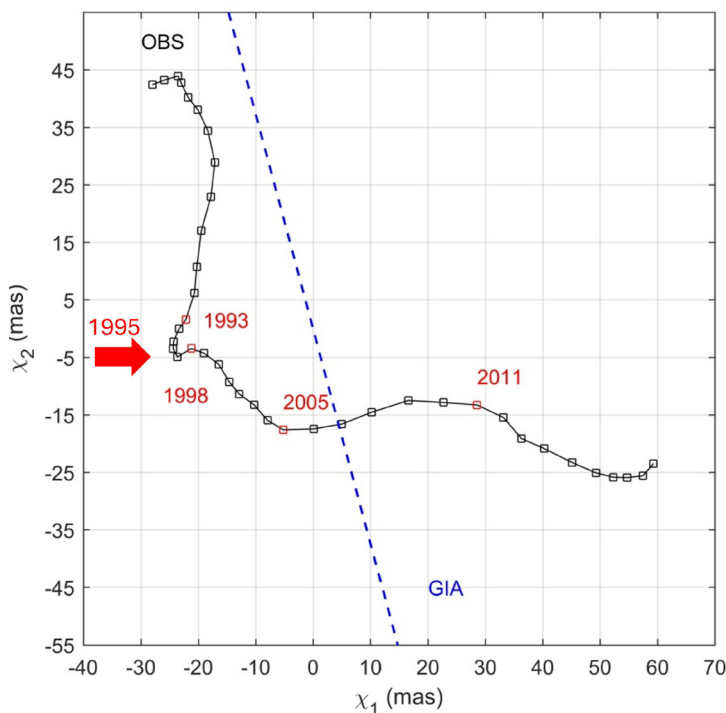


Abb. 2
Langfristiger Verlauf der erfassten Abweichung nach Entfernung der Jahres- und Chandler-Zyklen mit Hilfe der Methode des gleitenden Durchschnitts.

Schwarze Linie mit Quadraten: beobachteter Verlauf; blaue gestrichelte Linie: Richtung der polaren Drift, verursacht durch die glaziale isostatische Anpassung (GIA).

Die Größe der Untergruppe des gleitenden Durchschnitts wurde auf 84 Monate festgelegt, was das kleinste gemeinsame Vielfache von 12 Monaten (Jahreszyklus) und 14 Monaten (Chandler-Zyklus) ist, wie in der Studie von Liu et al. (2017) beschrieben.

Quelle: 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>

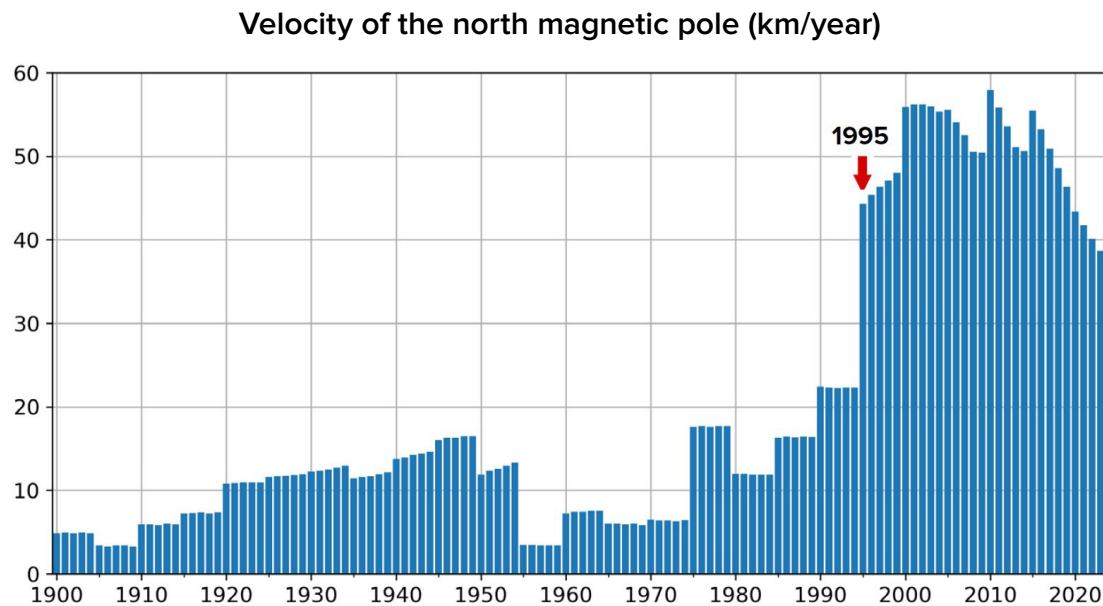


Abb. 3

Geschwindigkeit der Drift des magnetischen Nordpols (km/Jahr)

Quelle: NOAA-Daten über die Position des magnetischen Nordpols

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

Der Hypothese zufolge begann das Sonnensystem zu diesem Zeitpunkt in einen Bereich einzutreten, in dem externe kosmische Kräfte einen erheblichen Einfluss auf die Planetenkerne ausüben. Die 1995 im Erdkern beobachteten Veränderungen deuten auf eine zunehmende Erwärmung des äußeren Kernels hin, was bedeutet, dass zusätzliche Energie den Erdkern zu erreichen begann. Solch tief greifende Veränderungen im Erdkern erfordern um das Quadrillionenfache mehr Energie, als die menschliche Zivilisation im Laufe ihres Bestehens produziert hat.

Der Zufluss von Energie von außen zum Erdkern löste Prozesse aus, die mit dem Schmelzen des Erdmantels und dem Aufstieg von Magma an die Oberfläche verbunden sind. Dies wiederum löste eine Kettenreaktion von seismischen und vulkanischen Aktivitäten sowie eine erhöhte Wärmeabgabe aus dem Erdinneren und eine Zunahme von Naturkatastrophen weltweit aus.

Seit 1995 ist beispielsweise ein deutlicher Anstieg der seismischen Aktivität zu verzeichnen, der sich in einer Zunahme der Häufigkeit, Stärke und Energie von Erdbeben bemerkbar macht.

Dieser Trend betrifft sowohl Kontinente als auch den Meeresboden (Abb. 4), darunter auch Gebiete, die zuvor als seismisch inaktiv galten, was auf die globalen Veränderungen dieser Art hinweist.

Es ist wichtig anzumerken, dass der Anstieg der Anzahl der Erdbeben mit einer Magnitude von 5,0 oder mehr nicht auf Fortschritte in den Technologien seismischer Monitorings zurückzuführen ist (Abb. 5), sondern echte Veränderungen im geodynamischen System der Erde widerspiegelt. Die kumulativen Daten des Internationalen Seismologischen Zentrums bestätigen, dass die Anzahl der Erdbeben in den letzten 25 Jahren erheblich zugenommen hat und weiterhin zunimmt (Abb. 6).

Zunahme der Erdbeben am Meeresboden entlang mittelozeanischer Rücken

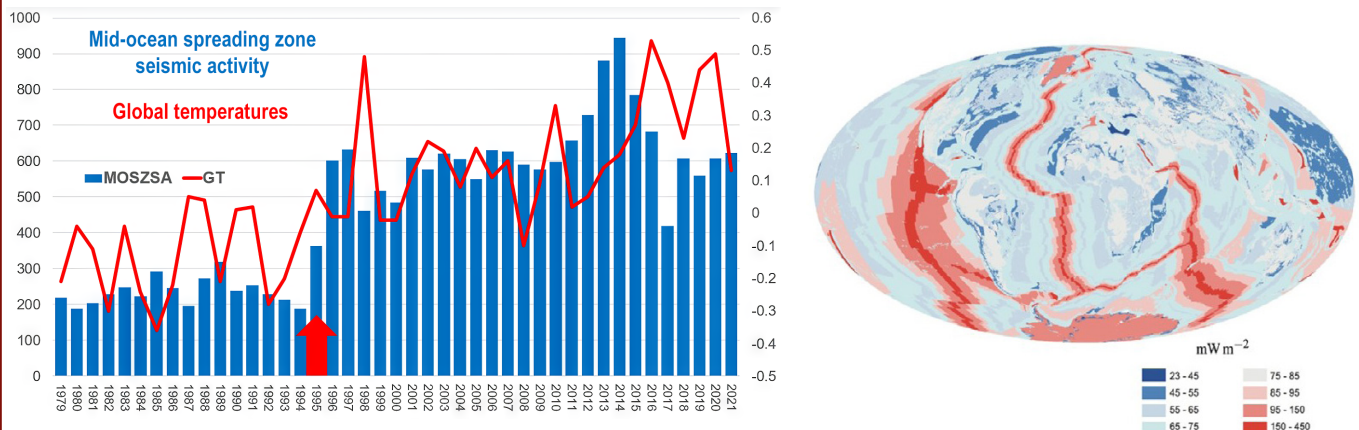


Abb. 4

Gleichzeitiger Anstieg von Erdbeben am Meeresboden und globalen atmosphärischen Temperaturen (links). Geothermische Erwärmung der mittelozeanischen Rücken (rechts).

Quelle: Davies & Davies, 2010; Viterito, A. (2022). 1995: An Important Inflection Point in Recent Geophysical History. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 29(5).

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

Das Diagramm veranschaulicht einen starken Anstieg der Anzahl von Erdbeben am Meeresboden entlang mittelozeanischer Rücken beginnend mit dem Jahr 1995 sowie eine starke Korrelation zwischen der Seismizität auf dem Meeresboden und den atmosphärischen Temperaturen. Dies deutet auf eine zusätzliche Wärmequelle in der Tiefe hin, die sich sowohl auf die Ozeane als auch auf die Atmosphäre auswirkt.

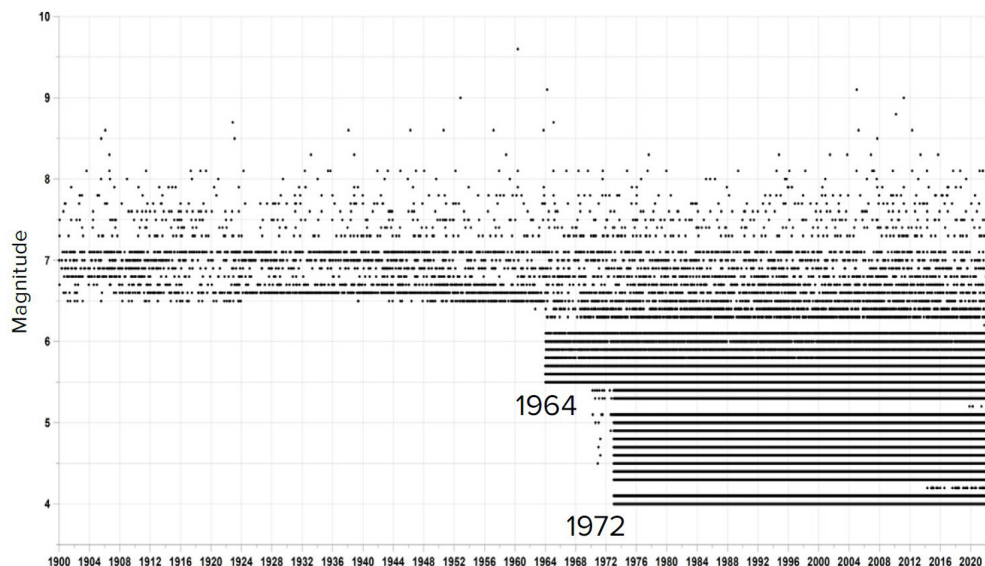


Abb. 5

Aufgezeichnete Erdbebenstärken im Laufe der Zeit.

Die schwarzen Punkte stellen Erdbeben unterschiedlicher Stärke in verschiedenen Jahren dar. Vor 1964 wurden nur Erdbeben mit Magnituden von 6,5 und stärker aufgezeichnet. Ab 1964, mit der Einführung empfindlicherer Sensoren, wurden auch Erdbeben der Stärke 5,5 und darüber aufgezeichnet. Seit 1972 werden durchgängig Erdbeben der Stärke 4,0 und darüber aufgezeichnet, unabhängig vom Ort.

M5+ Earthquakes 1979-2023, ISC

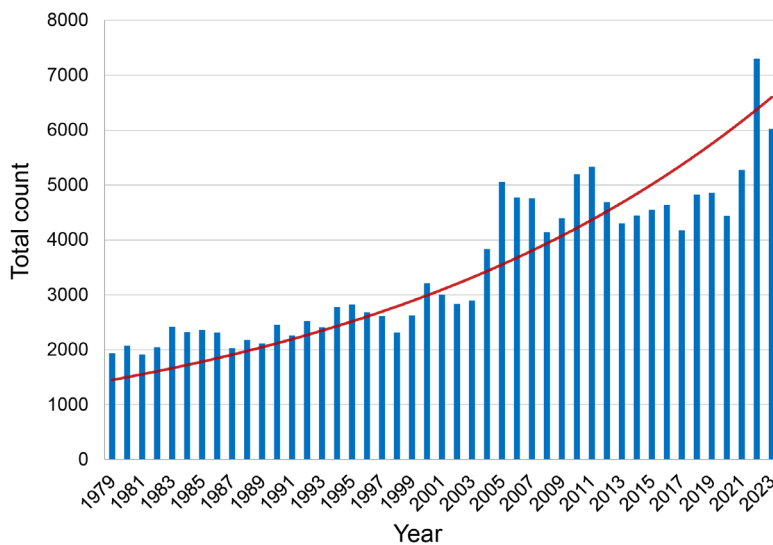


Abb. 6
Erdbeben der Stärke 5+ von 1979 bis 2023.

Der Datensatz wurde nach dem Maximum-Magnitude-Algorithmus zusammengestellt, wobei für jedes Ereignis der höchste in der ISC-Datenbank verzeichnete Magnitudenwert ausgewählt wurde (siehe Anhang 1).

Quelle: ISC-Datenbank

Darüber hinaus nimmt die seismische Aktivität in der Nähe von Vulkanen zu, auch bei Supervulkanen wie Yellowstone (USA), Campi Flegrei (Italien), Taupo (Neuseeland) und anderen, die während früherer 12.000-Jahres-Zyklen ausgebrochen sind. Die Gesamtzahl der Tage mit Vulkanausbrüchen nimmt ebenfalls zu, begleitet von anomalen Eruptionen. Bei diesen Ereignissen ist die ausgestoßene Lava überhitzt und weist eine atypische Zusammensetzung auf, die für Magma aus tieferen Mantelschichten charakteristisch ist.^{3,4,5,6,7}

Besonderes Augenmerk wird auf die Zunahme von Tiefbeben gelegt, die in Tiefen von mehr als 300 Kilometern auftreten und manchmal bis zu 750 Kilometer. Diese Ereignisse entstehen nicht in

der Erdkruste, sondern im Erdmantel, wo sich die Mantelsubstanz in der Regel gleichmäßig verformt, anstatt zu brechen. Dies macht die Natur solcher Erdbeben ungewöhnlich.

Da diese Erdbeben unter extremen Druck- und Temperaturverhältnissen stattfinden, kann man schlussfolgern, dass diese gewaltigen Explosionen von der Energie her mit der gleichzeitigen Detonation mehrerer Atombomben im Inneren des Erdmantels vergleichbar sind.

Darüber hinaus lösen Tiefbeben oft erhebliche seismische Aktivität in der Erdkruste aus und verstärken ihre zerstörerische Wirkung.^{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>

Seit 1995 hat die Anzahl solcher Tiefbeben exponentiell zugenommen (Abb. 7, 8), was mit anderen geodynamischen Anomalien zusammenfällt, die im gleichen Zeitraum begannen. Die Zunahme dieser

Explosionen im Erdmantel deutet auf einen Anstieg der Energie im Erdinneren und ein verstärktes Schmelzen des Erdmantels hin, was zu großflächigen Vulkanausbrüchen führen kann.

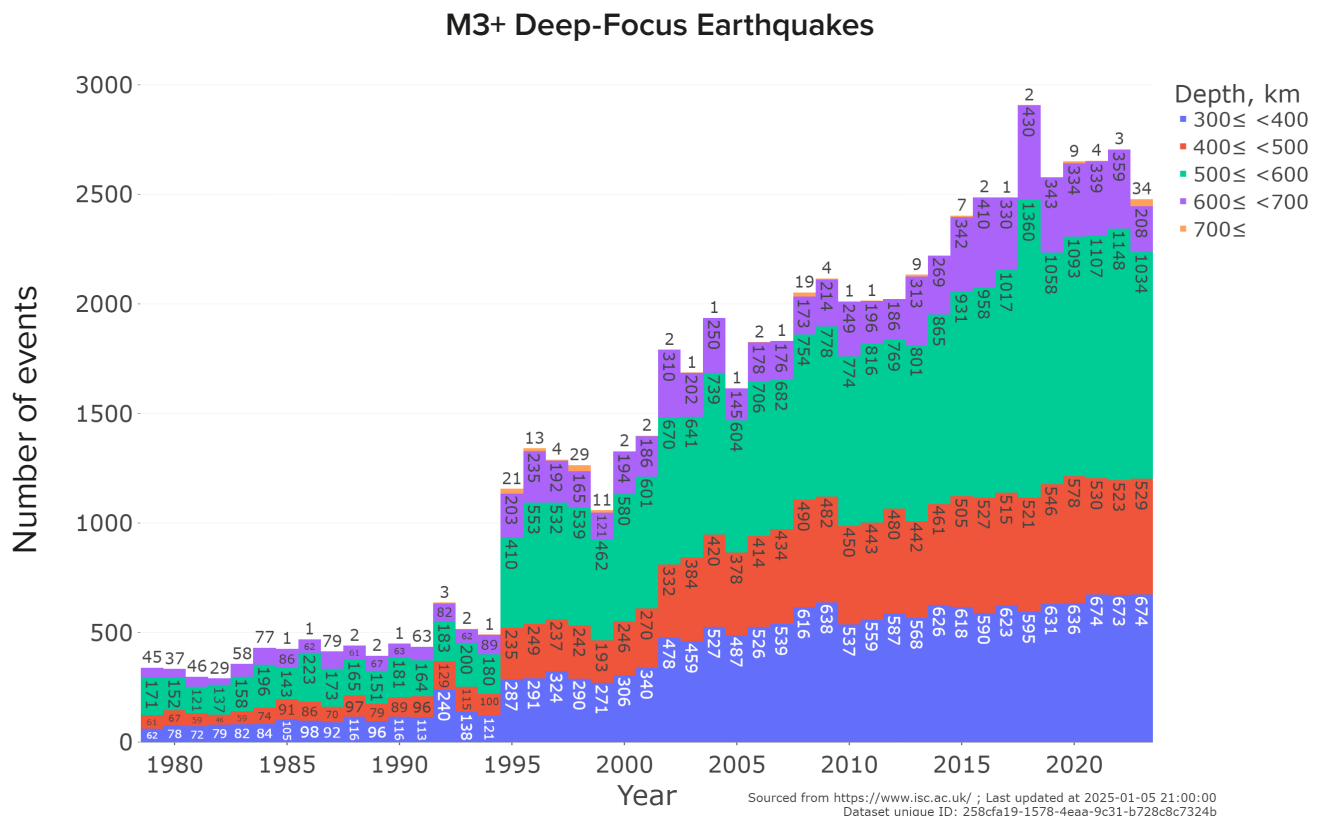


Abb. 7
Exponentielles Wachstum der Anzahl der Tiefbeben M3+ weltweit seit 1979. Das Diagramm ist entsprechend der Datenerfassung durch den speziellen Median-Magnituden-Algorithmus (siehe Anhang 1), enthalten in der ISC-Datenbank für jedes der Ereignisse, erstellt.

Quelle: ISC-Datenbank

Das Diagramm veranschaulicht die geometrische Progression der Zunahme der Anzahl von Erdbeben in Tiefen von mehr als 300 Kilometern im oberen Erdmantel, wo man annimmt, dass die Substanz plastisch und nicht brüchig ist. Ab 1995 ist ein signifikanter sprunghafter Anstieg zu beobachten, der mit einer ähnlichen Zunahme bei vielen anderen geodynamischen Anomalien zusammenfällt. Bemerkenswert ist, dass der Anstieg der Tiefbeben nicht mit einer Zunahme der Zahl der seismischen Überwachungssensoren zusammenhängt.

M3+ Deep-Focus Earthquakes

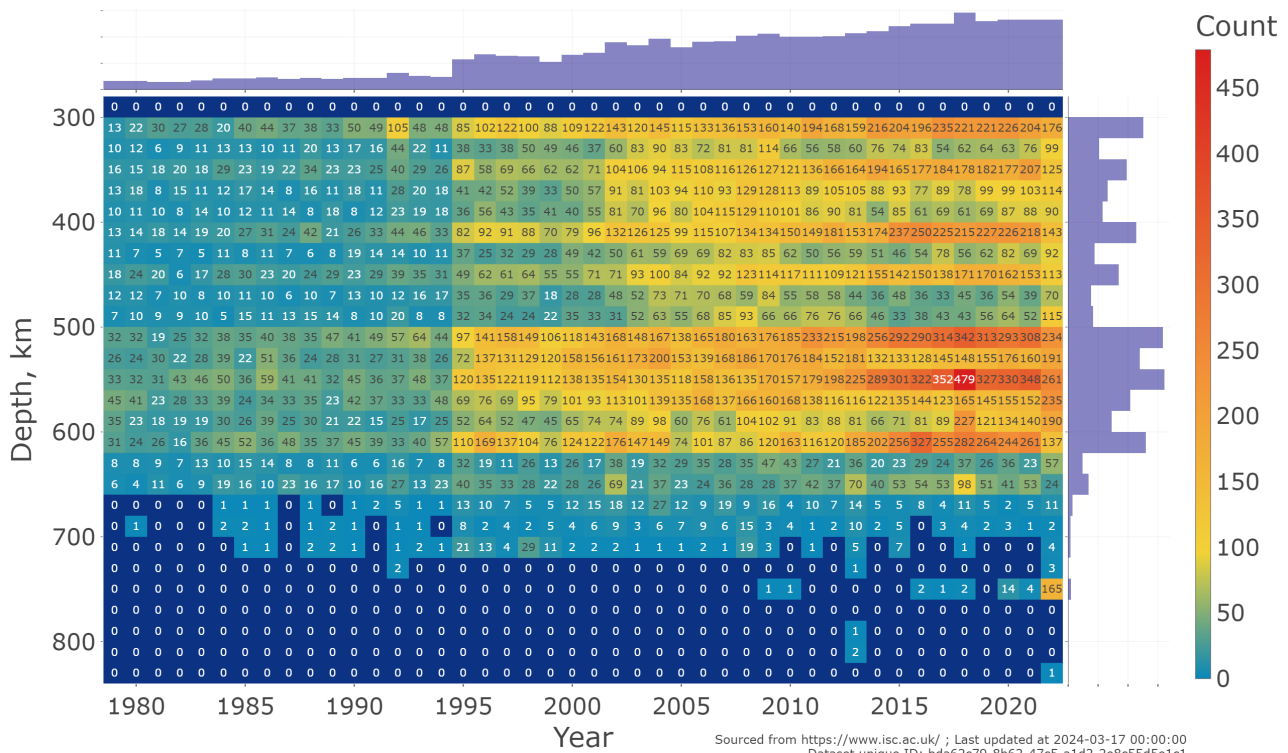


Abb. 8

Verteilung der Tiefbeben M3+ nach Jahr und Tiefe.

Quelle: ISC-Datenbank

Die Zunahme von Tiefbeben deutet auf das Schmelzen des Mantels hin, der vom Erdkern her aufgeheizt wird. Geschmolzenes Magma im Mantel beginnt unter der Wirkung der Zentrifugalkräfte, abrupt zur Erdoberfläche aufzusteigen und die Lithosphäre von innen über das normale Ausmaß zu schmelzen und zu erwärmen. Der Magmaaufstieg ist für den zunehmenden geothermischen Fluss aus dem Erdinneren und die Aktivierung von Magma-Plumes unter den Gletschern der Westantarktis und des Zentral-Grönlands unmittelbar verantwortlich. Dieser Prozess beschleunigt das Schmelzen von Gletschern und Permafrostböden von unten nach oben erheblich.

Heute erwärmt sich der Ozean so stark wie nie zuvor, wodurch extreme Naturereignisse wie

Überschwemmungen, Hurrikane und tropische Wirbelstürme erheblich zunehmen. Der Ozean spielt eine entscheidende Rolle bei der Wärmeregulierung des Planeten, da er überschüssige Wärme aufnehmen und umverteilen kann, um katastrophale Folgen zu verhindern. Da sich jedoch die Erwärmung der Erde aufgrund geodynamischer Aktivitäten, die durch astronomische Zyklen verursacht werden, verstärkt, hat der Ozean seine Funktion, Wärme aus der Tiefe abzuleiten, verloren. Dies ist auf die vom Menschen verursachte Verschmutzung der Ozeane zurückzuführen. Plastikmüll zerfällt in Mikroplastik und Nanoplastik und verringert die Wärmeleitfähigkeit des Wassers (Abb. 9).

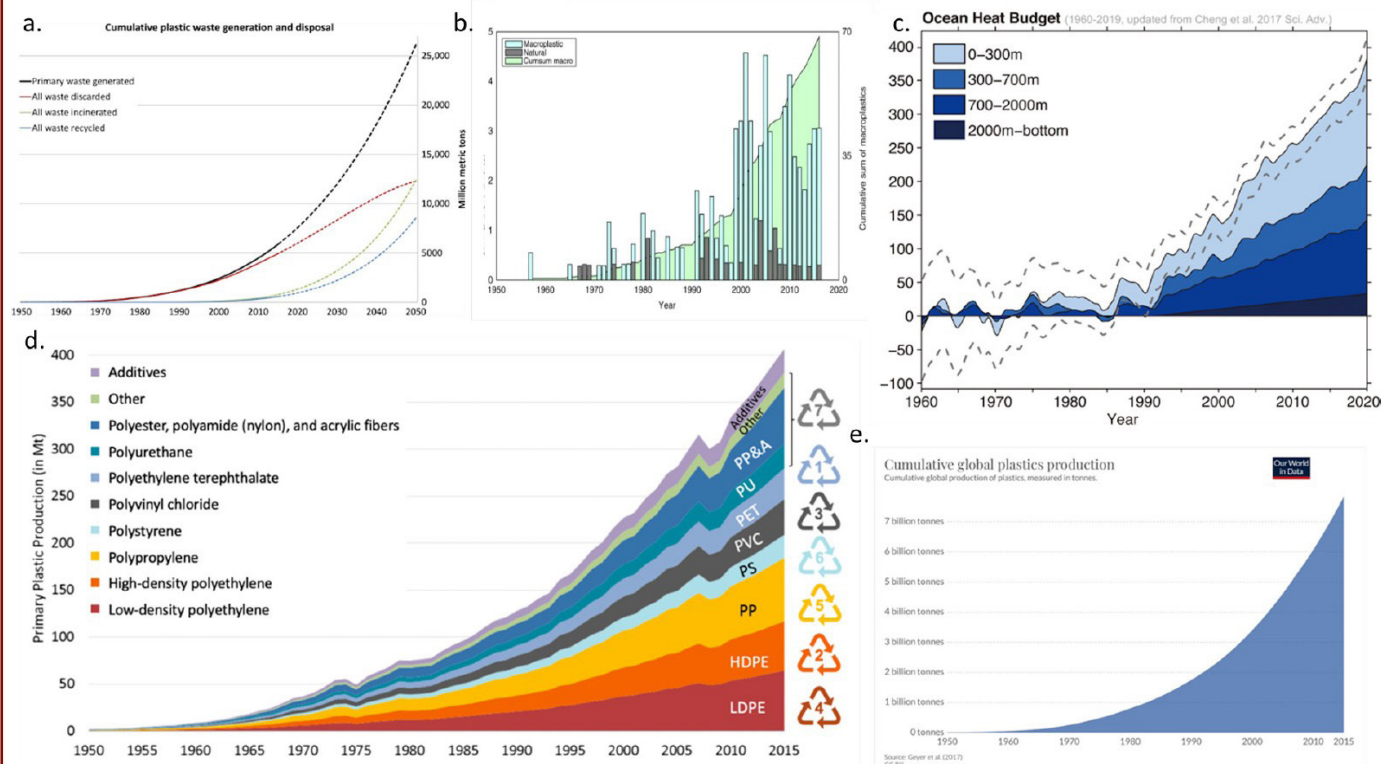


Abb. 9
 Diagramme der Veränderungen der Meerestemperatur im Zeitraum von 1960 bis 2019 und ihr Vergleich mit den Diagrammen des Wachstums der Produktion synthetischer Polymere, ihrer Verwendung in verschiedenen Branchen und der Entsorgung von Kunststoffabfällen in den Ozeanen (aus verschiedenen Quellen).

a. Gesamtmenge der produzierten und entsorgten Plastikabfälle

Quelle: 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. Die Gesamtmenge des Makroplastiks im Ozean und jährliche Daten

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

c. Wärmehalt der Ozeane von 1960 bis 2019
 (Purkey and Johnson, 2010; updated from Cheng et al., 2017)

Quelle: 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. Weltweite Produktion von Primär-Kunststoffen nach Polymertyp

Quelle: 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. Kumulierte weltweite Plastikproduktion seit 1950

Quelle: Plastic Marine Pollution Global Dataset

Der Anstieg der Wassertemperaturen findet nicht nur an der Oberfläche, sondern in der gesamten Tiefe und am Meeresboden statt. Die Erwärmung des Ozeans wird durch aufsteigendes Magma verursacht, das insbesondere die ozeanische Kruste erwärmt, die dünner und anfälliger ist als die kontinentale Kruste.

Historische Daten aus geologischen und Eisbohrkernen deuten darauf hin, dass die Erde alle 12.000 Jahre mit ähnlichen Katastrophenzyklen konfrontiert war.¹⁰ Alle 24.000 Jahre waren diese planetarischen Katastrophen deutlich intensiver, wie Untersuchungen von Vulkanascheschichten in Eisbohrkernen¹¹ (Abb. 10) und andere geochronologische Forschungen zeigen. Die Erde tritt derzeit in einen solchen Zyklus ein. Der gegenwärtige Zyklus wird jedoch durch anthropogene Faktoren verschärft, wie z. B. die Verschmutzung des Ozeans, die seine Fähigkeit, den Energiehaushalt der Erde zu regulieren, weiter beeinträchtigt hat.

Mit der Erwärmung des Ozeans zerfällt der Plastikmüll in Mikro- und Nanoplastik, was die Wärmeleitfähigkeit des Ozeans weiter verringert. Dieser Verlust an Wärmeleitfähigkeit ist in Zeiten erhöhter geodynamischer Aktivität, die durch astronomische Zyklen bedingt ist, von

entscheidender Bedeutung. Die Akkumulierung von überschüssiger Energie im Erdinneren hat zu einem Anstieg der Anzahl der Tiefbeben und zur raschen Bildung neuer Magmakammern geführt, wodurch die Instabilität des Planeten verstärkt wird. Dieser geschlossene Kreislauf beschleunigt die Erwärmung und Destabilisierung der Erde und bringt den Planeten der unvermeidlichen Zerstörung näher.

Mathematische Modelle deuten darauf hin, dass die wirtschaftlichen und sozialen Systeme der Welt innerhalb der nächsten 4-6 Jahre aufgrund der zunehmenden Schäden durch Klimakatastrophen zusammenbrechen könnten. Die exponentielle Zunahme von Katastrophenereignissen droht die Erde innerhalb des nächsten Jahrzehnts unbewohnbar zu machen (Abb. 11). Im Gegensatz zu den früheren Zyklen wird der derzeitige Zustand des Planeten durch die vom Menschen verursachte Umweltverschmutzung noch verschlimmert, was wenig Hoffnung für das Überleben der Ökosysteme oder der Erde selbst lässt. **Es ist wichtig zu verstehen, dass die Bewältigung des Problems der Meeresverschmutzung und -erwärmung das Fortschreiten von Naturkatastrophen zwar verlangsamen, aber nicht vollständig aufhalten kann.**

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

¹¹Sawyer, 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>

Katastrophale Vulkanausbrüche im 12.000-Jahres-Rhythmus

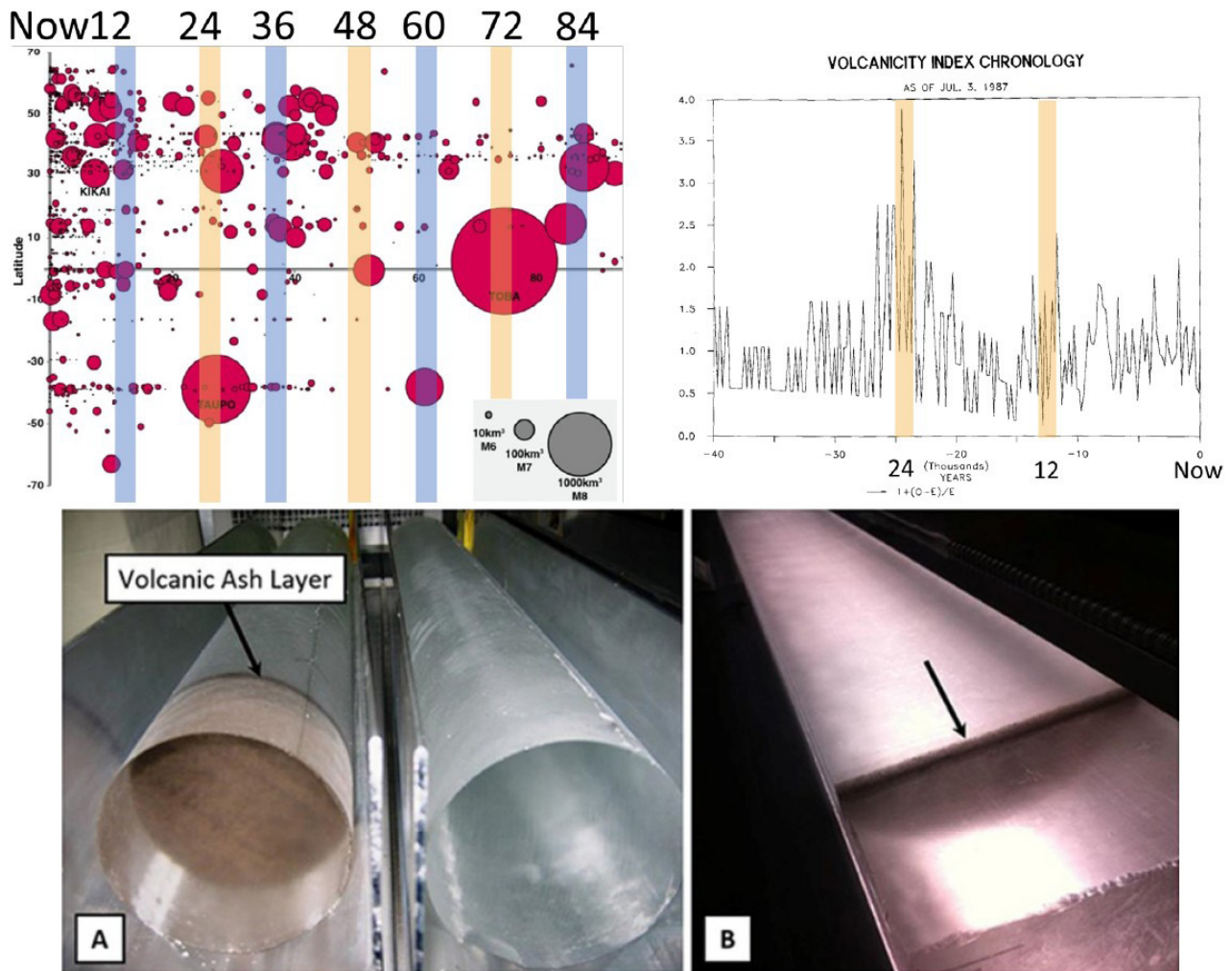


Abb. 10
Forschungsdaten zu vulkanischen Ascheschichten aus Eruptionen der letzten 100.000 Jahre in Eisbohrkernen aus der Antarktis und der Arktis, zusammengestellt aus Arbeiten verschiedener Autoren.

Quelle: 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>

Die Diagramme zeigen, dass katastrophale vulkanische Aktivität alle 12.000 Jahre auftritt, wobei die Ereignisse alle 24.000 Jahre noch intensiver sind (unter Berücksichtigung der Abweichungen bei der Datierung). Diese katastrophalen Ereignisse haben zu starken Temperaturschwankungen, Naturkatastrophen, vulkanischen Wintern und Massenaussterben von Arten geführt. Viele Supervulkane, die während vergangener Zyklen ausbrachen, begannen in unserer Zeit, insbesondere seit 1995, eine anomale Aktivität zu zeigen.

Progression der Zunahme von Naturkatastrophen am Beispiel von Erdbeben

M3+ Earthquakes Globally 1979-2024

volcanodiscovery.com

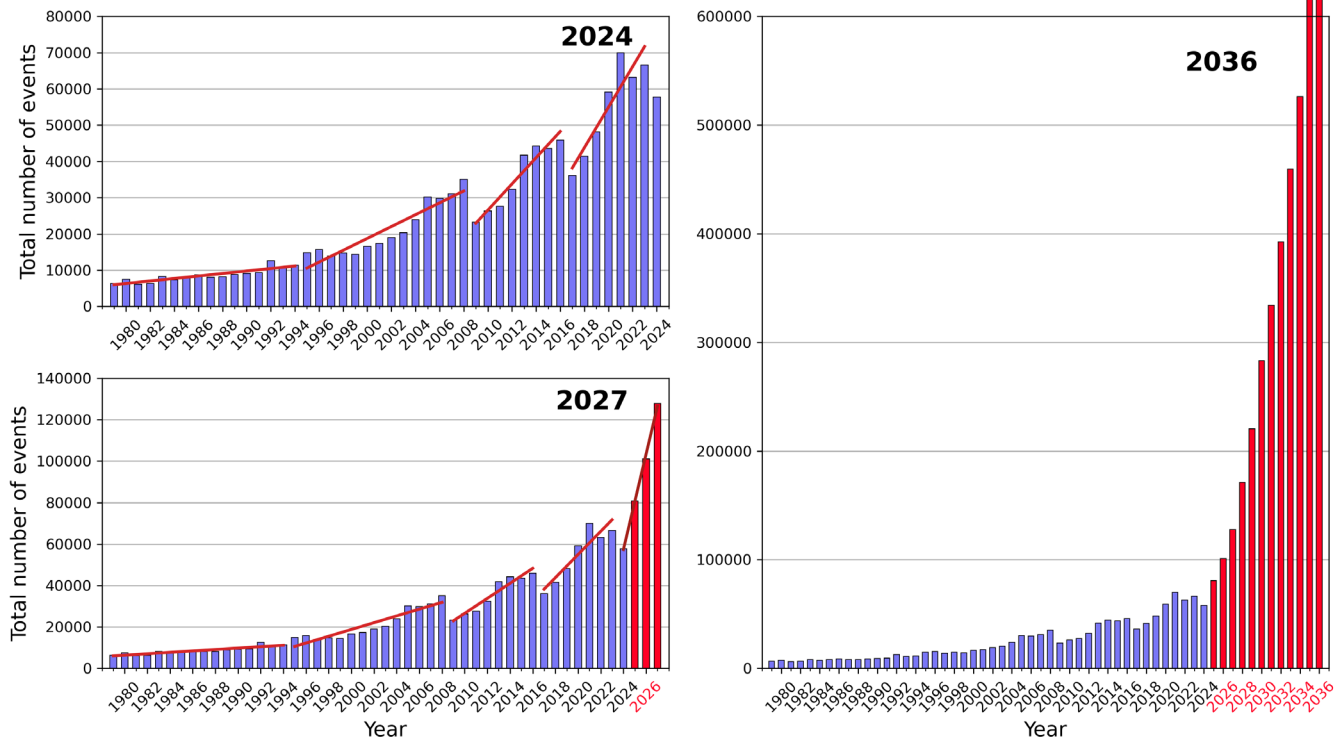


Abb. 11

Modell der exponentiellen Zunahme der Anzahl von Naturkatastrophen am Beispiel von Erdbeben bis zum Jahr 2036.

Die Diagramme zeigen die geometrische Progression der Häufigkeit und Stärke von Erdbeben weltweit auf der Grundlage der aktuellen Trends. Mit jeder weiteren Etappe verdreifacht sich die Zahl der Erdbeben. Bis zum Jahr 2028 wird die

Erde voraussichtlich 1.000 Erdbeben pro Tag mit einer Stärke von über 3,0 erleben, verglichen mit dem derzeitigen Durchschnitt von 125 Erdbeben mit Stärke 3,0 pro Tag.

Mit einer hohen Wahrscheinlichkeit werden sich bereits in 6 Jahren auf der Erde täglich solche zerstörerische Erdbeben ereignen, wie das in der Türkei und Syrien am 6. Februar 2023.

Dieser Bericht befasst sich mit einer zusätzlichen Bedrohung, die durch Veränderungen im Erdkern infolge der zusätzlichen Energiezufuhr verursacht wird. In den Jahren 1997-1998 beobachteten Wissenschaftler anhand von Satellitendaten des Earth's Center of Mass Studies ein noch nie dagewesenes Phänomen - eine plötzliche Verschiebung des inneren Kernes der Erde. Infolgedessen verschob sich der Erdkern auf einer Bahn von der Westantarktis nach Norden in Richtung Ostsibirien und der Taimyrhalbinsel in der Russischen Föderation. Diese Kernverschiebung verursachte einen unkontrollierten Aufstieg von Magma in diese Richtung, was zu einem raschen Aufstieg eines gewaltigen Magma-Plumes unter Sibirien führte.

Gegenwärtig hat der Sibirische Plume bereits die Basis der Erdkruste in der nördlichen Region des Ostsibirischen Kratons erreicht und begonnen,

die Platte anzuheben. Dies deutet darauf hin, dass geschmolzenes Magma begonnen hat, sich seinen Weg an die Oberfläche zu bahnen.

Ein unkontrollierter Durchbruch des Sibirischen Plumes kann zu einem globalen Aussterben führen, ohne der Menschheit nur eine Überlebenschance zu lassen. Berechnungen zufolge wäre eine solche Eruption 1.000 Mal stärker als der stärkste Ausbruch des Supervulkans Yellowstone. Ähnliche Ausbrüche eines Magma-Plumes in Sibirien ereigneten sich vor 250 Millionen Jahren und verursachten das große Permische Aussterben.

In diesem Bericht werden drei mögliche Szenarien für die Entwicklung der Ereignisse vorgestellt und Maßnahmen zur Lösung des Problems des Anstiegs des Sibirischen Plumes sowie Minderung der Risiken eines unkontrollierten Durchbruchs vorgeschlagen.



Erdkernverschiebung Richtung Sibirien im Jahr 1998

In den Jahren 1997-1998 registrierten Wissenschaftler bei der Untersuchung des Erdmittelpunkts via Satellit ein beispielloses Phänomen - eine Verschiebung des inneren

Erdkerns.^{12,13} Demzufolge verschob sich der Erdkern nach Norden, entlang der Linie von der Westantarktis zur Taimyrhalbinsel im Norden Ostsibiriens (Abb. 12).

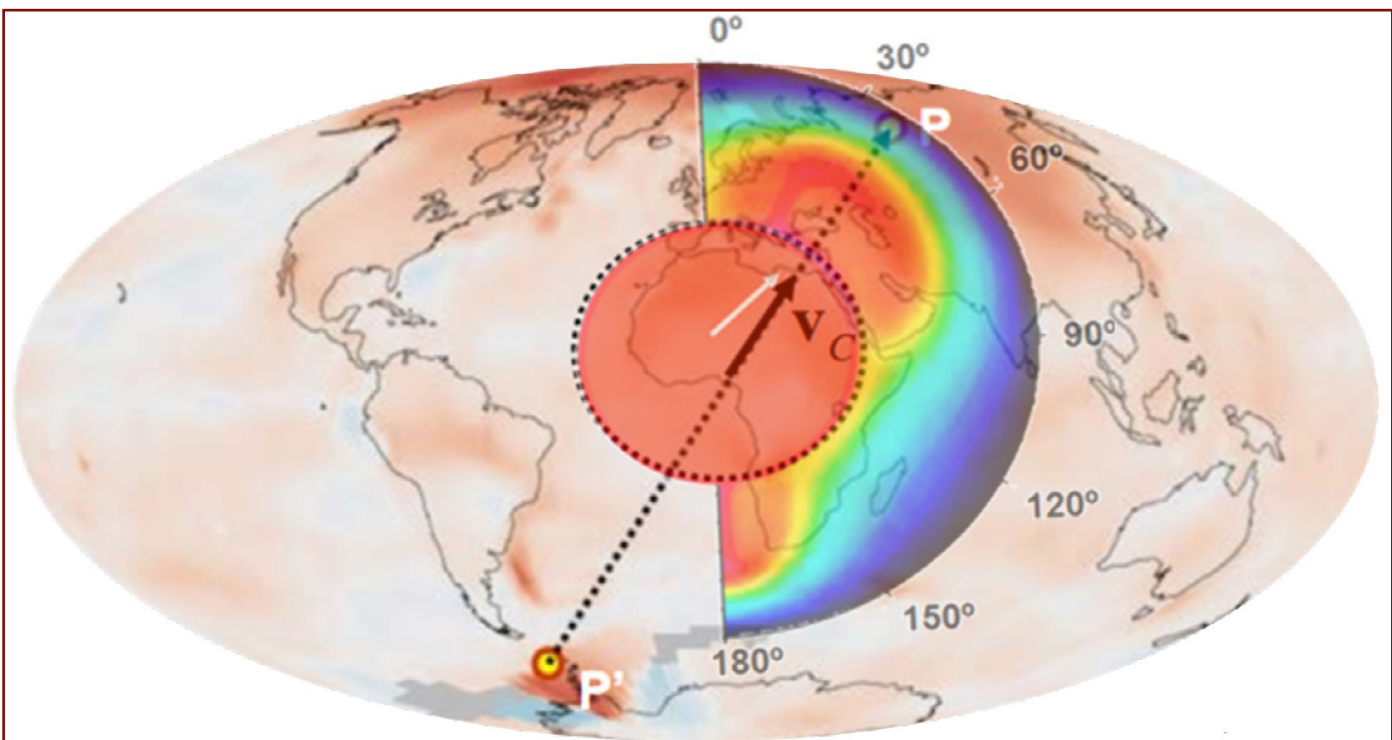


Abb. 12

Verschiebung des Erdkerns in den Jahren 1997-1998 und thermische Wellen im Magma, die durch die Kernverschiebung verursacht wurden. (Barkin, Yu. V.)

Die Karte zeigt den Verschiebungsvektor des inneren Kerns von der Westantarktis nach Ostsibirien, in Richtung der Taimyrhalbinsel. Das Schema wurde auf einer Karte der atmosphärischen Wärmeanomalien abgebildet.

Quelle: Geophysikalische Implikationen der relativen Verschiebungen und Schwingungen von Erdkern und Erdmantel. Vortrag von Yu.V. Barkin, Moskau, IFZ, OMTS. 16. September 2014.

¹² 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.

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>

Zur gleichen Zeit haben vier verschiedene Forschungsteams unabhängig voneinander anomale Veränderungen verschiedener geophysikalischer Parameter der Erde aufgezeichnet, die dieses Ereignis belegen. Anhand der Satellitendaten registrierte ein Autorenteam der Staatlichen Universität Moskau und des Instituts für Geophysik der Russischen Akademie der Wissenschaften im Jahr 1998 eine Verschiebung des Erdmittelpunkts¹⁴ (Abb. 13).

Im selben Zeitraum registrierte der International Earth Rotation Service (IERS) eine starke Beschleunigung der Erdrotation. Wissenschaftler an der Medicina-Station in Italien registrierten einen Sprung in der Schwerkraft.¹⁵ Gleichzeitig wurde eine

starke Veränderung der Erdform beobachtet¹⁶, die mit dem Laser-Ranging-System von US-Satelliten aufgezeichnet wurde.

Nach Ansicht von Doktor der physikalischen und mathematischen Wissenschaften Juri Barkin, Professor Gennadi Smolkov¹⁷ Doktor der Geowissenschaften, Professor Mikhail Arushanov¹⁸ Mitglied der Russischen Akademie der Wissenschaften und Ehrenprofessor der Moskauer Staatlichen Lomonossow-Universität, Doktor der geologischen und mineralogischen Wissenschaften Viktor Khain¹⁹ und vielen anderen Forschern führte die Verschiebung des Kerns zu Veränderungen in allen Hüllen der Erde.

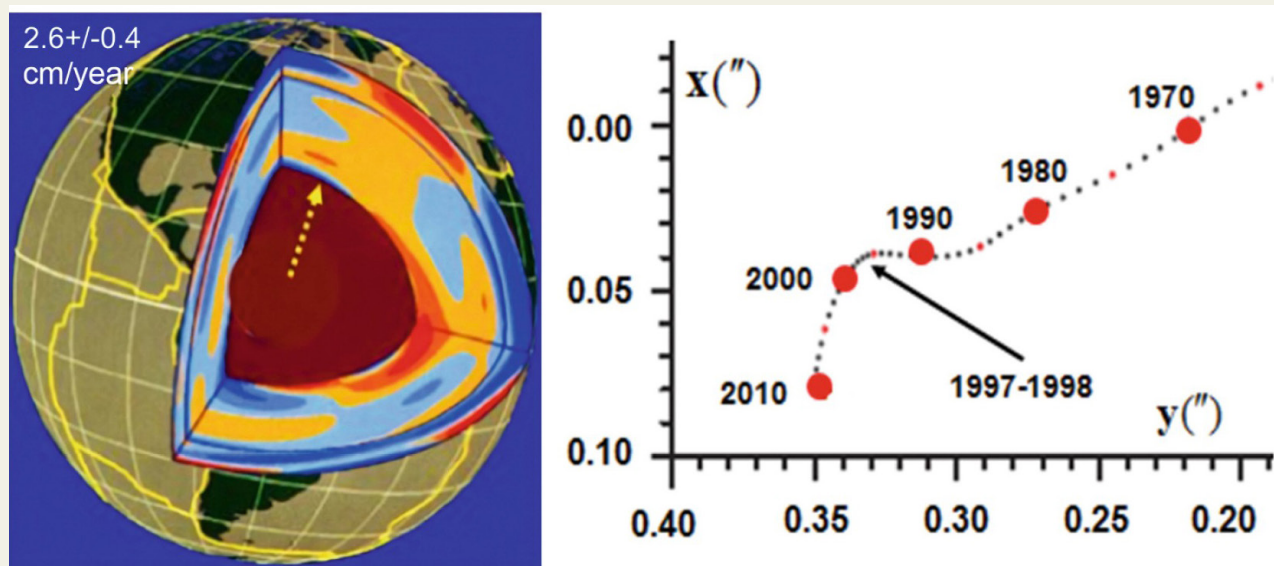


Abb. 13

Aufbau des Erdinneren, die Richtung der säkularen Drift des Massenschwerpunkts der Erde und die Bahn seines Pols auf der Erdoberfläche im Zeitraum 1990-2010 mit einer fast 90-Grad-Drehung in den Jahren 1997-1998 in Richtung der Taimyrhalbinsel.

Quelle: Smolkov, G.Ya. (2020). Heliogeophysikalische Forschung. Ausgabe 25, 14-29. Abgerufen von <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=569> (Zugriffsdatum: 01.02.2024)

Quelle der Grafik: Barkin, Y.V., & Klige, R.K. (2012)

¹⁴ 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.

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 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.

¹⁸ 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>

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

Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass genau in diese Richtung die starke Verschiebung des magnetischen Nordpols im Jahr 1995 begann. Seit Anfang des letzten Jahrhunderts bewegte sich der Pol mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 10 km/Jahr, doch dann erhöhte er plötzlich seine Geschwindigkeit auf ein Maximum von 57 km/Jahr und änderte seinen Verlauf in Richtung Sibirien und der Taimyrhalbinsel²⁰ (Abb. 3, 14).

Dies deutet darauf hin, dass die Bedingungen für die Kernverschiebung in Richtung der Taimyrhalbinsel bereits 1995 sich zu bilden begannen und durch die Verflüssigung des äußeren flüssigen Erdkerns angetrieben wurden. Im Jahr 2013 stellten Forscher der Universität Leeds fest, dass diese Veränderungen im Magnetfeld durch den beschleunigten Fluss von flüssigem Eisen im äußeren Erdkern verursacht wurden²¹ (Abb. 15), der wahrscheinlich 1995 einsetzte.

Den veröffentlichten Daten zufolge besteht eine Korrelation zwischen der Häufigkeit von

Magnetfeldinversionen und der Intensität des Mantelmagnetismus.^{22,23,24} Gleichzeitig ist bekannt, dass Magnetfeldinversionen wahrscheinlich mit den Prozessen zusammenhängen, die im äußeren Kern nahe der Kern-Mantel-Grenze auftreten.²⁵ Die Korrelation zwischen Veränderungen in der Intensität des Mantelmagnetismus und der Häufigkeit von Inversionen des Erdmagnetfeldes deutet darauf hin, dass Störungen des Erdmagnetfeldes im äußeren Erdkern aufgrund von Veränderungen in der Intensität der Wärmeübertragung an den Füßen der Plumes an der Kern-Mantel-Grenze auftreten.

Die Zunahme der Gesamtwärmeleistung der Plumes ist sowohl auf die Entstehung neuer Plumes als auch auf eine Zunahme der Wärmeleistung der bereits aktiven Plumes zurückzuführen. Es ist davon auszugehen, dass geodynamische Störungen im äußeren Kern und im Erdmantel während der Perioden auftreten, in denen ein Plume entsteht und an die Oberfläche gelangt.²⁶

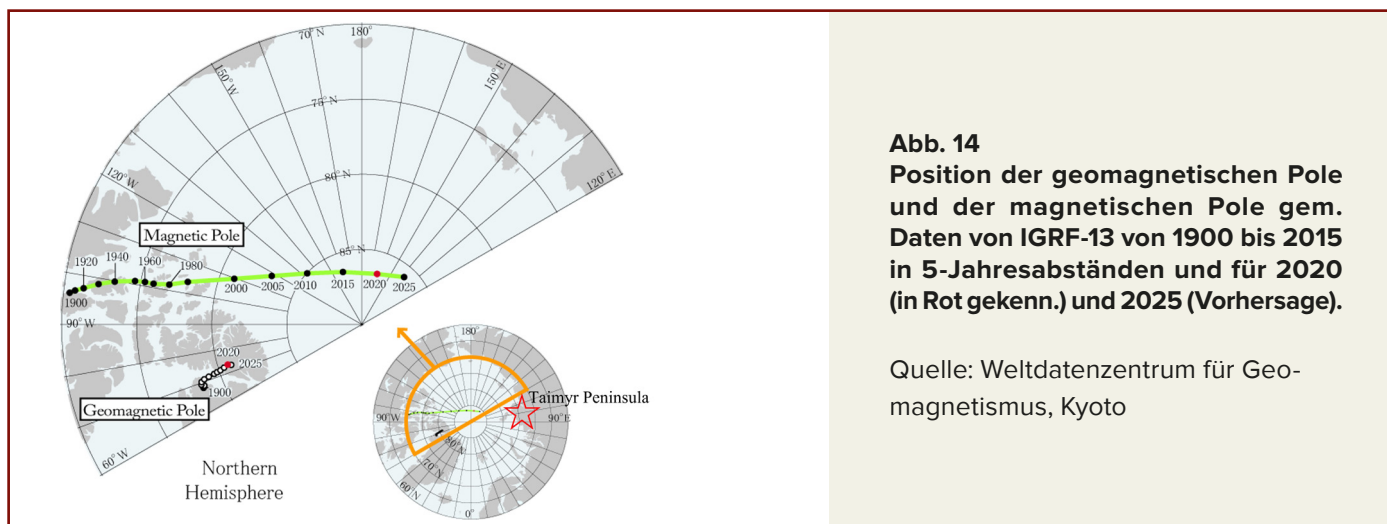


Abb. 14
Position der geomagnetischen Pole und der magnetischen Pole gem. Daten von IGRF-13 von 1900 bis 2015 in 5-Jahresabständen und für 2020 (in Rot gekenn.) und 2025 (Vorhersage).

Quelle: Weltdatenzentrum für Geomagnetismus, Kyoto

²⁰Dyachenko, A. I. (2003). Earth's magnetic poles. MCCME.

²¹Livemore, 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)

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

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

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

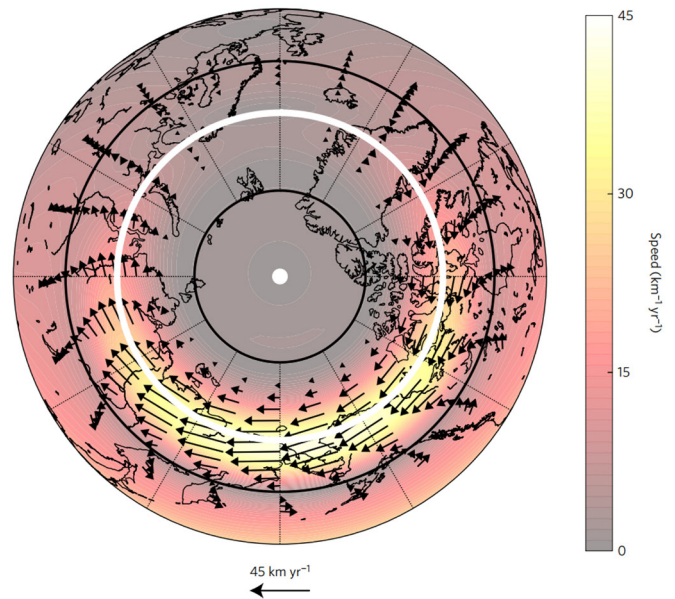
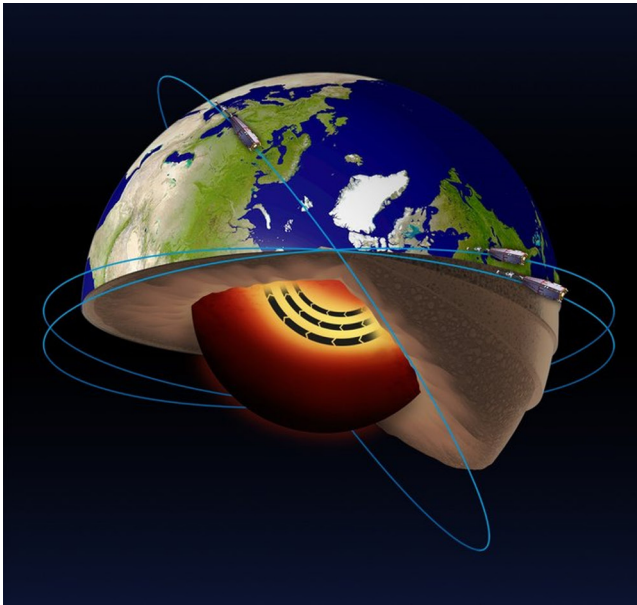


Abb. 15

Die Analyse der ESA Swarm-Satellitendaten hat ergeben, dass im flüssigen Eisenteil des Erdkerns in einer Tiefe von 3000 km unter der Oberfläche ein Jetstream vorhanden ist und dass sich dieser Jetstream beschleunigt.

Quelle: ESA

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>

Daher könnte die derzeitige Verschiebung des magnetischen Nordpols in Richtung der Taimyrhalbinsel ein zusätzlicher Hinweis auf Veränderungen im äußeren flüssigen Erdkern und einen starken Anstieg des Plumes an der Kern-Mantel-Grenze unter Sibirien sein.

Als Folge des äußeren kosmischen Einflusses auf den Erdkern im Jahr 1995 begann sich der innere Kern zu erhitzen. Der äußere Kern begann zu schmelzen, was zu einer raschen Beschleunigung der Drift des magnetischen Nordpols führte. Die Verflüssigung des äußeren Kerns schuf die Voraussetzungen für die Kernverschiebung in

Richtung Sibirien und der Taimyrhalbinsel in den Jahren 1997-1998. Nach der Hypothese von Dr. Yuri V. Barkin verursachte die Kernverschiebung eine asymmetrische Wärmezufuhr in Richtung Sibirien (Abb. 16). Dabei ist zu beachten, dass der Wärmetransport innerhalb des Mantels in erster Linie durch konvektive Vermischung erfolgt. Dies legt nahe, dass die Kernverschiebung in erster Linie den Aufstieg von Magma in Richtung Sibirien auslöste. Später wurde in diesem Teil Sibiriens eine anormale atmosphärische Erwärmung beobachtet, die von Jahr zu Jahr zunimmt.

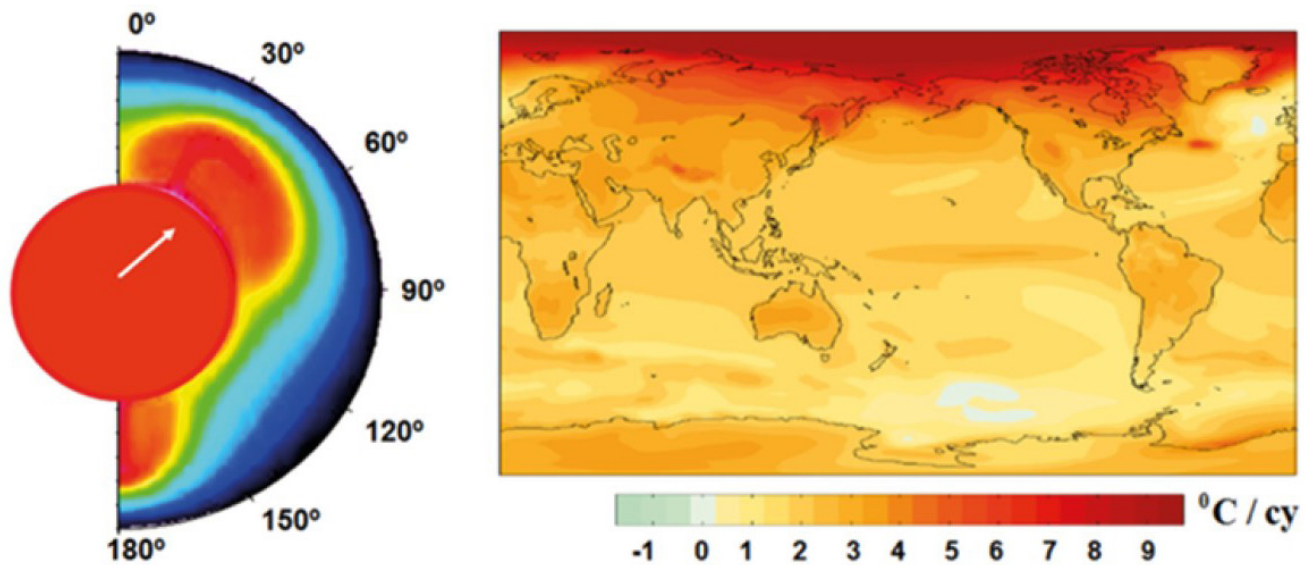


Abb. 16

Erzwungene relative Kern- und Mantelschwingung und das Schema der asymmetrischen Wärmezufuhr zu den oberen Schichten des Mantels (links). Lineare Trends der Oberflächenerwärmung (in °C pro Jahrhundert) gemäß den Daten von NCAR CCSM3, gemittelt nach einem speziellen Szenario http://www.realclimate.org/bitz_fig3.png (rechts).

Quelle: Barkin, Yu.V. (2009). Ciklicheskie inversionnye izmenenija klimata v severnom i juzhnom polusharijah Zemli [Zyklische Inversion Klimaänderung in der nördlichen und südlichen Hemisphäre der Erde]. Geologie der Meere und Ozeane: Materialien der XVIII. Internationalen Wissenschaftlichen Konferenz (Schule) über Meeresgeologie. Vol. III. - Moskau: GEOS. pp. 4-8.

Sibirien und die Sibirische Arktis erwärmen sich 3-4 Mal schneller als der Rest der Welt

Nach Angaben verschiedener Organisationen erwärmt sich das Territorium Russlands, insbesondere die arktische Region, extrem.

Wie aus den von den Wissenschaftlern des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) für das Jahr 2021 vorgelegten Daten hervorgeht, erwärmt sich das Territorium Russlands dreimal schneller als der Rest der Welt, und seine arktischen und sibirischen Regionen erwärmen sich viermal schneller als der globale Durchschnitt.

Im Jahr 2022 teilte Igor Shumakov, Leiter von Roshydromet, unter Berufung auf Daten der Weltorganisation für Meteorologie²⁷ mit, dass sich das Territorium Russlands 2,5 Mal schneller als der Rest des Planeten erwärmt, wobei die nördliche Polarregion des Landes den schnellsten Temperaturanstieg erfährt, insbesondere in

den letzten Jahrzehnten. Sibirien gehört zu den Regionen, die sich weltweit am stärksten erwärmen (Abb. 17), was in den letzten 7.000 Jahren beispiellos ist, wenn man von rekonstruierten Klimabedingungen ausgeht, die aus Baumring-Untersuchungen hervorgehen.²⁸

Das US-amerikanische Woodwell Climate Research Center (WCRC)²⁹ hat in einer groß angelegten Studie untersucht, wie der Klimawandel auf Temperaturen, Bodenfeuchtigkeit, Schneedeckendicke, Niederschlagsmengen und andere wichtige Klimaparameter in verschiedenen Regionen der Arktis beeinflusst hat. Zu diesem Zweck kombinierten und systematisierten die Wissenschaftler Daten, die in den letzten 40 Jahren von Satelliten, Flugzeugen, Drohnen und meteorologischen Bodenstationen gesammelt wurden.

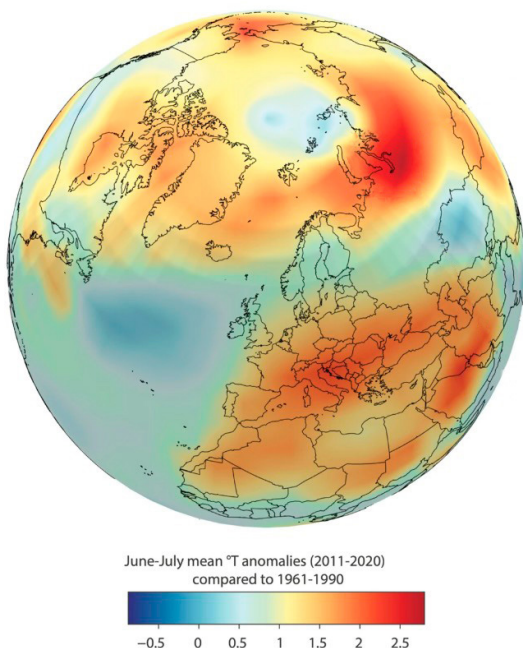


Abb. 17
Durchschnittstemperaturanomalien im Juni-Juli für die nördliche Hemisphäre (Halbinseln Yamal und Taimyr) während des letzten Jahrzehnts der Beobachtungen (2011-2020). Die Temperaturen werden als Anomalien im Verhältnis zum Basisklima von 1961-1990 unter Verwendung des HadCRUT.5-Datensatzes angegeben.

Quelle: 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>

²⁷TASS. (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>

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>

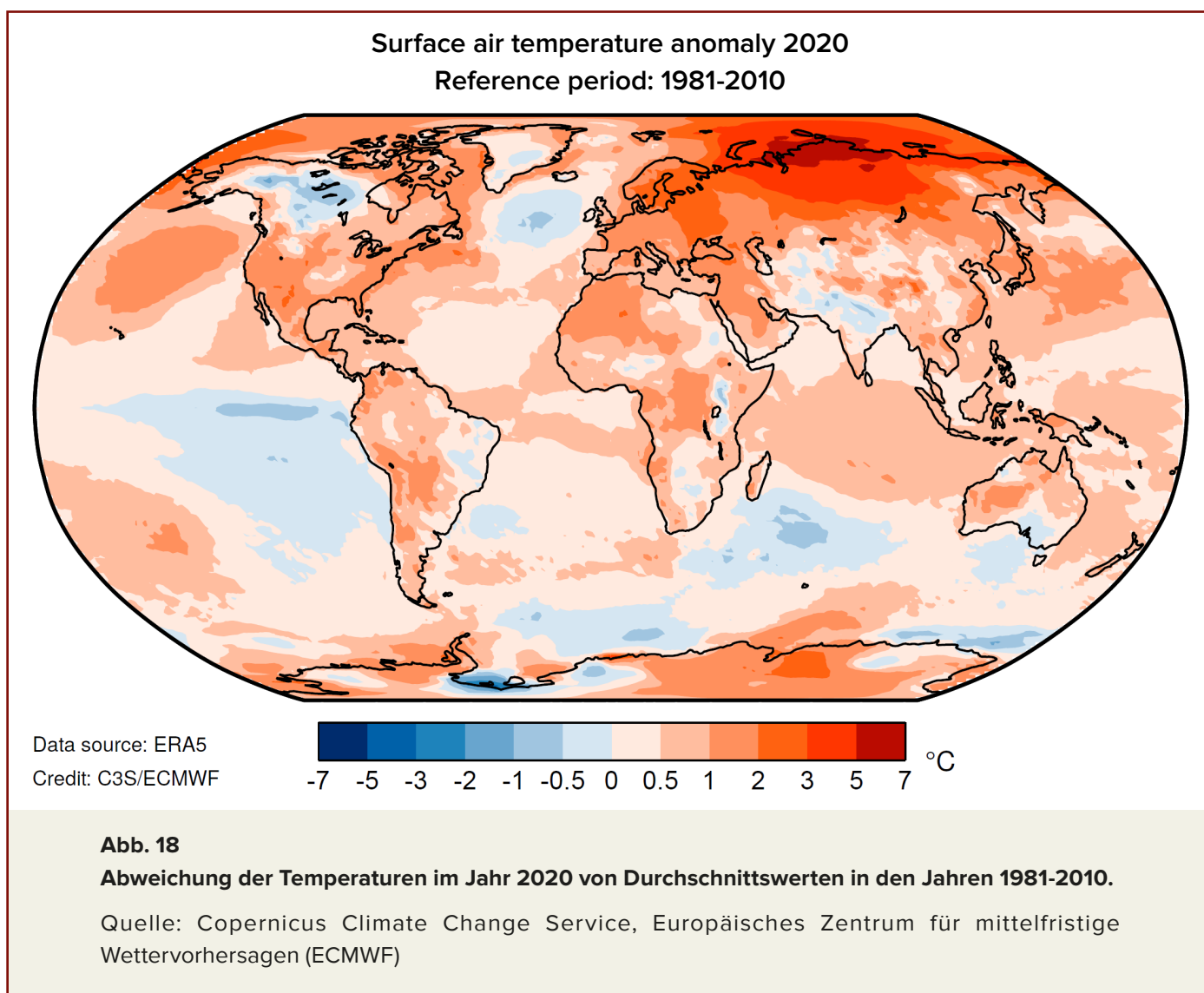
Die anschließende Analyse dieser Daten ermöglichte es den Forschern, etwa zwei Dutzend klimatische Brennpunkte zu ermitteln. Am stärksten war die Erwärmung in den polaren und zentralen Regionen Ostsibiriens, wo die durchschnittlichen Jahrestemperaturen pro Jahrzehnt um 1,1 °C stiegen, was ein Mehrfaches der globalen Erwärmungsrate ist. Noch schneller stiegen die Temperaturen auf der Taimyrhalbinsel: 1,7 °C pro Jahrzehnt. In ähnlicher Weise sind die Temperaturen in der sibirischen Taiga seit den späten 1980er Jahren um 0,6 °C pro Jahrzehnt gestiegen.

Die Hitzewellen in Sibirien haben in den letzten Jahren ein alarmierendes Ausmaß erreicht, insbesondere im Jahr 2020, als die Temperaturen

in der gesamten Region stark anstiegen (Abb. 18).

Die Temperaturen in Sibirien lagen von Januar bis Juni um mehr als 5 °C über dem Durchschnitt, wobei die Anomalien im Juni bis zu 10 °C über dem Durchschnitt lagen (im Vergleich zum Niveau von Jahren 1981-2010). Diese außergewöhnlich heiße Periode brach lokale Hitzerekorde, unter anderem an der meteorologischen Station Verkhojansk, die am 20. Juni ein Allzeithoch von +38 °C verzeichnete (Abb. 19).

Nach Angaben des russischen Wetterdienstes war dies die höchste jemals nördlich des Polarkreises gemessene Temperatur.



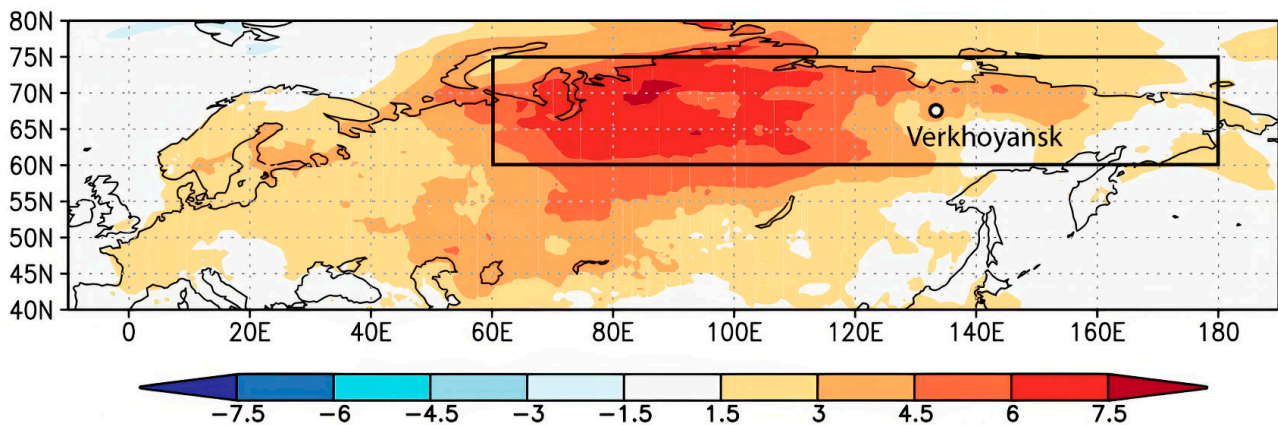


Abb. 19

Langanhaltende sibirische Hitze: Durchschnittstemperaturen von Januar bis Juni 2020 im Vergleich zur Norm (1981-2010) in der Region Sibirien und dem Ort Verkhoyansk, wo im Juni die rekordverdächtige Temperatur nördlich des Polarkreises von +38°C gemessen wurde.

Quelle: 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>

Diese Hitzewellen halten in Sibirien nicht kontinuierlich an, sondern treten pulsierend auf, weil Magmaintrusionen, die die Hitzewellen verursachen, einen wellenartigen Charakter haben. In der Atmosphäre, wo sich die Luftmassen frei bewegen und vermischen, können Hitzewellen innerhalb weniger Monate abklingen, wie es im Jahr 2020 der Fall war, im Gegensatz zu Hitzewellen in der aquatischen Umgebung.

Forschungsergebnissen aus dem Jahr 2022 zufolge erwärmt sich die Sibirische Arktis fast viermal so schnell wie der globale Durchschnitt, ein Verhältnis, das höher ist als bisher in den Klimamodellen berücksichtigt wurde und das die

Wissenschaftler überrascht hat³⁰ (Abb. 20).

Die Erwärmung der Arktis findet vor allem in der Region der Taimyrhalbinsel statt. Diese Anomalie in der aquatorialen Zone Sibiriens lässt sich durch die dünnere ozeanische Kruste erklären, die Wärme effizienter leitet, sowie durch die höhere Wärmekapazität von Wasser im Vergleich zur Atmosphäre. Das Ozeanwasser nimmt daher die Wärme des aufsteigenden Magmaplumes intensiv auf und speichert sie, auch wenn der Aufstieg des Plumes unter der kontinentalen Kruste in relativer Entfernung von der Küste erfolgt.

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>

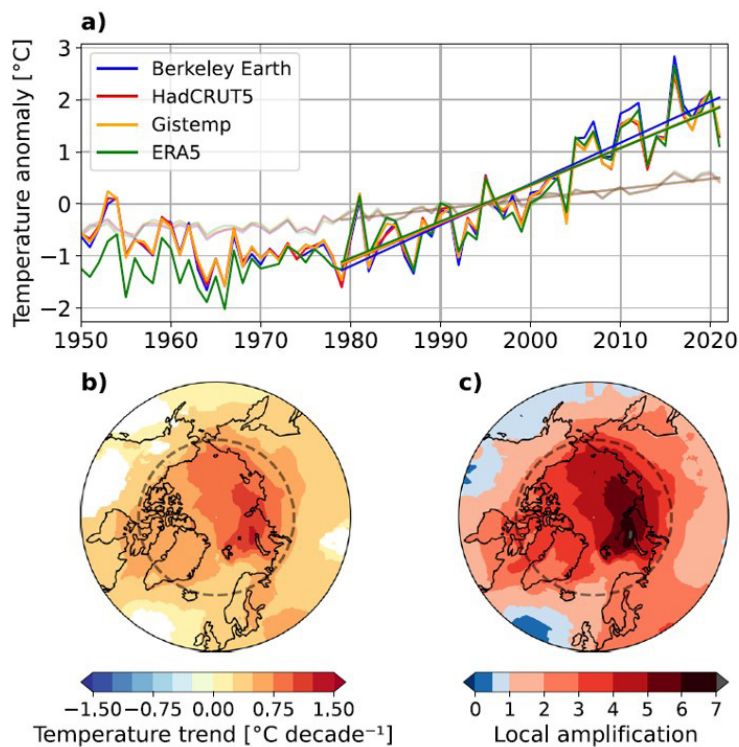


Abb. 20

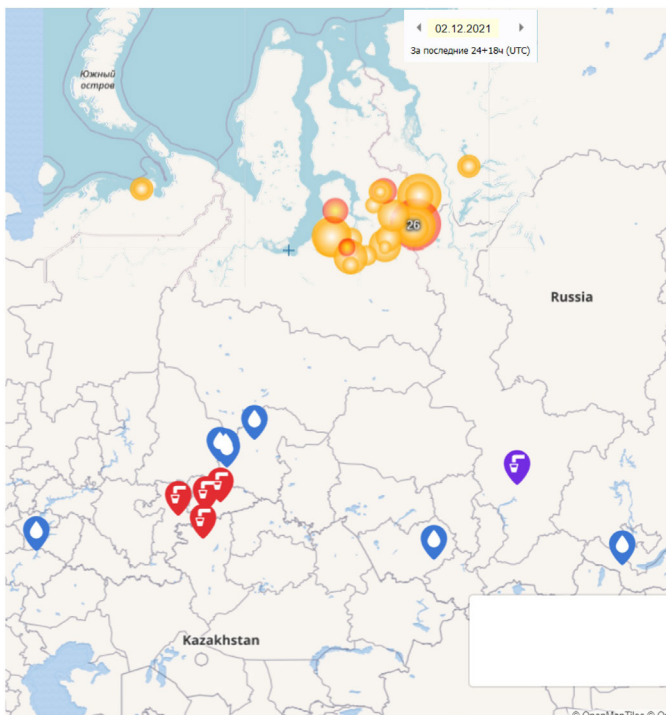
Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperatur in der Arktis. a) Anomalien der Jahresdurchschnittstemperatur in der Arktis (66,5°-90°N Breitengrad) (gekennzeichnet in dunkleren Farben) und weltweit (gekennzeichnet in helleren Farben) im Zeitraum 1950-2021, basierend auf verschiedenen Beobachtungsdaten. Die Temperaturanomalien werden im Verhältnis zu den Durchschnittswerten eines 30-jährigen Zeitraums von 1981-2010 berechnet. Die gestrichelte Linie auf (b) und (c) zeigt den Polarkreis (66,5°N Breitengrad).

Quelle: 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>

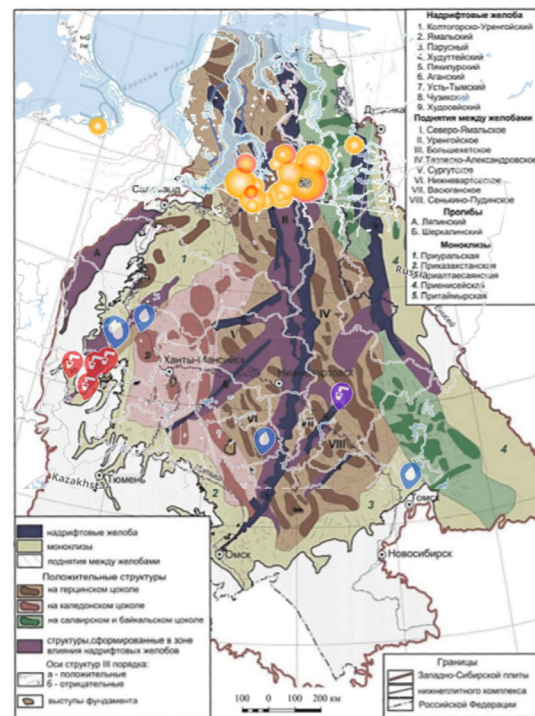
Indirekte Anzeichen für den Aufstieg des Sibirischen Plumes

Das Eindringen des Magma-Plumes in die Erdkruste unter Sibirien führt nicht nur zu einer Erwärmung der Atmosphäre, sondern auch zu einer Reihe anderer Anomalien: Der Permafrost taut von unten nach oben auf, die seismische Aktivität in der Region nimmt zu, heißes Wasser steigt an die Oberfläche und bringt das Wasser in Brunnen zum Kochen, und in ganz Sibirien brechen beispiellose Brände aus, auch unter Schnee. In den letzten

Jahren sind im Süden der Taimyr-, Jamal- und Gyda-Halbinseln in der Polarregion besonders viele Brände unter Schneedecke entstanden. Ein wichtiger Faktor ist, dass „Zombie-Feuer“ - Brände unter Schneedecke - und das Sieden des Wassers in Brunnen über den Gebieten mit tiefen Verwerfungen auftreten (Abb. 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]"

Abb. 21

Karte mit der Lokalisierung der winterlichen Brände unter Schneedecke nördlich des Polarkreises im Jahr 2021.



Fotos von Bränden unter Schnee in der Region Swerdlowsk

In den nördlichen Breitengraden nehmen die Methan- und Wasserstoffemissionen aus dem Erdinneren zu, die Zahl der Krater, die durch Erdgasexplosionen entstehen, steigt, und der Schlammvulkanismus auf dem arktischen Schelf nimmt zu. Die Erwärmung von unten führt zum Abbau von Permafrost und zur Zerstörung von Gashydraten, was wiederum zur Freisetzung von

Gasen, zu Explosionen von Kratern und zu einer Zunahme des Schlammvulkanismus führt. Das aus dem Inneren des Planeten freigesetzte Gas beeinflusst den Zustand der Atmosphäre und verursacht zusätzliche thermische, geochemische und elektromagnetische Anomalien. Betrachten wir diese Prozesse im Detail.

Schmelzen des Permafrosts

Ein weiterer Indikator für zusätzliche geothermische Wärme aus dem Mantelplume ist der Zustand des Permafrosts. Die Autoren des Berichts analysierten Daten über die Tiefe des saisonalen Auftauens des Permafrosts in Russland von 1994 bis 2023. Die Datenbank wurde auf Grundlage von Messungen zusammengestellt, die im Rahmen des Programms Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) zur Beobachtung der Reaktion der aktiven Schicht und des oberflächennahen Permafrosts durchgeführt wurden. Die Datenbank ist auf der Website permafrost.su verfügbar.

Derzeit gibt es in Russland 58 Standorte, an denen der Permafrost nach einer standardisierten

Methode überwacht wird. An 46 Standorten werden seit mehr als 10 Jahren Messungen durchgeführt, sodass langfristige Trends ermittelt werden können. Mittels der Analyse der Datenreihe konnten die Forscher Standorte identifizieren, an denen ein stetiger Trend zu einer zunehmenden Tiefe der Schmelze zu beobachten ist, was auf eine zusätzliche Erwärmung in diesem Gebiet hinweist.

Es wurden zwei Gruppen von Daten identifiziert: Standorte mit einem ausgeprägteren Trend des verstärkten Schmelzens in Tiefen von 40 bis 200 cm (Abb. 22, a) und Standorte mit einer weniger intensiven Rate des Permafrostschmelzens in Tiefen von 40 bis 140 cm (Abb. 22, b).

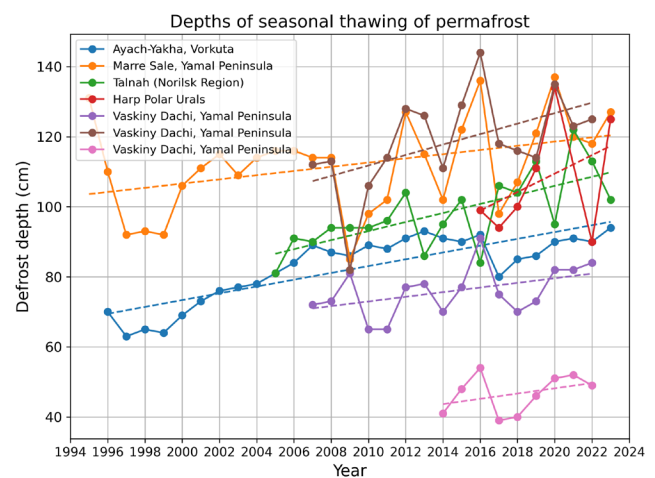
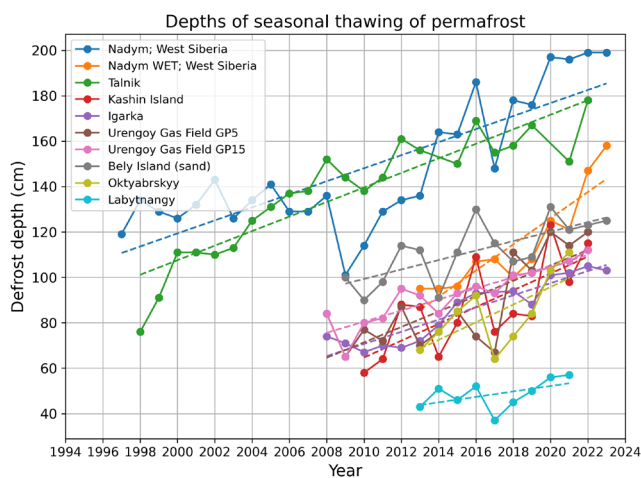


Abb. 22

Veränderung der Tiefe des saisonalen Schmelzens des Permafrosts in verschiedenen Regionen mit unterschiedlicher Intensität: a) mit einer stärkeren Zunahme der Tiefe des Schmelzens; b) mit einer weniger starken Zunahme der Tiefe des Schmelzens.

Datenquelle: <https://permafrost.su>

Die Messungen werden im Rahmen des Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM)-Programms durchgeführt: <https://www2.gwu.edu/~calm>

Der Übersichtlichkeit halber wurden alle überwachten Punkte kartiert und orange bzw. gelb markiert (Abb. 23). Es ist auffällig, dass diese Punkte hauptsächlich in einer bestimmten Region konzentriert sind: im Norden Westsibiriens, auf der Halbinsel Jamal und südlich der Halbinseln Gyda und Taimyr.

Eine solche Lokalisierung der Gebiete mit maximalem Aufschmelzen des Permafrosts entspricht dem Gebiet mit verringerten seismischen Wellengeschwindigkeiten im Erdmantel, in der angenommenen Ausbreitungszone des Magma-Plumes. Dies wiederum ist die Ursache für erhöhte Bodentemperaturen, auch innerhalb der gefrorenen Schicht.

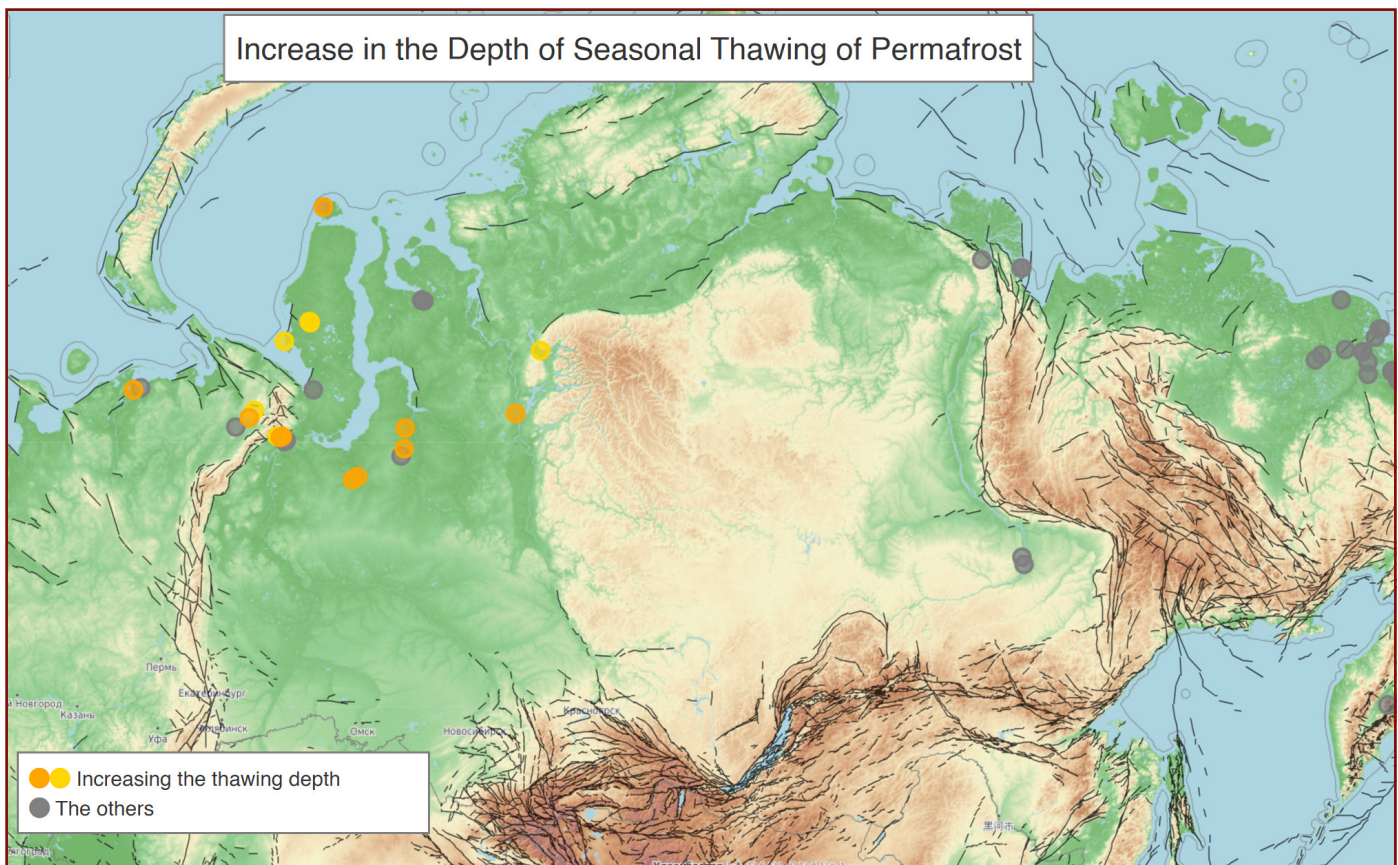


Abb. 23

Orte mit erhöhter Tiefe des saisonalen Schmelzens von Permafrost. Die Messstellen sind mit Punkten markiert: grau - Orte ohne merklichen Anstieg des saisonalen Schmelzens, gelb - Orte, an denen die Tiefe des Schmelzens zunimmt.

Datenquelle: <https://permafrost.su>

Die Messungen werden im Rahmen des Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM)-Programms durchgeführt: <https://www2.gwu.edu/~calm>

Auftreten von Schlammvulkanismus

Die zusätzliche Erwärmung durch aufsteigendes Magma führt zu einer Degradation des Permafrosts und beeinträchtigt die in den Böden konservierten Gashydrate, wodurch große Mengen der darin enthaltenen Gase freigesetzt werden. Darüber hinaus migriert Gas aus Gaslagerstätten und stark gasgesättigten Lagerstättenwässern, wodurch die elastischen und festen Eigenschaften der Böden verringert, die Lehmböden verflüssigt und mögliche Prozesse des Schlammvulkanismus ausgelöst werden. Schlammvulkanismus ist ein geologischer Prozess, bei dem ein Gemisch aus Gas, Wasser und klastischem

Material unter dem Einfluss des inneren geostatischen Drucks durch Risse in der Erdkruste ausbricht.

Diese Prozesse wurden von Forschern der Russischen Akademie der Wissenschaften (RAS) auf der arktischen Jamal-Halbinsel entdeckt.³¹ Als Ergebnis einer Reihe geologischer und geophysikalischer Untersuchungen unter Verwendung von Daten aus der Fernerkundung der Erde zwischen 2014 und 2022 wurden über 3.000 Gebiete mit starken Gasemissionen und einer Kraterbildung am Grund von Thermokarstseen, Flüssen und dem Küstenbereich der Karasee identifiziert (Abb. 24).

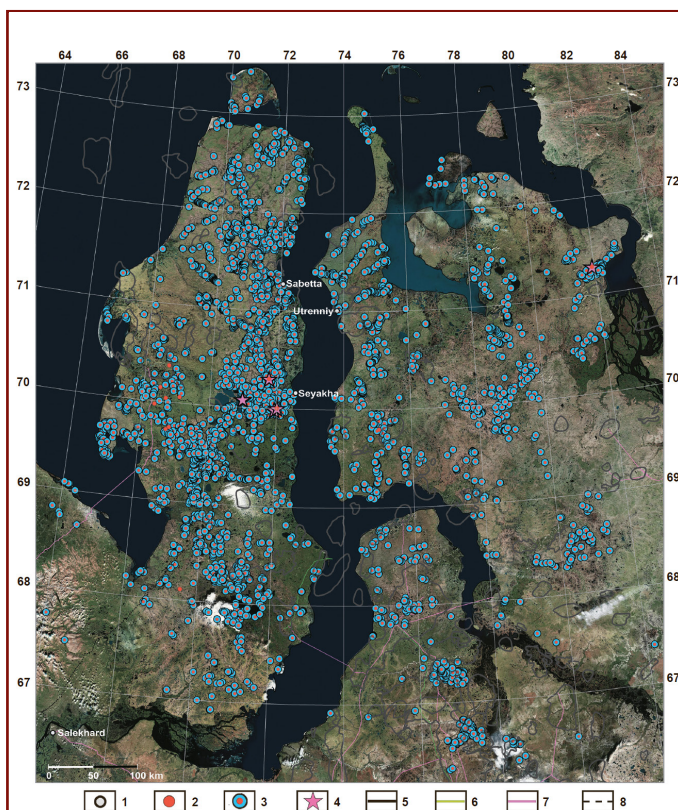


Abb. 24

Verteilung der starken Gasemissionen im Norden Westsibiriens. Bezeichnungen: 1 - Ortschaften, 2 - isolierte Krater von Gasemissionen, 3 - Krater von Gasemissionen auf dem Gewässerboden, 4 - Schlammvulkanerscheinungen, 5 - Umrisse von Öl- und Gasfeldern, 6 - Ölpipelines, 7 - Gaspipelines, 8 - Eisenbahn. Die Basiskarte ist ein Mosaik aus Satellitenbildern von ESRI

Quelle: Bogoyavlensky, V. I., Nikonov, R. A. & Bogoyavlensky, I. V. Neue Daten über intensive Gasemissionen in der Arktis im Norden Westsibiriens: Thermokarstseen mit Gasemissionen und Schlammvulkanen. AEE 13, 353-368 (2023).

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

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

In den Jahren 2022-2023 zeigten Fernerkundungsdaten erstmals große schlammvulkanische Gebilde auf dem Grund der Thermokarstseen Labvarto und Yambuto, die gelegentlich aktiven Schlammvulkanismus aufweisen³² (Abb. 25). Ein Thermokarstsee ist ein Gewässer, das durch das Auftauen von Permafrost entstanden ist. Daher deutet nicht nur das

Auftauen des Sees, sondern auch die Verflüssigung des tief darunter liegenden Lehmbo­dens auf eine tief liegende Wärmequelle hin.

Den Autoren der Studie zufolge wurden derart ausgeprägte schlammvulkanische Gebilde auf dem Grund von Thermokarstseen bisher in der gesamten Zirkumarktischen Region nicht dokumentiert.

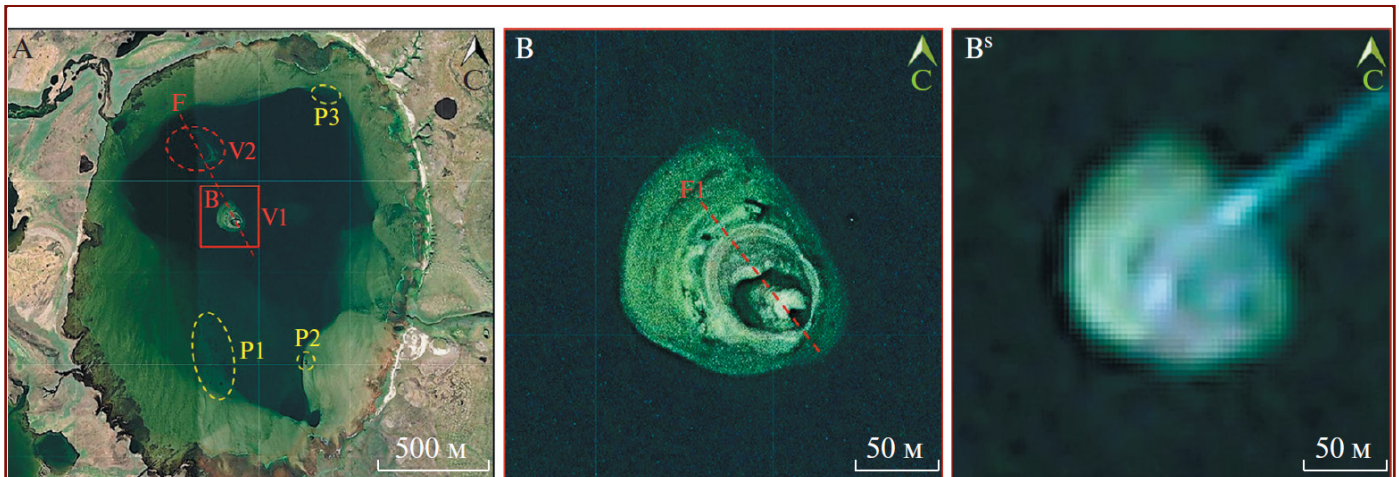


Abb. 25

WorldView-2-Satellitenbild des Labvarto-Thermokarstsees (A) und sein vergrößertes Fragment (B), ergänzt durch ein Fragment des Sentinel-2-Satellitenbildes (B^s). Bezeichnungen: P1, P2 und P3 - Pockmarks; V1 und V2 - Schlammvulkane; F und F1 - prognostizierte Verwerfungen.

Quelle: Bogoyavlensky, V. I. Neue Daten zum Schlammvulkanismus in der Arktis auf der Jamal-Halbinsel. Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle 512, 92-99 (2023). <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>

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

Erwärmung des Bodens

Auf Grundlage der Roshydromet-Daten aus den Jahren 2021-2023 wurden die Karten zur Bodentemperatur in 80 cm, 160 cm und 320 cm Tiefe analysiert. Am aufschlussreichsten war der Vergleich der Temperaturtrends über die Zeiträume 1976-2021 und 1976-2023 (Abb. 26). Zwischen 2021 und 2023 zeichnete sich auf der Trendkarte eine deutliche Anomalie im Gebiet südlich der Halbinseln Gyda und Taimyr ab. Diese Anomalie fällt geografisch mit der Region verminderter Geschwindigkeiten der seismischen Wellen im

Erdmantel zusammen, die durch seismische Tomographie unter der Lithosphäre der Sibirischen Region identifiziert wurden.

Angesichts der beträchtlichen Tiefe der Messungen (320 cm) und der umfassenden Abdeckung der Beobachtungen (466 meteorologische Stationen in ganz Russland) lässt sich ableiten, dass die festgestellte Temperaturanomalie mit einem Anstieg der geothermischen Wärme aufgrund des Aufstiegs des Magma-Plumes zusammenhängt.

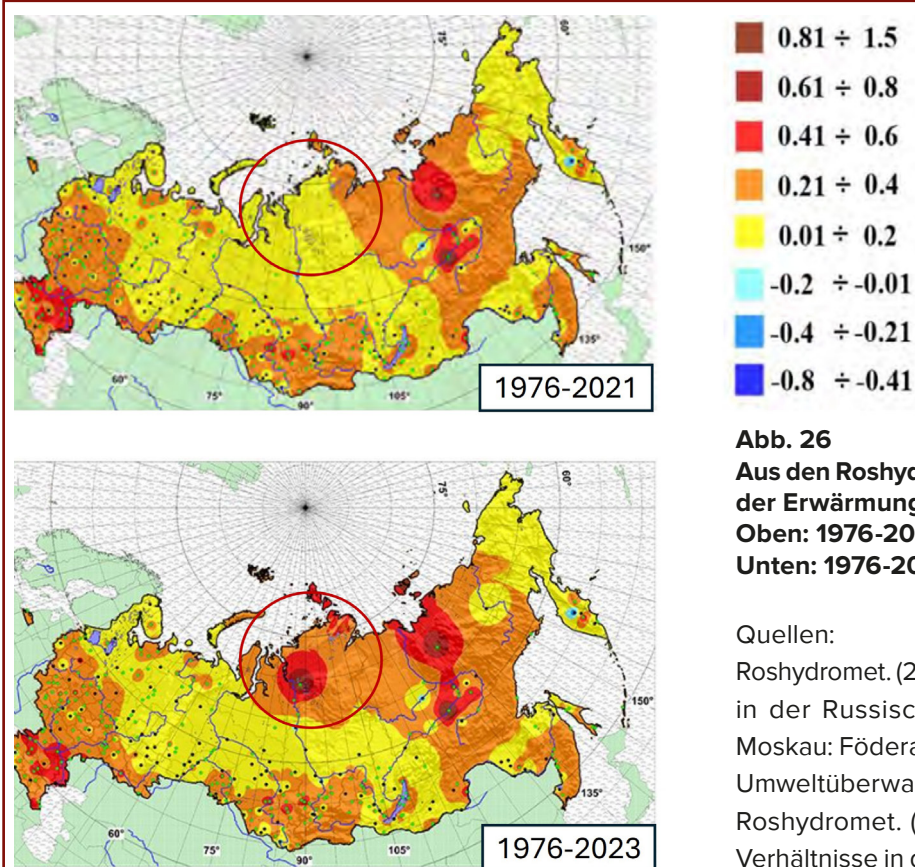


Abb. 26

Aus den Roshydromet-Daten abgeleitete Trendkarten der Erwärmung des Bodens.

Oben: 1976-2021

Unten: 1976-2023

Quellen:

Roshydromet. (2022). Bericht über die Klimaverhältnisse in der Russischen Föderation für das Jahr 2021. Moskau: Föderaler Dienst für Hydrometeorologie und Umweltüberwachung.

Roshydromet. (2024). Bericht über die klimatischen Verhältnisse in der Russischen Föderation für das Jahr 2023. Moskau: Föderaler Dienst für Hydrometeorologie und Umweltüberwachung.

Oberflächennahe Lufttemperatur

Die Daten des Temperaturmonitorings im Winter 2023-2024 zeigen ebenfalls einen anomalen Charakter der oberflächennahen Lufttemperaturen (Abb. 27). Die Karte der durchschnittlichen Temperaturanomalien von Dezember 2023 bis Februar 2024 zeigt einen Anstieg von 2,0-4,5 °C über der Norm im Gebiet der Halbinseln Gyda und Taimyr.

In Anbetracht der nördlichen Lage dieser Region kann ein solch signifikanter Temperaturanstieg im Winter auf den thermischen Einfluss des Mantelplumes zurückgeführt werden.

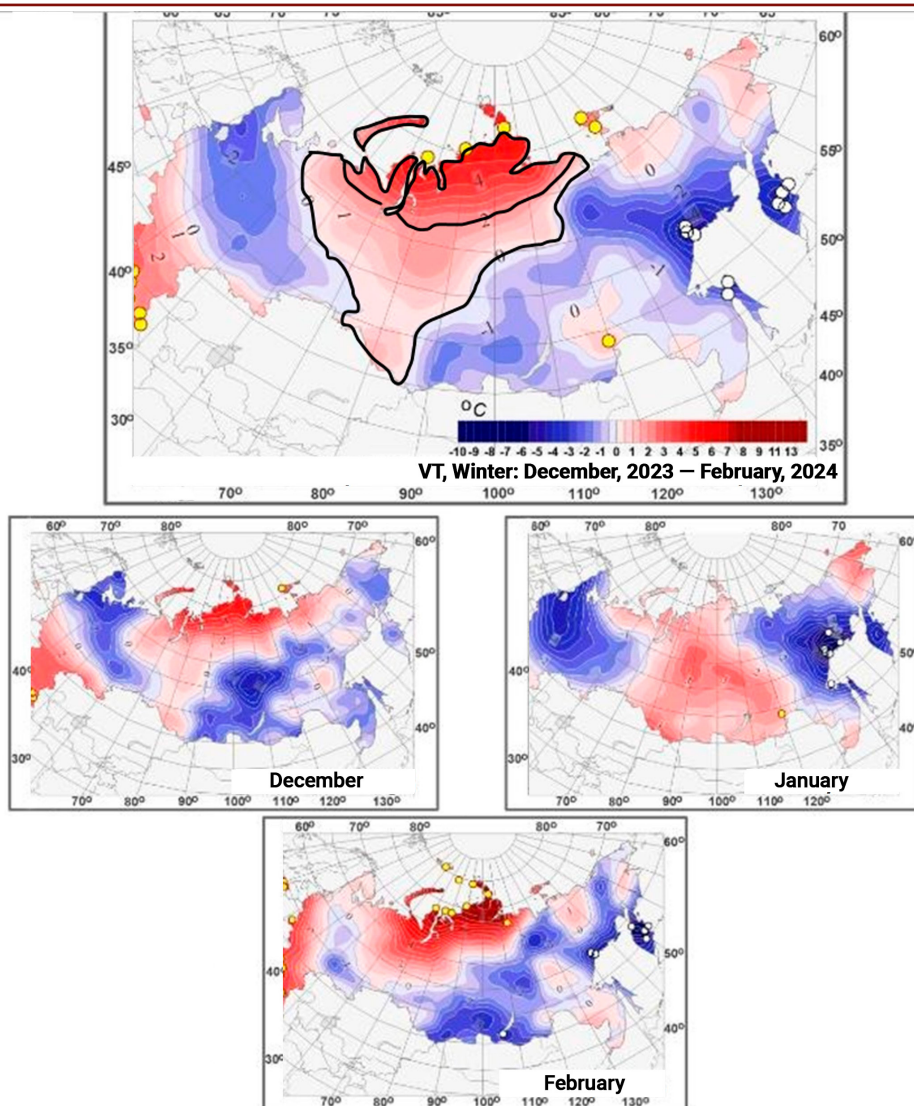


Abb. 27

Felder der durchschnittlichen saisonalen und monatlichen Anomalien der oberflächennahen Lufttemperatur (°C) auf dem Territorium Russlands im Winter 2023/2024.

Quelle: Roshydromet. (2024). Bericht über die klimatischen Verhältnisse auf dem Territorium der Russischen Föderation für das Jahr 2023. Moskau: Föderaler Dienst für Hydrometeorologie und Umweltüberwachung.

Anzumerken ist, dass die Analyse der Karten³³ der monatlichen Durchschnittstemperaturen für Januar und Juli im Zeitraum 2001-2022 eine stabile Temperaturanomalie in der Untersuchungsregion zeigt (Abb. 28, 29). Es kann also festgestellt werden, dass diese Anomalie nicht nur in den letzten zwei

Jahren beobachtet wird, sondern sich über den gesamten 23-jährigen Beobachtungszeitraum stabil zeigt, was die Schlussfolgerungen über den Einfluss des Plumes auf die Oberflächentemperaturen bestätigt.

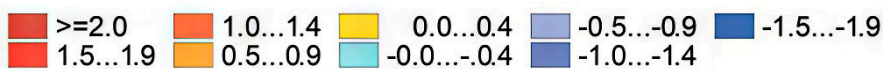
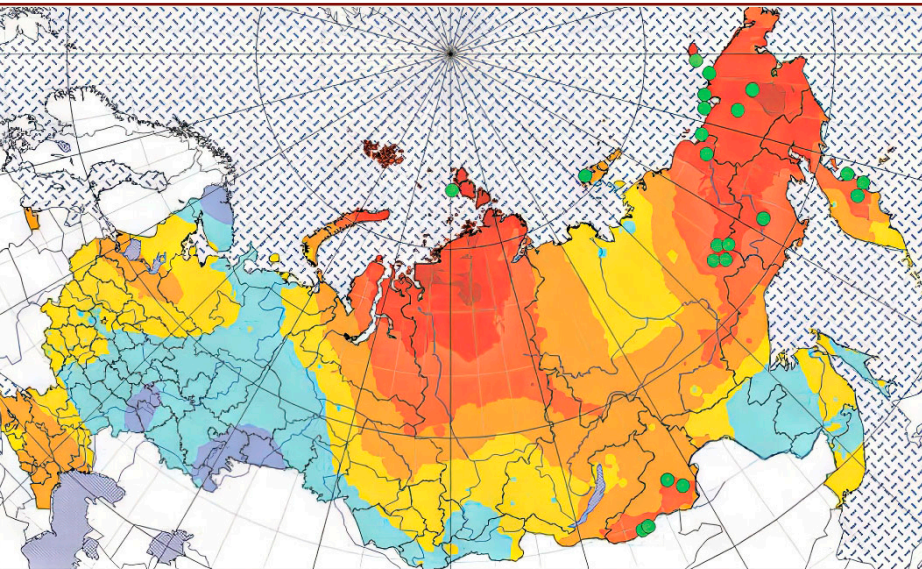


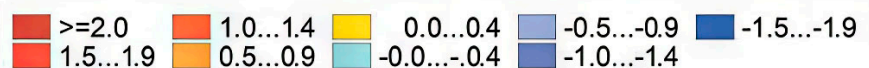
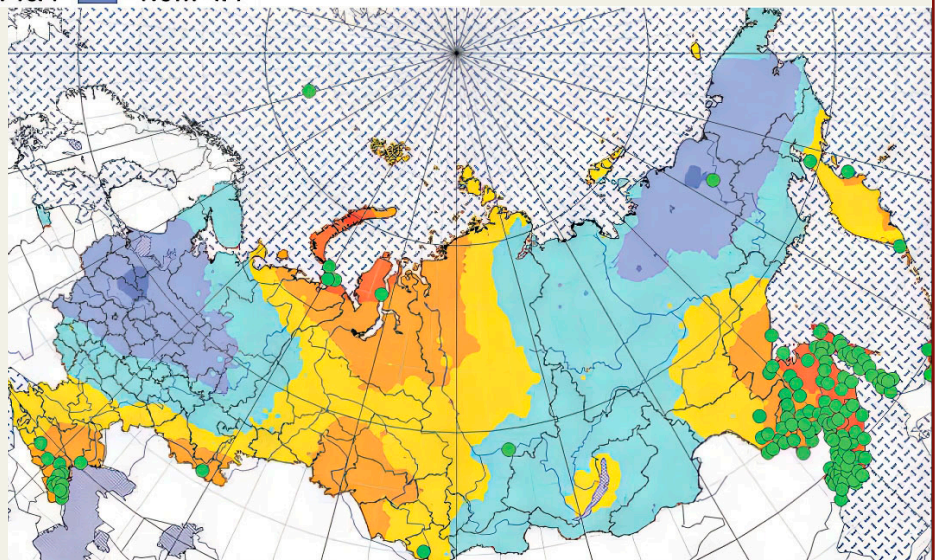
Abb. 28
Lineare Trendkoeffizienten ($^{\circ}\text{C}/10$ Jahre) für durchschnittliche monatliche Lufttemperaturen von 2001 bis 2022 (innerhalb Russlands bis einschl. Februar 2022) - Januar.

Quelle: Sherstyukov B. G. Globale Erwärmung und ihre möglichen Ursachen. *Gidrometeorologiya i Ekologiya* = Zeitschrift für Hydrometeorologie und Ökologie. 2023;(70):7-37. (In Russ.).

<https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>

Abb. 29
Lineare Trendkoeffizienten ($^{\circ}\text{C}/10$ Jahre) für die durchschnittlichen monatlichen Lufttemperaturen in Moskau von 2001-2022 (innerhalb Russlands bis einschl. Februar 2022) - Juli.

Quelle: Sherstyukov B. G. Globale Erwärmung und ihre möglichen Ursachen. *Gidrometeorologiya i Ekologiya* = Zeitschrift für Hydrometeorologie und Ökologie. 2023;(70):7-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>



³³Sherstyukov, 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>

Zunahme der Blitzaktivität

Die wissenschaftliche Gemeinschaft ist zunehmend besorgt über die Zunahme von Gewittern und Blitzeinschlägen in der Arktis. Die Zahl der Blitzeinschläge nördlich von 65° n.B. hat sich zwischen 2010 und 2020 verdreifacht³⁴ (Abb. 30). Bemerkenswert ist, dass sich die meisten dieser Einschläge auf Nordsibirien konzentrieren, während sie in Nordkanada und Grönland fast nicht vorkommen (Abb. 31, 32).

Die Blitzaktivität bewegt sich auf den Nordpol zu. Im August 2019 wurden mehrere Blitzeinschläge nur wenige hundert Kilometer vom Nordpol entfernt beobachtet.³⁵ Die meisten Blitzereignisse in der hohen Arktis (nördlich von 80° n.B.) ereignen sich während einiger weniger intensiver Gewittertage im Sommer. Diese Gewitter stellen jedoch ein neues Phänomen für die Region dar, da Gewitter in den früheren Jahren hier nur selten aufgetreten sind.

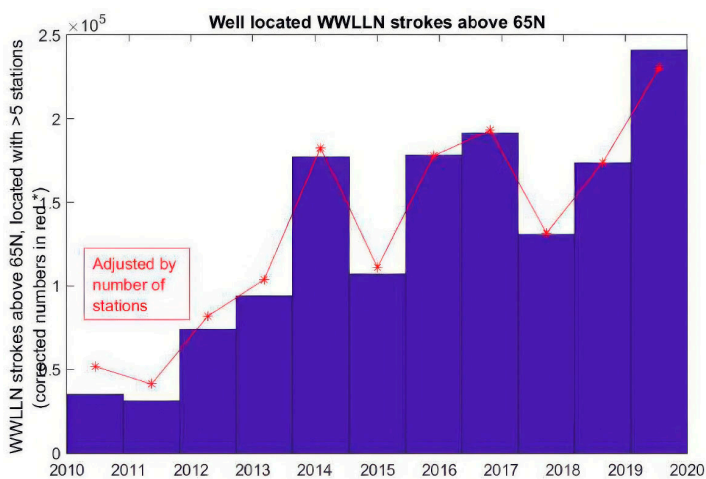


Abb. 30

Korrekt bei WWLLN aufgezeichnete Blitzentladungen über 65°n.B. (gekennzeichnet in Blau) und die rote Linie zeigt die Anpassung auf der Grundlage der Gesamtzahl der WWLLN-Stationen. WWLLN - World Wide Lightning Location Network.

Quelle: 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>

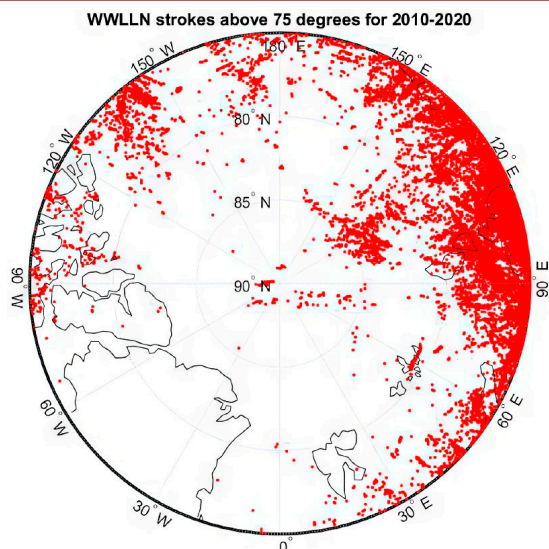


Abb. 31

Globale Verteilung der bei WWLLN registrierten Blitzentladungen im Juni, Juli und August für 2010-2020 über 75°n.B. WWLLN - World Wide Lightning Location Network.

Quelle: 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/>

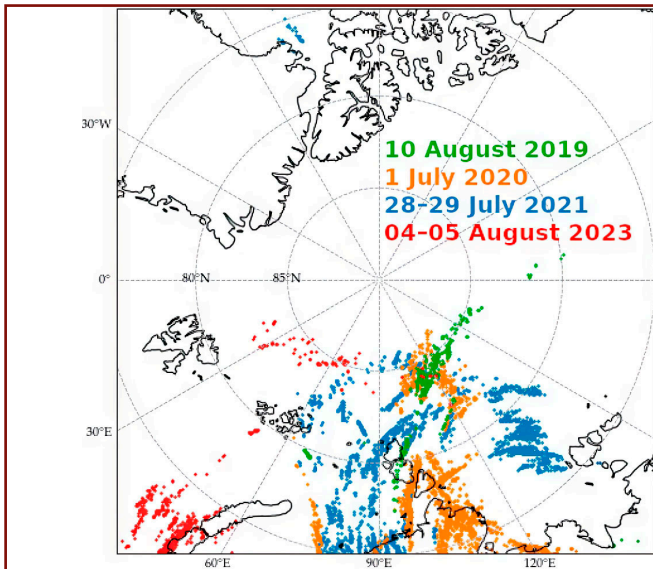


Abb. 32

Von WWLLN erfasste Blitzstandorte während der Gewittern in den Jahren 2019-2023. In Grün-2019, in Orange-2020, in Blau-2021, in Rot-2023.

Quelle: 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>

Das anhaltende Auftreten dieser Gewitter in den letzten Jahren wird auf die extreme Sommerhitze in Nordsibirien zurückgeführt, wo die Temperaturen in den Sommermonaten bis zu 35 °C erreichen. Darüber hinaus wird vermutet, dass eine allgemeine Zunahme der Ionisierung der Atmosphäre in dieser Region, die auf das Eindringen des Magma-Plumes zurückzuführen ist, ebenfalls ein wichtiger Faktor für den Anstieg der Blitzaktivität ist. Dieser Prozess beinhaltet die Umwandlung thermischer Energie in elektrische Energie durch den Yutkin-Effekt, der bei explosiven Wechselwirkungen in der Tiefe des Mantels auftritt, wenn Magmaströme unterschiedlicher Temperatur aufeinander treffen. Dadurch werden enorme Energiemengen aus dem Erdinneren freigesetzt, was zu einem Anstieg der statischen Aufladung der Oberfläche, zu Veränderungen des Oberflächenpotenzials, zu

einer verstärkten Ionisierung der Atmosphäre und folglich zu einem Anstieg der Blitzaktivität führt.

Außerdem werden erhebliche Gasmengen durch Risse in der Erdkruste freigesetzt. Dieser Prozess kann die Wolkenbildung und die lokalen Wetterbedingungen beeinflussen. Die Intrusion von Magma ist ein Schlüsselfaktor für die Erwärmung der Erdoberfläche, die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und die Entwicklung thermischer Anomalien. Alle diese Prozesse tragen zur Bildung von Gewitterwolken und Blitzen bei.

Da die Bildung von Gewittern und Blitzen eine Kombination aus kalter und warmer Luft sowie konvektiver Instabilität erfordert, bietet die Lage des Sibirischen Mantelplumes optimale Bedingungen für ihre Entwicklung.

Rückgang der Ozonschicht

Die magmatische Aktivität im Erdinneren geht mit der Freisetzung erheblicher Mengen an vulkanischen Gasen einher, darunter Wasserstoff, Methan und Kohlendioxid. Nach den Forschungen von V. L. Syvorotkin³⁶ tragen Wasserstoffemissionen zur Zerstörung der Ozonschicht bei. Da der Magmaaufstieg pulsierend erfolgt, treten die Entgasung und die anschließende Zerstörung der Ozonschicht auch sporadisch auf, das heißt, als episodische Ereignisse.

Anomalien der Ozonschicht werden seit 1997-1998 über Nordsibirien beobachtet und fallen mit der Verschiebung des Erdkerns in Richtung der Taimyr-Halbinsel zusammen. Episoden des

Rückgangs der Ozonschicht wurden in den Jahren 2011, 2016 und 2020 registriert³⁷, wobei das stärkste Ozondefizit im Jahr 2016 auftrat.³⁸ Ende Januar 2016 wurde zum ersten Mal (seit Beginn der Überwachung im Jahr 1973) eine Ozonanomalie über dem nördlichen Ural und Sibirien mit Gesamt-Ozongehalt 190-200 DU festgestellt, was 40-45 % unter dem mehrjährigen Durchschnitt liegt. Diese Anomalie hielt bis zu einer Woche lang an (Abb. 33).

Ein deutlicher Rückgang des gesamten Ozongehalts wurde auch mit dem OMI (Ozone Monitoring Instrument) an Bord des NASA-Satelliten Aura (USA) festgestellt (Abb. 34).

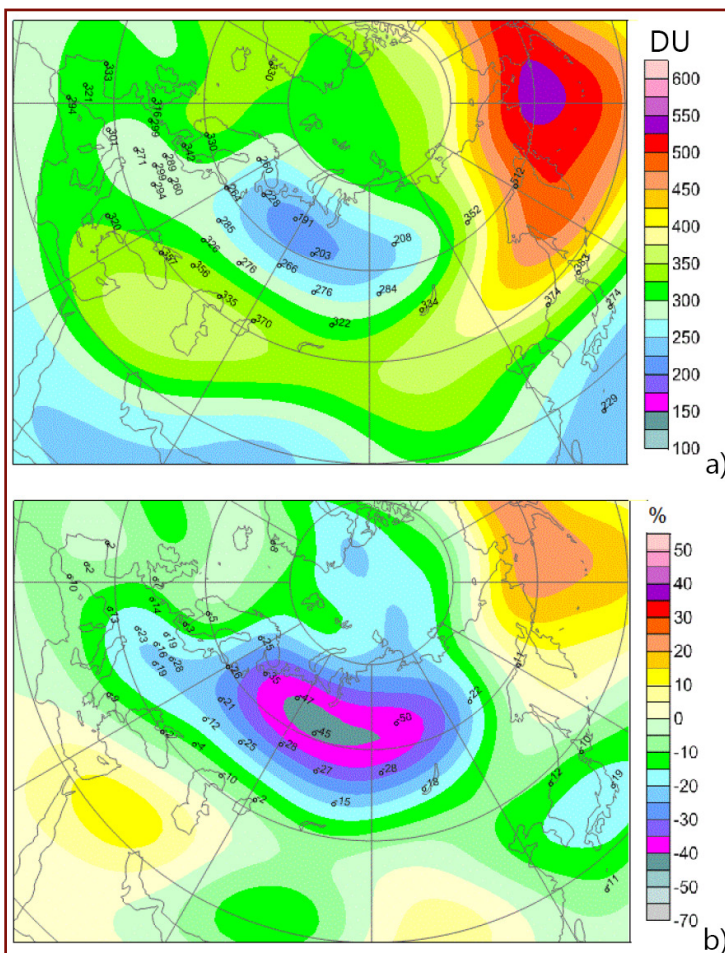


Abb. 33
Gesamter Ozongehalt (a) und seine Normabweichungen (b) am 28. Januar 2016, basierend auf WOUDC-Satellitendaten [<http://woudc.org/>]. Die Zahlen auf der Karte stellen die Messungen des gesamten Ozongehalts an den Ozon-Messstationen.

Quelle: Nikiforova, M. P., Vargin, P. N., Zvyagintsev, A. M., Ivanova, N. S., Kuznetsova, I. N., & Luk'yanov, A. N. (2016). Ozon-Miniloch über dem nördlichen Ural und Sibirien. Tagungsberichte des Hydrometeorologischen Forschungszentrums der Russischen Föderation, 360, 168-180. Aus den Unterlagen der Hydrometeorologischen Konferenz, 9-10 Februar, Vol. 4, S. 91-96. Voronezh: Nauchno-Issledovatel'skie Publikatsii.

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

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>

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

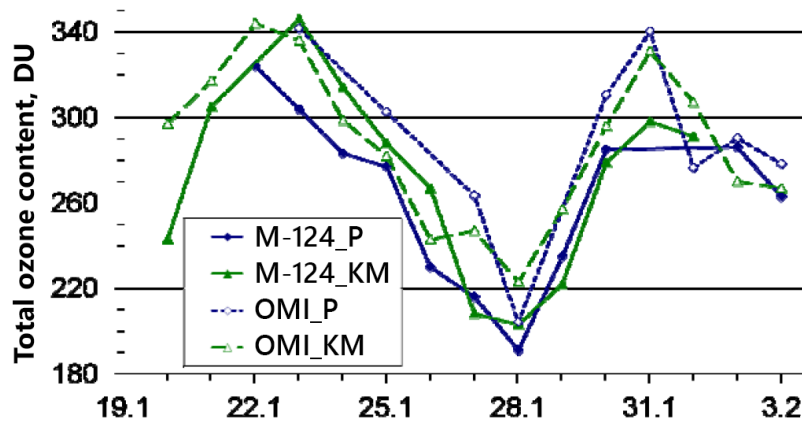


Abb. 34

Gesamter Ozongehalt, gemessen mit dem bodengestützten Ozonometer M-124 und dem OMI-Instrument auf dem Aura-Satelliten (USA) an den Stationen Pechora (P) und Chanty-Mansijsk (KM) vom 20. Januar bis 3. Februar 2016.

Quelle: Nikiforova, M. P., Vargin, P. N., Zvyagintsev, A. M., Ivanova, N. S., Kuznetsova, I. N., & Luk'yanov, A. N. (2016). Ozon-Miniloch über dem nördlichen Ural und Sibirien. Tagungsberichte des Hydrometeorologischen Forschungszentrums der Russischen Föderation, 360, S. 168-180. Aus den Unterlagen der Hydrometeorologischen Konferenz, 9-10 Februar, Vol. 4, S. 91-96. Voronezh: Nauchno-Issledovatel'skie Publikatsii.

Es ist wichtig anzumerken, dass der langfristige saisonale Zyklus des gesamten Ozongehalts in den außertropischen Breiten der nördlichen Hemisphäre normalerweise im September sein Minimum und im März-April sein Maximum erreicht. Im Jahr 2016 trat der Ozonrückgang jedoch ungewöhnlich früh, nämlich im Januar, ein und erreichte die niedrigsten Werte in der Geschichte der instrumentellen Beobachtungen.

Daher kann der Rückgang der Ozonschicht über der sibirischen Region als zusätzlicher Indikator für das Entweichen von Gas entlang von Verwerfungen infolge des Aufstiegs des magmatischen Plumes an die Oberfläche sein.

Struktur, mögliche Größe und Lokalisierung des Magmaplumes, basierend auf veröffentlichten und beobachteten Daten

Die Struktur des magmatischen Plumes ist mit einem Pilz vergleichbar. Er hat einen so genannten Schlauch, der das glühende Material von der Kern-Mantel-Grenze hinaufbefördert. Der obere Teil des Plumes, der sich beim Aufsteigen

ausdehnt, ist der Kopf des Plumes. Wenn der Plume die Grenze der Lithosphäre erreicht, stößt er auf einer feuerfesten Schicht aus erstarrtem Gestein und der Kopf des Plumes beginnt sich unter der Lithosphäre wie ein Pilzhut auszubreiten (Abb. 35).

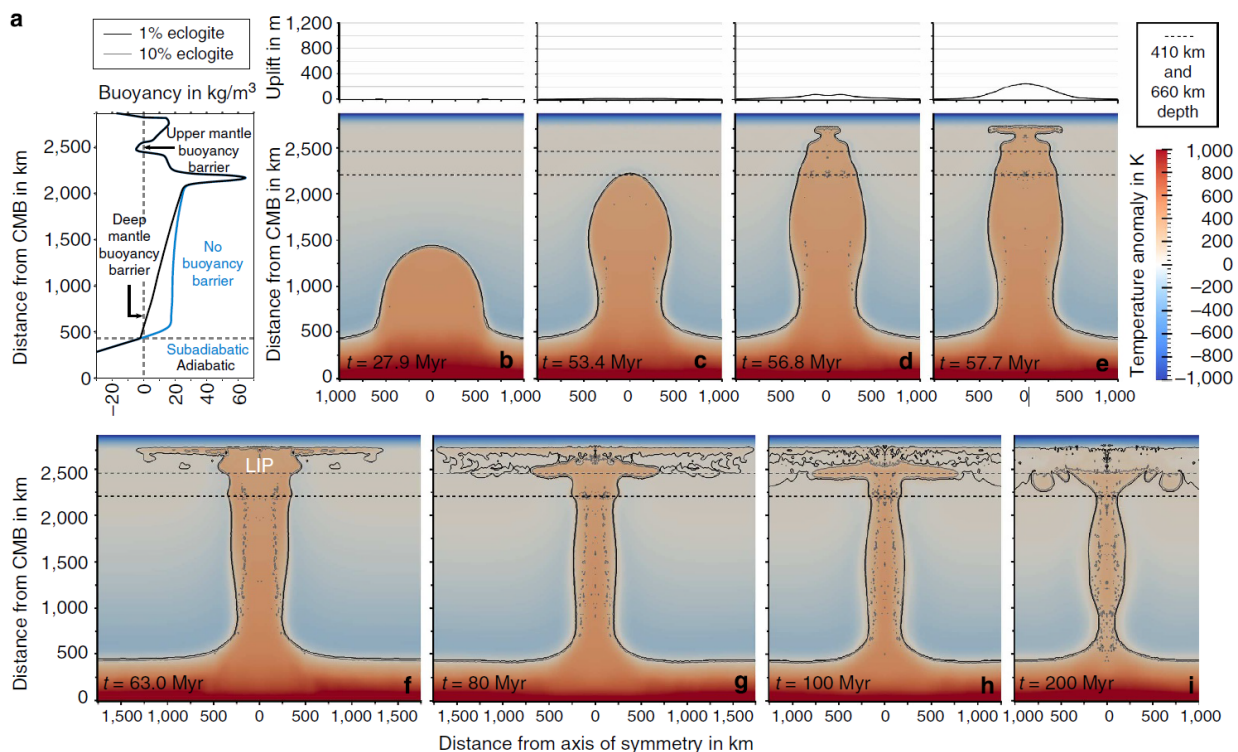


Abb. 35
Die Abbildung zeigt ein Modell der Entwicklung eines magmatischen Plumes, ähnlich dem, der vor 250 Millionen Jahren den Sibirischen Trapp bildete.

Das Diagramm auf der linken Seite (a) zeigt, wie Magma durch die verschiedenen Schichten des Erdmantels aufsteigt. Der Hauptteil des Bildes (b-i) ist eine Art „Zeitleiste“, die die Entwicklungsstadien des Plumes zeigt. Zunächst bildet sich eine „Säule“ aus heißem Magma, die von der Basis des Erdmantels aufsteigt. Nach und nach erreicht diese

Säule die oberen Schichten des Erdmantels. Im oberen Teil dehnt sie sich zu einem „pilzförmigen“ Hut aus. Mit der Zeit wird der Plume dünner und beginnt sich zu teilen. Die Farben im Diagramm zeigen die Temperatur an:

Rote und orangefarbene Bereiche sind die heißesten, blaue Bereiche sind die kühleren.

Quelle: 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>

Laut Forschungsdaten verdoppelt sich der Radius des Plumes, wenn er sich der Lithosphäre nähert, dabei nimmt die Geschwindigkeit erheblich ab.³⁹ Das heiße Material, das aus dem „Schlauch“ kommt, übt Druck aus, brennt sich durch die Lithosphäre und bildet Risse, und an den geschwächten Stellen bilden sich dann sekundäre Plumes - obere Magmakammern, die sich bereits in der Erdkruste befinden. Solche Kammern gibt es zum Beispiel unter dem Yellowstone, Campi Flegrei und anderen Supervulkanen.

Dies ist der Ort, an dem ein Durchbruch der Erdkruste und eine massive Magmaeruption an die Oberfläche erfolgen kann.

Es ist wichtig anzumerken, dass der Aufstieg eines Plumes an die Oberfläche nach den derzeitigen Vorstellungen mehrere zehn Millionen Jahre dauern kann. Diese Angaben beruhen jedoch auf theoretischen Berechnungen, während praktische Beobachtungen der gegenwärtigen Eskalation geodynamischer Prozesse das Gegenteil zeigen. Beobachtungen der Prozesse in Sibirien

deuten darauf hin, dass der Aufstieg des Plumes innerhalb einiger Jahrzehnte erfolgen kann.

Aus Literaturdaten ist bekannt⁴⁰, dass ein ähnlicher magmatischer Superplume, der an der Grenze zwischen Perm und Trias- Perioden (vor 250 Millionen Jahren) in Eurasien (in Sibirien) zahlreiche Basaltausbrüche verursachte, folgende Abmessungen hatte: 4.000 km von West nach Ost und 3.000 km von Nord nach Süd. Der Durchmesser des Kopfes des Plumes dürfte zwischen 1.000 und 2.000 Kilometer betragen haben.

Es ist bekannt, dass die Westsibirische Platte jünger und dünner ist, mit einer Dicke von 35 bis 40 Kilometern. Die ostsibirische Platte (oder Plattform), der so genannte sibirische Kraton, ist dagegen älter, dicker und kälter und hat eine Dicke von 40 bis 45 Kilometern. Nach den Daten der seismischen Tomographie⁴¹ gehen Wissenschaftler davon aus, dass unter der Ostsibirischen Plattform derzeit kleine magmatische Herde zu finden sind, die sich aufgrund der kälteren Beschaffenheit der Platte unter dem Sibirischen Kraton ausbreiten (Abb. 36).

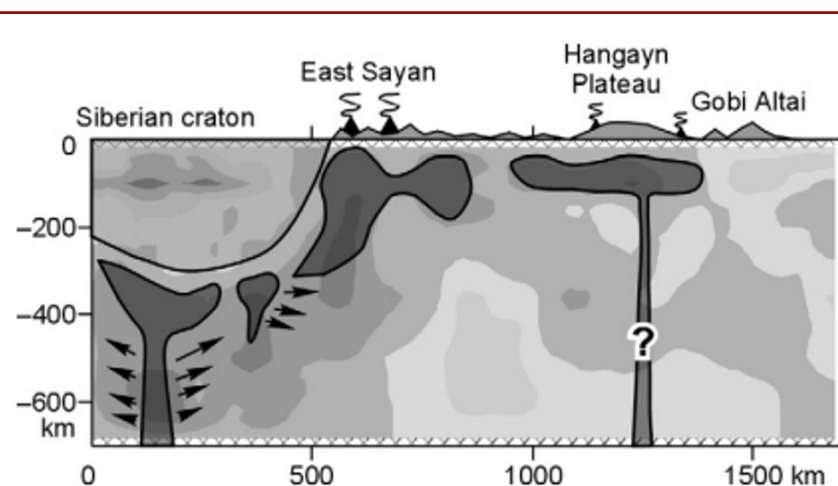


Abb. 36
Schematische Darstellung aus dem Artikel, die veranschaulicht, wie kleine magmatische Herde (mit Pfeilen auf der linken Seite dargestellt) den sibirischen Kraton umströmen.

Quelle: Koulakov, I. Y. (2008). Die Struktur des oberen Erdmantels unter Süd-sibirien und der Mongolei anhand regionaler seismischer Tomographien. *Russische Geologie und Geophysik*, 49(3), 187-196.

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

³⁹ 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.

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

⁴¹ 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>

Der Hypothese zufolge breitet sich der aktuelle Sibirische Plume derzeit unter der Basis der Ostsibirischen Platte und teilweise unter der Westsibirischen Platte aus. Die Ausbreitung kann nach den Daten der wissenschaftlichen Literatur in Tiefen von 50 bis 60 km erfolgen, und der Schlauch des Plums wird vermutlich am deutlichsten in Tiefen von 100 km zu beobachten sein. Das Eindringen von sekundären Plumes findet wahrscheinlich bereits in einer Tiefe von etwa 40 km statt.

Einige seismotomografische Modelle zeigen Anomalien mit niedrigen Geschwindigkeiten⁴²

(die auf ein eher flüssigeres Milieu hindeuten) in einer Tiefe von 110-150 km, was einem flüssigeren Milieu im Erdinneren südlich der Halbinseln Gydan und Taimyr entspricht (Abb. 37). Diese Anomalien, die in den Geschwindigkeitskarten einer Studie vom August 2024 zu sehen sind, entsprechen vermutlich zwei Zuflüssen von magmatischem Material, den so genannten Plume-„Schläuchen“ (Abb. 38).

Wenn dieses Modell korrekt ist, beträgt der Durchmesser jedes Plumeschlauchs, der unter dem Ostsibirischen Kraton aufsteigt, etwa 600-700 km.

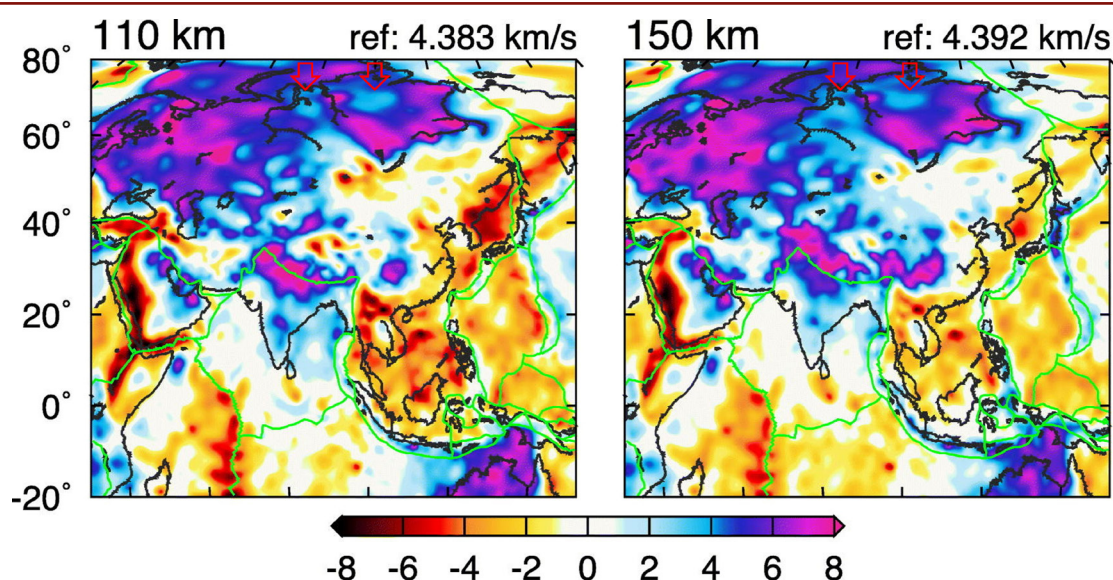


Abb. 37

Die Karte zeigt Regionen mit hohen Geschwindigkeiten der Ausbreitung von seismischen Wellen (violett), durch härtere Gesteine, während blaue Bereiche Zonen mit geringeren Geschwindigkeiten anzeigen, was auf das Vorhandensein von flüssigerem oder geschmolzenem Material hindeutet. Anomalien verminderter Geschwindigkeiten der seismischen Wellen, die Zonen mit flüssigerer Mantel-Substanz entsprechen, sind mit zwei roten Pfeilen markiert.

Quelle: Dou, H., Xu, Y., Lebedev, S., Chagas de Melo, B., van der Hilst, R. D., Wang, B., & Wang, W. (2024). The upper mantle beneath Asia from seismic tomography, with inferences for the mechanisms of tectonics, seismicity, and magmatism. *Earth-Science Reviews*, 255, 104841.

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

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>

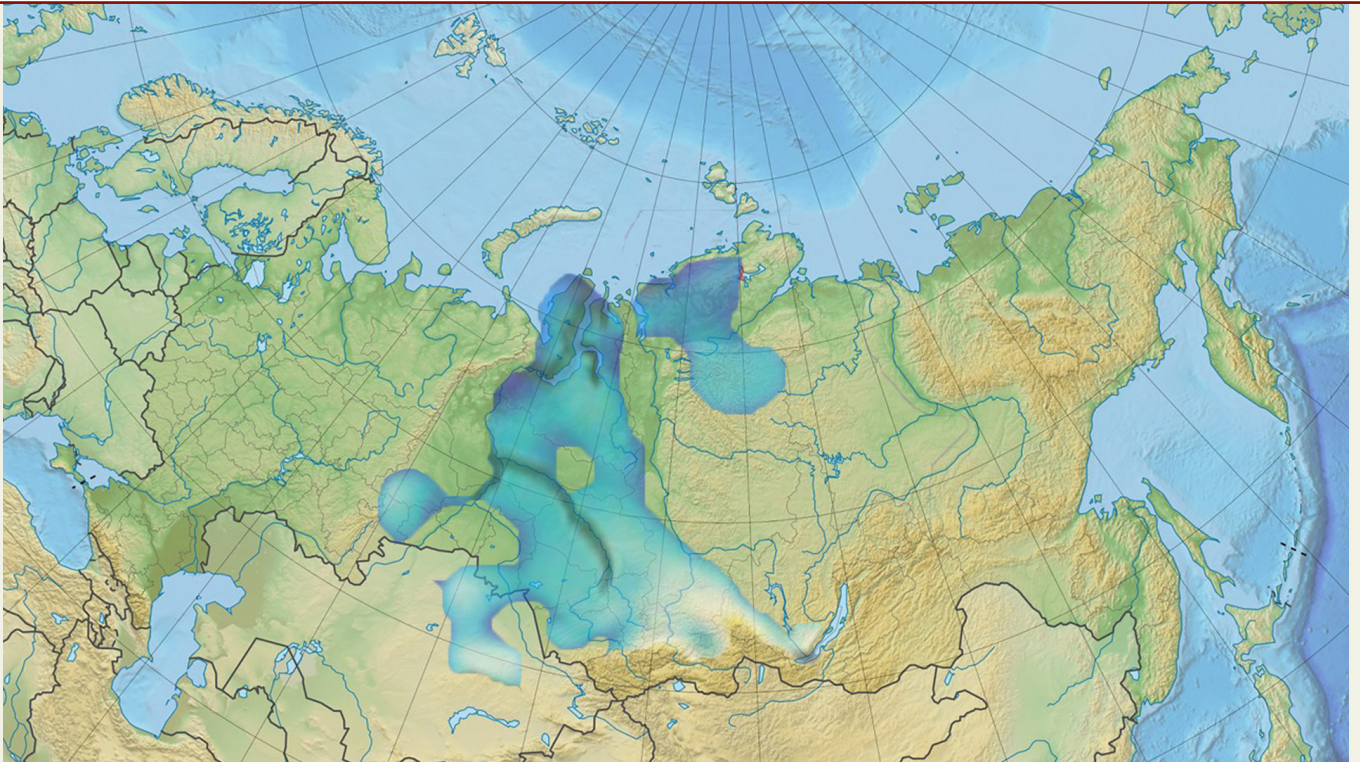


Abb. 38

Die Anomalien der verminderten seismischen Geschwindigkeiten wurden auf der physischen Karte Russlands dargestellt und angepasst, basierend auf Daten von Dou et al., 2024

Es ist wichtig anzumerken, dass die seismotomografische Analyse, die in der Studie von Dou et al. (2024) für Sibirien vorgestellt wurde, auf Daten von weniger als 10 seismischen Sensoren beruht (Abb. 39), die alle entlang von Platten Grenzen positioniert sind und West- und Ostsibirien praktisch nicht abdecken. Für die Analyse

wurden die Daten aller öffentlich verfügbaren breitbandigen Erdbebenaufzeichnungen von 1994 bis zum 4. September 2023 verwendet. Zum Vergleich zeigen die roten Dreiecke auf der Karte die Sensoren an, die in der Analyse für Asien verwendet wurden und deren Zahl in die Tausende geht.

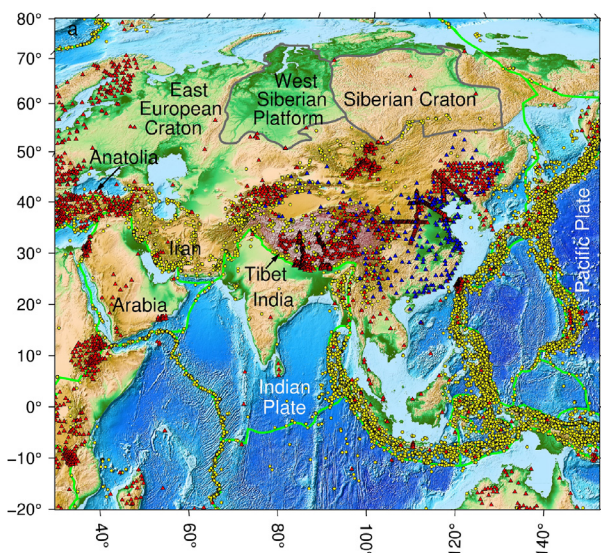


Abb. 39

Lage der Sensoren (rote Dreiecke) für die seismische tomographische Analyse

Quelle: 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>

Eine Studie chinesischer Forscher aus dem Jahr 2023 bestätigt, dass die Kruste unter Sibirien derzeit durch die Magmaaktivität schmilzt und dünner wird⁴³ (Abb. 40). Dieser voranschreitende Prozess verringert die Festigkeit der lithosphärischen Platte. Die Autoren stellen ein Modell der elektrischen Leitfähigkeit des Mantels für Nordasien vor, das aus geomagnetischen Daten abgeleitet wurde und eine große Anomalie mit höherer Leitfähigkeit in der Mantelübergangszone unter dem Sibirischen Trapp während seines Ausbruchs aufzeigt. Die Wissenschaftler interpretierten diese als thermische Anomalie mit Schmelzspuren im Bereich der bestehenden Permischen Anomalie (Abb. 41).

Insgesamt zeigen die seismotomographischen Untersuchungen des Ostsibirischen Kratons in einer Tiefe von 40 bis 110 Kilometern unterschiedliche Ergebnisse. Dabei gibt es einen deutlichen Mangel an seismologischen Daten für das

Territorium Sibiriens, um genaue Modelle zu erstellen.

Moderne tomografische Modelle beruhen auf seismischen Daten, die über einen langen Zeitraum - etwa 30 Jahre - gesammelt wurden. Aus der Perspektive klassischer Vorstellungen über die Entwicklung der Mantelplumes, die sich über Millionen von Jahren erstreckt, wird ein Zeitrahmen von 30 Jahren als extrem kurz angesehen. Die vorliegenden Daten deuten jedoch darauf hin, dass in diesem Zeitraum erhebliche strukturelle Veränderungen im Sibirischen Plume stattgefunden haben.

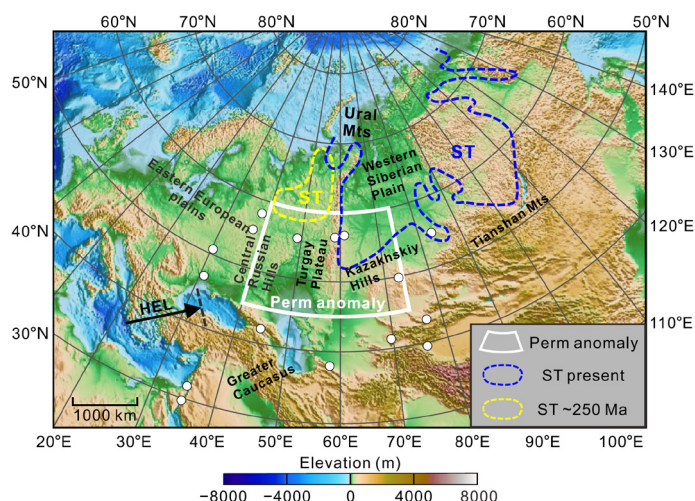
Diese Beobachtungen machen deutlich, dass das derzeitige Verständnis der Entwicklungsraten von Mantelplumes und die zu ihrer Erforschung verwendeten Methoden überarbeitet werden müssen.

Abb. 40

Weiße Punkte zeigen die Stationen an, deren C-Antworten in dieser Studie verwendet wurden. Der Bereich der Permischen Anomalie ist als Zone dargestellt, die durch weiße Linien umrissen ist. Die aktuelle (in Blau) und frühere (in Gelb) Position des Sibirischen Trapps sind durch gestrichelte Linien gekennzeichnet.

Quelle: 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>



⁴³Li, 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>

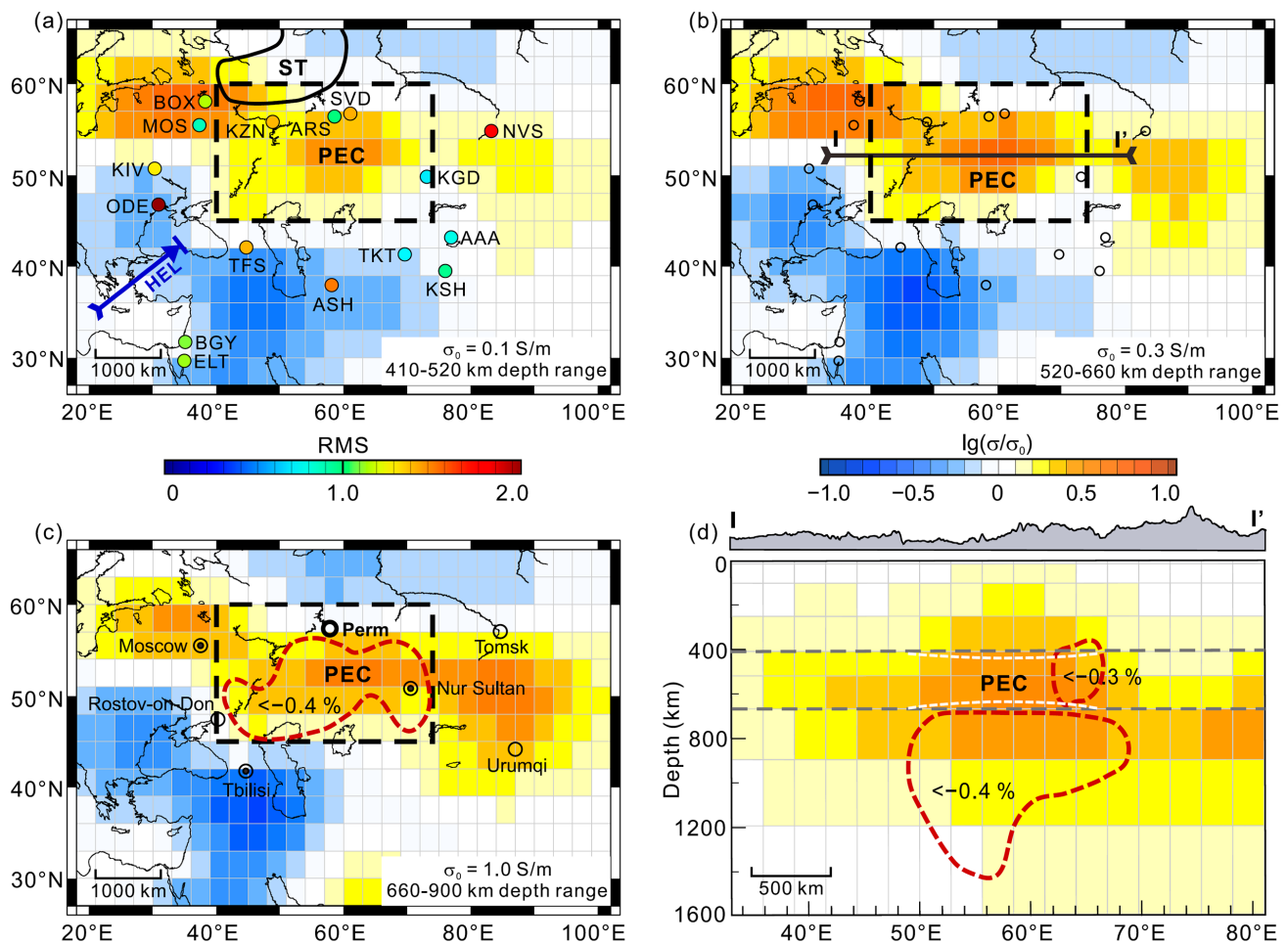


Abb. 41.

Wissenschaftler der Jilin University und der Shijiazhuang Tiedao University verwendeten geomagnetische Felddaten von 16 Stationen in Nordasien, um die elektrische Leitfähigkeit des Erdmantels in verschiedenen Tiefen zu berechnen. Sie stellten fest, dass die Leitfähigkeit in der Region unter dem Sibirischen Trapp (in Gelbbraun gekennzeichnete Bereiche auf den Diagrammen) im Vergleich zur weltweiten Durchschnittsleitfähigkeit deutlich erhöht ist. Die Forscher haben festgestellt, dass diese Bereiche in 400 bis 900 km

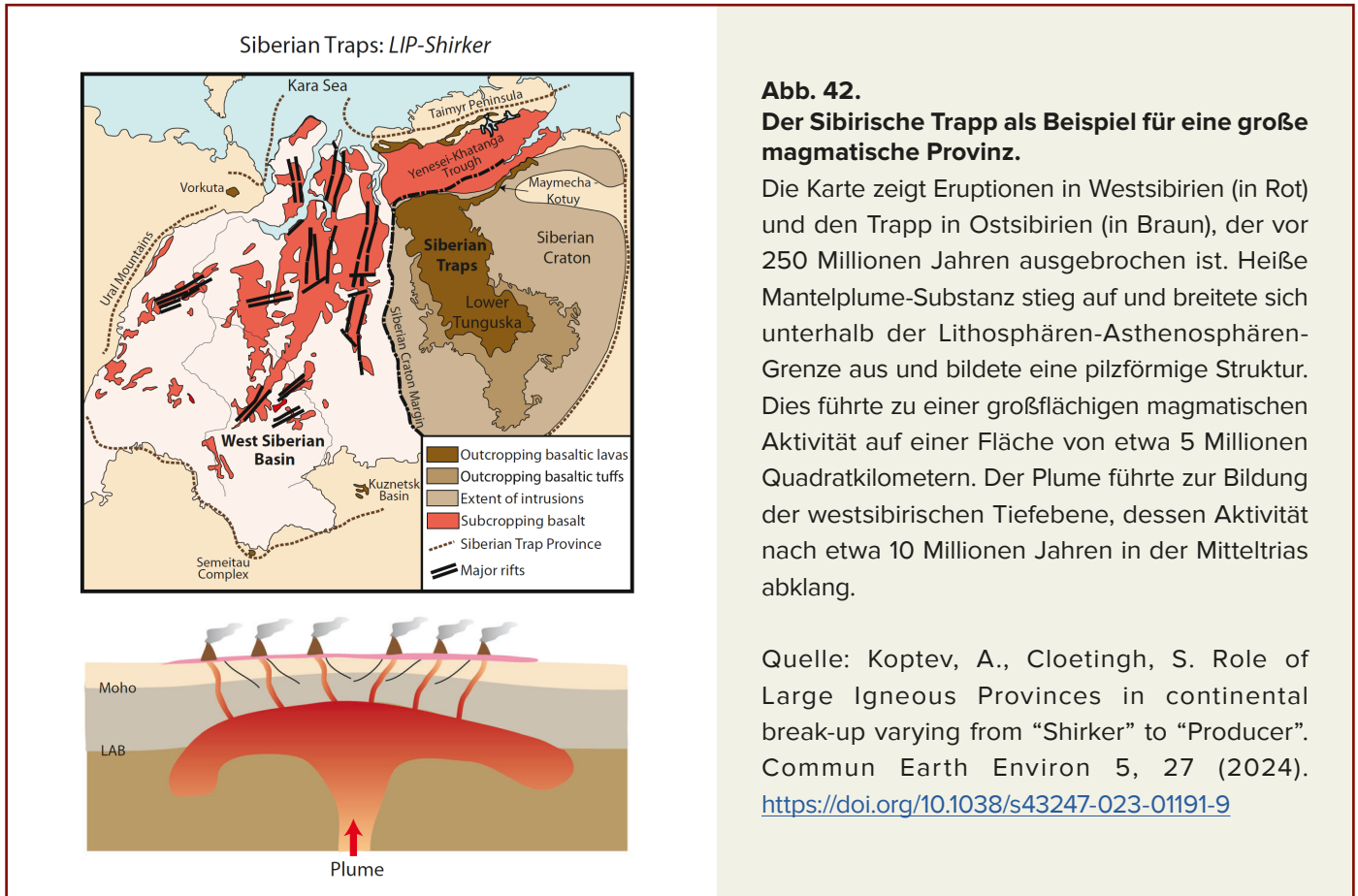
Tiefe im Durchschnitt 250 Grad heißer sind als der umgebende Erdmantel. In diesen Bereichen ist ein Teil des Erdmantels geschmolzen.

Quelle: 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>

Anzumerken ist, dass frühere Eruptionen vor 250 Millionen Jahren, an der Grenze zwischen Perm- und Trias-Perioden, ebenfalls in dieser Region stattfanden. Das Epizentrum lag unter dem

Ostsibirischen Kraton (unter dem Putorana-Plateau), und die Magmaeruptionen erstreckten sich sowohl über West- als auch über Ostsibirien (Abb. 42).



Lokalisierung des Magmaplumes

Fasst man die obige Analyse der Anomalien der Bodentemperatur, der Auftautiefe des Permafrostes, der oberflächennahen Temperaturen, der Anomalien der verminderten seismischen Geschwindigkeiten

im Erdmantel und der magnetischen Anomalien zusammen, so lassen sich die aktuelle Position und die Größe des Plumes bestimmen (Abb. 43).

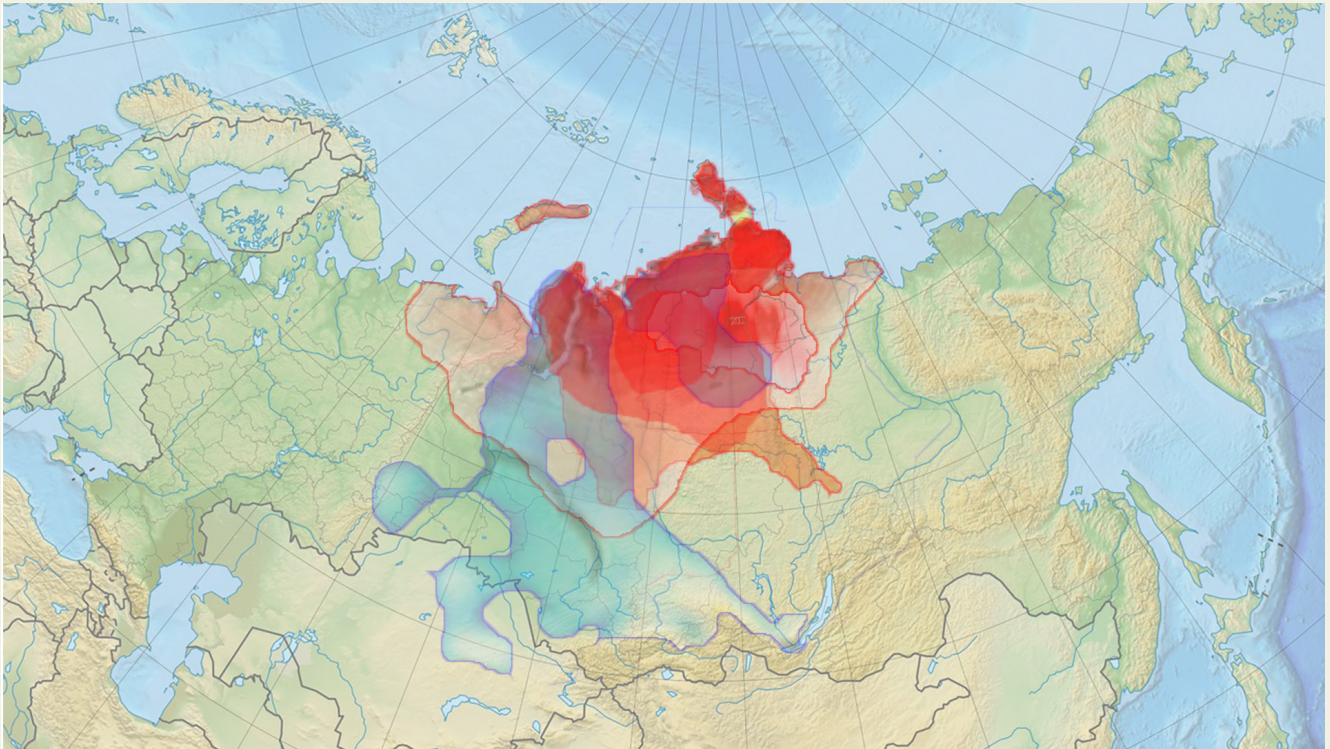
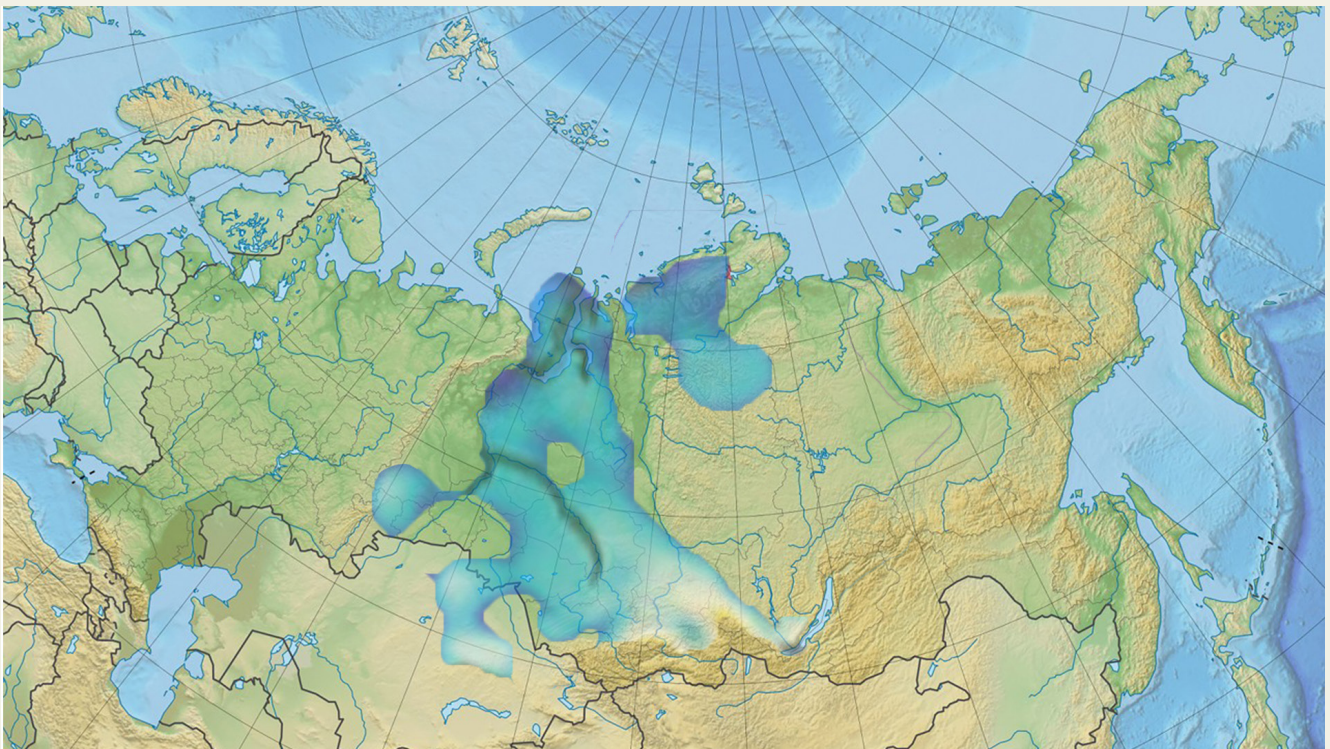


Abb. 43.

A. Karte der wichtigsten Anomalien (übereinander gelegt) nach verschiedenen Parametern, die unten angeführt sind:



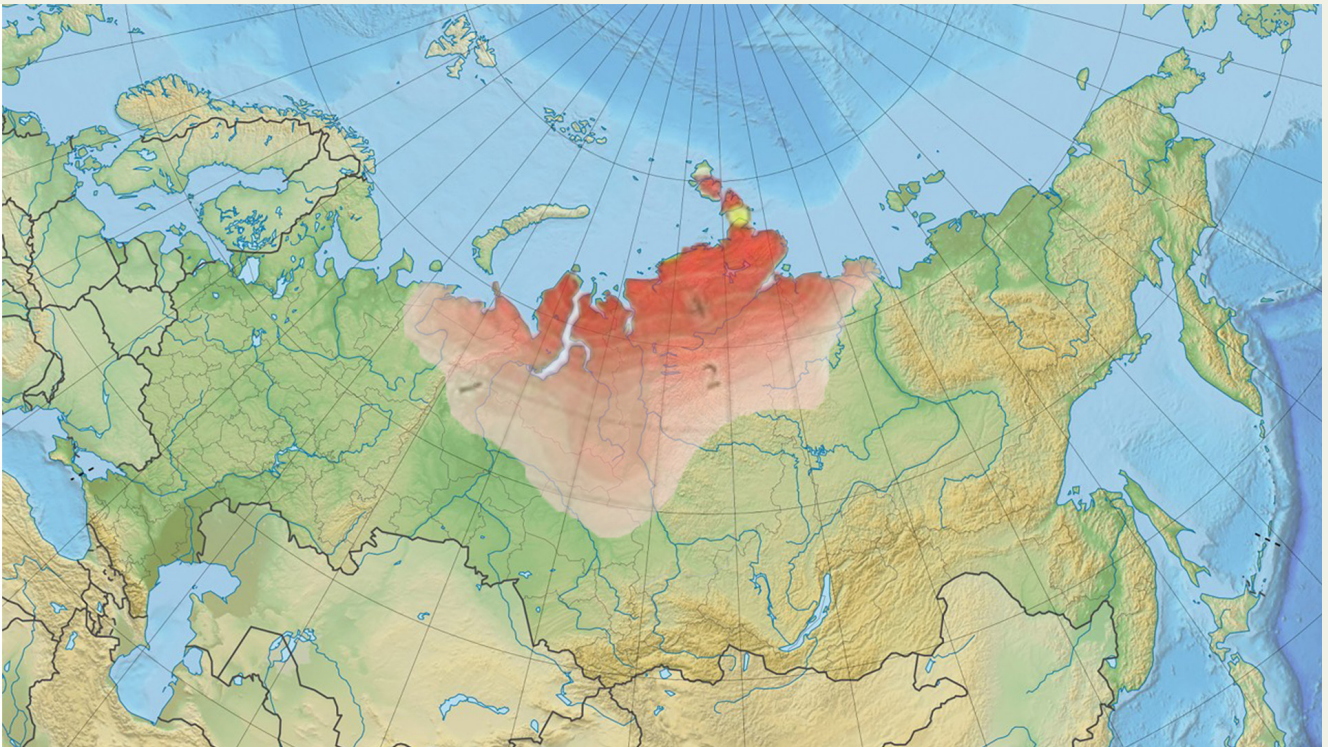
B. Karte der Anomalien mit niedriger Geschwindigkeit (flüssigere Substanz) in einer Tiefe von 110 km, basierend auf der Seismotomographie von Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J., & Weng, A. (2023)



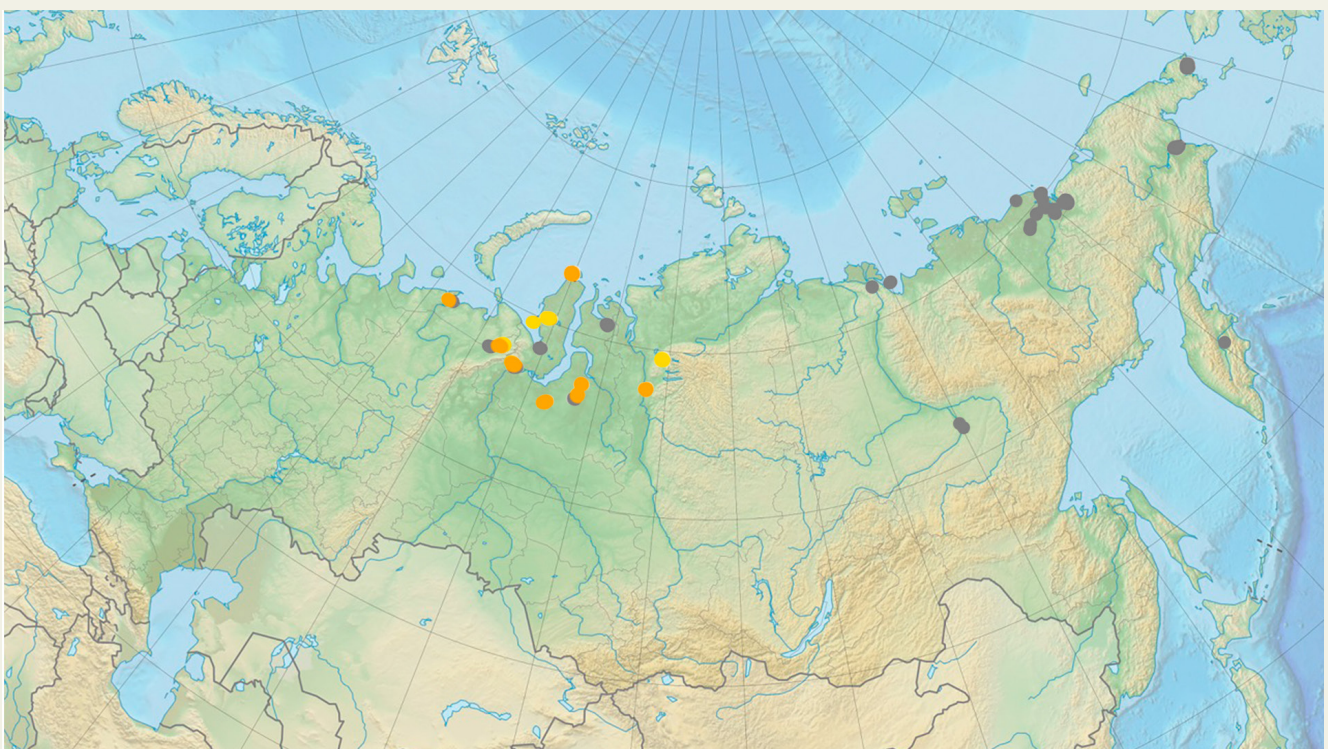
C. Neue Anomalie der Bodenerwärmung beim Vergleich der Trends für die Zeiträume 1976-2021 und 1976-2023, nach den Daten von Roshydromet (2021, 2023).



D. Trend der durchschnittlichen monatlichen Lufttemperatur für Januar 2001-2021, nach Sherstyukov, (2023)



E. Saisonale Durchschnittstemperatur von Dezember 2023 bis Februar 2024, nach den Daten von Roshydromet, (2024)



F. Orte mit zunehmender Tiefe des saisonalen Auftauens der Permafrostschicht. Datenquelle: <https://permafrost.su/>

Die Hypothese besagt, dass sich der aufsteigende Teil des Plumes südlich der Halbinseln Gydan und Taimyr befindet und mehrere Verzweigungen aufweist. Der Durchmesser des Plumekopfes wird auf 1.200-1.500 km geschätzt, und die Ausbreitungszone des magmatischen Stroms kann 2.500-3.000 km betragen. Dieses Gebiet umfasst die tektonischen Strukturen der Westsibirischen Platte und des Ostsibirischen Kratons.

Gegenwärtig beeinflusst der Kopfteil des Plumes die Basis des Ostsibirischen Kratons. Unter seinem Territorium verbreiten sich magmatische

Ströme. Dieser Prozess beeinflusst wahrscheinlich die Zunahme der seismischen Aktivität in der Region der Plattenränder, zum Beispiel in der Baikal- und sogar in der Uralregion. Die Ursache solcher Anomalien gerade in den Randbereichen der Platten ist die Destabilisierung der Platten durch die Erweichung der darunterliegenden Asthenosphäre und die leichte Hebung des zentralen Teils des sibirischen Blocks der Erdkruste, also der tektonischen Strukturen der Westsibirischen Platte und des Ostsibirischen Kratons zusammen mit der tektonischen Struktur des Werchojansk-Tschukotka-Faltensystems.

Zunahme der seismischen Aktivität als Indikator für die Destabilisierung tektonischer Platten infolge der Aktivität des Sibirischen Magmaplumes

Die Methode zur Analyse der seismischen Aktivität umfasste das Herunterladen und die spezielle Verarbeitung von Daten, die von der Website des Internationalen Seismologischen Zentrums (International Seismological Centre-ISC) stammen. Da die Daten verschiedene Quellen aus verschiedenen Ländern und Forschungsinstituten und verschiedene Magnitudenarten (Mw, Ms, Mb, ML, MD usw.) enthalten, wurde ein bestimmter Datenverarbeitungsalgorithmus durchgeführt, um den geeigneten Magnitudentyp aus verschiedenen Quellen auszuwählen (siehe Anhang 1). Die Hauptidee des Verarbeitungsalgorithmus bestand darin, den Medianwert unter den häufigsten Magnitudentypen für jedes der Ereignisse auszuwählen, da für jedes Ereignis verschiedene Quellen unterschiedliche Magnitudentypen und -werte an die ISC-Datenbank übermittelt haben. Eine solche Verarbeitung führt im Durchschnitt zu einer leichten Verringerung der Magnitude im Vergleich zum übertragenen Maximalwert, aber wie die Erfahrung gezeigt hat,

liefert der median basierte Algorithmus Ergebnisse, die gut mit dem Gutenberg-Richter-Gesetz und anderen Gesetzmäßigkeiten und recht gut mit Daten anderer seismologischer Datenbanken wie IRIS und USGS übereinstimmen.

Die aus dem Algorithmus resultierenden Daten wurden in der ISC-Datenbank (siehe Anhang 1) nach Ereignistyp gefiltert, um Ereignisse auszuschließen, die während der Bergbauarbeiten durch menschliche Aktivitäten verursacht wurden: Explosionen, mögliche Explosionen, Gebirgsschläge usw. Da es in Russland viele Bergbaubetriebe gibt, wurde die ISC-Datenbank mit den Daten des Geophysikalischen Dienstes der Russischen Akademie der Wissenschaften⁴⁴ vom Januar 2025 verglichen, in dem alle bekannten Explosionen und Gebirgsschläge im Bergbau in Russland aufgeführt sind. Diese Ereignisse wurden ebenfalls ausgeschlossen, um sicherzustellen, dass keine Ereignisse, die Explosionen entsprechen, in den resultierenden Daten verbleiben.

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

Betrachten wir die Ergebnisse der Datenanalyse im Bereich des Aufsteigens des Magma-Plumes und der Randbereiche großer tektonischer Blöcke, die direkt davon betroffen sind. Da der Sibirische Kraton als relativ stabile aseismische Plattform gilt, stellt das Auftreten auch nur einer kleinen Anzahl von Erdbeben innerhalb seiner Grenzen eine Anomalie dar.

Die Abb. 44 zeigt die Dichte der Erdbebenverteilung in Russland. In der Region Sibiriens wird die größte Häufung von Erdbeben naturgemäß in

Falten-Gebieten beobachtet: im Werchojansker Gebirgskamm im Osten, entlang des Gakkel Kamms im Norden, im Uralgebirge im Westen und in der Altai-Sajan-Region im Süden. Einzelne Ereignisse gibt es auch in Sibirien selbst: Es wurden südlich der Taimyr-Halbinsel mehrere Erdbeben mit einer Stärke von etwa 4,0 registriert. Betrachten wir nun die Dynamik von Erdbeben an lokalen Standorten in der Region des Sibirischen Plumes und den angrenzenden Regionen im Detail.

M3+ Earthquakes Density on the Territory of Siberia

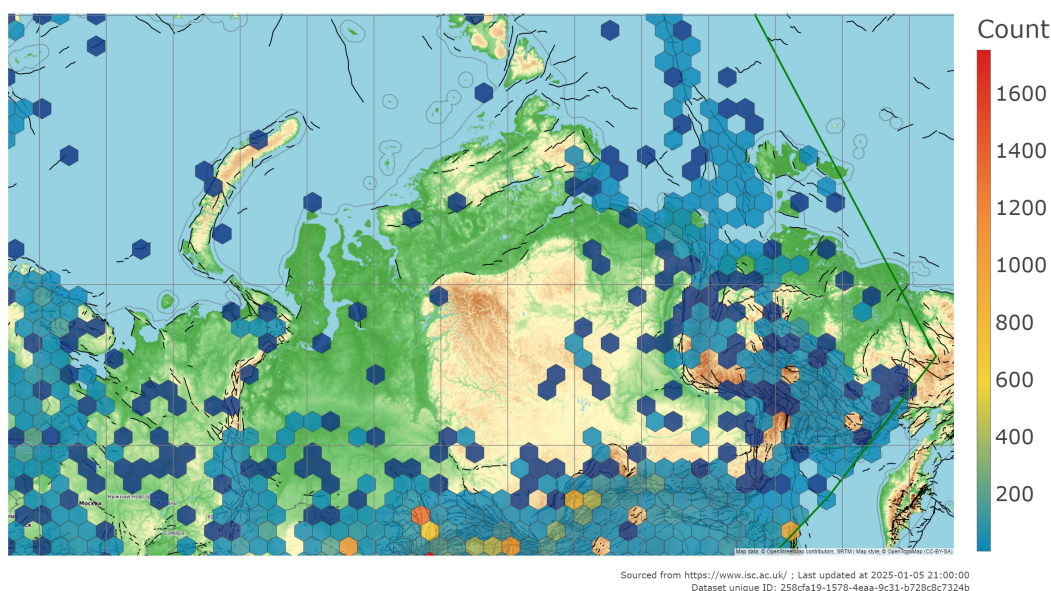


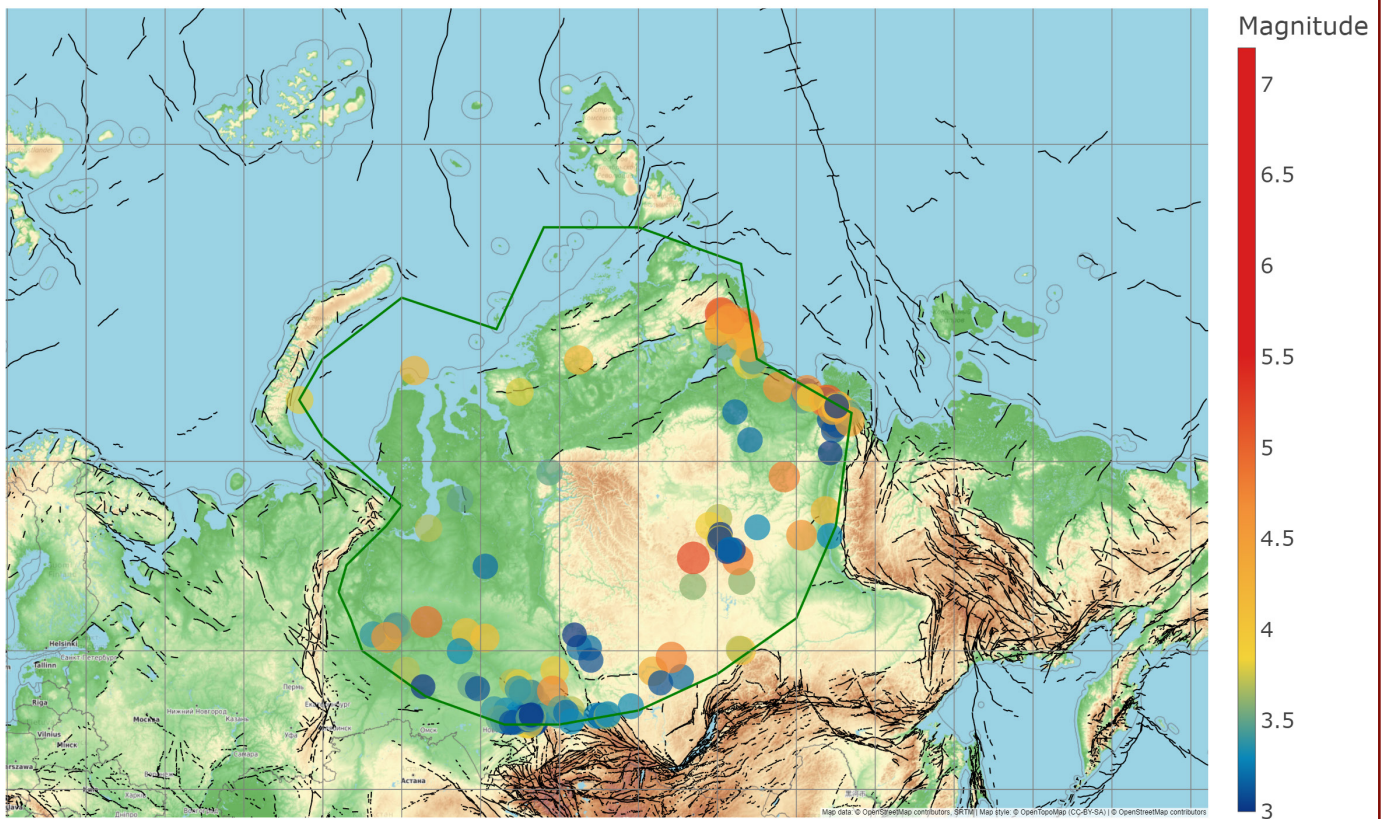
Abb. 44
Dichte der Erdbeben mit einer Magnitude von 3,0 oder höher auf dem Territorium Sibiriens im Zeitraum von 1990 bis 2024.

Datenquelle: ISC-Datenbank

Die Regionen, in denen der Mantelplume unterschiedliche Auswirkungen haben kann, wurden anhand geologischer Strukturen ermittelt (Abb. 45). Es wurde der Bereich des Plumes selbst ausgewählt, wo die Auswirkungen mit dem Eindringen und dem Druck des Magmas und der fluiden Phase (magmatische Gase) zusammenhängen können.

In den Randbereichen der Ostsibirischen Plattform und der Westsibirischen Platte ist der Einfluss des Plumes auf die Seismizität aufgrund der Destabilisierung der Position dichter Blöcke der Erdkruste wahrscheinlicher.

M3+ Earthquakes, Siberian Plume Region



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

Abb. 46

Karte der Erdbeben mit einer Magnitude von 3,0 und höher in der Region des Sibirischen Plumes im Zeitraum von 1990 bis 2024.

Datenquelle: ISC-Datenbank

In der markierten Region des Sibirischen Plumes wurden zwischen 1990 und 2024 insgesamt 205 Erdbeben mit einer Magnitude von 3,0 und höher registriert. 1995 wurde ein Anstieg der Anzahl der Erdbeben beobachtet (Abb. 47), was mit dem globalen Trend einer erhöhten seismischen Aktivität im Jahr 1995 in Verbindung mit der zunehmenden magmatischen Aktivität übereinstimmt. Seit 2007 ist ein deutlicher Anstieg der Anzahl der Erdbeben

zu verzeichnen, gefolgt von einem allmählichen Rückgang der seismischen Aktivität. Seit 2021 hat die Anzahl der Erdbeben wieder stark zugenommen und übertrifft die früheren jährlichen Werte. In der Region des Sibirischen Plumes wird also ein wellenförmiger Anstieg der seismischen Aktivität beobachtet. In den letzten Jahren wurden deutlich mehr Ereignisse registriert, als bisher für dieses Gebiet typisch war.

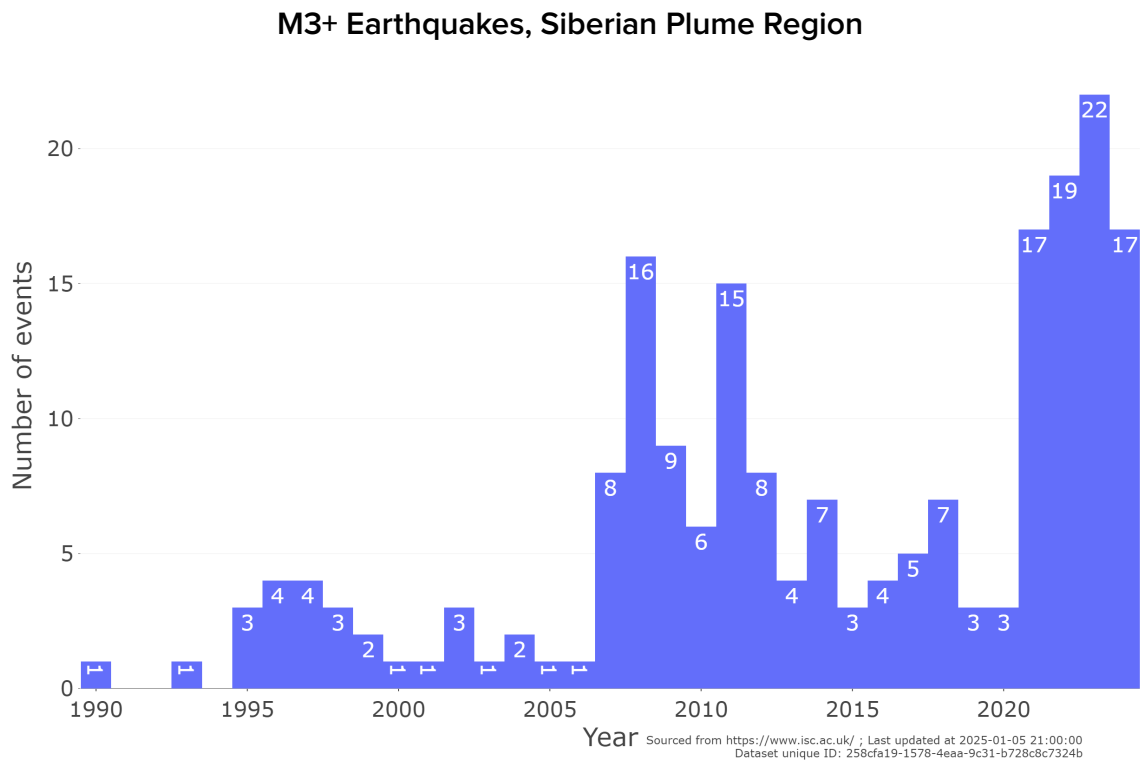


Abb. 47

Anzahl der Erdbeben M3.0+ in der Region des Sibirischen Plumes von 1990 bis 2024.

Datenquelle: ISC-Datenbank

Nach einem Erdbeben mit Magnitude 5,0 im Jahr 1990 nahm die Stärke und Anzahl der Erdbeben allmählich ab (Abb. 48). Von 1990 bis 2007 wurden nur 3 Erdbeben mit einer Magnitude über 4,5 registriert. Seit 2007 ist ein allmählicher Anstieg der Erdbebenstärke zu verzeichnen. Zum ersten Mal in der Geschichte der Beobachtungen traten im

Jahr 2019 Erdbeben der Stärke 5,1 und 5,2 auf. Alle Erdbeben der Magnitude 4,5 und darüber traten im Bereich des Plumes auf (Abb. 49), einige von ihnen ereigneten sich in stabilen Gebieten, in denen es keine bekannten Verwerfungen gibt.

M3+ Earthquakes, Siberian Plume Region

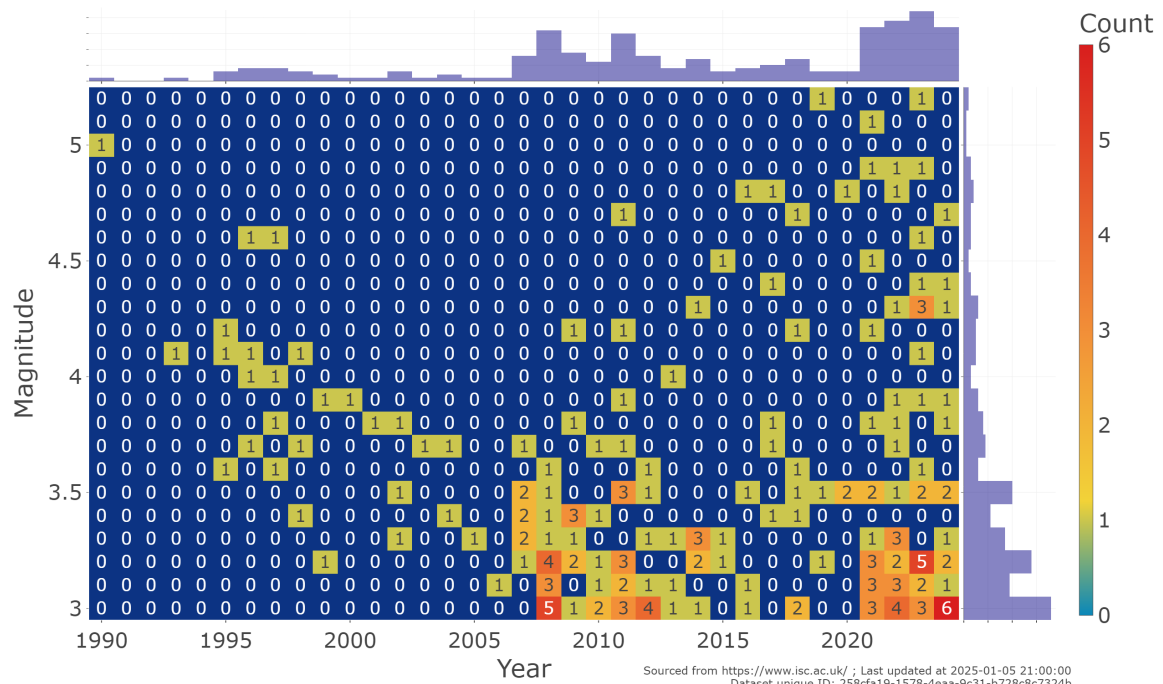


Abb. 48

Verteilung der Erdbeben nach Magnitude im Gebiet des Sibirischen Plumes im Zeitraum von 1990 bis 2024.

Datenquelle: ISC-Datenbank

M4.5+ Earthquakes, Siberian Plume Region

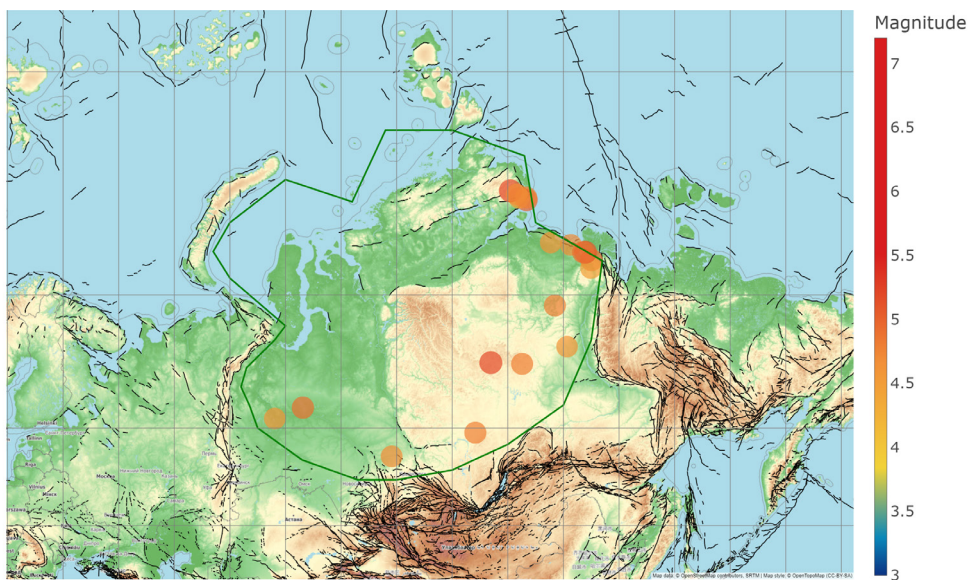


Abb. 49

Karte der Erdbeben M4.5+ im Gebiet des Sibirischen Plumes im Zeitraum von 1990 bis 2024.

Datenquelle:
ISC-Datenbank

Im Jahr 2007 wurde auch erstmals ein Erdbeben der Stärke 3,7 in einer Tiefe von 33 km nahe der Moho-Grenze registriert (Abb. 50). Nach 2014 traten Erdbeben an der Basis der Erdkruste in

30-35 Kilometern Tiefe deutlich häufiger auf, wobei ihre Stärke bis zu 5,0 betrug. Alle diese Beben liegen an der Peripherie des vermuteten Plume-Herdes.

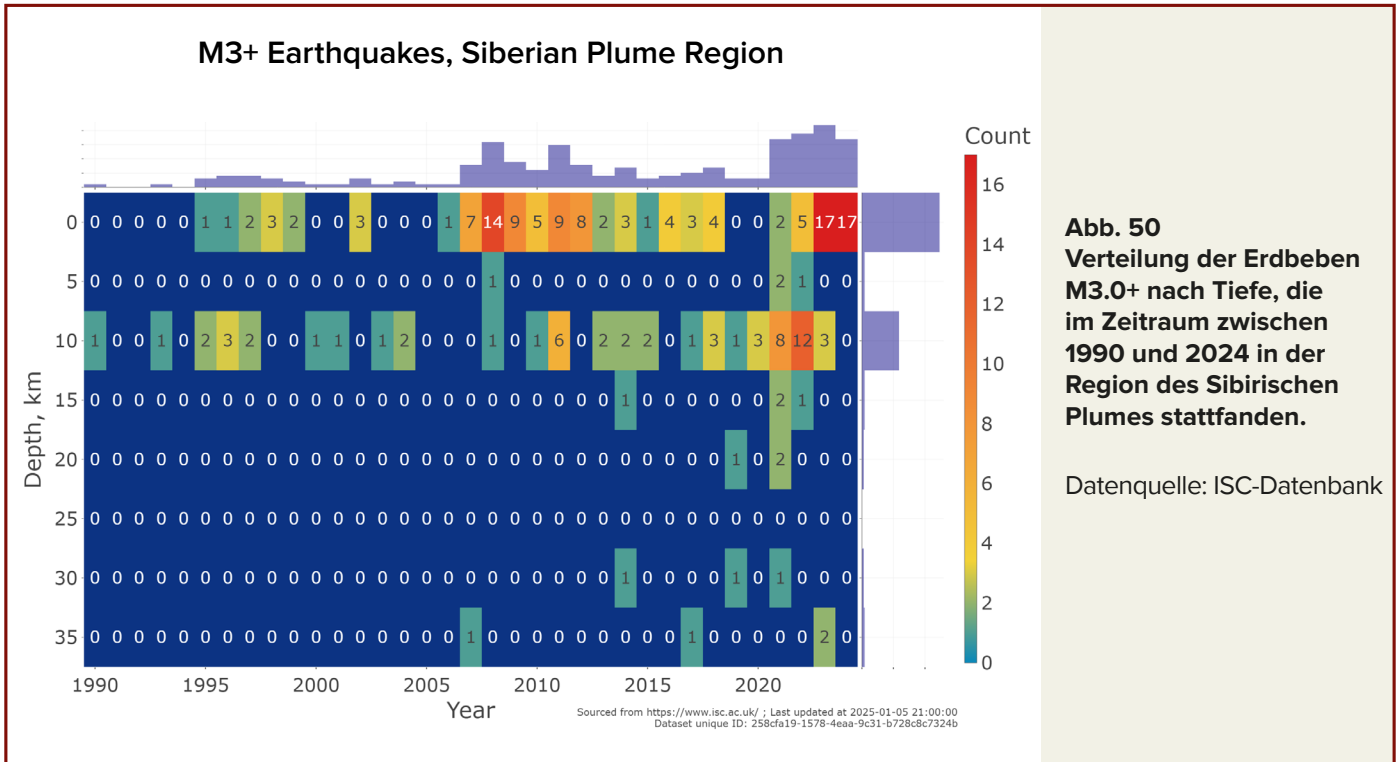


Abb. 50
Verteilung der Erdbeben M3.0+ nach Tiefe, die im Zeitraum zwischen 1990 und 2024 in der Region des Sibirischen Plumes stattfanden.

Datenquelle: ISC-Datenbank

Die obige Analyse von Erdbeben im Bereich der vermeintlichen Lage des Sibirischen Plumes zeigt eine wellenförmige Zunahme der Seismizität: Die Zahl der Erdbeben steigt, ihre Stärke nimmt zu, und sie treten in größeren Tiefen auf. Dies deutet auf Verformungsprozesse der Platte unter dem enormen Druck des Magmas von unten hin. Das Fortschreiten dieser Prozesse wird in naher Zukunft unweigerlich zu einem Ausbruch des Sibirischen Plumes führen, und zwar aus folgenden Gründen.

Die Basis des Ostsibirischen Kratons besteht aus magmatischen und metamorphen Gesteinen und

bildet eine dichte, monolithische Kruste, die sich infolge von Eruptionen, die vor 250 Millionen Jahren stattfanden, bildete. Das Auftreten starker Erdbeben mit Magnituden 7,0 und darüber in dieser Region würde darauf hindeuten, dass die Plattformstrukturen des Sibirischen Kratons Verformungen ausgesetzt sind, die die Festigkeitsgrenzen des Gesteins überschreiten. Zur Veranschaulichung, wie der monolithische Sibirische Kraton unter dem Druck des Plumes reißen könnte, kann ein Beispiel dafür angeführt werden, wie Glas einen Moment vor dem vollständigen Zerschlagen springt.

Um die tatsächliche Situation in Bezug auf das Voranschreiten des Plumes und die Festigkeit der Erdkruste im Bereich des Sibirischen magmatischen Plumes zu verstehen, ist es derzeit von entscheidender Bedeutung, zusätzliche seismische Sensoren zu installieren, vorzugsweise in mehrere Kilometer tiefen Bohrlöchern. Dies wird eine detaillierte seismische Tomographie-Analyse der Erdkruste und des Erdmantels ermöglichen und eine kontinuierliche Überwachung der Position

und Aktivität des Plumes erlauben (siehe Abschnitt „Geplante und kontrollierte Entgasung“).

Zu beachten ist die Verteilung der Erdbeben nach der Tiefe im Gebiet der Sibirischen Plumes und dessen Randzonen. Erdbeben in Tiefen nahe der Moho-Grenze (mehr als 30 km) und im Erdmantel treten hauptsächlich in Faltengebirgen auf. Dabei lässt es sich erkennen, dass sie das Territorium der vermuteten Lage des Sibirischen Plumes umrahmen.

M3.5+ Earthquakes, Siberian Plume Region

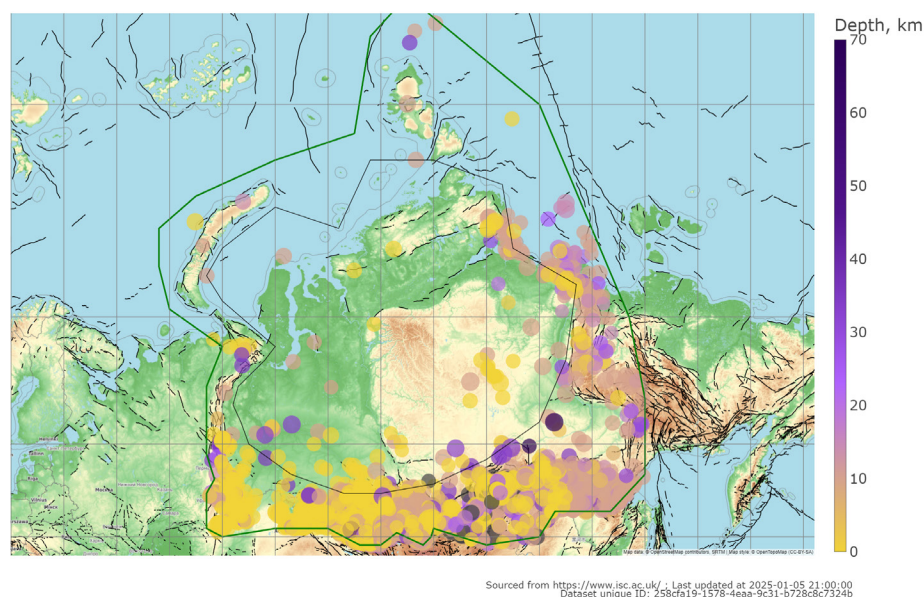


Abb. 51
Karte der Erdbeben M3,5+ in der Region des Sibirischen Plumes im Zeitraum von 1990 bis 2024. Die Farbskala entspricht der Tiefe.

Datenquelle: ISC-Datenbank

Sehen wir uns die seismische Aktivität speziell in den Randgebieten des Sibirischen Plumes an. Geologisch gesehen gehören diese Gebiete zu Faltengebirgen und seismisch aktiven Regionen, in denen die Seismizität sowohl durch tektonische Bewegungen als auch durch den Einfluss des magmatischen Plumes verursacht werden kann. Das Diagramm der Anzahl von Erdbeben zeigt ein gemischtes Bild von sich überlagernden Seismizitätsfaktoren (Abb. 52). In einigen Jahren sind signifikante Spitzen in der seismischen Aktivität zu erkennen. Um die Natur dieser Prozesse besser zu verstehen, muss jede Region einzeln betrachtet werden.

Eine Analyse der Faltenstrukturen und Verwerfungszonen von Werchojansk am Boden der Laptevsee (Abb. 53) zeigt eine bemerkenswerte Häufung von Erdbeben der Stärke 3,0 und darüber in den Jahren 2013 und 2021-2022 (Abb. 54). Solche Spitzen sind charakteristisch für Magmaintrusionsphasen, die zu erheblichen Störungen der Integrität der Erdkruste und zur Freisetzung der fluiden Phase durch Gesteinsbrüche und nahe gelegene Verwerfungen führen. Diese Phänomene gehen häufig mit einer Zunahme von Erdbeben geringer Stärke, dem Auftreten der Erdbebenschwärme und manchmal sogar mit Serien der Schwarmbeben einher.

M3+ Earthquakes in the Marginal Parts of the Siberian Plume

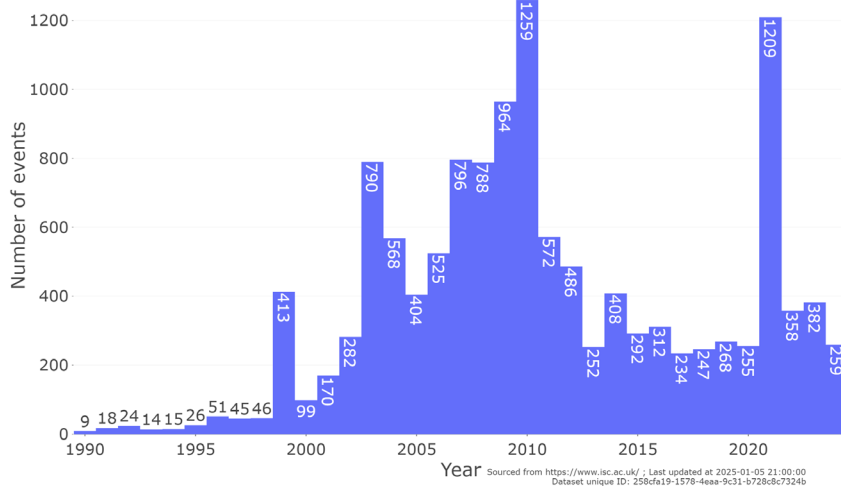


Abb. 52

Anzahl der Erdbeben M3,0+ in den Randgebieten des Sibirischen Plumes im Zeitraum von 1990 bis 2024. Erdbeben innerhalb des Plumes wurden ausgeschlossen (Abb. 47).

Datenquelle: ISC-Datenbank

M3+ Earthquakes Density, Northeastern Part

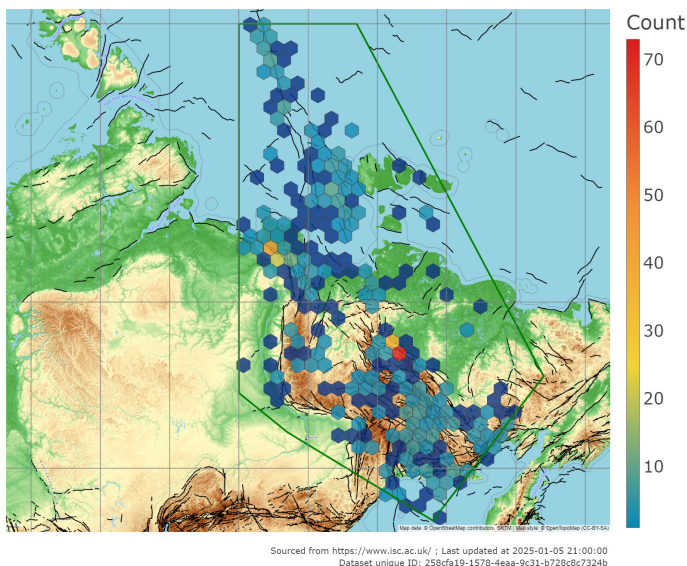


Abb. 53

Erdbebendichte mit Stärke M3+ in einem ausgewählten Gebiet am nordöstlichen Rand des Sibirischen Krustenblocks im Zeitraum von 1990 bis 2024. Die Verwerfungslinien sind schwarz markiert.

Quelle: ISC-Datenbank

M3+ Earthquakes Density, Northeastern Part

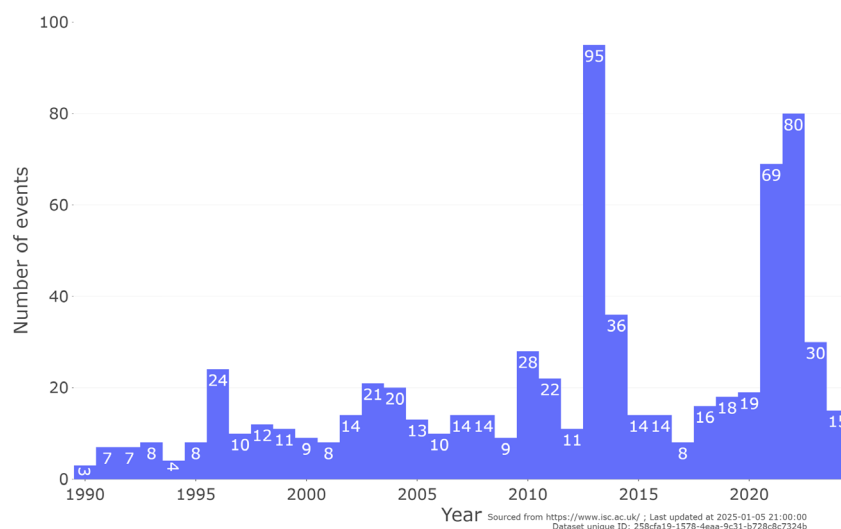


Abb. 54

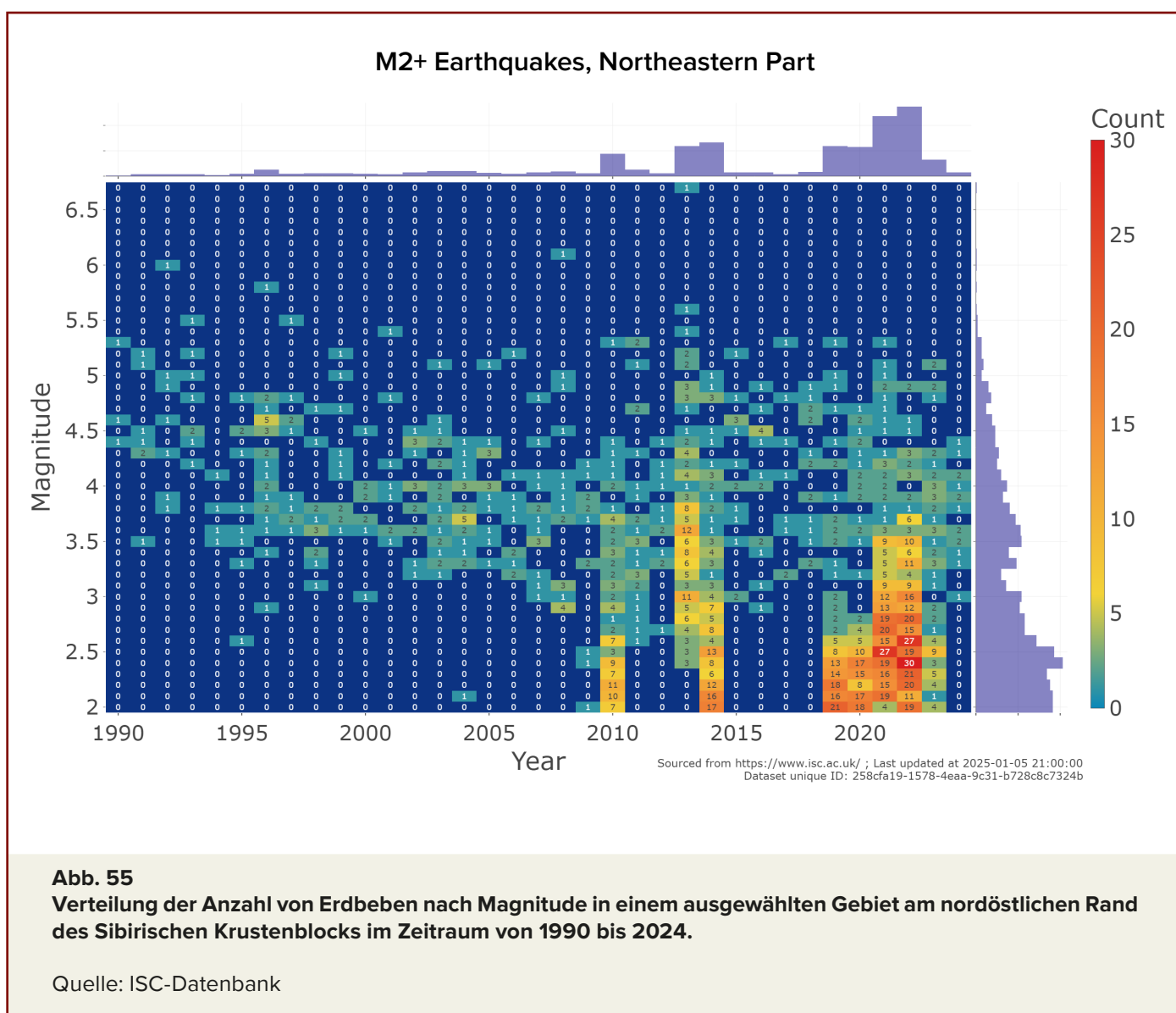
Grafische Darstellung der Anzahl der Erdbeben M3+ in einem ausgewählten Gebiet am nordöstlichen Rand des Sibirischen Krustenblocks im Zeitraum von 1990 bis 2024.

Quelle: ISC-Datenbank

Eine Analyse der Erdbebenstärken in dieser Zone zeigt einen sprunghaften Anstieg der Zahl der Erdbeben mit Magnituden von 2 bis 3,5 in den Jahren 2010, 2013-2014 und einen deutlichen Anstieg ab dem Jahr 2019 (Abb. 55). Seit 2019 ist auch ein signifikanter Anstieg der Zahl der Erdbeben zu verzeichnen, die die Erdkruste fast bis zu ihrer Basis in einer Tiefe von bis zu 35 km betreffen (Abb. 56). Im Jahr 2013 ereignete sich in

der Region das erste Erdbeben mit einer Magnitude von 6,7, was eindeutig auf eine längere Phase der Spannungsakkumulation oder die Freisetzung von angesammelten magmatischen Fluiden hinweist.

Die Gruppe von Erdbeben in südöstlicher Richtung von der Taimyr-Halbinsel (Abb. 57) sollte gesondert betrachtet werden.



M2+ Earthquakes, Northeastern Part

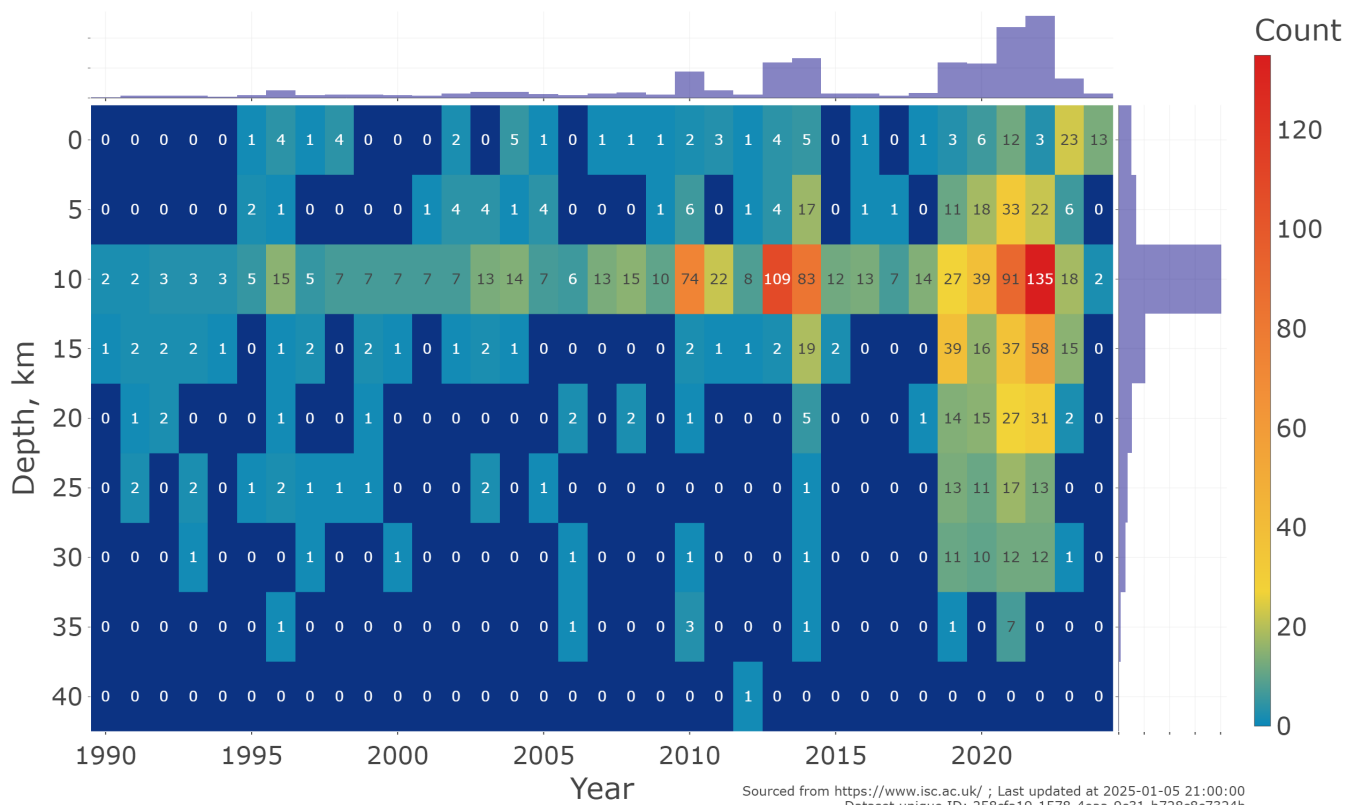


Abb. 56

Verteilung der Anzahl der Erdbeben M2+ nach Tiefe in einem ausgewählten Gebiet am nordöstlichen Rand des Sibirischen Krustenblocks im Zeitraum von 1990 bis 2024.

Quelle: ISC-Datenbank

M2+ Earthquakes, Northeast of the Taimyr Peninsula

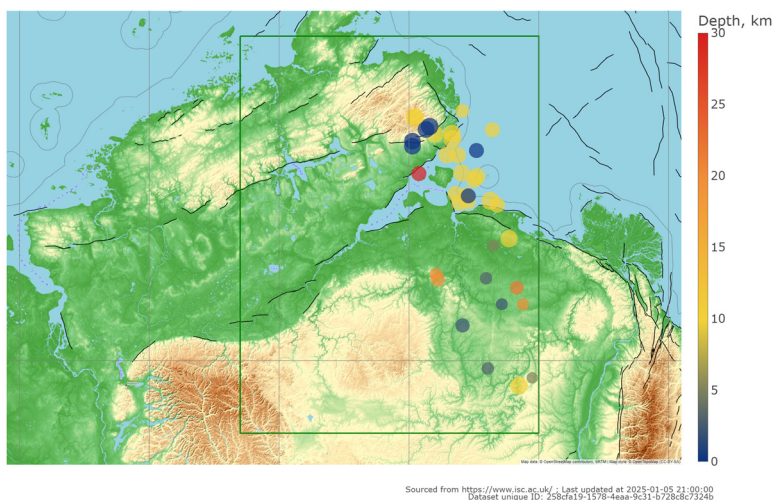


Abb. 57

Karte der Verteilung von Erdbeben M2+ im ausgewählten Gebiet nordöstlich der Taimyr-Halbinsel im Zeitraum von 1990 bis 2024.

Datenquelle: ISC-Datenbank

In den Jahren 2019-2020 kam es in diesem Gebiet auch zu einem Anstieg der seismischen Aktivität von geringer bis mittlerer Stärke (Abb. 58, 59).

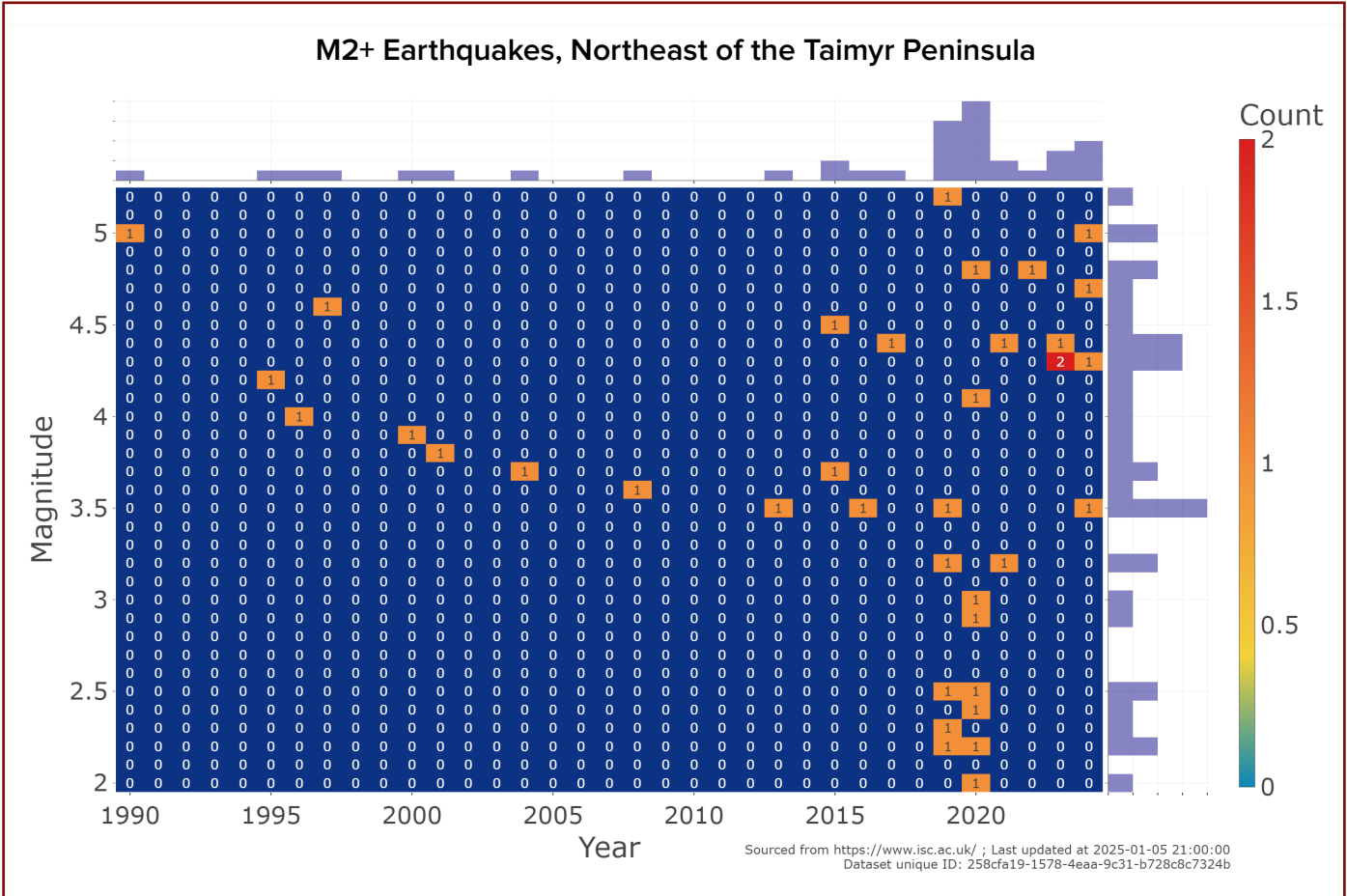
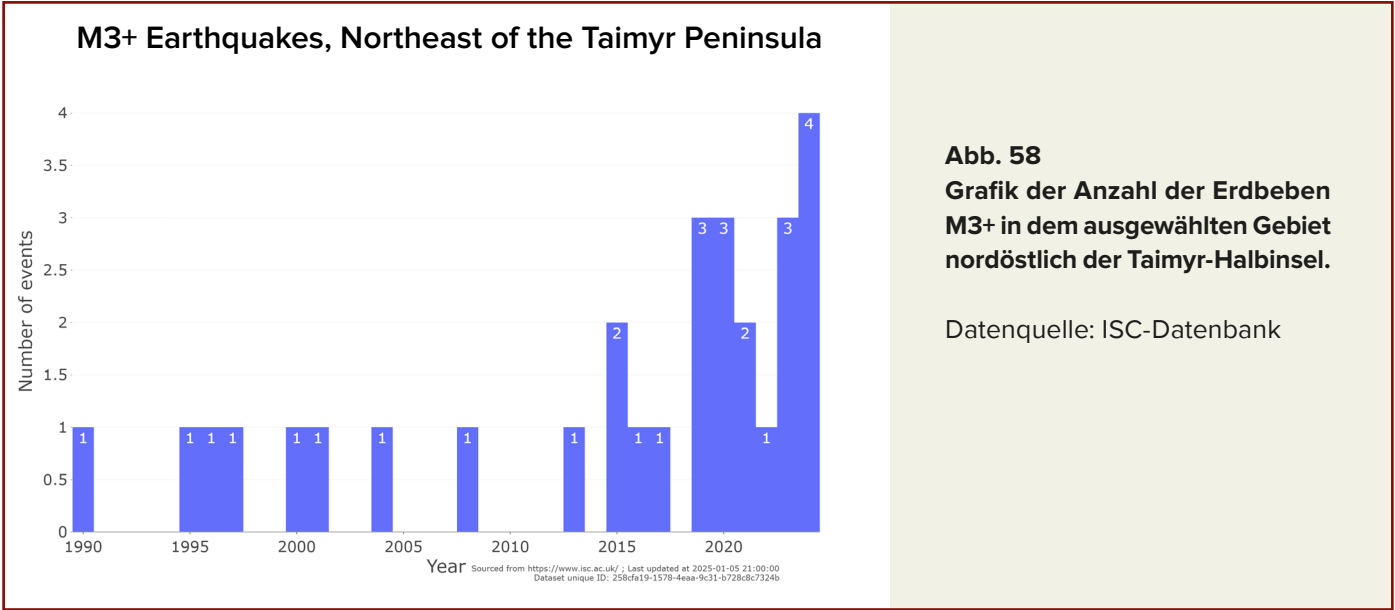


Abb. 59
Verteilung der Anzahl der Erdbeben nach Magnitude in dem ausgewählten Gebiet nordöstlich der Taimyr-Halbinsel im Zeitraum von 1990 bis 2024.

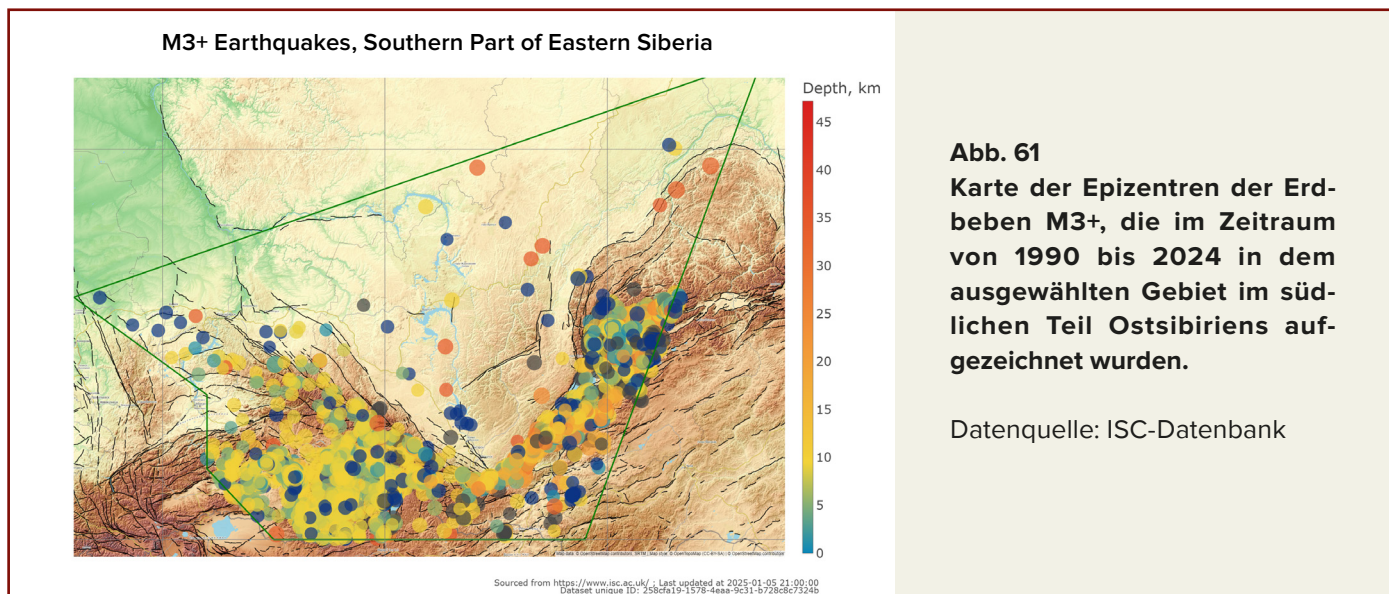
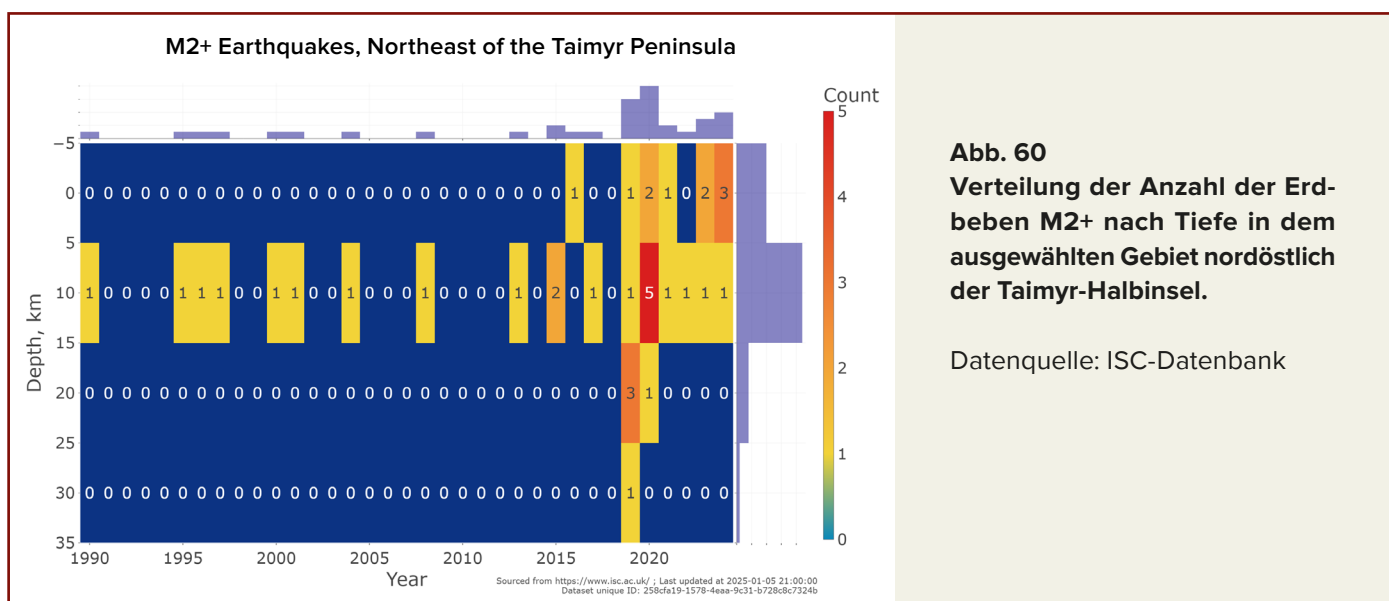
Datenquelle: ISC-Datenbank

Zwischen 2019 und 2020 ist ein deutlicher Anstieg der Erdbeben tiefe zu verzeichnen, die die Basis der Kruste erreichen (Abb. 60), und zwar in denselben Zeiträumen, wie sie im Gebiet der Faltenstruktur von Werchojansk beobachtet wurden.

Es ist zu betonen, dass diese Zone unter dem Einfluss des Kopfes des Sibirischen Plumes steht. Trotz der relativ geringen Anzahl von Erdbeben zeigt das Gebiet einen ähnlichen Trend der zunehmenden Tiefe und Häufigkeit von Erdbeben

wie in der Faltenstruktur von Werchojansk, allerdings erst ab 2019.

Der südliche Teil des betrachteten Gebiets umfasst die Region des Altai-Sajan-Faltengürtels und die Baikalsee-Region (Abb. 61). Dies ist eine tektonisch bewegliche und seismisch aktive Region. In den Jahren 1999 und 2021 wurden dort Spitzenwerte der Seismizität beobachtet (Abb. 62). Die Magnitude der Erdbeben begann seit 2007 zuzunehmen und erreichte im Jahr 2021 sogar 6,8 (Abb. 63).



M3+ Earthquakes, Southern Part of Eastern Siberia

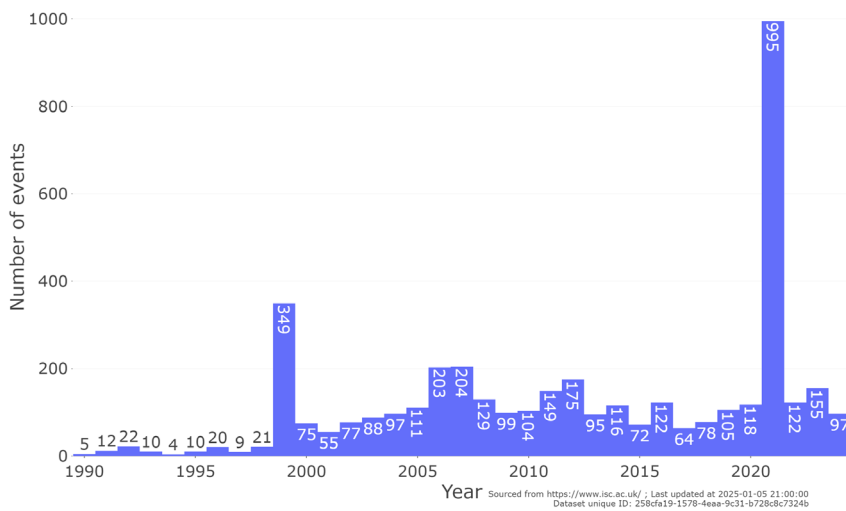


Abb. 62

Anzahl der Erdbeben M3+ im südlichen Teil Ostsibiriens.

Datenquelle: ISC-Datenbank

M3+ Earthquakes, Southern Part of Eastern Siberia

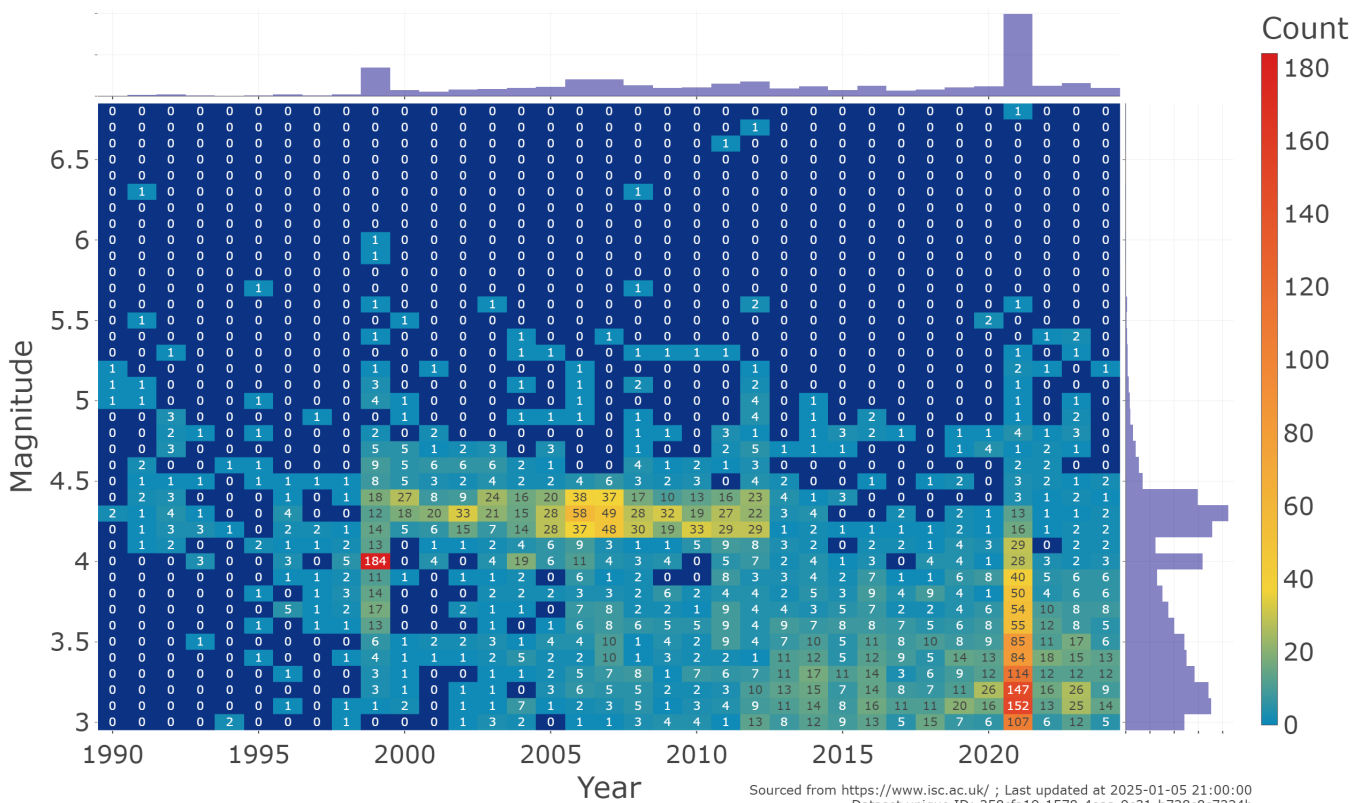


Abb. 63

Verteilung der Erdbeben nach Magnitude in dem ausgewählten Gebiet im südlichen Teil Ostsibiriens im Zeitraum von 1990 bis 2024.

Datenquelle: ISC-Datenbank

Erwähnenswert ist das Auftreten von Erdbeben im Erdmantel unter dem Sibirischen Kraton. Bereits 1998 wurde im Gebiet von Wiljui-Becken ein Erdbeben der Stärke 3,3 in einer Tiefe von 211 Kilometern registriert. Dieses Ereignis war überraschend, aber das Erdbeben mit signifikanter Stärke von 5,1 in der Tiefe von 627 Kilometern im Jahr 2003 war einzigartig (Abb. 64).

Schon das Auftreten von Tiefbeben-Seismizität unter dem stabilen kratonischen Block der Erdkruste ist ein außergewöhnliches Ereignis. Traditionell wird davon ausgegangen, dass solche Beben im Inneren des Erdmantels in so genannten Subduktionszonen auftreten, die nächstgelegene Subduktionszone befindet sich jedoch Tausende von Kilometern entfernt und kann dieses Gebiet nicht beeinflussen.

Die Autoren des Berichts sind der Meinung, dass die Tiefbeben Explosionen von enormer Stärke im Erdmantel sind, die durch Kontakt von mehr und weniger heißen Magmaströmen verursacht werden. Nach dem seismischen tomographischen Modell werden an der Stelle, an der beide Tiefbeben auftreten, Anomalien der seismischen Wellengeschwindigkeiten beobachtet, die relativ viskösen und flüssigeren Strömen entsprechen, was wahrscheinlich ihre Temperaturunterschiede widerspiegelt. Diese beiden Mantelbeben traten also an den Berührungspunkten relativ kalter und relativ heißer Mantelströme auf (Abb. 65), was große Energiefreisetzungen verursachte. Diese erzeugten wiederum akustische Wellen, die von seismischen Sensoren als Erdbeben aufgezeichnet wurden. Dies weist eindeutig auf eine erhebliche Aktivität der Mantelströme in diesem Gebiet hin.

Location of Deep Earthquakes in Siberia

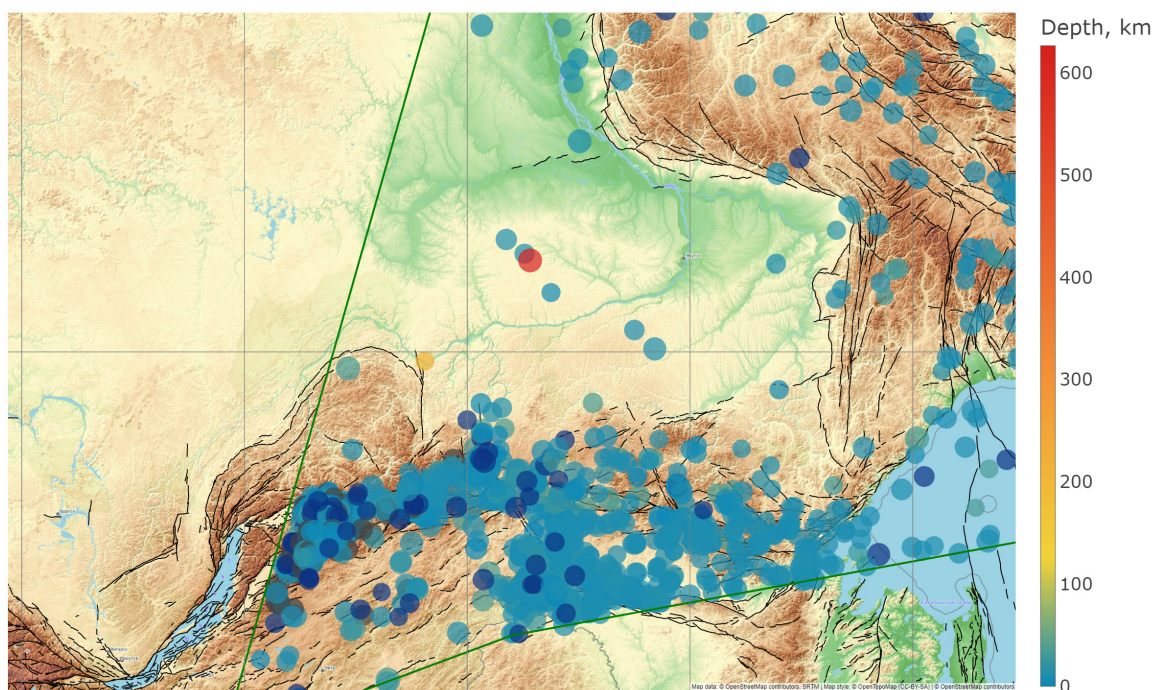


Abb. 64

Auf der Karte sind das Epizentrum des Tiefbebens mit Stärke 5,1 in der Tiefe von 627 km unter der Sibirischen Plattform im Jahr 2003 (rot) und das Epizentrum des Tiefbebens mit Stärke 3,3 in der Tiefe von 211 km (gelb) markiert.

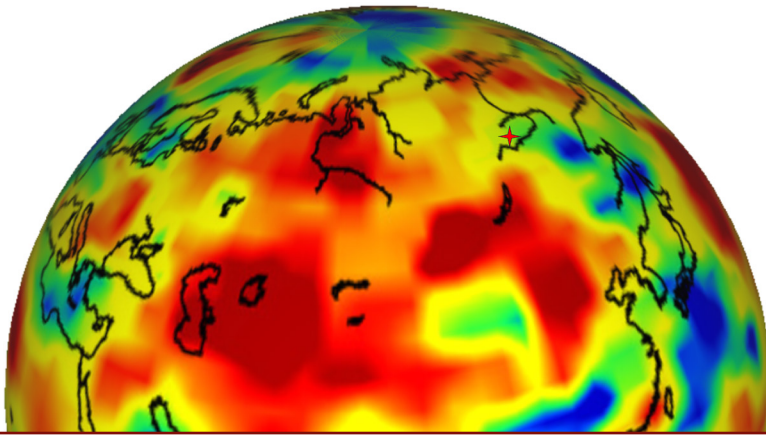


Abb. 65.

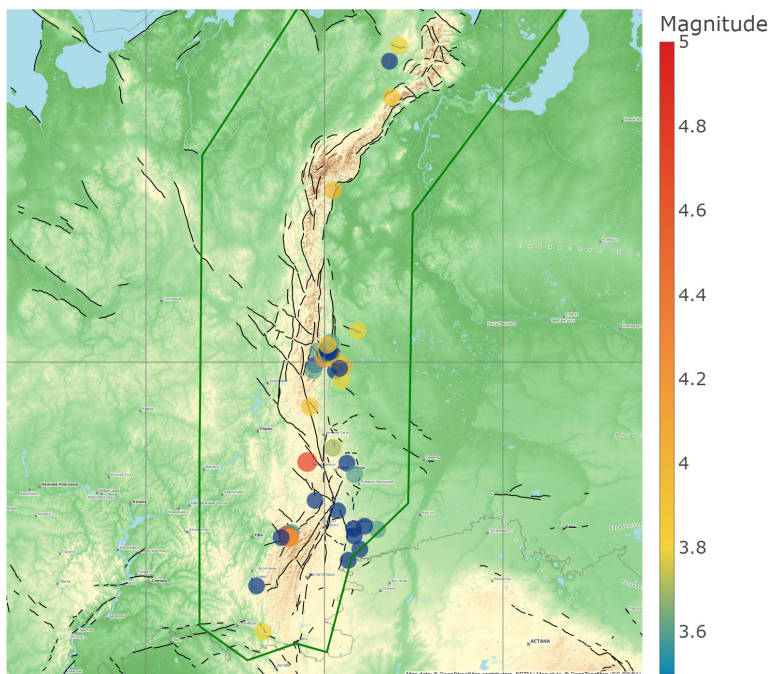
Zonen verminderter seismischer Wellengeschwindigkeiten im Erdmantel in einer Tiefe von etwa 600 km. Das Hypozentrum des Erdbebens von 2023 (M 5.1) fällt in die Kontaktzone zwischen relativ heißen und relativ kalten Erdmantel-Bereichen.

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

Die Oszillation der Randteile des Sibirischen Blocks führt zu einer Zunahme der seismischen Aktivität in der Uralregion. Die Daten für die Analyse wurden gefiltert, um seismische Ereignisse im Zusammenhang mit Bergbauaktivitäten auszuschließen, wobei nur Erdbeben mit Mag-

nituden von 3,5 und höher berücksichtigt wurden, um vom Menschen verursachte Ereignisse auszuschließen (Abb. 66, 67). Folglich spiegelt der beobachtete wellenförmige Anstieg der Seismizität natürliche Prozesse wider.

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

Abb. 66

Karte der Epizentren von Erdbeben M3,5+, die in der Uralregion im Zeitraum von 1990 bis 2022 aufgezeichnet wurden.

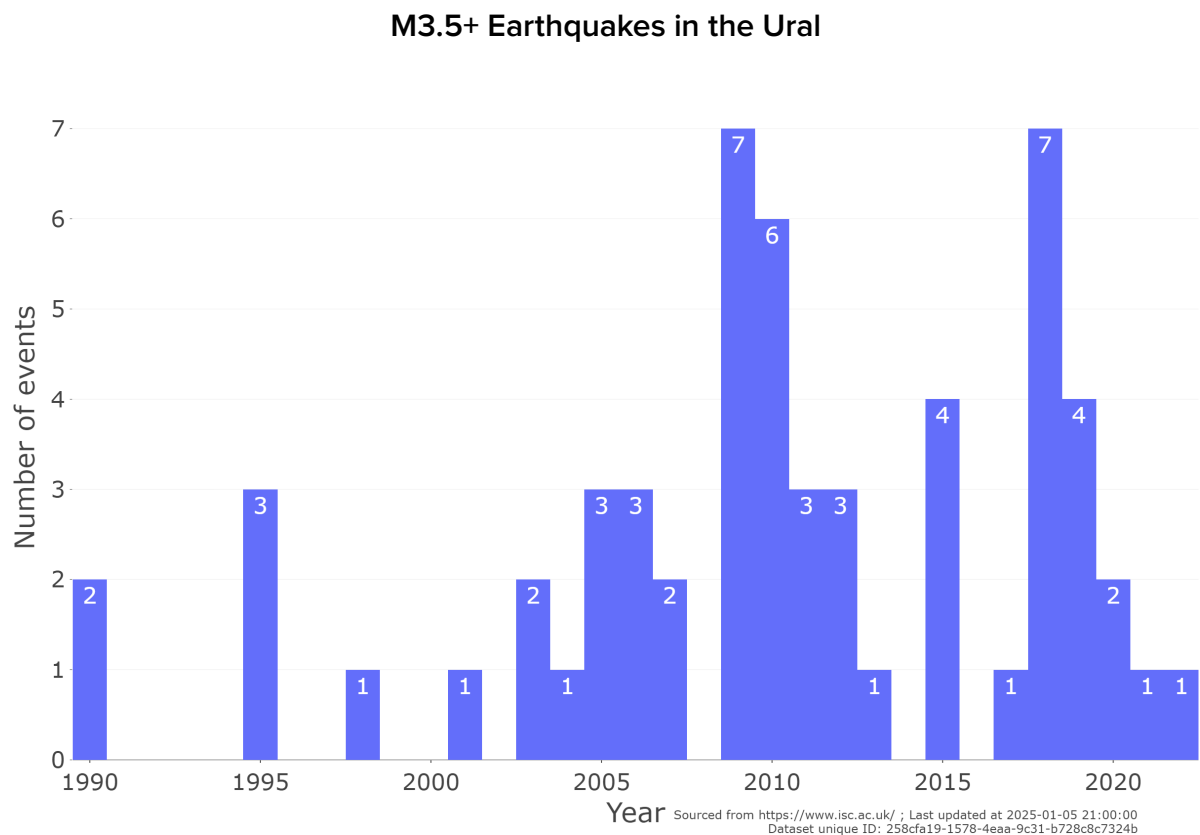


Abb. 67

Anzahl der in der Uralregion im Zeitraum von 1990 bis 2022 aufgezeichneten Erdbeben M3,5+.

Darüber hinaus sind in der Region Erdbeben mit Magnituden von 4,0 bis 5,0 aufgetreten, was ein weiterer Beweis für eine natürliche Zunahme der seismischen Aktivität ist (Abb. 68).

Der Anstieg der Seismizität in der Uralregion erfolgt nicht kontinuierlich, sondern wellenartig, was einem natürlichen Verhaltensmuster entspricht.

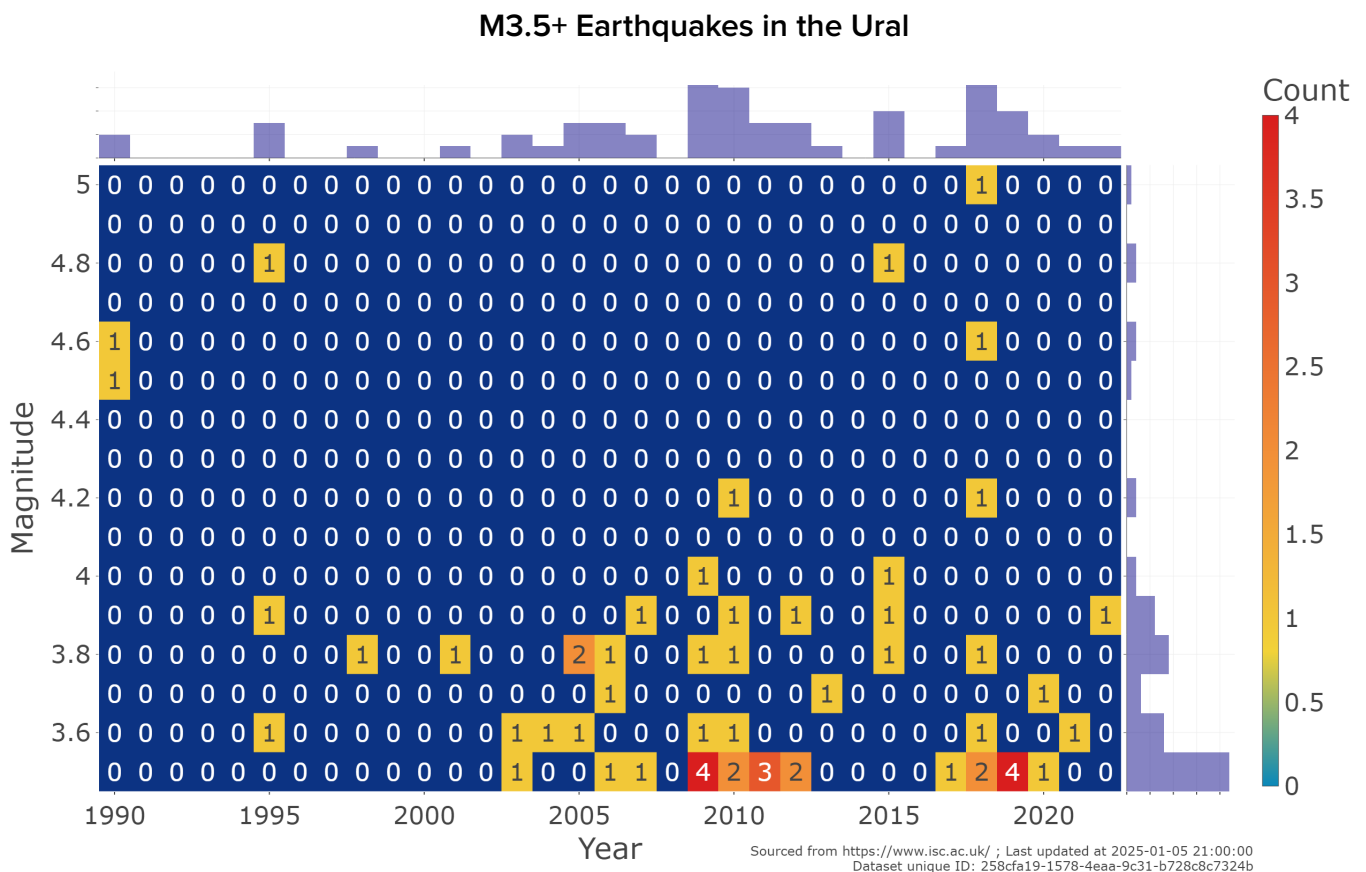


Abb. 68

Verteilung der in der Uralregion im Zeitraum von 1990 bis 2022 registrierten Erdbeben nach Magnitude.

Datenquelle: ISC-Datenbank.

Ein Diagramm (Abb. 69) veranschaulicht den Zeitpunkt der Spitzenwerte der seismischen Aktivität in verschiedenen Teilen des Gebiets des Sibirischen Plumes und seiner Peripherie. Im Jahr 2021 nahm die seismische Aktivität in allen untersuchten Regionen zu, mit Ausnahme des Urals. Die Grafik zeigt, dass die seismische Aktivität in allen Regionen stattfindet und in den letzten Jahren zunimmt. Der Anstieg der seismischen Aktivität tritt nicht gleichzeitig auf, sondern mit wellenartigen und "pulsierenden" Schüben in verschiedenen Regionen.

Gleichzeitig ist ein bestimmtes Muster zu beobachten, das der allmählichen Oszillation der Platte

von West nach Ost und von Nord nach Süd ähnelt.

Auch das Auftreten von Bränden an bestimmten Orten sollte berücksichtigt werden. Die Zunahme der von Bränden betroffenen Fläche in dieser Region deutet auf eine verstärkte Aktivität im Erdinneren hin, da Brände häufig in Verwerfungszonen entstehen, aus denen brennbare Gase entweichen. Diese Brände sind schwer zu löschen und breiten sich sehr schnell über große Gebiete aus. In der Uralregion ist seit 2020 eine starke Zunahme der Fläche natürlich entstandener Brände zu verzeichnen (Abb. 70). Die Grafik basiert auf Daten des Bundesforstamtes (Avialesookhrana).

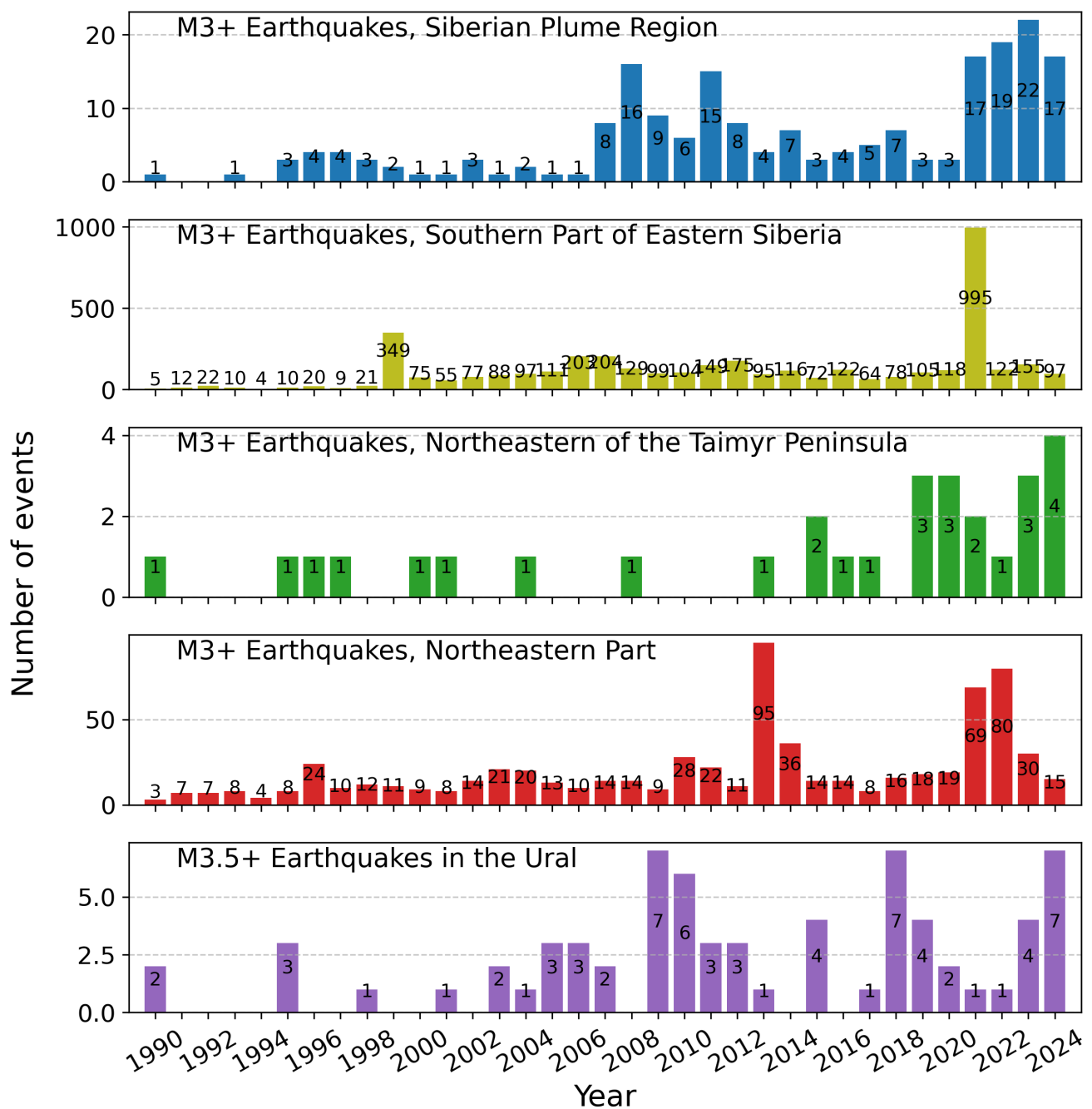
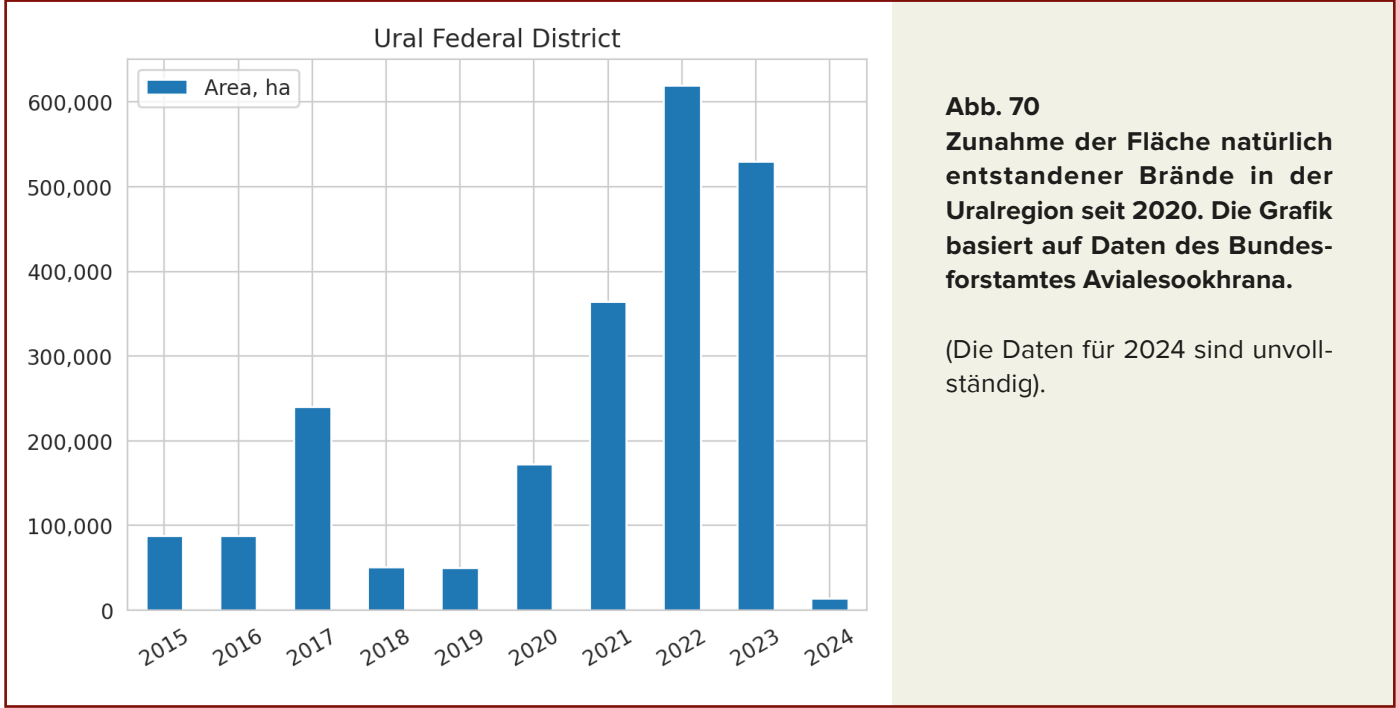


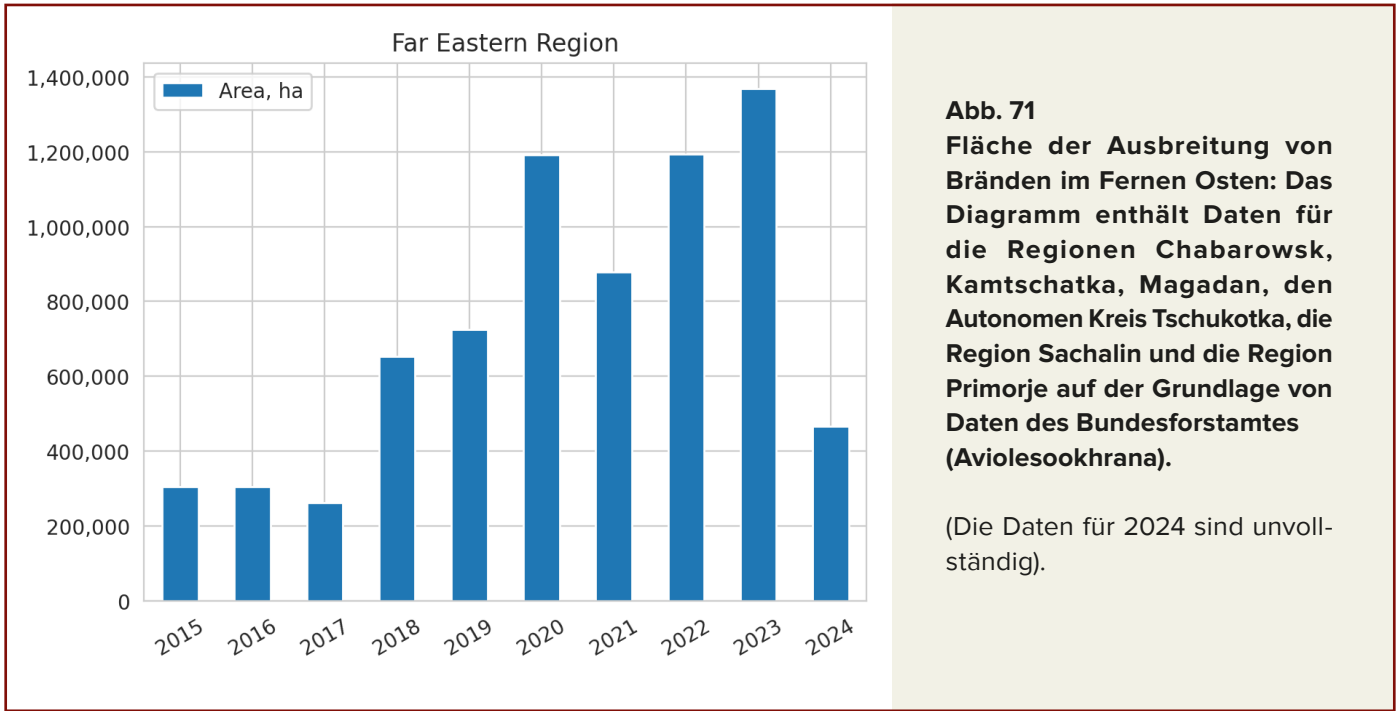
Abb. 69

Verteilung der Spitzen der seismischen Aktivität in der Region Werchojansk (östlich der Sibirischen Plattform), im südlichen Teil Ostsibiriens, in der Uralregion (westlich der Sibirischen Plattform) und in Zentralsibirien (einschließlich der Westsibirischen Platte und der Ostsibirischen Plattform) nach Jahren. Erdbeben M3+.

Datenquelle: ISC-Datenbank



Die von den Bränden im Föderationskreis Ferner Osten betroffene Fläche nimmt ebenfalls exponentiell zu, wie die Grafik (Abb. 71) deutlich veranschaulicht.

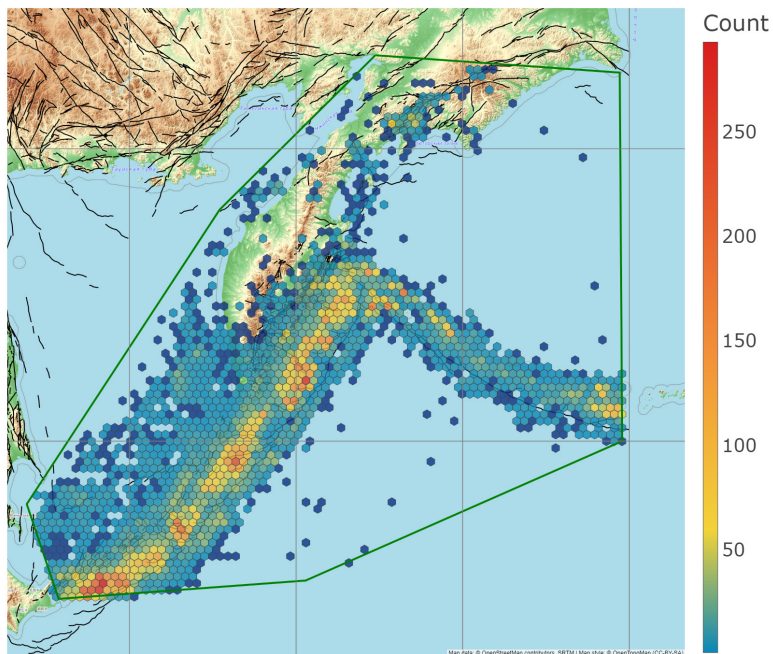


So treten ähnliche Prozesse der Zunahme der Brände auf der anderen Seite des Sibirischen und Fernöstlichen Krustenblöcke, an der Grenze zur Pazifischen Platte, auf.

Es wird angenommen, dass die Intrusion des Sibirischen Plumes auch die Region Kurilen-Kamtschatka als Abschlussgebiet eines kontinentalen Krustenblocks beeinträchtigt, der dem Druck des Plumes ausgesetzt ist. Eine Analyse seismischer Daten in der Region Kamtschatka

und den Kurilen zeigt eine deutliche Zunahme von Erdbeben mit Magnitude 4.0 und höher (Abb. 72, 73). Die Region ist Teil des Pazifischen Feuerrings (Abb. 74) und zeigt einen Trend zur Zunahme der Seismizität entsprechend den Tendenzen dieser tektonischen Struktur. Die meisten Spitzen der Seismizität sind jedoch unabhängig. Dies könnte darauf hindeuten, dass der Sibirische Plume seinen eigenen Einfluss auf die Region Kamtschatka und die Kurilen ausübt.

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

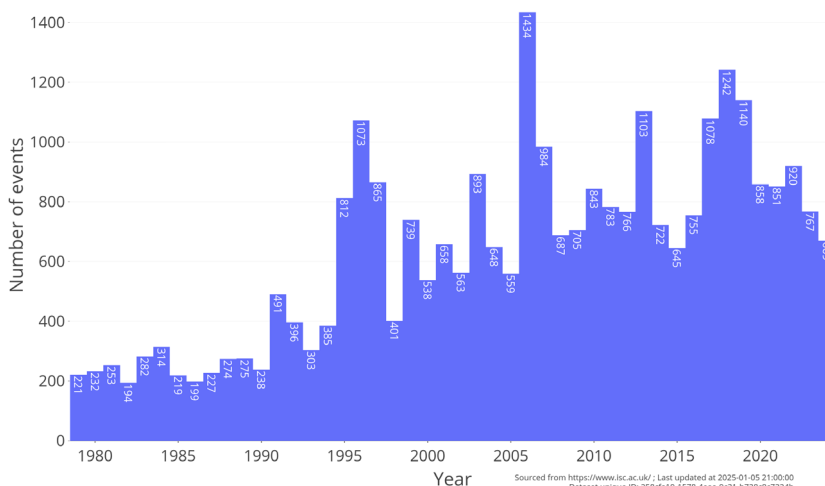


Sourced from <https://www.isc.ac.uk/> ; Last updated at 2025-01-05 21:00:00
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

Abb. 72
**Dichte der Erdbeben M4+
in der Region der Halbinsel
Kamtschatka und der Kurilen im
Zeitraum von 1979 bis 2024.**

Datenquelle: ISC-Datenbank

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

Abb. 73
**Zunahme der Zahl der Erdbeben
M4+ in der Region der Halbinsel
Kamtschatka und der Kurilen im
Zeitraum von 1979 bis 2024.**

Datenquelle: ISC-Datenbank

M4+ Earthquakes in the Ring of Fire 1979-2022

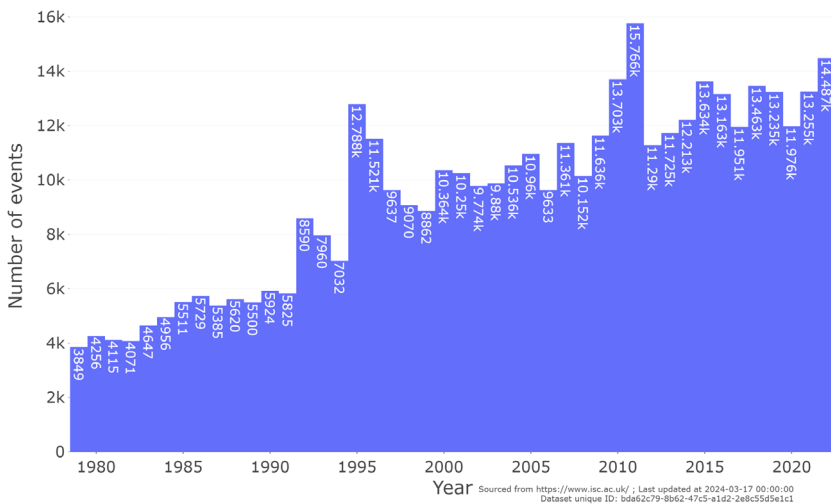


Abb. 74

Zunahme der Zahl der Erdbeben M4+ in der Region des Pazifischen Feuerrings im Zeitraum von 1979 bis 2022.

Datenquelle: ISC-Datenbank

Es ist erwähnenswert, dass auch die Tiefe der Erdbeben in der Region der Kurilen und Kamtschatka zunimmt (Abb. 75). Dies deutet darauf hin, dass die Interaktion zwischen den Lithosphärenplatten durch den Einfluss des Sibirischen Mantelplumes dynamischer wird. Es wird eine Zunahme der vulkanischen Aktivität in der Region der Kurilen und Kamtschatka erwartet, verbunden mit dem Auftreten von Ano-

malien beim schnellen Aufstieg von Magma aus der Tiefe und einer raschen Veränderung ihrer Zusammensetzung bei Vulkanausbrüchen hin zu mafischen Magmen. Eine solche Veränderung der Zusammensetzung zu der, wie sie in tieferen Magmaschichten vorkommt, zeigte der Vulkan Bezymianny während seines Ausbruchs 2017.⁴⁵

M4+ Earthquakes in the Kamchatka Peninsula and Kuril Islands

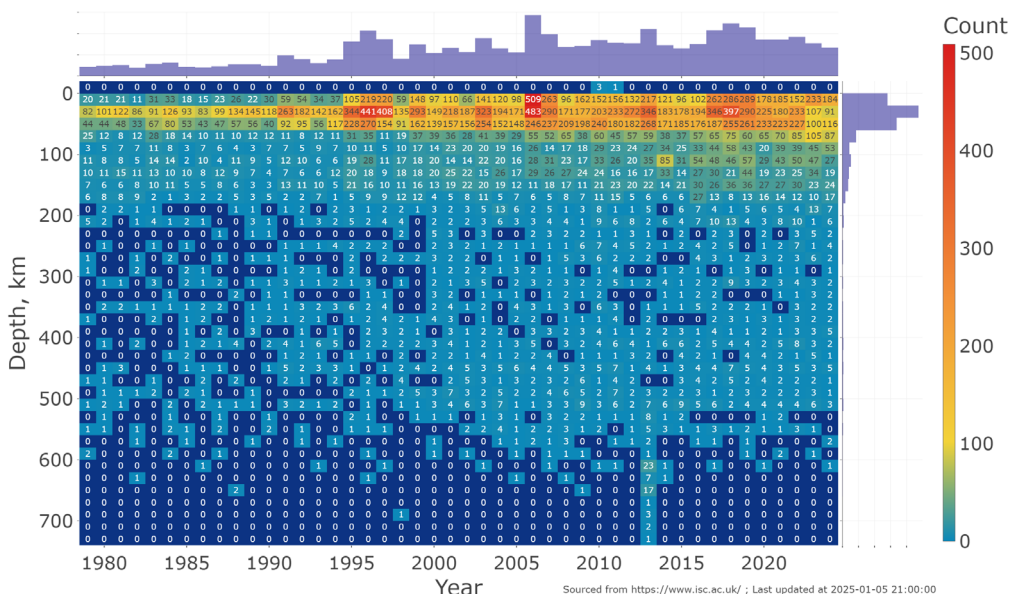


Abb. 75

Verteilung der Erdbeben M4+ nach Tiefe, die in dem ausgewählten Sektor der Region der Halbinsel Kamtschatka und der Kurilen im Zeitraum von 1979 bis 2024 aufgezeichnet wurden.

Datenquelle: ISC-Datenbank

⁴⁵V.O. Davydova, V.D. Shcherbakov, P.Yu. Plechov, I.Yu. Koulakov, 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, Volume 421, 2022, 107422, ISSN 0377-0273, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107422>

Die Zunahme der Seismizität, der Brände und der Anomalien der vulkanischen Aktivität sind die Randeffekte der Hebung des Sibirischen Krustenblocks, der dem Druck der Intrusion des Sibirischen Plumes ausgesetzt ist.

Der Anstieg der seismischen Aktivität nicht nur in Sibirien, sondern vor allem entlang der Ränder der Westsibirischen Platte und des Ostsibirischen Kratons deutet darauf hin, dass die Hebung der Platte aufgrund des Drucks des darunter liegenden Mantelplumes bereits begonnen hat. Dies deutet darauf hin, dass der Magmaplume einen erheblichen und weitreichenden Einfluss auf die Platte hat.

Traditionelle Modelle gingen davon aus, dass Mantelplumes, wenn sie aufsteigen und sich erhitzen, vor dem Magmadurchbruch eine signifikante Hebung

der Oberfläche von bis zu 2 km Höhe bewirken sollten. Es gibt keine geologischen Beweise für eine solch dramatische Hebung im Gebiet des Sibirischen Trapps, die durch die Intrusion des Magmaplumes vor 250 Millionen Jahren entstanden ist.

Anhand der Untersuchung von magmatischen Gesteinen aus dem Sibirischen Trapp haben Wissenschaftler aus Instituten in Russland, Deutschland und Frankreich festgestellt,⁴⁶ dass der Plume nicht als Blase aufstieg, sondern die Lithosphäre allmählich von unten erodierte (Abb. 76).

Als die Erosion an der Kontaktzone zwischen dem geschmolzenen Plumematerial und dem oberen Mantelgestein eine Tiefe von 50 Kilometern erreichte, begannen großflächige Lavaausbrüche und Eruptionen an der Oberfläche.

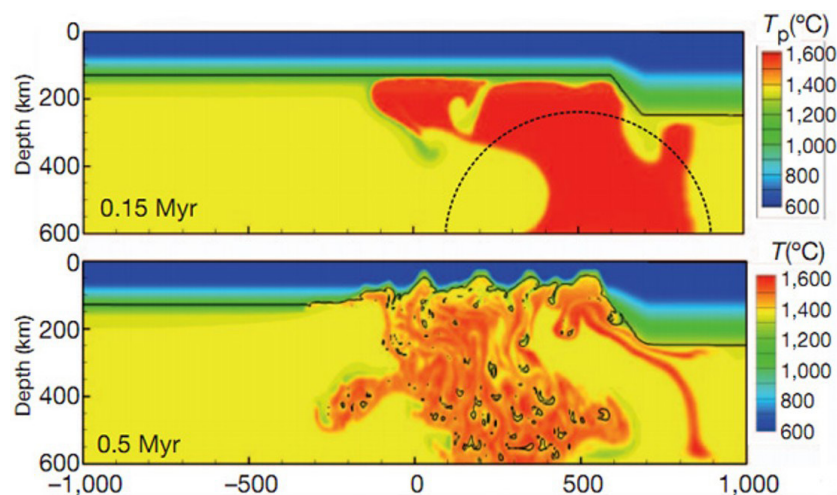


Abb. 76

Eine Rekonstruktion der ersten Phasen der Bildung des Sibirischen Trapps.

Die vertikale Achse zeigt die Tiefe (in km). Verschiedene Farben zeigen die Temperatur des Gesteins. Die anfängliche Position der Spitze des Mantelplumes ist durch einen gestrichelten Halbkreis dargestellt. Der Plume nähert sich der unteren Grenze der Lithosphäre - dargestellt als durchgehende schwarze Linie - und breitet sich unter ihr aus.

Unten: Der Kopf des Plumes hat sich durch Erosion (sichtbar sind Fragmente der Lithosphäre, die in das Erdinnere sinken) seinen Weg durch den oberen Mantel zur Erdkruste gebahnt. Dies entspricht dem Beginn der Hauptphase des Trapp-Magmatismus.

Quelle: 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.

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

Die heutige Aktivität des Plumes folgt wahrscheinlich demselben Mechanismus. Daher ist eine signifikante, lokal begrenzte Hebung der Oberfläche an einem einzigen Punkt, an dem der Plume kopf eindringt, nicht zu erwarten. Dieser Mechanismus schließt jedoch eine weitreichende regionale Hebung der gesamten Ostsibirischen Plattform um einen geringen Wert nicht aus. Nach tektonophysikalischen Modellierungen würde jedoch selbst eine solche geringe Hebung ausreichen, um Magma durchbrüche auszulösen, bei denen geschmol-

zenes Material unter hohem Druck freigesetzt wird und ein katastrophales Ereignis auslöst.

Das mutmaßliche Zentrum des Plume kopfes befindet sich in der Region nördlich des Putorana-Plateaus, etwa 225 km nordöstlich von Norilsk. Außerdem würden Durchbrüche die gesamte dünne Westsibirische Platte betreffen, wo sich alte Nahtstellen - Grabenbrüche und tiefe Verwerfungen in der Erdkruste - wahrscheinlich wieder öffnen werden.



Beweise für die Unvermeidbarkeit einer Eruption des Sibirischen Plumes

Das hohe derzeitige Risiko von Magmaeruptionen aus dem heutigen Sibirischen Plume ist auf die folgenden Bedingungen zurückzuführen:

In den letzten 30 Jahren hat die Erde eine allmähliche Zunahme geophysikalischer Anomalien erlebt, die eine direkte Folge äußerer Einwirkung sind, die die thermische Energie in der Nähe des Erdkerns verstärkt. Die derzeitige Situation unterscheidet sich jedoch erheblich von der vorangegangenen Periode. Ende 2024 trat der Planet in die Phase verstärkter energetischer Einwirkung auf seinen Kern ein. Den Berechnungen zufolge wird diese Einwirkung zum Jahr 2030 ihren Höhepunkt erreichen.

Ein entscheidender Faktor, der die Situation verschlimmert, ist die weltweite Verschmutzung des Ozeans durch anthropogene Einflüsse, darunter Kohlenwasserstoffe, Mikroplastik und Nanoplastik. Diese Verschmutzung hat die Wärmeleitfähigkeit des Ozeanwassers erheblich verändert und seine Fähigkeit beeinträchtigt, die Wärme aus dem Erdinneren effizient abzuleiten. Der Ozean, der in der Vergangenheit als der wichtigste Wärmeregulator des Planeten diente, hat einen größten Teil seiner wärmeleitenden Funktion verloren. Dies verursacht eine anomale Akkumulation von Wärmeenergie im Erdmantel, die dazu führt, dass der Erdmantel intensiver als je zuvor in der Erdgeschichte schmilzt.

Geophysikalische Untersuchungen deuten auf eine dramatische Zunahme von Tiefbeben hin, was ein direkter Indikator für eine aktive Mantelschmelze ist. Das geschmolzene Magma, dessen Volumen zunimmt, erzeugt einen enormen Druck auf die Erdkruste. Dieser Prozess ist mit dem Aufblasen eines Luftballons vergleichbar. Irgendwann wird der Druck die Festigkeit der Kruste übersteigen,

was zu einem Riss führen wird.

Die Region Sibiriens ist aufgrund ihrer einzigartigen geologischen Struktur besonders anfällig für diese Prozesse, da ausgerechnet hier ein mächtiger Mantelplume (ein aufsteigender Strom des geschmolzenen Mantelmaterials) sich seinen Weg nach oben bahnt. Dieser Plume wurde durch die Verschiebung des Erdkerns in diese Richtung in den Jahren 1997-1998 verursacht. Die zunehmenden Temperaturanomalien in Sibirien deuten darauf hin, dass das Magmavolumen unter dem Sibirischen Kraton weiterhin exponentiell ansteigt. Basierend auf geologischen Daten und aktuellen Beobachtungen kann man mit hoher Sicherheit behaupten, dass sich der Sibirische Plume in einer kritischen Phase der Eruptionsbereitschaft befindet.

Besonders besorgniserregend ist, dass gleichzeitig mit dem Sibirischen Plume eine kritische Situation im Bereich des Marianengrabens entsteht, dem tiefsten Punkt des Meeresbodens, wo die Kruste am dünnsten und am anfälligsten ist. Auch in dieser Region steigt flüssiges Magma auf, begleitet von einer deutlichen Zunahme der seismischen Aktivität. Es besteht die reale Gefahr, dass der Meeresboden hier aufbricht, was zur Zerstörung des Planeten führen kann.

Zwei mögliche Szenarien können sich entwickeln. Das erste betrifft die Eruption des Sibirischen Plumes, die aufgrund des zunehmenden Magmadrucks jederzeit erfolgen kann. Das zweite ist ein Durchbruch der Erdkruste im Marianengraben, der dem ersten Szenario - der Eruption des Plumes — vorausgehen könnte. Der Sibirische Plume wird nur dann nicht explodieren, wenn der Durchbruch des Marianengrabens zuerst eintritt.

Die geologische Geschichte des Mars zeigt uns die möglichen Folgen eines solchen Szenarios: Das Mariner-Grabensystem bleibt ein stummer Zeuge einer ähnlichen Katastrophe, als der Durchbruch eines Plumes am Meeresboden zu katastrophalen Folgen für den gesamten Planeten führte.

Nach Berechnungen, die die aktuellen Wachstumstrends der geophysikalischen Aktivität berücksichtigen, könnte der kritische Punkt des Durchbruchs im Marianengraben bis zum Jahr 2036 erreicht werden. Es ist jedoch wichtig zu wissen, dass dieser Zeitrahmen nur bedingt ist. Die Erdkruste in Sibirien könnte dem steigenden Druck schon viel früher nachgeben. Angesichts des derzeitigen Verlaufs der Ereignisse scheint ein Durchbruch des Sibirischen Plumes oder des Marianengrabens eine unvermeidliche Folge der tief im Erdinneren

stattfindenden Prozesse zu sein. Die einzige Ungewissheit liegt im genauen Zeitpunkt und Ort der Katastrophe, aber nicht in der Tatsache, dass sie sich nähert.

Betrachten wir drei mögliche Szenarien für die Entwicklung der Situation mit dem Sibirischen Plume. Das erste Szenario ist eine plötzliche, sofortige Eruption des Sibirischen Plumes. Das zweite Szenario ist eine allmähliche Eruption des Sibirischen Plumes. Dann werden langsame und allmähliche Lavaeruptionen in Sibirien stattfinden, ähnlich wie bei der Entstehung des Sibirischen Trapps. Das dritte Szenario ist die geplante kontrollierte Entgasung. Dies ist möglich, wenn die Menschheit die notwendigen Maßnahmen ergreift, um die sekundären Magmaherde des Sibirischen Plumes in der Erdkruste zu entgasen.

Szenario 1:

Plötzliche, sofortige Eruption des Sibirischen Plumes

Eine vergleichende Analyse historischer geologischer Ereignisse kann dazu dienen, die potenziellen Schäden eines plötzlichen Durchbruchs des Sibirischen Plumes abzuschätzen. Es ist jedoch zu bedenken, dass die gegenwärtigen Bedingungen auf der Erde - insbesondere das Zusammentreffen des intensivsten 24.000-Jahres-Zyklus mit der von Menschen verursachten Verschmutzung des wichtigsten Kühlsystems des Planeten - des Ozeans - beispiellos sind. Aus diesem Grund gilt ein plötzlicher Durchbruch des Sibirischen Plumes als das wahrscheinlichste Szenario, wenn die Menschheit keine Maßnahmen ergreift, um die Risiken zu mindern.

Um das Ausmaß von Vulkanausbrüchen zu beurteilen, wird das Volumen des ausgestoßenen

Materials herangezogen. So betrug zum Beispiel das Volumen des ausgeworfenen Magmas bei einem der stärksten Ausbrüche des Supervulkans Yellowstone vor 2,1 Millionen Jahren etwa 2.500 km³, wie aus der Untersuchung von Tuffablagerungen in Nordamerika hervorgeht.⁴⁷ Bei diesem Ausbruch wurden Asche und Gase bis in eine Höhe von 50 Kilometern geschleudert und erreichten die obere Grenze der Stratosphäre. Die Eruption war vom Ausmaß her vergleichbar mit dem Ausbruch des Supervulkans Toba auf der Insel Sumatra vor etwa 72.000-74.000 Jahren, der als die heftigste Eruption der letzten 25 Millionen Jahre gilt.

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/egz034>

Bei den Eruptionen des Sibirischen Trapps vor etwa 250 Millionen Jahren wurde nach verschiedenen Schätzungen ein Volumen von 3 bis 4 Millionen km³ an Lava und Tuff ausgeworfen⁴⁸ (Abb. 77). Das bedeutet, dass die Eruption des Sibirischen Trapps in Bezug auf das Volumen des ausgeworfenen Materials 1.000 Mal größer war als die heftigste Eruption der Yellowstone Caldera oder des Supervulkans Toba.

Angesichts des plötzlichen Charakters einer potenziellen Eruption des Sibirischen Plumes könnte seine Aktivierung also zu einer Eruption führen, die 1.000-mal stärker wäre als bekannte historische Ereignisse wie die Eruptionen des Yellowstone-Caldera oder des Supervulkans Toba.

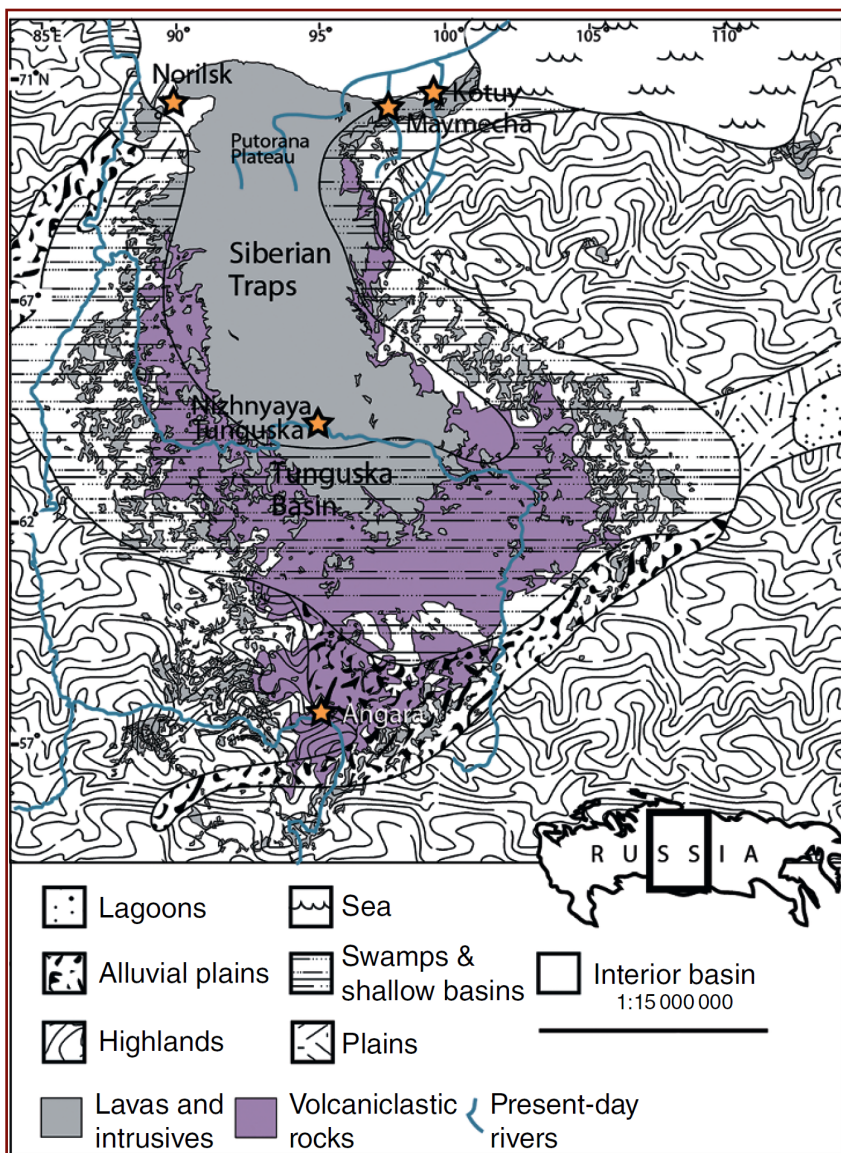


Abb. 77

Paläogeographische Karte des Sibirischen Trapps zeigt das Ausmaß der wichtigsten vulkanischen Ausläufer und die davon beeinflussten Regionen. Sie basiert auf Daten von Malich et al. (1974), Polozov et al. (2010) und Black et al. (2015), mit vereinfachter spärlicher Paläogeographie nach Czamanske et al.

Quelle: 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://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/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>

Es wird angenommen, dass ein plötzlicher Durchbruch des Sibirischen Plumes zu einer explosiven Eruption führen und eine einzige Caldera bilden würde. Nach dieser Hypothese würde die durch den Durchbruch des Sibirischen Plumes entstandene Caldera eine Fläche von etwa 75.000 km² mit einem Radius von etwa 150 km oder einer Größe von 380 km x 250 km einnehmen. Während der Eruption des Sibirischen Trapps vor 250 Millionen Jahren betrug die von Lava überschwemmte Fläche, wie in der Literatur dokumentiert ist,⁴⁹ zwischen 4 und 7 Millionen km².⁵⁰ Eine vergleichbare Flächengröße könnte bei diesem Ereignis betroffen sein.

Die Annahme, dass Lavaströme das Gefährlichste bei vulkanischen Phänomenen sind, ist falsch. In Wirklichkeit ist die Asche oft die Hauptursache für tödliche Folgen. Bei Supervulkanen, die sich durch eine hohe Explosivität auszeichnen, verwandelt sich ein erheblicher Teil des Magmas nicht in Lava. Stattdessen zersplittert es während der Explosion und erzeugt enorme Mengen feiner Vulkanasche — glühende Fragmente aus scharfen, gezackten Gesteinspartikeln, die sich in der Atmosphäre verteilen. Beim Einatmen dieser Asche bildet sich in der Lunge ein zementartiges Gemisch, das unweigerlich zum Tod führt.

Man schätzt, dass der Ausbreitungsradius der glühenden Asche bei einem Durchbruch des Sibirischen Plumes ca. 9.000 km betragen und eine Fläche von etwa 255 Millionen km² bedecken würde. Wenn man bedenkt, dass die Gesamtoberfläche der Erde etwas mehr als 510 Millionen km² beträgt, würde die von der Asche betroffene Zone, in der das Atmen unmöglich wäre, etwa die Hälfte des Planeten, also etwa 50 % der Erdoberfläche, umfassen.

Bei einem plötzlichen Durchbruch des Sibirischen Plumes ist also mit drei lebensbedrohlichen Einwirkungszone zu rechnen.

Die erste (zentrale) Einwirkungszone ist eine Region mit einem Radius von 150 km, mit dem Zentrum im nordwestlichen Teil des Putorana-Plateaus, wo sich die Caldera voraussichtlich bilden wird (Abb. 78). Diese Zone umfasst die Städte Norilsk, Dudinka und Talnakh in der Region Krasnojarsk. Innerhalb dieser Zone würde die Aktivierung des Plumes zur sofortigen Zerstörung aller Objekte durch eine Schockwelle und die glühend heiße pyroklastische Ströme während der Anfangsphase der Eruption führen.

Die zweite Einwirkungszone, die sich bis zu einem Radius von 1.500 km vom Zentrum erstreckt, ist das Gebiet, das von Lavaströmen und schwerem vulkanischem Material betroffen sein wird (Abb. 79). Diese Zone würde weite Teile Nordsibiriens umfassen, darunter den Autonomen Kreis der Jamal-Nenzen, die Taimyr-Halbinsel, Teile des Autonomen Kreises der Chanten und Mansen, die nördliche Region Krasnojarsk, Westjakutien und den nordöstlichen europäischen Teil Russlands. Zu den größeren Städten in diesem Radius gehören Igarka, Nowy Urengoi, Nadym, Salekhard, Vorkuta, Naryn-Mar, Mirny, Kogalym, Lesosibirsk, Surgut, Krasnojarsk, Chanty-Mansijsk, Tomsk und Nischnewartowsk.

In den ersten Stunden des Ausbruchs wird dieses Gebiet den sich schnell bewegenden Strömen von heißem Gas, Asche und Lava ausgesetzt sein (bis zu 700 km/h). Diese Ströme werden alles Leben zerstören, das Gebiet mit einer mächtigen Schicht vulkanischer Materialien bedecken und Städte und natürliche Ressourcen unter sich begraben.

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

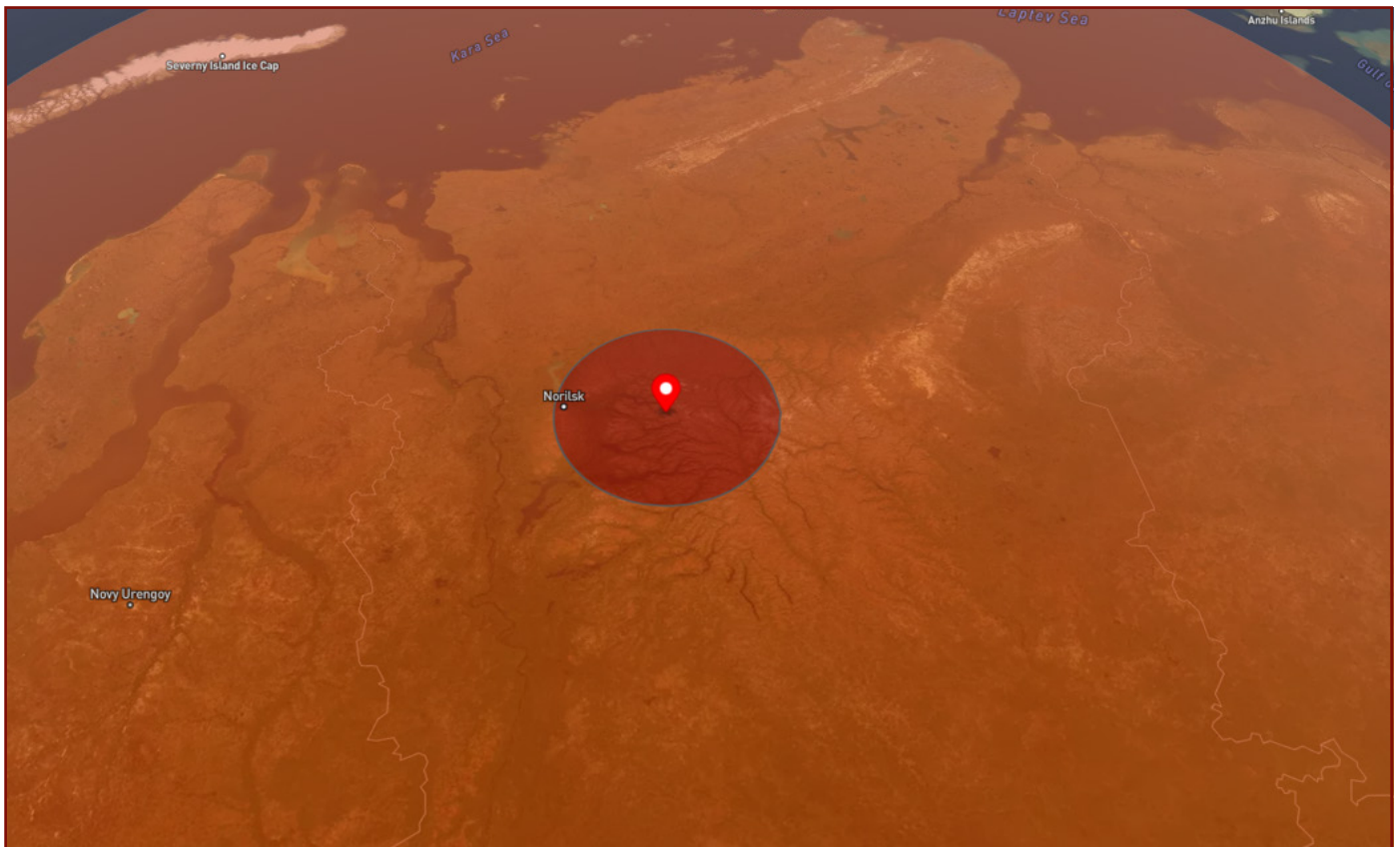


Abb. 78

Die Zone der Calderabildung ist in Rot dargestellt, mit einem ungefähren Radius von 150 km.

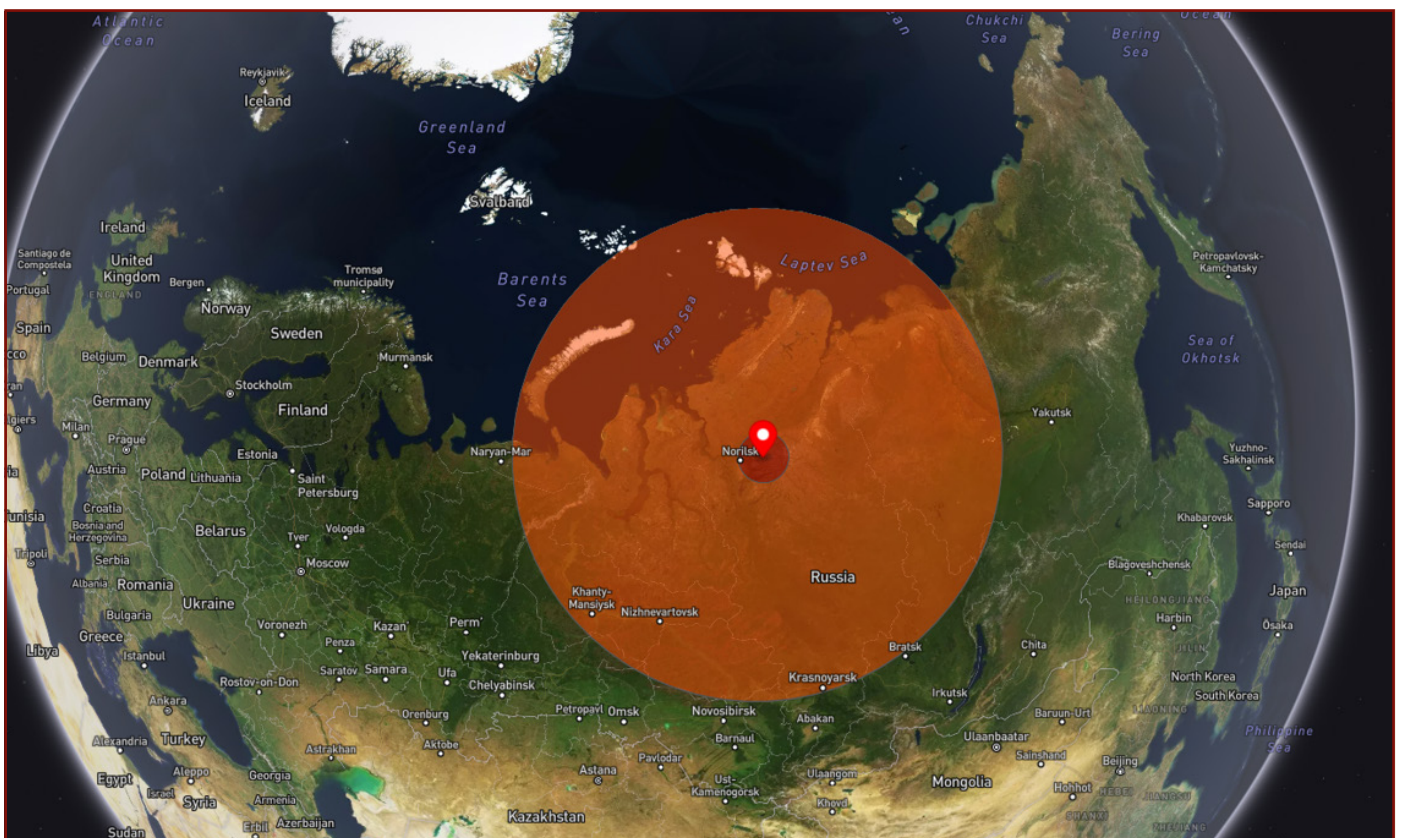


Abb. 79

Die Zone des Lavastroms und des schweren pyroklastischen Niederschlags ist in Orange dargestellt, mit einem ungefähren Radius von 1.500 km

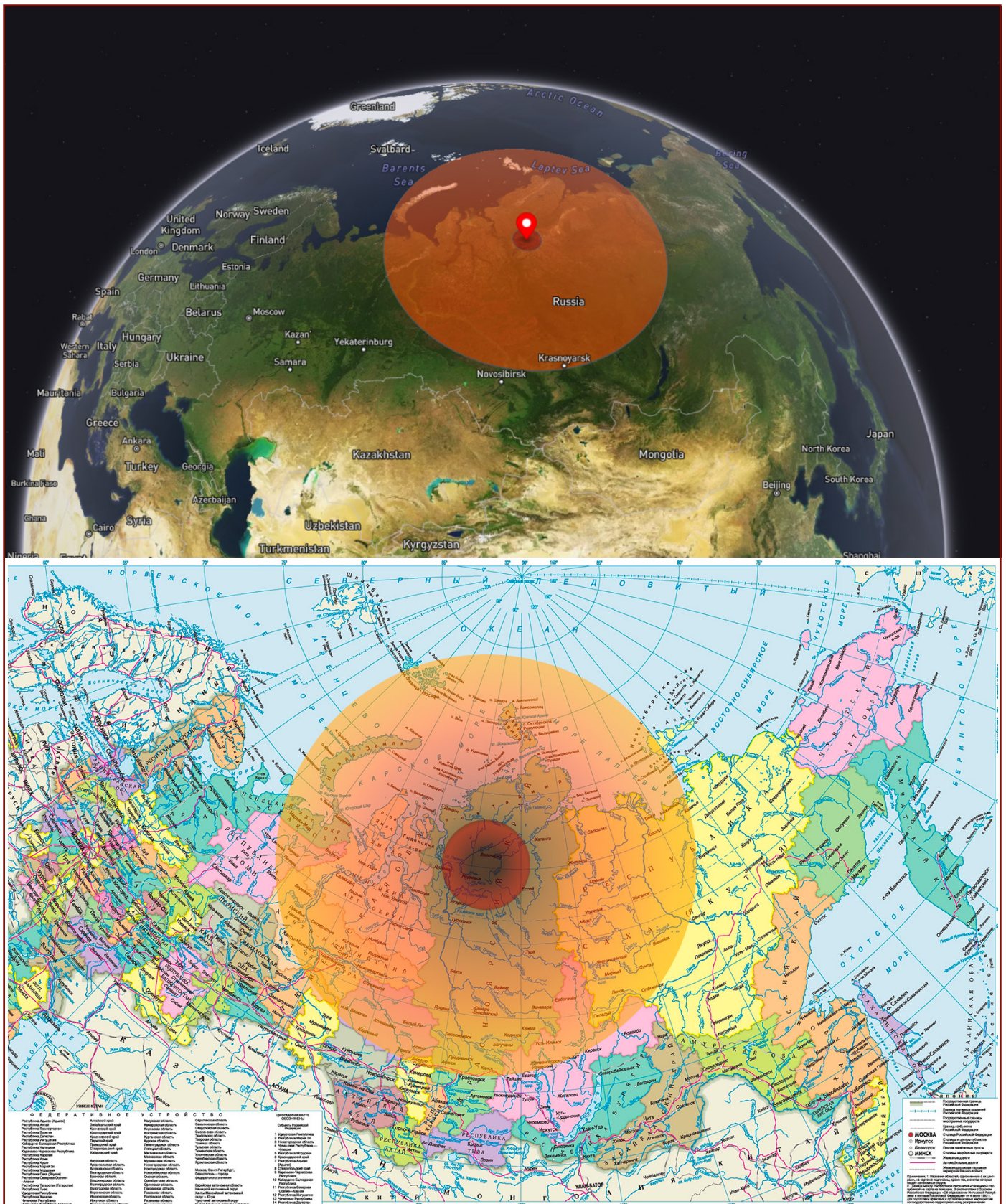


Abb. 79
 Die Zone des Lavastroms und des schweren pyroklastischen Niederschlags ist in Orange dargestellt, mit einem ungefähren Radius von 1.500 km

Die dritte Einwirkungszone mit einem Radius von etwa 9.000 km beinhaltet das Ausbreitungsgebiet von feinem pyroklastischem Material und vulkanischer Asche und umfasst etwa 50 % der Erdoberfläche (Abb. 80).

In der Anfangsphase (die ersten 24 Stunden nach dem Ausbruch) wird sich die Ausbreitung

der Vulkanasche vor allem auf die Gebiete der Russischen Föderation, des Kontinentalasien, Europas, der Arabischen Halbinsel, des nördlichen Teils des afrikanischen Kontinents und Nordamerikas erstrecken. In den darauffolgenden 7-10 Tagen werden sich die Aschemassen voraussichtlich auf den australischen Kontinent, Südamerika und die Antarktis ausbreiten.

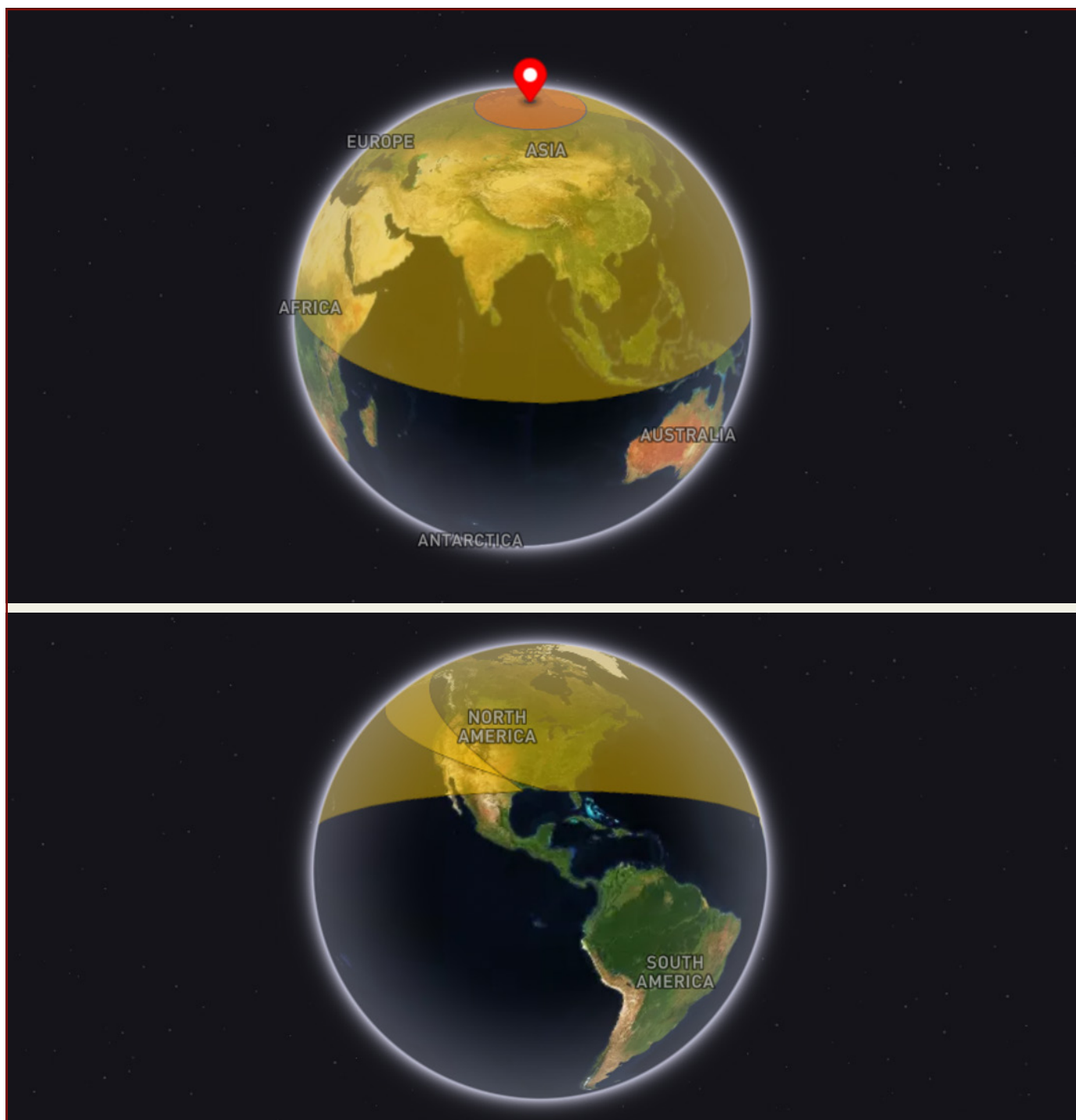


Abb. 80

Das Ausbreitungsgebiet der feinen Vulkanasche ist in Gelb dargestellt, mit einem ungefähren Radius von 9.000 km



Abb. 80

Das Ausbreitungsgebiet der feinen Vulkanasche ist in Gelb dargestellt, mit einem ungefähren Radius von 9.000 km

Aktivierung des Sibirischen Plumes eine Reihe weiterer katastrophaler Phänomene auslösen wird. Es kann zur Entstehung einer gewaltigen Schockwelle, dem Auftreten starker Erdbeben (mit einer Stärke von etwa 10), der Entstehung zerstörerischer Tsunamis und voraussichtlich zum Erwachen anderer großer Vulkansysteme auf der Erde führen. Die bei der Eruption freigesetzte Energie kann eine Kettenreaktion auslösen, die Supervulkane und große Vulkangebiete

auf dem gesamten Planeten aktiviert. Diese Schlussfolgerungen beruhen auf mathematischen Berechnungen der Energieprozesse und ihrer Auswirkungen auf die Erdkruste.

Als Nächstes werden wir weitere Risikofaktoren betrachten, die die Menschheit infolge des plötzlichen Durchbruchs des Sibirischen Plumes bedrohen.

Schockwelle

Öffentlich zugänglichen Daten zufolge kann ein Ausbruch des Supervulkans Yellowstone eine Energie freisetzen, die etwa 900.000 Megatonnen entspricht, und ein Erdbeben der Stärke 11,2 auslösen. Da die Magnitudenskala logarithmisch ist (jede Erhöhung um eine ganze Zahl entspricht einem 32-fachen Anstieg der Energie), kann ein Ausbruch des Sibirischen Plumes, der schätzungsweise 1.000-mal stärker als der Yellowstone-Ausbruch sein würde, ein Erdbeben mit einer Stärke von 13,2 auslösen. Dies wäre 350.000 Mal stärker als das stärkste jemals aufgezeichnete Erdbeben — Großes-Chile-Erdbeben (Stärke 9,5, im Jahr 1960) — und würde den Auswirkungen einer Kollision mit großem Asteroiden gleichkommen.

Die freigesetzte Energie in der Größenordnung von 10^{24} Joule wird eine ungeheuer starke Schockwelle von globalem Ausmaß erzeugen. Im Zentrum der Eruption wird der Druck dermaßen hoch sein, dass die Gesteine verdampfen und in die obere Atmosphäre geschleudert werden. Eine Überschall-Stoßwelle wird innerhalb von Minuten Gebiete in Tausenden von Kilometern

Entfernung verwüsten, ähnlich wie beim Tunguska-Meteoriteneinschlag, nur viel stärker.

In der sibirischen Taiga werden gewaltige Brände ausbrechen und riesige Gebiete unter einer dicken Schicht vulkanischer Asche begraben. Der Permafrost wird über Tausende von Kilometern schnell schmelzen und dabei erhebliche Mengen an Treibhausgasen freisetzen. Die Landschaft wird durch die Aktivierung von Verwerfungen in der Erdkruste weitgehend zerstört werden. Seismische Wellen werden sich über den gesamten Planeten ausbreiten und weitere Erdbeben der Stärke über 10 auslösen.

Im Arktischen Ozean werden sich riesige, Hunderte von Metern hohe Tsunamis bilden, die die Küsten von Russland, Kanada, Grönland und Skandinavien bedrohen werden. Sekundäre Tsunamis werden die Küsten von Indonesien, Japan, Australien sowie Nord- und Südamerika treffen. Globale atmosphärische Störungen werden zur Bildung von Mega-Wirbelstürmen und zu starken Stürmen führen.

Aktivierung von Supervulkanen und vulkanischen Systemen

Die seismischen Wellen der Eruption des Sibirischen Plumes werden sich nicht nur in der Atmosphäre und an der Erdoberfläche, sondern auch tief im Erdmantel ausbreiten. Da alle Supervulkane durch die geschmolzenen Schichten des Erdmantels miteinander verbunden sind, dürften seismische Wellen dieser Größenordnung innerhalb der ersten 24 Stunden eine Kettenreaktion von Ausbrüchen

anderer Supervulkane auslösen (Abb. 81). Zu den größten Vulkansystemen, die wahrscheinlich aktiv werden, gehören die Yellowstone- und Long-Valley-Calderas (Nordamerika), die Phlegräischen Felder (Apenninhalbinsel), Toba (Sunda-Archipel), die Aira-Caldera (japanische Inseln) und der Taupo-Vulkankomplex (Neuseeland).

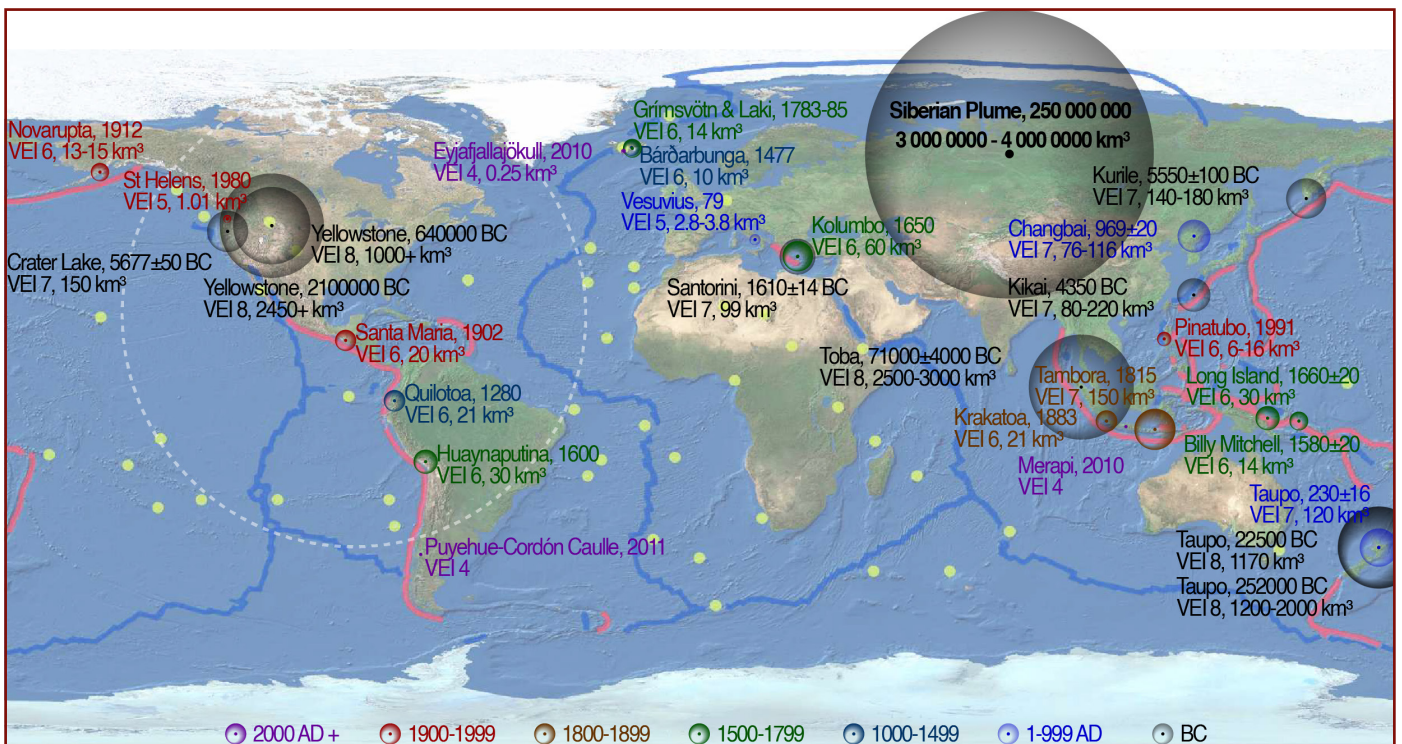


Abb. 81

Die Karte zeigt die globale Verteilung der größten Vulkanausbrüche, geordnet nach geologischen Zeiträumen vom Präkambrium bis zur Gegenwart.

Die Größe der Symbole ist proportional zum Volumen des ausgeworfenen Materials (in km^3). Die Karte veranschaulicht die chronologische Abfolge von Eruptionen mit einem Vulkanexplosivitätsindex (VEI) von ≥ 4 , wobei Ereignisse wie Toba (71.000 ± 4.000 v. Chr., $2.500-3.000 \text{ km}^3$), Yellowstone (640.000 v. Chr., $>1.000 \text{ km}^3$) und Tambora (1815 n. Chr., 150 km^3) im Vordergrund stehen. Vergleichbare Eruptionen werden erwartet, wenn der Sibirische Plume durchbricht, mit einem geschätzten Ausstoß von $3-4$ Millionen km^3 . Die roten Linien zeigen die tektonischen Plattengrenzen an und veranschaulichen die räumliche Korrelation mit den Orten der großen Eruptionen.

Neben den Supervulkanen werden wahrscheinlich auch viele Vulkane entlang des Pazifischen Feuerrings und anderer seismisch aktiven Zonen ausbrechen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden Vulkane wie der Fuji (Japan), der Krakatoa und der Merapi (Indonesien), der Vesuv und der Ätna (Italien), der Popocatepetl (Mexiko), Vulkangruppen auf Kamtschatka, in den Anden und in den Vulkangürteln Alaskas sowie subglaziale Vulkansysteme in der Westantarktis erneut aktiv.

Auch ruhende vulkanische Strukturen können reaktiviert werden, darunter die Stratovulkane Ararat (Anatolische Hochebene), Kilimandscharo und Nyiragongo (Ostafrikanisches Grabensystem), das Elbrus-Vulkanmassiv (Kaukasusregion), der Laacher See-Vulkan (Mitteleuropa) und vulkanische Zentren auf der Arabischen Halbinsel.

Saurer Regen

Die katastrophale Freisetzung von Vulkanasche und Schwefeldioxid während des Ausbruchs wird dazu führen, dass die Niederschläge weltweit die Form von saurem Regen annehmen. Zur Veranschaulichung des Ausmaßes der Emissionen sei auf den Ausbruch des Supervulkans Yellowstone vor 630.000 Jahren verwiesen, bei dem etwa 500 Megatonnen Schwefeldioxid in die Atmosphäre gelangten. Wenn man dies auf den hypothetischen Ausbruch des Sibirischen Plumes hochrechnet, könnten die Emissionen schätzungsweise 1.500.000 Megatonnen ($1,5 \times 10^{12}$ Tonnen) Schwefeldioxid erreichen - etwa das Millionenfache der Emissionen des Tambora im Jahr 1815, der das „Jahr ohne Sommer“ verursachte. Dabei ist zu beachten, dass diese Schätzung nicht die Emissionen anderer Vulkane berücksichtigt, die in einer Kettenreaktion aktiviert werden könnten.

Eine solche Schwefeldioxidkonzentration wird zur Bildung von Aerosolpartikeln in der Stratosphäre führen, die über Jahrzehnte hinweg allmählich als saurer Regen aus der Atmosphäre ausgewaschen werden. Die Hauptperiode der sauren Niederschläge wird je nach klimatischen Prozessen und der Zirkulation von Stoffen in der Atmosphäre voraussichtlich zwischen 3 und 10 Jahren betragen. Regionen, die sich näher am Epizentrum solcher Emissionen befinden, beispielsweise im heutigen Sibirien, werden von Niederschlägen mit einem pH-Wert von weniger als 1,5 betroffen sein, was mit verdünnter Schwefelsäure vergleichbar ist.

Dies würde zur Zerstörung der Vegetation, einschließlich Wurzeln, Blättern und Ästen, und zur Auslaugung von Mineralien aus dem Boden führen, so dass dieser für die Erhaltung von Leben ungeeignet wird. Auch die Wasserökosysteme werden stark versauern. Die Gewässer werden sich in giftige saure Seen mit einem pH-Wert von 2-3 verwandeln. Diese Bedingungen wären für die meisten Lebensformen tödlich.

Darüber hinaus wird die Säure, die in die Wasserleitungen gelangt, das Trinkwasser ohne komplizierte Filtration unbrauchbar machen. Infrastrukturen aus Zement, Marmor und Metall werden einer beschleunigten Korrosion durch Sulfatverbindungen ausgesetzt.

Während die höchste Intensität des sauren Regens in den ersten Monaten nach dem Ausbruch auftreten wird, werden sich die Niederschläge allmählich auf bestimmte Regionen beschränken. Mit dem Einsetzen des vulkanischen Winters wird ein Großteil der Niederschläge in Schnee übergehen, was die unmittelbare Säurebelastung der Ökosysteme verringern wird. Zu diesem Zeitpunkt wird die durch den sauren Regen verursachte globale Vernichtung von Flora und Fauna jedoch bereits irreversibel sein.

Die Schädigung der Ökosysteme wird tiefgreifende Auswirkungen auf natürliche und menschliche Prozesse haben, lange bevor die globale Abkühlung einsetzt.

Vulkanischer Winter

Die kumulativen Auswirkungen des Durchbruchs des Sibirischen Plumes, verstärkt durch die gleichzeitige Aktivierung zahlreicher Vulkane, werden zu einer katastrophalen Veränderung der globalen klimatischen und ökologischen Bedingungen führen. Massive Emissionen von Vulkanasche, Gasen (insbesondere Schwefeldioxid (SO_2)) und Aerosolen in die Atmosphäre werden für Jahrzehnte eine undurchdringliche Barriere für die Sonneneinstrahlung bilden.

Hohe Konzentrationen von Sulfataerosolen in der Stratosphäre werden den größten Teil der Sonnenstrahlung reflektieren, was zu einer Störung der Energiebilanz des Planeten führen wird. Man erwartet einen starken Rückgang der Wärmezufuhr und damit eine extreme Abkühlung des Klimas — ein Zustand, den man als „hypervulkanischen Winter“ beschreiben kann. Infolge solcher Prozesse wird sich die Erde in eine „Eiskugel“ verwandeln, auf der die Bedingungen für den Erhalt von Leben nur in begrenzten Regionen, hauptsächlich in der Äquatorzone, erhalten bleiben.

Die Schätzungen der potenziellen Auswirkungen beruhen auf historischen Aufzeichnungen bedeutender Eruptionen. Während des stärksten Ausbruchs des Yellowstone vor 2,1 Millionen Jahren sank beispielsweise die globale Temperatur um durchschnittlich 3-5 °C. Berechnungen zufolge wird während des Ausbruchs des Sibirischen Plumes, dessen Ausmaß um ein Vielfaches größer ist als das erwähnte Ereignis, die Durchschnittstemperatur auf der Erde um ca. 24-31 °C sinken.

In den Polarregionen werden die Temperaturen voraussichtlich um 28–36 °C oder mehr sinken, was zum vollständigen Gefrieren wichtiger Gewässer, darunter des Nordatlantiks und großer Teile des Pazifischen Ozeans, führen wird. In den mittleren

Breiten wird es zu einem Temperaturabfall von 24–31 °C kommen, der die gesamte Vegetation zerstören und ein Massensterben der Organismen verursachen wird.

Die Ökosysteme der Ozeane werden drastisch zerstört werden. Das Gefrieren beginnt an der Oberfläche und an den Küstenabschnitten der Ozeane und verursacht das Aussterben der Meereslebewesen auf globaler Ebene. In den Äquatorregionen werden die Temperaturen um 20–27 °C sinken, wodurch selbst tropische Zonen zu kalt für jedes Leben sein werden.

Aufgrund der globalen Kälte, der Dunkelheit und der Einstellung der Photosynthese wird praktisch die gesamte Landoberfläche unfruchtbar sein. Die Nahrungsketten werden zerstört, was zum Zusammenbruch der Landwirtschaft und zum Massenaussterben von Flora und Fauna sowie eines Großteils der Menschheit führen wird. Nur einzelne mikrobielle Ökosysteme, die an extreme Bedingungen angepasst sind, werden erhalten bleiben.

Sulfataerosole, die sich lange in der Stratosphäre befinden, werden das Sonnenlicht noch mehrere Jahrzehnte lang blockieren. Die Auswirkungen eines „hypervulkanischen Winters“ werden jedoch noch viel länger andauern. Selbst nachdem sich die Asche und die Aerosole abgesetzt haben, wird es Hunderte oder gar Tausende von Jahren dauern, bis der Planet sein natürliches klimatisches und ökologisches Gleichgewicht angesichts der gefrorenen Ozeane, der Vergletscherung und der radikalen Veränderungen in der Biosphäre wiedererlangt hat.

Schlussfolgerungen zu Szenario 1: Plötzliche Eruption des Sibirischen Plumes

Eine plötzliche Eruption des Sibirischen Plumes wird ein katastrophales geologisches und klimatisches Ereignis sein, das globale Veränderungen in der Atmosphäre, der Hydrosphäre und der Biosphäre verursacht. Eine starke Explosion auf dem Putorana-Plateau wird sofort alles in einem Umkreis von 150 Kilometern zerstören und eine riesige Caldera bilden, während pyroklastische Ströme und Lavaströme einen Radius von 1.500 Kilometern abdecken und Sibirien in eine ausgebrannte Wüste verwandeln werden. Die Hälfte der Oberfläche des Planeten wird von einer Ascheschicht bedeckt sein.

Ein Erdbeben mit einer Stärke von bis zu 13,2, das durch die Plume-Explosion ausgelöst wird, wird zerstörerische seismische Wellen erzeugen, die sich über den gesamten Planeten ausbreiten und Verwerfungslinien aktivieren, Sekundärbeben und Megatsunamis mit einer Höhe von Hunderten von Metern auslösen, die die Küstengebiete der Kontinente überfluten werden.

Emissionen von 1,5 Millionen Megatonnen Schwefeldioxid (SO_2) werden sauren Regen mit einem pH-Wert unter 1,5 verursachen und Böden, Vegetation und Wasserökosysteme zerstören. Die Gewässer werden unbewohnbar und der Boden wird rasch seine Fruchtbarkeit verlieren. Der Zusammenbruch

der Photosynthese und der Nahrungsketten wird zu einem Massenaussterben von Flora und Fauna und damit auch der menschlichen Zivilisation führen.

Die massenhafte Aktivierung von Supervulkanen, darunter Yellowstone, Campi Flegrei und Toba, wird den globalen Klimawandel durch noch mehr Emissionen von Vulkanasche, Schwefeldioxid (SO_2) und Aerosolen verschärfen. Ihre Akkumulation in der Stratosphäre wird das Sonnenlicht blockieren, was zu einer Abkühlung des Planeten (einem „hypervulkanischen Winter“) und einem Temperaturabfall von Dutzenden Graden führen wird. Die Temperaturen werden in den Polarregionen um 28-36 °C, in den gemäßigten Regionen um 24-31 °C und in den Tropen um 20-27 °C sinken, wodurch die Ozeane gefrieren, die Ozeanzirkulationen zum Erliegen kommen, die Ökosysteme zusammenbrechen und an Land riesige Gletscher entstehen werden.

Die Auswirkungen eines „hypervulkanischen Winters“ werden die Erde praktisch unbewohnbar machen und die Wiederherstellung der natürlichen Bedingungen wird Tausende bis Millionen von Jahren dauern. Dieses Ereignis wird das größte Aussterbeereignis in der geologischen Geschichte des Planeten sein.

Szenario 2:

Allmähliche Eruption des Sibirischen Plumes

Das zweite Szenario des Durchbruchs des Sibirischen Plumes geht nicht von einer plötzlichen Explosion aus, sondern von einer allmählichen Serie von Eruptionen von Gasen und Lavaströmen durch Verwerfungen und geschwächte Zonen der Erdkruste. Dieser Prozess kann mit der Bildung des Sibirischen Trapps verglichen werden, die sich am Ende der Perm Periode vor 250 Millionen Jahren in dieser Region ereignete.

Die Entstehung der Sibirischen Trappprovinzen war die größte Manifestierung des Vulkanismus auf der Erde. Zu dieser Zeit erlebte die Erde die

größte ökologische Katastrophe ihrer Geschichte - das permisch-triassische Massenaussterben, das zum Verschwinden von bis zu 90 % der Meeresarten und 70 % Landarten führte (Abb. 82, 83).

Geologische Daten⁵¹ deuten darauf hin, dass die sibirischen Eruptionen auf dem Gebiet des Ostsibirischen Kraton ungewöhnlich explosiv gewesen sein könnten (Campbell et al. 1992), mit pyroklastischen Ablagerungen von bis zu 800 Metern Dicke (Khain 1985). Die Explosionskraft war so groß, dass die Sedimentgesteine manchmal aus einer Tiefe von 10 km herausgedrückt wurden.



Abb. 82
Künstlerische Darstellung
von Eruptionen in Sibirien wäh-
rend des permisch-triassischen
Massenaussterbens.

Illustration von Tigran Nshanyan

Fig. 83
Künstlerische Darstellung:
Lystrosaurier, die das Massen-
aussterben überlebt haben,
dominieren auf einer ver-
wüsteten Landschaft und
veranschaulichen den Wandel
des Ökosystems nach dem
permisch-triassischen Massen-
aussterben.

Illustration von 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>

Die vulkanische Aktivität in der Region erfolgte in mehreren Etappen und veränderte die geologische Landschaft drastisch. Zunächst drang das Magma in die Sedimentschichten ein und bildete eine Vielzahl von Intrusivkörpern wie z. B. Sills. Die Eruptionen gingen dann in explosive Ausbrüche über, die zur Freisetzung riesiger Mengen pyroklastischen Materials und zur Bildung massiver vulkanischer Ablagerungen führten. Dieser Prozess gipfelte in der Eruption kolossaler Mengen basaltischer Lava, die auf Hunderttausende von Kubikkilometern geschätzt werden. Das Gesamtvolumen der vulkanischen Gesteine, einschließlich Intrusionen, pyroklastischer Ablagerungen und Lavaströme, wird auf etwa 3 Millionen Kubikkilometer geschätzt. Es ist wichtig zu beachten, dass diese Zahl sich nur auf die bis heute erhaltenen Gesteine bezieht und man davon ausgehen kann, dass das ursprüngliche Ausmaß der Eruptionen viel größer war, aber später erodierte.

Die Bildung des Sibirischen Trapps führte zu enormen Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Schwefeldioxid (SO₂), Chlorwasserstoff (HCl) und anderen flüchtigen Substanzen. Diese Gase verstärkten den Treibhauseffekt dramatisch und führten zu einer raschen Erwärmung nach dem vulkanischen Winter. Die CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre erreichten bis zu 8.000 ppm und waren damit 20-mal höher als die heutigen Werte. Infolgedessen stieg die Temperatur der tropischen Meere von 22-25 °C auf 30 °C, und die Ozeane begannen zu versauern, wodurch Organismen mit Karbonatskeletten ausstarben.

Insgesamt wurden bis zu 7.800 Gigatonnen Schwefel, bis zu 8.700 Gigatonnen Chlor und bis zu 13.600 Gigatonnen Fluorid freigesetzt.⁵²

Vulkanasche und Aerosole blockierten das Sonnenlicht, störten die Photosynthese, verursachten massive Waldverluste und die Unterbrechung der Nahrungsketten, was das Aussterben von Pflanzen- und Tierarten noch verstärkte. Die ökologische Krise von damals ist ein Beweis für das Ausmaß der möglichen Folgen selbst bei einer allmählichen Eruption des Sibirischen Plumes.

Den Forschungen zufolge wurde die Periode der Eruptionen, die vor 250 Millionen Jahren begann, durch das Aufsteigen eines Mantelplumes verursacht - eines mächtigen Magmastroms, der aus dem tiefen Erdinneren im Bereich des heutigen Putorana-Plateaus aufstieg. Eine Wiederholung dieses Szenarios würde heute zur Bildung riesiger Lavaplateaus führen - einige der größten geologischen Formationen der Erde, die praktisch alles Leben in einem sich über Sibirien und die angrenzenden Regionen erstreckenden Umkreis von mehreren Tausend Kilometern vernichten würden. Die geologischen Aufzeichnungen bezeugen, dass sich solche Katastrophen, die mit dem Ausbruch riesiger Basaltfelder⁵³ einhergingen, wiederholt ereignet haben und jedes Mal zu großen Massenaussterben führten (Abb. 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

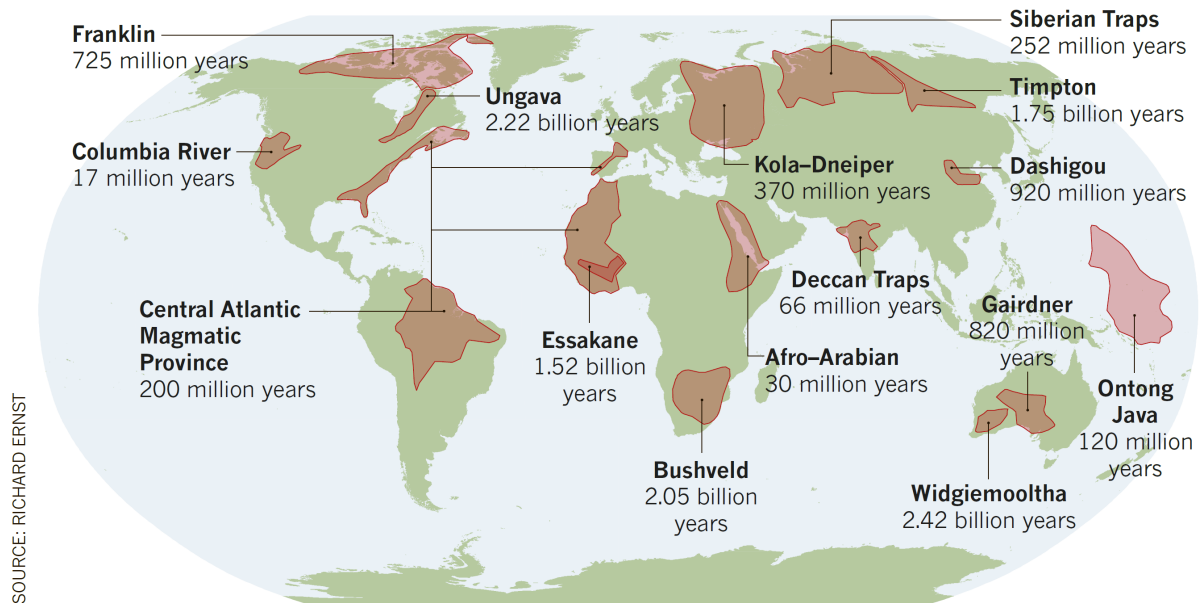


Abb. 84

Eine Karte der größten Vulkanausbrüche in der Erdgeschichte, die die geografische Lage und das Alter der durch diese Ereignisse entstandenen Lavaplateaus zeigt.

Illustration: Richard Ernst

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

Wie in früheren geologischen Epochen wird das Magma aus dem Erdmantel aufsteigen und durch Risse in der Erdkruste durchdringen, so wie weiche Substanz durch einen dichten Filter sickert. Dieser Prozess wird zu einer Überhitzung der Oberfläche, zur Bildung zahlreicher Magmaintrusionen innerhalb der Erdkruste und zum Schmelzen der Lithosphäre führen. Abbildung 85 zeigt die Verteilung von

Ergussgesteinen in Sibirien: Lavaströme sind violett und in der Erdkruste erstarrte magmatische Körper sind grün gekennzeichnet. Die in Grün dargestellten Zonen auf der Karte zeigen, wie das Magma, das die Erdkruste erodiert, eine Rissbildung verursacht und entlang dieser geschwächten Zonen aufsteigt. Ein solcher erhöhter Magmadruck kann einen ähnlichen Prozess erneut auslösen.

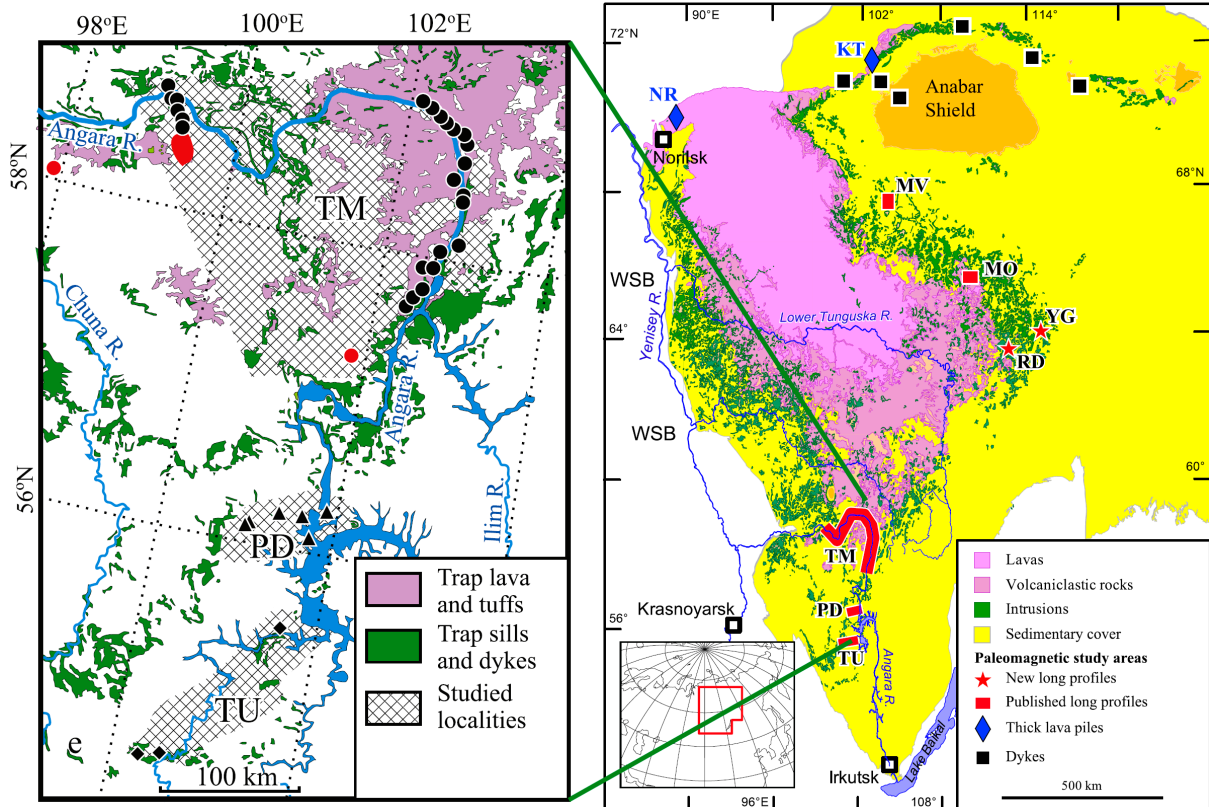


Abb. 85

Rechts: Übersichtskarte der Sibirischen Trappprovinzen (vereinfacht und modifiziert nach Svensen et al., 2009). Die Übersichtskarte veranschaulicht die wichtigsten geologischen Strukturen in verschiedenen Farben: Lavaströme in Rosa, Intrusivkörper in Grün und Sedimentbedeckung in Gelb dargestellt. Links: Die detaillierte Karte auf der linken Seite der Abbildung zeigt die Verteilung des Trapp-Magmatismus: Laven und Tuffe sind in Violett dargestellt, Schwellen und Stollen in Grün.

Quelle: 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>

Das Szenario der allmählichen Eruption ist mit einer sofortigen Explosion des Sibirischen Plumes vergleichbar, ist aber zeitlich ausgedehnt. Man kann es sich als eine Abfolge von Vulkanen vorstellen, die jede Woche ausbrechen, zusammen mit plötzlich entstehenden Spalten, durch die basaltische Laven in ganz Westsibirien fließen werden. Auf der Karte (Abb. 86) sind die Gebiete mit Lavaströmen in Violett gekennzeichnet. Im Bereich der dichteren und stabileren Kruste der Ostsibirischen Plattform breiteten sich die Laven über das gesamte Gebiet aus, während in Westsibirien, das eine dünnere, jüngere und heterogenere Kruste hat, Eruptionen entlang länglicher Erdfälle oder Grabensysteme

stattfanden. Die Zonen von Tuffen, die aus zementierten pyroklastischen Trümmern und Asche bestehen, sind auf der Karte in Rot markiert.

Anzumerken ist, dass die Eruptionen in Ost- und Westsibirien unterschiedlich verlaufen werden. Unter Ostsibirien stößt das Magma auf den dichten archaischen Kraton, der eine erhebliche Barriere darstellt. Wenn das Magma aufsteigt, „frisst“ es sich in das Wirtsgestein, kühlt ab und wird mit flüchtigen Bestandteilen gesättigt, was zu explosiven Eruptionen mit hohem Ausstoß von Asche und möglicherweise zur Bildung von saurem, zähflüssigem Magma führen kann.

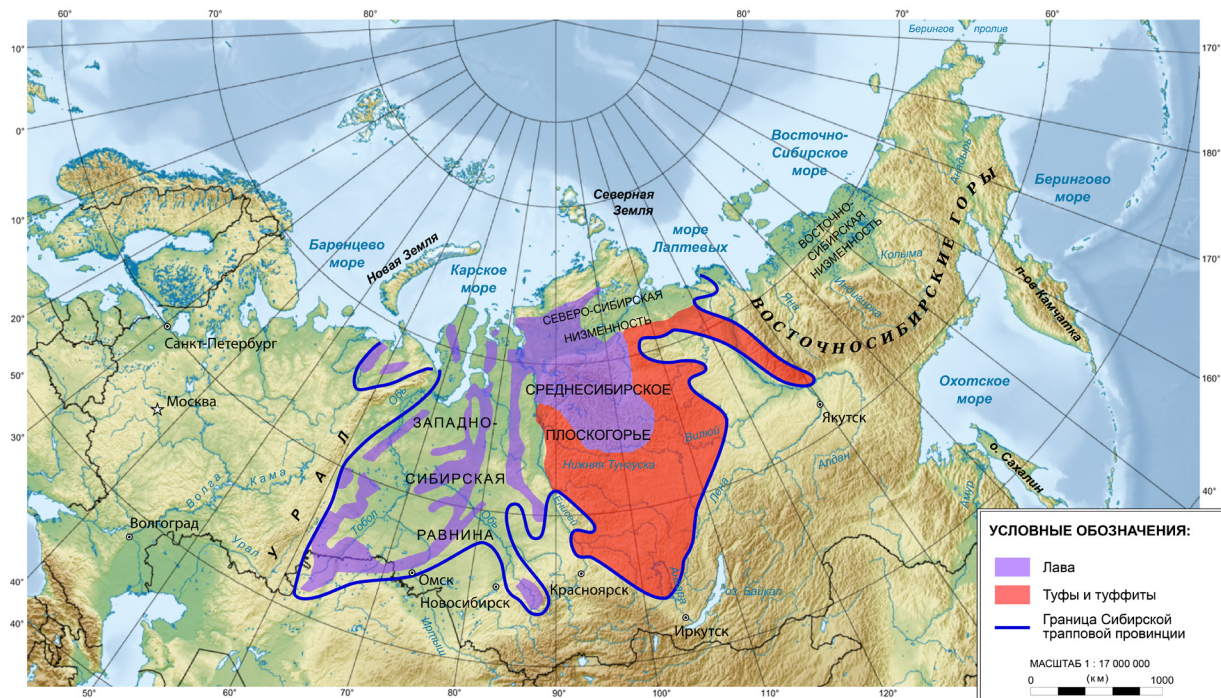


Abb. 86

Кarte der Sibirischen Trapp-Provinz. Die Karte zeigt die wichtigsten geologischen Strukturen, darunter die Ausbreitungsgebiete von Lavaströmen (violett) und Tuffen mit Tuffiten (rot). Die blauen Linien markieren die Grenzen der Sibirischen Trapp-Provinz.

Quelle: wikipedia.org, based on data from Masaitis, 1983

Während in Westsibirien, wo die Kruste dünn und jung ist, überwiegend flüssige Basaltlavenfreisetzung vermutet wird.

Die Fläche, die in West - und Ostsibirien voraussichtlich von Lavaströmen und Tuffen bedeckt sein wird, beträgt etwa 7 Millionen km², was etwa der Fläche von Australien entspricht. Die von der Zerstörung betroffenen Gebiete werden jedoch voraussichtlich mehrere zehn Millionen km² groß sein. Diese Gebiete werden großflächigen Bränden, Erosion durch sauren Regen, Aschefall, Erdbeben und Schammlawinen mit vulkanischen Niederschlägen ausgesetzt sein. Der gesamte Permafrost Sibiriens wird zerstört werden.

Es ist erwähnenswert, dass die Taimyr-Halbinsel westlich der Putorana-Hochebene die weltweit größten Vorkommen an Nickel, Kupfer und Platingruppenmetallen beherbergt, die vom Unternehmen Norilsk Nickel erschlossen werden. Diese Lagerstätten sind magmatischen Ursprungs und

bildeten sich vor etwa 250 Millionen Jahren während der Eruptionen der Sibirischen magmatischen Trapp-Provinz, die zur Bildung einzigartiger Erz-Knoten beigetragen haben. Die hohe Nickelkonzentration in den Magmen dieser Zeit ist wahrscheinlich auf die Beförderung von Substanzen aus dem Erdkern an die Oberfläche zurückzuführen.

Derzeit wird ein Aufstieg des Sibirischen Magma-Plumes beobachtet, wobei seine Beschleunigung auf die Verschiebung des Erdkerns im Jahr 1998 in Richtung Taimyr-Halbinsel zurückzuführen ist, wie Dr. Yuri Barkin feststellte. In naher Zukunft besteht ein erhebliches Risiko eines Durchbruchs des Sibirischen Plumes in der Nähe der Stadt Norilsk - genau dort, wo es sich vor 250 Millionen Jahren bereits ereignete.

Als Nächstes werden wir beleuchten, welche Folgen dieses Szenario für Russland und die Welt haben würde.

Folgen der allmählichen Eruption des Sibirischen Plumes für Russland

Es gibt Untersuchungen, die die genaue Lage der asthenosphärischen geschmolzenen Linsen in der Lithosphäre Südsibiriens bestimmen, was auf die dünne Kruste dieser Region zurückzuführen ist. Der nördliche Teil Sibiriens bleibt jedoch auf seismischen Karten weitgehend unerforscht und stellt einen „weißen Fleck“ in der Forschung der unteren Kruste und des Erdmantels dar. Dieser Mangel an Daten macht es unmöglich, die Orte der ersten Lavaausbrüche und Eruptionen von gasreichem Magma vorherzusagen, insbesondere angesichts des Fehlens eines umfassenden Monitorings des Erdinneren in der Zone des Sibirischen Plumes.

Es ist bekannt, dass die ersten Anzeichen einer drohenden Katastrophe häufige Erdbeben und lokale Gasemissionen an den Rändern des Sibirischen Blockes der Erdkruste sein werden. Wenn das Magma an die Oberfläche vordringt, beginnt der Permafrost schnell zu schmelzen, was zu einer Zerstörung der auf Permafrostböden errichteten Infrastruktur führen kann. Die Erhitzung des Bodens kann auch Explosionen der Gashydrate (des in Eisstrukturen eingeschlossenen Methans) auslösen, die zur Bildung großer Krater und zur Zerstörung von Ortschaften führen werden.

Durch die Freisetzung von Methan, die Überhitzung des Bodens und die Emission vulkanischer Gase werden massenhafte Brände unvermeidlich. Kohlenwasserstoffvorkommen in Sibirien und Kohlebecken wie in Kusbass können sich entzünden, wie es in der Perm-Trias-Periode⁵⁴ geschah, als Kohlelagerstätten thermisch auf 600 °C erhitzt wurden.

Die Eruptionen werden plötzlich einsetzen und mehrere Orte in einem riesigen Gebiet betreffen. Erbeben der Stärke 7-8, Bildung von Rissen und Verwerfungen werden zur Lavaaustritten über Hunderttausende Quadratkilometer führen. In Gebieten

um Lavaausbrüche wird es aufgrund toxischer Emissionen, die einen giftigen «Cocktail» in der Atmosphäre bilden, zu Massensterben von Pflanzen, Tieren und Menschen kommen.

Bereits in den ersten Tagen werden Millionen Menschen ums Leben kommen. Die Vulkanasche wird die Verkehrsnetze zerstören, indem sie sich auf den Straßen und Schienen absetzt, die Sicht beeinträchtigt und Infrastruktur zerstört. Die Luftfahrt wird aufgrund der Gefahr, die die Asche für die Triebwerke von Flugzeugen und Hubschraubern darstellt, auch ihren Betrieb vollständig einstellen.

Das Schmelzen des Permafrosts wird die Krise weiter verschärfen: Verkehrswege, Pipelines, Gebäude und Infrastrukturen werden zerstört. Viele Städte werden ohne Versorgung mit Wasser, Lebensmittel und Strom bleiben, was eine humanitäre Krise auslösen wird. Massenevakuierungen werden in weiten Teilen der Eruptionszone unmöglich, da Lava, Gase, Brände und saurer Regen die Verkehrswege unbenutzbar machen werden. Millionen Menschen werden in Panik geraten, und die Bemühungen, die Bevölkerung Sibiriens umzusiedeln, werden zu sozialer Instabilität und Massenunruhen führen.

Die Wirtschaft des Landes wird katastrophale Verluste erleiden. Die Öl-, Gas-, Kohle-, Diamanten- und Metallproduktion wird aufgrund der physischen Zerstörung der Infrastruktur zum Erliegen kommen, was zum Industriestillstand, einem Mangel an Rohstoffen und Strom führen wird. Die vulkanische Aktivität wird die natürlichen Ressourcen der Region, einschließlich der Öl- und Kohlereserven, zerstören und damit wichtige wirtschaftliche Vermögenswerte des Landes vernichten.

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>

Jahrzehnte nach dem Ausbruch wird Sibirien ein ökologisches Katastrophengebiet bleiben. Die Katastrophe wird Russlands Geografie, Wirtschaft und Gesellschaft unwiderruflich verändern. Nur 25 % des Territoriums des Landes werden bewohnbar bleiben, aber es wird

einem immensen Druck durch Umwelt- und Sozialkrisen ausgesetzt. Wirtschaftliche Standorte, historische Denkmäler und der größte Teil des natürlichen Reichtums werden verloren gehen, und Sibirien wird für die Existenz der modernen Zivilisation ungeeignet.

Globale Folgen der allmählichen Eruption des Sibirischen Plumes

Die globalen Folgen des Ausbruchs des Sibirischen Plumes werden die ganze Welt betreffen und dies wird in mehreren Phasen geschehen.

In den ersten Tagen wird der Verkehr zwischen Europa und Asien über Sibirien eingestellt und der Flugverkehr wird aufgrund der Vulkanasche in der Atmosphäre zum Erliegen kommen. Diese Unterbrechungen werden die weltweite Logistik lahm legen und eine weitreichende Nahrungsmittelkrise auslösen, da Russland, ein führender Exporteur von Lebensmitteln, seine Lieferungen von Weizen und anderen Produkten einstellen wird. Die Einstellung der Exporte von Erdöl, Gas und anderen Rohstoffen aus Russland wird zu einem Preisanstieg, einer Energiekrise und wirtschaftlicher Instabilität in zahlreichen Ländern führen. Eine Kettenreaktion finanzieller und sozialer Verwerfungen wird die Weltwirtschaft erschüttern.

Wolken aus Asche und Schwefelaerosolen werden einen globalen Verdunkelungseffekt bewirken, der die Sonneneinstrahlung reduziert und einen „vulkanischen Winter“ mit einem Temperaturrückgang von 2-3 °C verursacht. Saurer Regen und Bodenverunreinigungen werden die Landwirtschaft nicht nur in Russland, sondern weltweit zerstören. Massenhunger, Wasserknappheit, giftige Luft und die Zerstörung des Klimasystems werden zu einem allmählichen Tod von Milliarden von Menschen und Tieren führen. Innerhalb weniger Jahre werden die sozialen Systeme zusammenbrechen.

Mit der Zeit wird sich die Vulkanasche absetzen, aber es wird zu abrupten klimatischen Veränderungen kommen. Die Freisetzung von Methan und Kohlendioxid aus dem auftauenden Permafrost wird den Treibhauseffekt verstärken. Die Temperaturen werden allmählich um 5-10 °C ansteigen, was zu einem instabilen Klima mit starken Temperaturschwankungen führen wird. Die Zerstörung der Ozonschicht wird zu einem Anstieg der UV-Strahlung auf der Nordhalbkugel führen und die Folgen der Eruptionen verschärfen.

Trotz seiner Entfernung zu Sibirien wird Europa mit schwerwiegenden Folgen des Ausbruchs des Sibirischen Magma-Plumes konfrontiert sein: Asche wird Nord- und Osteuropa bedecken und zahlreiche Atemwegserkrankungen bei der Bevölkerung verursachen. Saurer Regen wird Wälder, städtische Infrastruktur und landwirtschaftliche Flächen zerstören.

Nach einer vorübergehenden Abkühlungsphase wird eine starke Erwärmung einsetzen, begleitet von Dürren im Süden und Überschwemmungen in Mittel- und Nordeuropa. Die Massenmigration aus Russland, Asien und dem Nahen Osten wird eine demographische Krise auslösen und die Konkurrenz um Ressourcen verschärfen. Die europäischen Länder werden mit anhaltenden ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Herausforderungen zu kämpfen haben.

Asien, das dem Epizentrum der Eruptionen am nächsten liegt, wird die Hauptlast der Auswirkungen tragen. Die Luftverschmutzung durch Staub und Asche wird zu Erstickung und saurem Regen führen, insbesondere in China, der Mongolei und Kasachstan. Die Landwirtschaft in Nordchina, einer wichtigen Nahrungsmittelregion, wird durch den Mangel an Sonnenlicht und die Verschlechterung der Bodenqualität zerstört. Temperaturextreme werden die Infrastruktur und die landwirtschaftlichen Systeme auf dem gesamten Kontinent zerstören. Der allmähliche Anstieg der Meerestemperaturen wird zu einer Desoxygenierung des Wassers führen,

was die Meeresökosysteme zerstört und den Zusammenbruch der Fischerei zur Folge haben wird.

Mit der Zeit werden die Folgen andauernder Eruptionen nur noch verheerender werden. Klima- und Umweltkrisen werden sich verschlimmern, dadurch werden Wissen sowie viele moderne Technologien verloren gehen und die Menschheit wird einen tiefgreifenden Rückschlag in der Entwicklung erleiden. Die Weltzivilisation wird am Rande des Zusammenbruchs stehen.

Langfristige Folgen der allmählichen Eruption des Sibirischen Plumes für den Planeten

Die allmähliche Eruption des Sibirischen Plumes wird massive langfristige Auswirkungen haben, die den Planeten für Millionen von Jahren radikal verändern werden. Die Atmosphäre wird weltweit mit giftigen Stoffen verschmutzt sein, was zu saurem Regen und der Zerstörung der Ozonschicht führen wird. Die Ozeane werden eine kritische Versauerung erfahren, die zu einem Massensterben von Meeresorganismen führen wird. Diese Prozesse werden zum Zusammenbruch der Meeresökosysteme, zur Unterbrechung globaler Nahrungsketten und zum Kollaps der gesamten Meeresbiodiversität führen.

An Land wird das Massensterben aufgrund der giftigen Luftemissionen, der Zerstörung der Bodenökosysteme und des Verschwindens der meisten Pflanzen unausweichlich sein. Der

Verlust von Bestäubern wird zum Zusammenbruch der Landökosysteme führen. Es wird angenommen, dass zwischen 75 und 95 % aller existierenden Arten vom Aussterben betroffen sein werden.

Die Eruption wird zu einer komplexen klimatischen, biologischen und geologischen Krise führen, die die Biosphäre der Erde vollständig verändern wird. Dieser Prozess wird zum Kollaps der menschlichen Zivilisation, zum Tod von Milliarden von Menschen und zum Rückfall der überlebenden verstreuten Gruppen von Menschen auf den Entwicklungsstand der Steinzeit führen. Das Ausmaß dieser Katastrophe wird mit den größten Massenaussterben in der Erdgeschichte vergleichbar sein und eine neue Etappe der Biosphärenevolution wird erst in Millionen von Jahren möglich.

Szenario 3:

Geplante kontrollierte Entgasung

Existierende Methoden des vulkanischen Geoengineering

Angesichts der zunehmenden Spannungen unter der Westsibirischen Platte und dem Ost-sibirischen Kraton, die mit dem Aufstieg des Sibirischen Plumes einhergehen, müssen dringend Maßnahmen ergriffen werden, um mögliche katastrophale Folgen zu minimieren. Eine solche Lösung ist ein kontrolliertes Ablassen von Druck, Lava und Gasen aus sekundären magmatischen Herden, d. h. eine geplante kontrollierte Entgasung.

Die moderne wissenschaftliche Forschung betrachtet die Entgasung von Magmakammern als eine vielversprechende Methode zur Verhinderung großflächiger Eruptionen. Dieser Ansatz bietet eine Grundlage für die Anwendung vulkanischer Geoengineering-Technologien nicht nur auf Vulkane oder Supervulkane, sondern auch für die Kontrolle der Aktivität magmatischer Plumes. Das Konzept der kontrollierten Entgasung spiegelt sich in einer Reihe von wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Patenten wider, die von Spezialisten aus verschiedenen Ländern entwickelt wurden.

Die theoretischen Grundlagen des vulkanischen Geoengineering wurden seit dem 20. Jahrhundert erarbeitet, und im letzten Jahrhundert wurden praktische Experimente durchgeführt. Zu den vulkanischen Interventionstechniken gehörten das Bohren von Kratern, das Ablassen

von Vulkanseen, das Anlegen von Lavaabflussskanälen, das Kühlen von Lavaströmen mit Meerwasser, das Bombardieren von Lavaströmen und das Abpumpen von Treibhausgasen (Kohlendioxid und Methan) (Abb. 87).

Seit den 1960er Jahren hat der US Geological Survey (USGS) in Gebieten der Lava-Seen am Kilauea-Vulkan auf Hawaii Bohrungen vorgenommen, um Lava umzuleiten. Ähnliche Initiativen sind in Japan, Island und Italien im Gange. So wurden in Japan beispielsweise Technologien zur Verringerung des Drucks in Magmakammern getestet, und in Island auf der Insel Heimaey wurden gute Erfahrungen mit der Umleitung der Lava gemacht, wo die Lavaströme mithilfe von Wasser aus Wasserwerfern gekühlt wurden. In Italien werden Frühwarnsysteme und Technologien zur Kontrolle von Lavaströmen entwickelt; ein Beispiel dafür ist die Zerstörung von Lavabarrieren durch Explosionen am Ätna im Jahr 1983.

Heute finden internationale wissenschaftliche Konferenzen und Symposien über Tiefbohrungen in den Zonen vulkanischer und geothermischer Aktivität statt, was die Aussichten für die Anwendung des vulkanischen Geoengineering zur Verhinderung und Abschwächung von Eruptionen auf globaler Ebene erweitert.

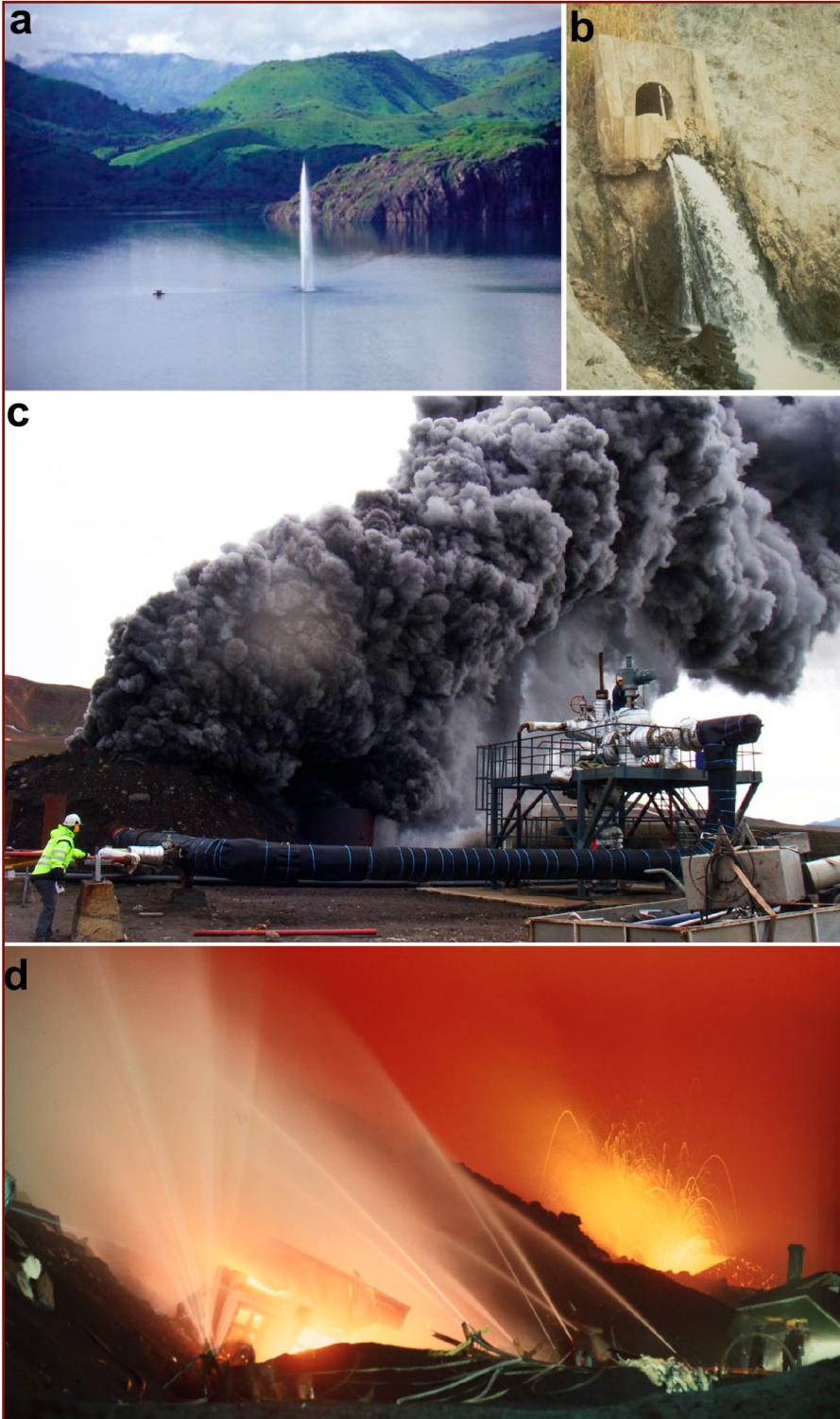


Abb. 87

(a) Kohlendioxid-Entgasung aus dem Nios-See, Kamerun, von Halbwachs et al. (2020).

(b) Drainagekanal in der Kraterwand des Vulkans Kelud, Indonesien (Global Volcanism Programme, Bild GVP-01120).

(c) Nebenbohrung einer Magmatasche am Krafla, Island, im Jahr 2009 (Bild von GO Friðleifsson/IDDP).

(d) Kühlung von Lavaströmen durch gepumptes Meerwasser auf Heimaey in Island im Jahr 1973, Tristan H. Benediktsson.

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

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

Die Abb. 88 veranschaulicht eine Chronologie der bemerkenswertesten Fälle des vulkanischen Geoengineerings. Schwarze Kreise kennzeichnen gezielte Eingriffe und rote Kreise unbeabsichtigte Einwirkungen auf die vulkanische Aktivität.

Darüber hinaus gibt es patentierte Methoden zur geplanten Entgasung und zur Reduzierung der Risiken von Vulkan- und Supervulkanausbrüchen.

Das Prinzip einer der Technologien, die von zwei russischen Fachexperten patentiert wurde, besteht beispielsweise darin, unkontrollierte, lawinenartige Vulkanausbrüche durch schräge Bohrungen und Druckregulierung in Magma-kammern zu verhindern (Abb. 89).

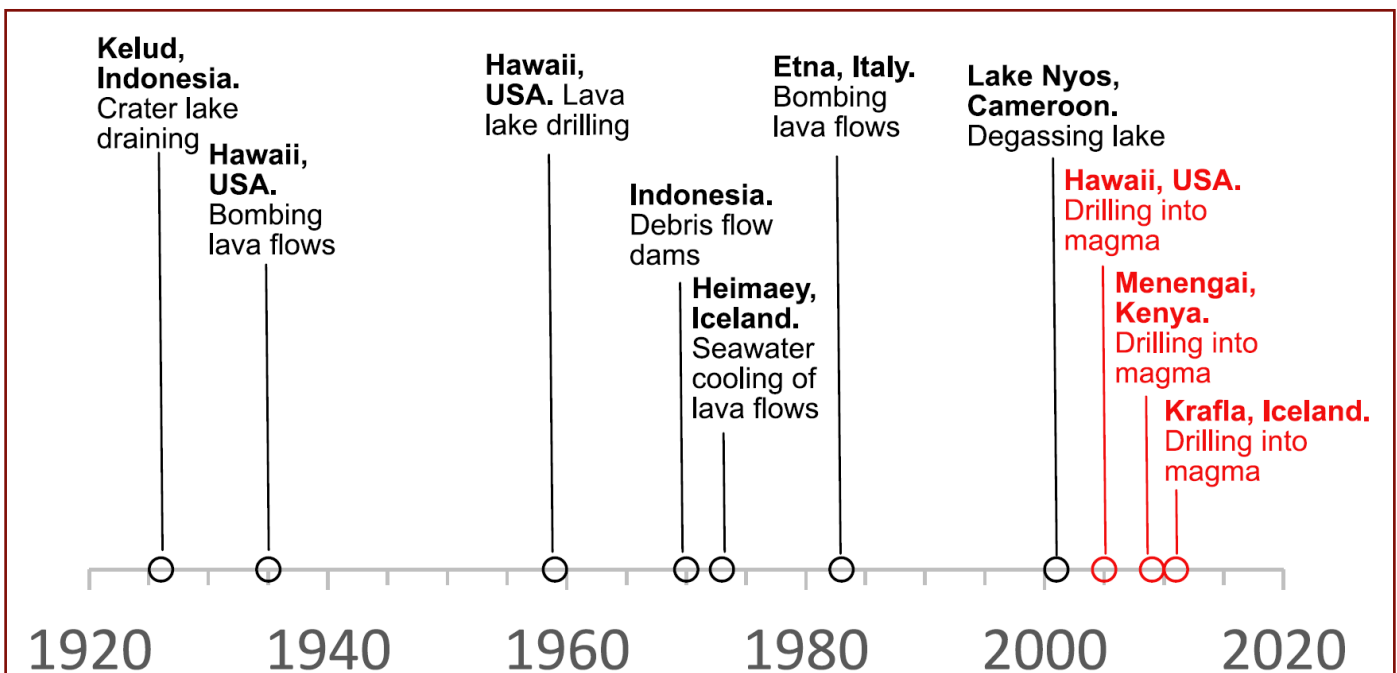


Abb. 88

Chronologie einiger bemerkenswerter Fälle des vulkanischen Geoengineerings. Schwarze Kreise bezeichnen absichtliche Eingriffe, während rote Kreise unbeabsichtigte vulkanische Eingriffe darstellen.

Quelle: 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.

Abb. 89

Patent: Verfahren zur Verhinderung eines lawinenartigen Ausbruchs von Vulkanen.

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Verhinderung eines unkontrollierten, lawinenartigen Ausbruchs von Vulkanen und zur Organisation eines kontrollierten Transports von Magma für dessen Verwendung im Bauwesen. Das erhöht die Effizienz des Verfahrens.

Prinzip der Erfindung: Bei dem Verfahren wird der Druck in sekundären Magmakammern unter Vulkanen mit solfatartischer Aktivität kontrolliert. Zu diesem Zweck werden schräge Bohrungen von Kanälen in die Basis einer sekundären Magmakammer vorgenommen. In diese Magmakammer wird komprimiertes Gas eingeleitet. Der Druck in der sekundären Magmakammer wird erhöht und der Magma-Zufluss aus der primären Magmakammer wird verlangsamt. Gleichzeitig wird das in der sekundären Magmakammer angesammelte Magma für die Bauwirtschaft entnommen und durch gebohrte Kanäle transportiert. Gleichzeitig wird verhindert, dass es den kritischen Druckwert erreicht, bei dem es zu einer lawinenartigen Eruption kommt.

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

RU 2 343 508 C1

5 0 8 C 1

Eine weitere Technologie wurde von einem amerikanischen Erfinder entwickelt (Abb. 90). Diese Technologie beschreibt Methoden zum Abpumpen von Magma aus vulkanischen Magmakammern, wie der Kammer im Supervulkan Yellowstone, um einen möglichen katastrophalen

Ausbruch zu verhindern. Die Grundidee besteht darin, künstliche Kanäle (Röhren) zu schaffen, um das Magma an die Oberfläche zu bringen, wo es aufbereitet und z. B. zur Energiegewinnung genutzt werden kann.



US007284931B2

(12) **United States Patent**
Stratford

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

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

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

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

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

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

GB	2362410	11/2001
JP	070071020 A	3/1995
JP	100076104 A	3/1998
JP	100077952 A	3/1998
JP	100078497 A	3/1998

* cited by examiner

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

(57) **ABSTRACT**

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

(21) Appl. No.: **10/230,549**

(22) Filed: **Aug. 29, 2002**

(65) **Prior Publication Data**

US 2003/0145592 A1 Aug. 7, 2003

(30) **Foreign Application Priority Data**

Feb. 4, 2002 (GB) 0202465.1

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

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

(58) **Field of Classification Search** 405/52, 405/258.1, 130, 131, 303; 165/45; 166/302, 166/304, 57–62

See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

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

25 Claims, 2 Drawing Sheets

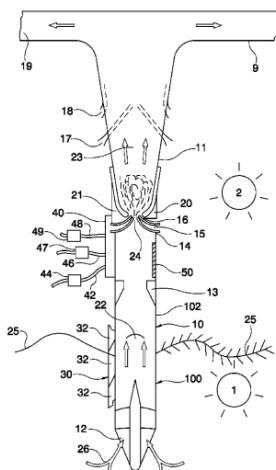


Abb. 90

Patent: Magma-Evakuierungssysteme zur Verhinderung von Supervulkanexplosionen.

Die Vorrichtung steuert die Evakuierung von vulkanischem Magma, um Explosionen zu verhindern. Das Magma wird durch ein einziges Evakuierungsrohr gepumpt, in dem der Magmastrom erhitzt wird, um das Festwerden des Magmas im Rohr zu verhindern. Zur Beheizung können kleine Brennkammern verwendet werden, die Dampf liefern, der wiederum den Magmastrom erwärmt und stabilisiert. Falls erforderlich, wird die Stabilität durch eine zentrale Kühlung mit Wasserstrahlen aus Düsen an den Wänden des Rohrs aufrechterhalten.

Quelle:

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

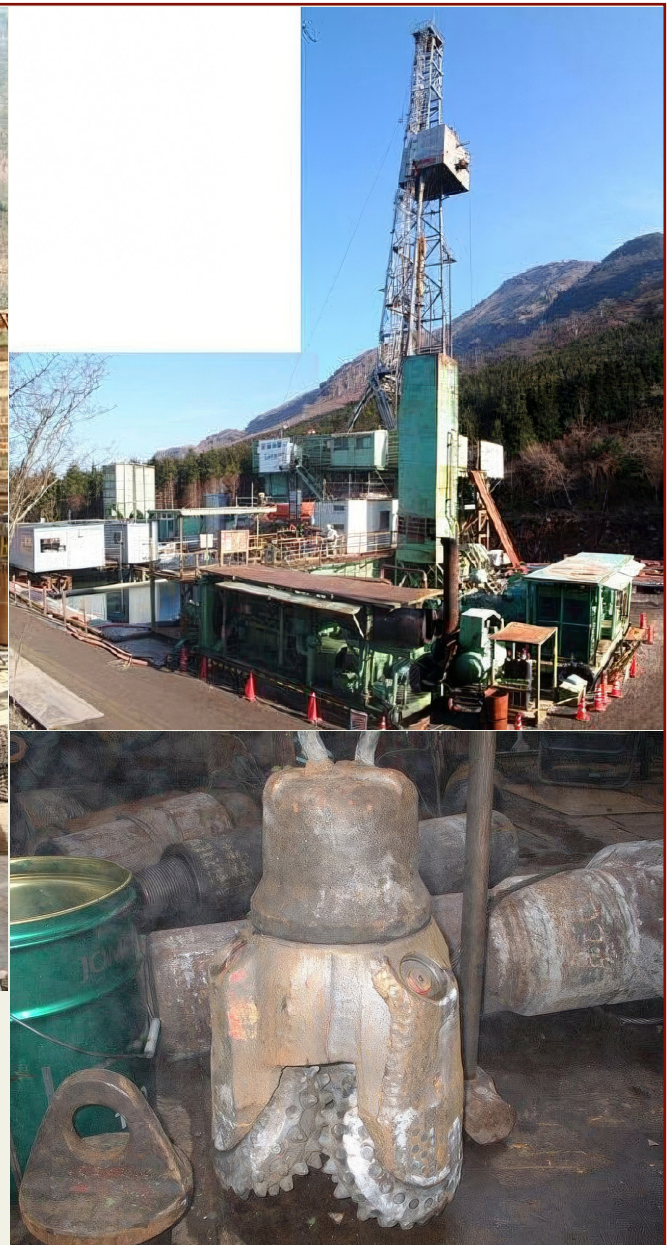
Ein weiteres Beispiel für eine erfolgreiche Entgasung ist das japanische Projekt „Scientific Drilling of Unzen Volcano“ (USDP). Dabei handelt es sich um eine sechsjährige Initiative, die im April 1999 begonnen wurde, um die Wachstumsgeschichte, die Struktur des Untergrunds und die Prozesse des Magmaanstiegs des Vulkans Unzen zu untersuchen (Abb. 91). In der ersten Phase wurden zwei Bohrlöcher an den Hängen des Vulkans gebohrt

und ein Modell seiner Struktur erstellt. Die zweite Phase konzentrierte sich auf Bohrungen im Magmakanal der Eruptionen von 1990-1995, um den Entgasungsmechanismus zu analysieren. Für eine erfolgreiche Bohrung wurde eine Strategie entwickelt, die eine vertikale Bohrung mit anschließender Erhöhung der Neigung des Bohrkanals vorsah (Abb. 92).



Abb. 91
Bohrausrüstung für die Bohrung am Vulkan Unzen im Jahr 1995.

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



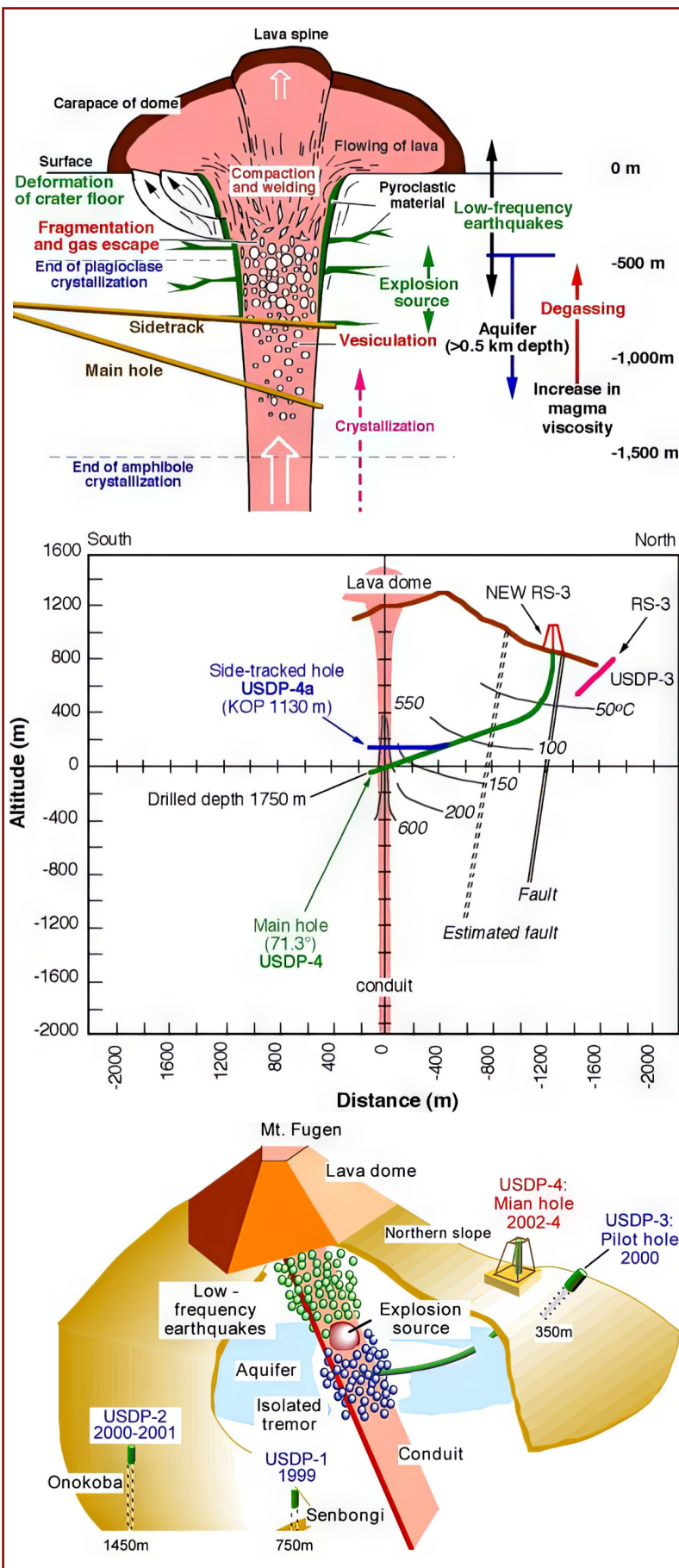


Abb. 92

(A)

Bild des Lavadomes und des oberen Teils des Schachts des Vulkans Unzen.

Bei der Aufspaltung und Kalzinierung des aufgeschäumten Magmas im oberen Teil des Schachts kam es zu einer effektiven Entgasung. Der Zustand des Schachts wurde während der Bohrung des Hauptschachts (USD-4) im Jahr 2003 untersucht, und während der Bohrung des Nebenschachts (USD-4a) im Jahr 2004 wurden kontinuierlich Kernproben entnommen.

Quelle: USDP-Projekt. Institut für Erdbebenforschung, Universität Tokio. Abgerufen am 31. Dezember 2024

<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/Yoran2003/sec4-5-eng.htm#:~:text=USD%20consists%20of%20two%20phases%20>

(B)

Bohrpfade im Bergwerk. Von den Punkten New RS-3 und RS-3 aus wird angenommen, dass der Hauptschacht, das Side-Track und das Pilotloch gebohrt werden.

Quelle: USDP-Projekt. Institut für Erdbebenforschung, Universität von Tokio. Daten abgerufen am 31. Dezember 2024

<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/Yoran2003/sec4-5-eng.htm#:~:text=USD%20consists%20of%20two%20phases%20>

(C)

Dreidimensionales Schema der Bohrung der Schacht

Quelle: USDP-Projekt. Institut für Erdbebenforschung, Universität von Tokio. Daten abgerufen am 31. Dezember 2024

<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/VRC/vrc/usdp/conduit.html>

Heute verfügt die Menschheit über ein ausreichendes technologisches und technisches Potenzial, um in vulkanische Systeme einzugreifen. Allerdings erfordert jeder Fall einer geplanten Entgasung ein Höchstmaß an Vorbereitung, einschließlich umfangreicher Datenanalysen und präziser Berechnungen. Selbst dann bleiben Risiken bestehen.

Die beschriebenen Methoden wurden in erster Linie an konventionellen Vulkanen getestet, die im Vergleich zu dem gewaltigen Sibirischen Mantelplume eine völlig andere Größenordnung aufweisen. Dieser Plume stellt eine Bedrohung dar, die weit über die Kraft eines einzelnen Supervulkans hinausgeht. Sie ist vergleichbar mit der Energie von tausend Yellowstone-Caldera-Ausbrüchen. Nichtsdestotrotz hat die Auseinandersetzung mit diesem Problem an Dringlichkeit gewonnen, gerade weil es potenzielle Ansätze zu seiner Lösung gibt.

Mit dem richtigen Ansatz ist die Menschheit in der Lage, ein Programm zur Entgasung des Sibirischen Mantelplumes zu entwickeln, das sich auf das gesammelte weltweite Fachwissen von Spezialisten stützt. Das Hauptziel eines solchen Programms wäre es, die Folgen des Aufstiegs des Plumes zu minimieren, indem der Lava- und Gasdruck in den sekundären magmatischen Kammern verringert wird, um so großflächige unkontrollierte Eruptionen zu verhindern.

Die Umsetzung eines solchen Programms erfordert eine enge internationale Zusammenarbeit und die gemeinsamen Anstrengungen von Wissenschaftlern und Ingenieuren aus der ganzen Welt. Nur ein gemeinsamer Ansatz wird es ermöglichen, wirksame Lösungen zu entwickeln, die darauf abzielen, die Sicherheit der gesamten Menschheit zu gewährleisten.

Beispiel für ein Programm zur geplanten Entgasung des Sibirischen Plumes

Das Programm kann eine parallele Entwicklung mehrerer Richtungen beinhalten:

1. Aufbau eines Monitoring-Netzwerks

1.1 Aufbau eines Netzes hochempfindlicher Sensoren und Satellitenmonitoringssysteme zur Überwachung der seismischen und thermischen Aktivität in der Region. Dies ermöglicht es, die Intrusionszonen sekundärer magmatischer Kammer rechtzeitig zu erkennen.

1.2 Durchführung einer detaillierten Kartierung sekundärer magmatischer Kammern mithilfe von seismischen Erkundungsmethoden. Vorläufige Bewertungen des Drucks und des Magma-volumens in den einzelnen sekundären Kammern werden von entscheidender Bedeutung sein.

1.3 Durchführung von Forschungs- und Überwachungsbohrungen in anomalen Zonen und

Installation von Sensoren für Druck, Temperatur und seismische Aktivität zur Erfassung wichtiger Daten.

2. Entwicklung von Technologien zur kontrollierten Entgasung und Blockierung von Magmakanalälen

2.1 Es wird notwendig sein, einen Plan für das Bohren von schrägen Tiefbohrlöchern bis zu einer Tiefe von 8 km in sicheren Zonen zu entwickeln. Detaillierte Trajektorienberechnungen sind erforderlich, um sicherzustellen, dass die schrägen Bohrlöcher die sekundären Magmakammern genau erreichen. Es müssen Bohrtechnologien eingesetzt werden, die hohem Druck und hohen Temperaturen standhalten. Dazu gehören die Verwendung hitzebeständiger Materialien zur Verstärkung der Bohrlochwände und die Schaffung eines Systems zur Überwachung des Drucks und der Temperatur in den Bohrlöchern.

2.2 Ein Verfahren zur Ableitung von Gasen und Lava muss sorgfältig geplant werden und eine schrittweise Drucksteuerung in sekundären Magmakammern durch ein System von Bohrlöchern beinhalten. Dies erfordert die Kontrolle der Geschwindigkeit der Entgasung, um plötzliche Druckschwankungen zu vermeiden, und den Einsatz von Kompressorsystemen zur Regulierung des Gasdrucks. Filter- und Kühlsysteme werden erforderlich sein, um die Freisetzung giftiger Stoffe in die Atmosphäre zu verhindern. Die Ableitung von Lava und Gasen wird fortgesetzt, bis sich der Druck in jeder Kammer stabilisiert hat.

2.3 Anschließend muss ein Plan für eine gezielte nukleare Explosion in bestimmten Bohrlöchern entwickelt werden, um die Schichten über den sekundären Magmakammern zu versiegeln. Dadurch wird das Aufsteigen von zu viel Magma an die Oberfläche verhindert und die Freisetzung von Asche minimiert.

Die allmähliche Druckentlastung wird die Stabilität Sibiriens gewährleisten und die wichtigsten Bevölkerungszentren, außer vielleicht Norilsk und die umliegenden Ortschaften, schützen.

2.4 Bei der Ableitung von Lava aus den Magmakammern muss ihre Ausbreitung nach Mög-

lichkeit kontrolliert werden. Die Lava sollte durch speziell vorbereitete Kanäle in Richtung der Arktischen Meere geleitet werden. Darüber hinaus sollte ein Programm entwickelt werden, um das Magma für Bauzwecke zu nutzen, z. B. für die Schaffung künstlicher Inseln oder die Verstärkung von Küstenlinien.

3. Evakuierung der Bevölkerung

Es muss ein Frühwarnsystem eingerichtet und Evakuierungspläne für unvorhergesehene Notfälle entwickelt werden. Darüber hinaus ist ein strukturierter Plan für die sichere Evakuierung von Menschen aus Risikogebieten erforderlich. Dieser Plan sollte Maßnahmen zur Anpassung und sozialen Unterstützung der Evakuierten enthalten, wobei die Möglichkeit einer langfristigen Umsiedlung zu berücksichtigen ist.

4. Erhaltung der Infrastruktur

Es müssen Pläne für den Schutz und die Evakuierung strategischer Objekte aus lavaüberflutungsgefährdeten Gebieten entwickelt werden. Dazu gehört auch die Einrichtung sicherer Lagerstätten in sicheren Zonen für die Evakuierung der kritischen Ressourcen der Region, wie Öl, Gas, Bunt- und Edelmetalle, Erze, Düngemittel, Lebensmittel, Wasser und medizinische Güter.

Begründung für die Auswahl von Standorten für Forschungsbohrungen zur Überwachung der Dynamik des aktuellen Sibirischen Mantelplumes

Der wichtigste Schritt zum Verständnis der Geschwindigkeit und Richtung des Aufstiegs des Plumes, der Ausbreitung des Plumekopfes und seines Eindringens durch Risse in der Erdkruste ist die Überwachung geothermischer und geophysikalischer Parameter in der Tiefe. Dazu müssen neue Bohrungen vorgenommen werden und darin regelmäßige Messungen

von Temperatur, Druck, Gaszusammensetzung, Markern der Verstärkung magmatischer Prozesse, seismischem Rauschen und anderen Parametern durchgeführt werden.

Es wurden zehn Standorte für Forschungsbohrungen designed (Abb. 93, 94).

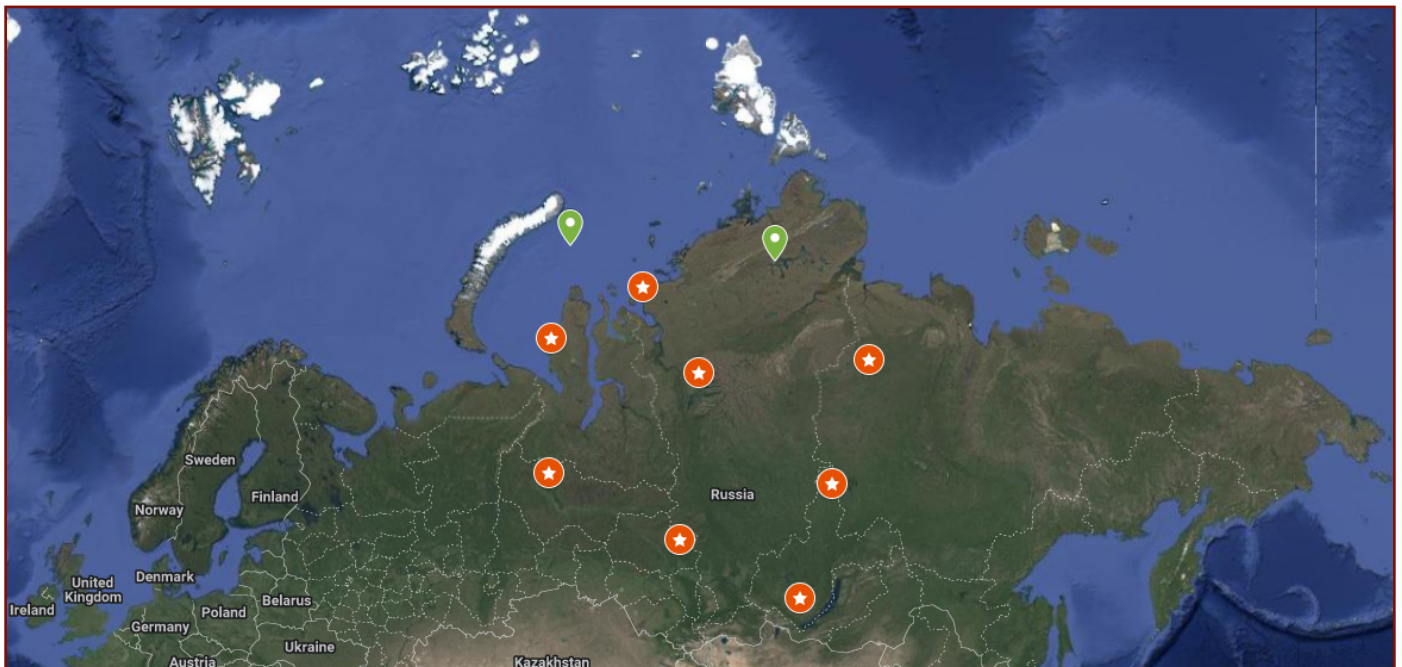


Abb. 93

Vorläufige Lage der 10 empfohlenen Standorte für Forschungsbohrungen

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

Abb. 94

Tabelle mit 10 empfohlenen Forschungsbohrungen zum Monitoring der Entwicklung des Sibirischen Mantelplumes einschließlich des Namen des Bohrlochs, Koordinaten, nahe gelegener Ortschaft oder Infrastruktur und des geologischen Profils.

Die Auswahlkriterien für die Standorte dieser Bohrungen basierten auf folgenden Grundsätzen:

1. Die Bohrlöcher wurden so gewählt, dass sich die thermischen und geodynamischen Anomalien, die mit dem Aufstieg und der Ausbreitung des Plumekopfes verbunden sind, maximal überschneiden. Auf Grundlage dieses Prinzips wurde ein Bohrloch in der zentralen Region des mutmaßlichen Aufstiegs des Plumekopfes vorgesehen, sieben Bohrlöcher wurden entlang des Umfangs der mutmaßlichen Magmaausbreitung bestimmt. Ein weiteres Bohrloch wurde in der Nähe des Baikalsees in Richtung der vermutlich aktiven Fortbewegung des Magmas unter der Basis des Ostsibirischen Kratons positioniert, und ein weiteres wurde in der Nähe der Karasee geplant, um die Fortbewegung des Plumes unter der ozeanischen Kruste des Arktischen Schelfs zu überwachen.

2. Die Position der Bohröcher wurde optimal für weitere seismotomographische Arbeiten ausgewählt, damit die Informationen von seismischen Sensoren in den Bohrlöchern bei der anschließenden Verarbeitung eine möglichst klare 3D-Darstellung liefern können. Das heißt, damit das Netz der Seismosensoren in den Bohrlöchern optimal für die Seismotomographie des Erdinneren positioniert ist.

3. Bei der Auswahl der Bohrlochstandorte wurde darauf geachtet, dass die Anlieferung der Bohrgeräte und die Bereitstellung von Zufahrtsstraßen (Verkehrsanbindung) möglich sind. Da im Norden West- und Ostsibiriens extrem schwer passierbare Gebiete, sumpfige Landschaften, wenig Straßen und extreme klimatische Bedingungen vorhanden sind, stützte sich die Auswahl der Bohrstellen auf die Lage der vorhandenen Infrastruktur für die Durchführung von Forschungsarbeiten: Straßen, Ortschaften, funktionierende Bohrstellen. Zwei Bohrstellen wurden in den derzeit bestehenden Ölfeldern von Gazprom und Rosneft ausgewählt, die anderen befinden sich in Gebieten in der Nähe von Öl-, Gas- und anderen Mineralvorkommen. Es sollte beachtet werden, dass, wenn es nicht möglich ist, die Bohrungen in den angegebenen Koordinaten durchzuführen, eine Verschiebung der Bohrlöcher um 10-20 km in beliebige Richtungen erlaubt ist.

Empfohlene Untersuchungsmethoden in den Bohrlöchern:

Für ein umfassendes Monitoring und Untersuchung des Mantelplumes müssen folgende Parameter in den Forschungsbohrungen erfasst werden:

1. Temperaturmonitoring: Temperaturmessungen in verschiedenen Tiefen zur Analyse thermischer Anomalien und der Verstärkung des geothermischen Flusses infolge der Magmaabewegung im Bereich der Ausbreitung des Plumes.

2. Druck: Bestimmung des Drucks im Bohrloch zur Bewertung von Veränderungen der hydrodynamischen Bedingungen aufgrund der Aktivität von Magma und fluiden Phase.

3. Gasprobenentnahme: Entnahme von Gasproben aus tiefen Schichten, um ihre Zusammensetzung und die möglichen Auswirkungen der magmatischen Aktivität zu untersuchen.

4. Seismische Forschung: Installation von seismischen Standard- und Weitbereichssensoren zur Aufzeichnung der seismischen Aktivität, um eine detaillierte Seismotomographie der Erdkruste und des Erdmantels zur kontinuierlichen Überwachung des Zustands des Plumes zu erstellen.

5. Zusammensetzung der Lagerstättenfluide: Analyse der Zusammensetzung der Lagerstättenfluide zur Identifizierung einer möglichen thermischen oder magmatischen Anreicherung.

6. Geomechanische Untersuchungen: Messungen der Spannungen in Gesteinen zur Analyse des Spannungszustands der Lithosphäre, die sich aufgrund der Intrusion des Plumes verformt.

7. Elektromagnetische Methoden: Durchführung von elektromagnetischen Untersuchungen zur Erfassung von Veränderungen der elektrischen Eigenschaften von Medien im Zusammenhang mit der Intrusion von Magma.

Die gesammelten Daten bilden die Grundlage für die Entwicklung eines umfassenden Modells der Mantelplumedynamik und die Bewertung ihrer Auswirkungen auf geologische Prozesse in Sibirien.

Besonderheiten des Bohrens und der Blockierung von Magmakanaln während der geplanten Entgasung

Das Hauptziel der Bohrungen während der geplanten Entgasung besteht darin, den Druck in den sekundären Magmakammern des Plumes zu verringern, Magmaexplosionen zu verhindern und eine kontrollierte Ableitung von Gas und Lava zu erreichen.

In der Anfangsphase werden die Bohrungen mit der Teilnahme der Fachkräfte durchgeführt, da es sich in geringen Tiefen um technologische Standardaufgaben mit minimalen Risiken für das Personal handelt. Dazu werden herkömmliche Bohrgeräte verwendet, die mit Temperatur- und Drucküberwachungssystemen ausgestattet sind, um den Prozess zu überwachen und schnell auf die Normabweichungen zu reagieren.

Bei Erreichen der kritischen Tiefe und bei Annäherung an die aktiven Zonen des magmatischen Systems steigt das Risiko für den Menschen erheblich. Auf dieser Etappe müssen die Arbeiten vollständig automatisiert werden. Es werden spezialisierte Bohranlagen mit automatisierten Steuerungssystemen eingesetzt. Der Bohrprozess wird mit Hilfe von Software ferngesteuert, die die Echtzeitdaten analysiert und die Arbeit der Anlage entsprechend anpasst.

Um die Genauigkeit der Überwachung zu verbessern, werden die Operatoren Virtual-Reality-Technologien einsetzen, die eine detaillierte Anlagenkontrolle ohne physische Anwesenheit in den Gefahrenzonen ermöglichen. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit von Unfällen verringert, die durch die Freisetzung von Gasen unter hohem Druck oder die Zerstörung von Anlagen durch eine Druckwelle verursacht werden könnten.

Zur Überwachung des Bohrkomplexes und der Umgebung werden Drohnen und Roboter eingesetzt. Drohnen, die mit Kameras, Wärmebildkameras und Sensoren ausgestattet sind, werden Gaslecks, thermische Anomalien und seismische Aktivität erfassen. Roboter, die direkt in der Bohrzone arbeiten, werden

Daten über Temperatur, Druck und chemische Zusammensetzung der Umgebung sammeln und diese Informationen an automatisierte Steuerungszentren weiterleiten. Diese Technologien sollen die Anwesenheit von Menschen in Hochrisikobereichen minimieren und ein hohes Maß an Genauigkeit und Sicherheit gewährleisten.

Nach Abschluss der Bohrungen erfolgt in der nächsten Etappe eine kontrollierte Entgasung, bei der der Druck allmählich abgebaut und große Lavamengen abgeleitet werden. In der letzten Etappe, nach einer erheblichen Verringerung des Magma- und Gasvolumens, kann eine kontrollierte Explosion erforderlich sein, um die Wege des Magmaaufstiegs zu versiegeln. Eine der vorgeschlagenen Methoden beinhaltet eine gezielte nukleare Explosion in einem Bohrloch. Ziel dieses Ansatzes ist es, tektonische Spannungen abzubauen und stabile strukturelle Barrieren zu schaffen, die magmatische Kanäle blockieren.

Dieser Ansatz beinhaltet die Zerstörung von Gesteinen in Hochspannungszonen, gefolgt von deren Verschmelzung und Kühlung unter dem Einfluss von Wärmeenergie. Dieser Prozess fördert die Bildung einer monolithischen Barriere, die den Zugang des Magmas zur Oberfläche ganz oder teilweise blockiert. Die thermodynamischen Auswirkungen können auch die tektonischen Spannungen verringern, wodurch die Wahrscheinlichkeit künftiger Eruptionen sinkt.

Die Durchführung von Nuklearexplosionen erfordert genaue Berechnungen, einschließlich Bewertungen des lithostatischen Drucks, der Gesteinshärte und -dichte sowie der Eigenschaften der magmatischen Schmelze. Diese Faktoren müssen sorgfältig berücksichtigt werden, um die Wirksamkeit der Methode zu maximieren und mögliche Risiken zu minimieren.

Auswahl des optimalen Zeitpunkts für die Durchführung der Bohrungen bei der geplanten Entgasung

Derzeit konzentrieren sich unsere Experten auf die Untersuchung des optimalen Zeitrahmens für die Durchführung von Bohrungen im Rahmen einer geplanten Entgasung. Es ist zwar noch zu früh, um endgültige Schlussfolgerungen zu ziehen, aber erste Berechnungen zeigen bereits, dass es möglich ist, den günstigsten Zeitpunkt für den Beginn der Entgasung genau zu bestimmen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Risiko von Komplikationen bei einem richtig gewählten Zeitpunkt um ein Vielfaches reduziert werden kann.

Bei der Bohrung müssen nicht nur die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Gesteins wie Festigkeit und Bruchfestigkeit berücksichtigt werden, sondern auch zeitliche Parameter im Zusammenhang mit der Himmelsmechanik. Die Berechnungen sollten auf der

Analyse der Position der Erde entlang der Ekliptik, der Mondphase, der Ausrichtung wichtiger Planeten wie Jupiter und der aktuellen Sonnenaktivität basieren. Darüber hinaus ist die Überwachung von Tiefbeben in der Bohrregion von entscheidender Bedeutung, da solche Ereignisse die lokale seismische Aktivität erheblich steigern können.

Gegenwärtig haben wir ein allgemeines Verständnis des Mechanismus und der Schlüsselmuster, die den Prozess bestimmen, entwickelt, aber diese Erkenntnisse müssen umfassend validiert werden. Die erzielten Ergebnisse sollten nicht nur von unserem wissenschaftlichen Team gründlich nachgeprüft, sondern auch durch unabhängige Untersuchungen und Modellierungen anderer Experten bestätigt werden.

Voraussichtliche Ergebnisse der geplanten Entgasung des Sibirischen Plumes

Bei der geplanten Entgasung des Sibirischen Plumes sind drei Hauptszenarien für die Entwicklung von Ereignissen möglich, die unter Berücksichtigung der beiden Etappen des Projekts berechnet wurden: der frühen und der späteren Etappe. Betrachten wir sie genauer.

1. Minimaler Schaden für das Territorium Russlands.

Wenn der Prozess der Entgasung und der Freisetzung überschüssiger Lava aus den sekundären Magmakammern von einem internationalen Expertenteam sorgfältig modelliert und unter Berücksichtigung aller geologischen Gegebenheiten akribisch berechnet wird,

können beide Etappen der Entgasung ohne Unfälle oder Komplikationen ablaufen. Dann wird der Schaden für das Territorium Russlands minimal sein: der Verlust wird 5-7% der Landesfläche betragen, im Extremfall bis zu 10% (der Radius der Zerstörung beträgt etwa 500-600 km). Die großen Städte in der Region Krasnojarsk könnten geschützt und der Verlust von Menschenleben vermieden werden. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass der Lavastrom bei einer günstigen Entwicklung in Richtung der arktischen Meere umgeleitet werden kann, was es Russland ermöglichen würde, sein Territorium durch die Erweiterung seiner Küstenlinie zu vergrößern.

2. Mäßige Schäden auf Territorium Russlands.

Bei diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass die frühe Phase der Entgasung erfolgreich verläuft, dass aber in den späteren Phasen unvorhergesehene Schwierigkeiten auftreten können, wie z. B. eine plötzliche Gasexplosion oder Lavafreisetzung. Zu diesem Zeitpunkt wären ein Teil von Gasen und Lava bereits abgeleitet, was die Gesamtauswirkungen verringern würde. Mögliche Folgen wären Ströme flüssiger Basaltlava, wie sie in Island oder auf den Hawaii-Inseln beobachtet wurden, oder eine Eruption von mäßiger Explosivität. In diesem Fall könnte der potenzielle Verlust des Territoriums auf 25-30 % (etwa 4-5 Millionen Quadratkilometer) steigen. Dies würde Städte in einem Umkreis von 1.000 km um die aktive Zone betreffen. Dieses Szenario wird jedoch nicht zu einer globalen Katastrophe für die Zivilisation oder zu unumkehrbaren Zerstörungen auf dem Territorium Russlands führen. Die Menschheit wird in der Lage sein, mit den entstandenen klimatischen und ökologischen Herausforderungen fertig zu werden.

3. Maximaler Schaden für Russland und die Welt.

Bei diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass eine verspätete Initiative oder unzureichende Fachkenntnisse zu ernsthaften Problemen führten werden. Unzureichende Erforschung, Berechnungsfehler oder das Bohren durch weiche oder fragmentierte Gesteine können den Verlauf stören. Kommt es während der frühen Entgasungsphase, wenn der Druck in den Magmakammern am höchsten ist, zu Komplikationen, könnte es zu einer von zwei katastrophalen Folgen kommen: zu einer sofortigen Explosion des gesamten Sibirischen Plume-Systems oder zu langsamen, aber ausgedehnten Lavaergüssen, ähnlich der Bildung des Sibirischen Trapps. Trotz der potenziellen Risiken ist die Wahrscheinlichkeit eines solchen Ergebnisses äußerst gering, da es

schwer vorstellbar ist, dass ein derart komplexes Projekt ohne angemessene internationale Vorbereitung durchgeführt werden kann.

Ein optimistisches und sehr wahrscheinliches Ergebnis ist der Verlust von nur 5-7 % des Territoriums Russlands mit minimalen Schäden. Selbst wenn es in späteren Etappen zu Komplikationen kommen sollte, könnten die Verluste auf 25-30 % ansteigen, was immer noch deutlich günstiger ist als die Folgen einer Untätigkeit. Das Risiko schwerwiegenderer Zerstörungen während der geplanten Entgasung ist sowohl für Russland als auch für die restliche Welt vernachlässigbar.

Die Durchführung der geplanten Entgasung wird Russland einzigartige Erfahrungen bei der Bewältigung globaler geodynamischer Risiken verschaffen, die seine Position als internationaler wissenschaftlicher und technologischer Vorreiter stärken werden. Die erfolgreiche Durchführung des Projekts wird zeigen, dass das Land in der Lage ist, Herausforderungen von planetarischem Ausmaß zu bewältigen, und so zur Stärkung der globalen Zusammenarbeit bei der Prävention von Naturkatastrophen beitragen. Diese Initiative wird nicht nur das innenpolitische und soziale Umfeld Russlands stabilisieren, sondern auch die internationale Zusammenarbeit bei der Bewältigung globaler Probleme stärken.

Eine kontrollierte Entgasung des Sibirischen Plumes könnte sich nicht nur auf die lokale Region auswirken, sondern auch auf andere vulkanische Systeme wie Yellowstone und Stratovulkane weltweit. Magmatische Reservoirs und ihre Dynamik bilden ein einziges, miteinander verbundenes globales Netzwerk, das als einheitliches geomechanisches System funktioniert. Eine kontrollierte Druckentlastung in einem Segment kann die Spannung in allen magmatischen Reservoirs verringern und so Kettenreaktionen und Eruptionen verhindern.

Dies kann man sich als Druckentlastung in einem Autoreifen vorstellen: Die Reduzierung des Drucks in einem Teil des Reifens ermöglicht eine Umverteilung der Belastung und verhindert, dass es in kritischen Bereichen reißt. Ein ähnlicher Ansatz zur Entgasung könnte magmatische Systeme auf globaler Ebene stabilisieren.

Eine geplante und kontrollierte Entgasung ist daher die einzige Chance für die Menschheit, eine Katastrophe abzuwenden, sowohl für Russland als auch für die ganze Welt. Dieses Szenario bietet einen Weg, eine globale Katastrophe zu vermeiden und der Menschheit Zeit zu verschaffen, um weitere Lösungen zu erarbeiten.

Doch trotz der immensen Aussichten stellt die erfolgreiche Umsetzung selbst des optimistischsten Szenarios eine enorme Herausforderung dar. Sofortiges Handeln ist unerlässlich, da Verzögerungen die Wahrscheinlichkeit katastrophaler Ereignisse erhöhen. Erstaunlicherweise könnte ein solches Projekt innerhalb Russlands auf Widerstand stoßen angesichts der potenziellen Risiken der Zerstörung der Infrastruktur und der Schwächung der Kontrolle über strategische Ressourcen.



■ Schlussfolgerungen

Der Sibirische Plume stellt eine globale geodynamische Bedrohung dar, die in ihrem Ausmaß mit tausend katastrophalen Eruptionen der größten Supervulkane vergleichbar ist. Ein unkontrollierter Ausbruch könnte Folgen von planetarem Ausmaß haben, einschließlich des Ausbruchs einer Eiszeit, der Zerstörung von Ökosystemen, des Zusammenbruchs der Infrastruktur und des Untergangs der Menschheit. Diese Risiken erfordern vorbeugende Maßnahmen, wie die geplante Entgasung des magmatischen Systems des Sibirischen Plumes.

Untätigkeit birgt die Gefahr spontaner, unkontrollierter Eruptionen, deren Folgen nicht nur für Russland, sondern für den gesamten Planeten katastrophal sein werden. Ein kontrollierter Druckabbau in den Magmakammern kann dazu beitragen, die schlimmsten Szenarien abzuwenden und der Menschheit die dringend benötigte Zeit zu verschaffen, um langfristige Lösungen zu erarbeiten.

Darüber hinaus wird die Einführung der Technologie der atmosphärischen Wassergeneratoren in den alltäglichen Gebrauch neben der Entgasung des Sibirischen Plumes neue Möglichkeiten zur Wiederherstellung des ökologischen Gleichgewichts eröffnen. Dies wird die Säuberung der Ozeane von Plastik ermöglichen, den Wasserkreislauf stärken und das thermische Gleichgewicht des Planeten wiederherstellen. Die umfassende Umsetzung

solcher Maßnahmen kann das Klima stabilisieren und der Menschheit eine Zukunft sichern, indem die Zeit für die Suche nach einer Lösung für das Problem externen kosmischen Einflusses, der während des 12.000-jährigen Zyklus katastrophale Ereignisse verursacht, gewonnen wird.

Diese Ziele erfordern dringend eine internationale Zusammenarbeit von Wissenschaftlern verschiedener Fachrichtungen, einschließlich Quantenphysikern, um umfassende Lösungen zu entwickeln und umzusetzen. Geopolitische und militärische Konflikte behindern jedoch eine solche Zusammenarbeit. Daher sind ein weltweites Moratorium für die Kriegsführung und die Umlenkung militärischer Ressourcen auf Katastrophenschutz und humanitäre Bemühungen dringend erforderlich. Der Menschheit bleiben nur 4-6 Jahre mit relativ stabilen Bedingungen, um die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen.

Wenn die Bedingungen für eine offene Zusammenarbeit geschaffen werden, müssen die Wissenschaftler nicht bei Null anfangen, da die bestehende Forschung und das Verständnis der kausalen Zusammenhänge in diesem Bereich bereits eine Grundlage bilden. Wenn die Menschheit nicht in der Lage sein wird, der globalen Vereinigung und der wissenschaftlichen Zusammenarbeit Priorität einzuräumen, wird dies unumkehrbare Folgen für das Leben auf der Erde haben.

■ Anhang 1

Die Methodik zur Analyse der seismischen Aktivität umfasste das Herunterladen und die Verarbeitung von Daten des Internationalen Seismologischen Zentrums (ISC). Da der Datensatz Beiträge aus verschiedenen Ländern und Forschungseinrichtungen sowie verschiedene Arten von Magnitudenskalen (Mw, Ms, Mb, ML, MD usw.) enthält, wurde ein spezieller Datenverarbeitungsalgorithmus angewandt, um einen geeigneten Magnituden-Typ aus verschiedenen Quellen auszuwählen. Es wurden zwei verschiedene Ansätze verwendet:

1. Bei dieser im Text als **„Special Median Magnitude Algorithm“** bezeichneten Methode wird eine bevorzugte Magnitudenschätzung ausgewählt und ein Ereignis nur dann in den Datensatz aufgenommen, wenn die bevorzugte Schätzung in den erforderlichen Magnitudenbereich fällt. Wir wählen die bevorzugte Schätzung der Magnitude aus, indem wir nach folgenden Magnituden-Typen unter den Schätzungen in der Reihenfolge ihrer Präferenz suchen: Mw, ML, MS, Mb, MD, MV.

Wenn für ein bestimmtes Ereignis mehrere Werte des bevorzugten Magnituden-Typs vorliegen, wird der Median aus allen verfügbaren Schätzungen dieses Typs für das Ereignis berechnet. Dann wird der Median für sie ermittelt. Wenn für ein bestimmtes Ereignis keine Schätzung der bevorzugten Typen verfügbar ist (was selten vorkommt und nur wenige Prozent der Ereignisse in der gesamten Datenbank ausmacht), wird eine beliebige Magnitudenschätzung mit einem Wert ausgewählt, der dem aus allen

Magnituden-Typen für dieses Ereignis berechneten Median entspricht.

2. Diese im Text als **Algorithmus für maximale Magnitudenwerte** bezeichnete Methode wählt die Magnitudenschätzung mit dem höchsten Wert unter allen verfügbaren Magnitudenschätzungen für das jeweilige Ereignis aus.

Der erste Algorithmus führt im Durchschnitt zu einer leichten Verringerung der Magnitude im Vergleich zum maximal gemeldeten Wert, aber die Erfahrung hat gezeigt, dass der Algorithmus für mittlere Magnitudenwerte ein angemessenes Verhalten des Gutenberg—Richter-Gesetzes und anderer Gesetzmäßigkeiten ergibt und ziemlich gut mit den Daten anderer seismologischer Datenbanken, wie der US Geological Survey (USGS) und Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS), übereinstimmt.

Der zweite Algorithmus ermöglicht eine Bewertung der Anzahl der von jeder Forschungseinrichtung aufgezeichneten Erdbeben, deren Magnitude einen bestimmten Schwellenwert überschreitet. Dieser Ansatz ermöglicht es, einen Trend in der Anzahl der Erdbeben innerhalb des gewählten Magnitudenbereichs zu erkennen.

Alle im Abschnitt „Zunahme der seismischen Aktivität als Indikator für die Destabilisierung der Platten aufgrund der Aktivität des Sibirischen Magma-Plumes“ dargestellten Diagramme wurden mit Hilfe des ersten Algorithmus - des speziellen Median-Magnituden-Algorithmus, erstellt (Abb. 44-75).

Nach der Auswahl der Magnitude wurden die Daten in der ISC-Datenbank nach Ereignistyp gefiltert, um Ereignisse auszuschließen, die durch menschliche Aktivitäten im Zusammenhang mit den Bergbauarbeiten verursacht wurden, wie z. B. Explosionen, vermutete Explosionen und Felsstürze. Folgende Ereignistypen wurden ausgeschlossen:

km = known mine explosion - bekannte Explosion in der Mine

sm = suspected mine explosion - Verdacht auf Explosion in der Mine

kh = known chemical explosion (Not standard IMS)
bekannte chemische Explosion (nicht Standard IMS)

sh = suspected chemical explosion (Not standard IMS) - Verdacht auf chemische Explosion (nicht Standard IMS)

kx = known experimental explosion - bekannte experimentelle Explosion

sx = Verdacht auf experimentelle Explosion

kn = known nuclear explosion - bekannte nukleare Explosion

sn = suspected nuclear explosion - Verdacht auf nukleare Explosion

Da es in Russland eine große Anzahl von Bergbaubetrieben gibt, wurde die ISC-Datenbank außerdem mit Daten des Einheitlichen Geophysikalischen Dienstes der Russischen Akademie der Wissenschaften (Stand Januar 2025) abgeglichen. Dieser Datensatz enthält alle bekannten Explosionen und Felsstürze auf dem Territorium Russlands. Diese Ereignisse wurden ebenfalls ausgeschlossen, um sicherzustellen, dass keine explosionsbedingten Ereignisse im endgültigen Datensatz verblieben.

Quellenangaben

- 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 otnositel'nykh smeshcheniy i kolebaniy yadra i mantii Zemli* [Geophysical consequences of relative displacements and oscillations of the Earth's core and mantle]. Institute of Physics of the Earth, Moscow.
- Beerling, D.J., Harfoot, M., Lomax, B. & Pyle, J.A., 2007. The stability of the stratospheric ozone layer during the end-Permian eruption of the Siberian Traps. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 365, pp.1843–1866. Available at: <http://doi.org/10.1098/rsta.2007.2046>
- Black, B.A., Elkins-Tanton, L.T., Rowe, M.C., Ukstins Peate, I., 2012. Magnitude and consequences of volatile release from the Siberian Traps. *Earth and Planetary Science Letters*, 317–318, pp.363–373. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.12.001>
- Black, B., Mittal, T., Lingo, F., Walowski, K., & Hernandez, A. (2021). Assessing the Environmental Consequences of the Generation and Alteration of Mafic Volcaniclastic Deposits During Large Igneous Province Emplacement. In R. E. Ernst, A. J. Dickson, & A. Bekker (Eds.), *Geophysical Monograph Series* (pp. 117-131). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119507444.ch5>
- Bogoyavlensky, V.I., Nikonov, R.A. & Bogoyavlensky, I.V., 2023. New data on intensive Earth degassing in the Arctic in the north of Western Siberia: thermokarst lakes with gas blowout craters and mud volcanoes. *AEE*, 13, pp.353–368. Available at: <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-3-353-368>
- Bogoyavlensky, V.I., 2023. New data on mud volcanism in the Arctic on the Yamal Peninsula. *Doklady Rossiyskoy Akademii Nauk. Nauki o Zemle*, 512, pp.92–99. Available at: <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>
- Brown, S. K., 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](https://doi.org/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 $M_w=7.5$, 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>
- 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.