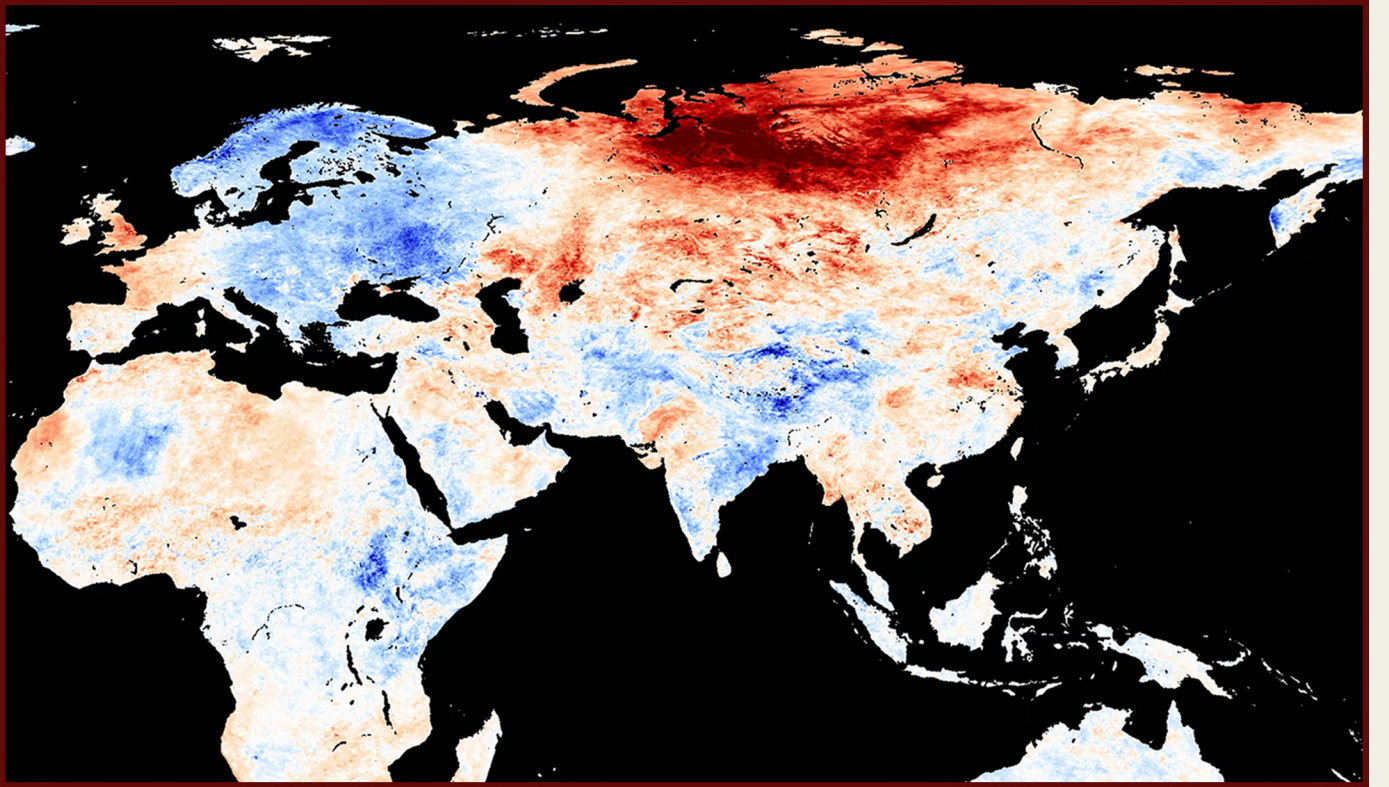


SİBİRYA'DA MAGMA GAZ SÜTUNU

PÜSKÜRMESİ TEHDİDİ VE SORUNUN ELE ALINMASINA
YÖNELİK STRATEJİLER HAKKINDA RAPOR



SİBİRYA'DA MAGMA GAZ

SÜTUNU PÜSKÜRMESİ TEHDİDİ VE SORUNUN ELE ALINMASINA YÖNELİK STRATEJİLER HAKKINDA RAPOR

İÇİNDEKİLER

Mevcut Dönemde Dünya'daki İklim Değişikliğinin Jeodinamik Modelinin Kısa Açıklaması	4
1998'de Çekirdeğin Sibiryaya Doğru Kayması	16
Sibiryaya ve Sibiryaya Arktik Bölgesi Dünyanın Geri Kalanından 3-4 Kat Daha Hızlı Isınıyor	21
Sibiryaya Gaz Sütununun Yükselişinin Dolaylı İşaretleri.....	25
Permafrost'un Erimesi.....	27
Çamur Volkanizmasının Tezahürleri.....	29
Toprak Isınması.....	31
Yüzeye Yakın Hava Sıcaklığı.....	32
Yıldırım Aktivitesinde Artış.....	34
Ozon Tabakasının İncelmesi.....	36
Yayınlanmış ve Gözlemsel Verilere Dayalı Olarak Magma Gaz Sütununun Yapısı, Olası Boyutları ve Lokalizasyonu	38
Magma Gaz Sütununun Lokalizasyonu.....	44
Tektonik Plaka Destabilizasyonunun Bir Göstergesi Olarak Artan Sismik Aktivite.....	48
Sibiryaya Gaz Sütununun Püskürmesinin Kaçınılmazlığına İlişkin Kanıtlar	72
Senaryo 1: Sibiryaya Gaz Sütununun Bir Defaya Mahsus Ani Patlaması.....	73
Süpervolkanların ve Volkanik Sistemlerin Aktivasyonu.....	80
Asit Yağmuru.....	82
Volkanik Kış.....	83
Senaryo 2: Sibiryaya Gaz Sütununun Kademeli Patlaması.....	85
Sibiryaya Gaz Sütununun Kademeli Olarak Atılımının Rusya İçin Sonuçları.....	90
Sibiryaya Gaz Sütununun Kademeli Atılımının Küresel Sonuçları	91
Sibiryaya Gaz Sütununun Kademeli Atılımının Gezegen İçin Uzun Vadeli Sonuçları.....	92
Senaryo 3: Planlı ve Kontrollü Gaz Giderme.....	93
Mevcut Volkanik Jeomühendislik Yöntemleri.....	93
Sibiryaya Gaz Sütununun Planlı Gazdan Arındırılması İçin Bir Program Örneği	100
Modern Sibiryaya Manto Gaz Sütununun Dinamiklerini İzlemek İçin Araştırma Sondaj Kuyularının Yerlerinin Seçilmesinin Gerekçesi.....	102
Planlı Gaz Giderme Sırasında Magmatik Kanalların Delinmesi ve Tıkanmasının Özellikleri.....	105
Planlı Gaz Giderme Sırasında Sondaj Kuyularının Açılması İçin En Uygun Zamanın Seçilmesi.....	106
Sibiryaya Gaz Sütununun Planlanan Gazdan Arındırılmasının Öngörülen Sonuçları.....	106
Sonuçlar.....	109
Ek 1.....	110
Referanslar.....	112

Mevcut Dönemde Dünya'daki İklim Değişikliğinin Jeodinamik Modelinin Kısa Açıklaması

Geçtiğimiz 30 yıl boyunca Dünya, gezegenin tüm katmanlarında ve jeofizik parametrelerinde iklim değişiklikleri, anomaliler ve aşırı olaylarda benzeri görülmemiş ve eşzamanlı bir artış yaşadı. Bu değişikliklerin ilerleyişi katlanarak hızlanmaktadır. Bilimsel verilerin kapsamlı analizi, Dünya'nın tüm alanlarında gözlemlenen anomalilerin başlıca etmenlerinin, her 12.000 yılda bir tüm Güneş Sistemini etkileyen astronomik döngüler olduğunu göstermektedir.

Bu dış astronomik etki hipotezi, Güneş Sistemi'ndeki diğer gezegenlerde ve uydularında eşzamanlı olarak meydana gelen benzer iklimsel, jeodinamik ve manyetik anomalilerin gözlemlenmesiyle desteklenmektedir. Örneğin, Uranüs, Jüpiter ve Venüs'te artan rüzgar hızları ve kasırga boyutlarının büyümesi kaydedilmiştir. Bu arada Mars'ta kutup buzullarının eridiği ve hem Venüs hem de Mars'ta volkanik faaliyetlerin

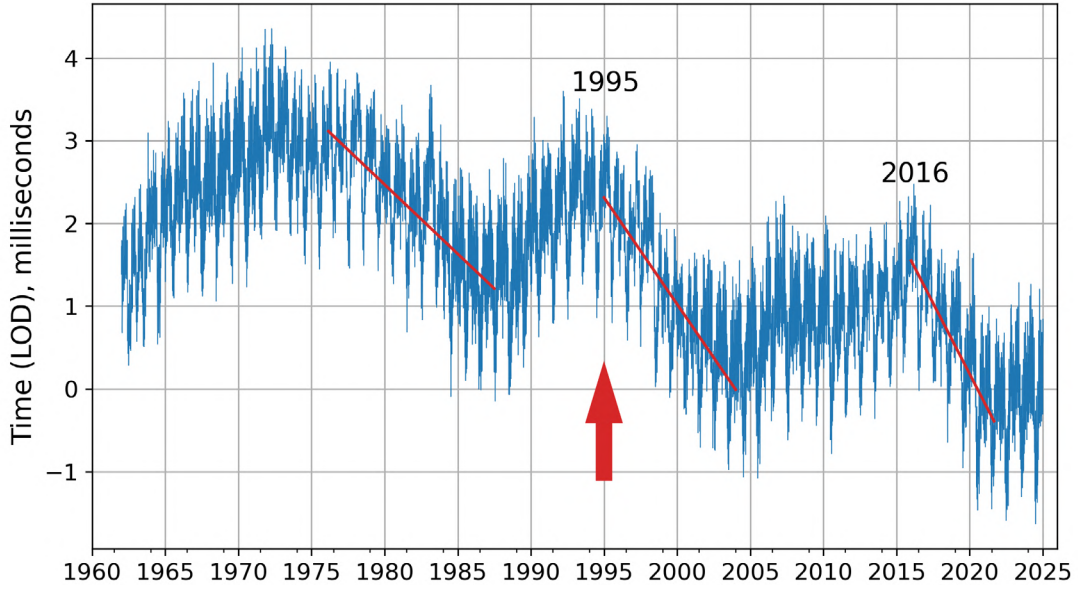
arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Mars'taki sismik faaliyetler yoğunlaşarak anormal jeodinamik süreçlerin ortaya çıktığına işaret etmektedir.

Dünya'nın sistemlerinde 12.000 yıllık astronomik döngüden kaynaklanan kritik değişiklikler 1995 yılında mevcut döngüde başlamıştır. O dönemde kaydedilen önemli jeofizik anomaliler arasında Dünya'nın dönüşünde keskin bir hızlanma (Şekil 1), ekseninde kayma¹ (Şekil 2) ve Kuzey Manyetik Kutbu'nda belirgin bir kaymanın başlaması² (Şekil 3) yer alıyordu. Bu olgular Dünya'nın çekirdeğinde önemli değişikliklerin meydana geldiğini göstermektedir.

¹Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L., & Bauer Gottwein, P. (2021). 1990'lardaki Kutup Kayması Karasal Su Depolama Değişimleri ile Açıklanıyor. *Geophysical Research Letters*, 48(7). <https://doi.org/10.1029/2020gl092114>

²Dyachenko, A. I. (2003). Dünya'nın manyetik kutupları. MCCME.

1962'den 2023'e kadar gün uzunluğunun milisaniye cinsinden sapması



Şekil 1.

1962'den 2023'e kadar gün uzunluğunun milisaniye cinsinden sapması

Kaynak: Paris Gözlemevi IERS Dünya Oryantasyon Merkezi Gün uzunluğu - Dünya oryantasyon parametreleri:

https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOPC04_14_62-NOW_IAU1980-LOD&id=223

Şekilde kırmızı çizgiler, bir günün uzunluğunun azalma hızını gösteren eğilim çizgilerini temsil etmektedir. Örneğin, soldaki eğilim çizgisi nispeten yumuşakken, 2016'dan bu yana hızlanmayı gösteren sağdaki eğilim çizgisi neredeyse dikeydir. Bu, bir günün uzunluğunun önemli ölçüde daha hızlı azaldığını, yani gezegenin dönüşünün hızlandığını göstermektedir.

Şekil 2.

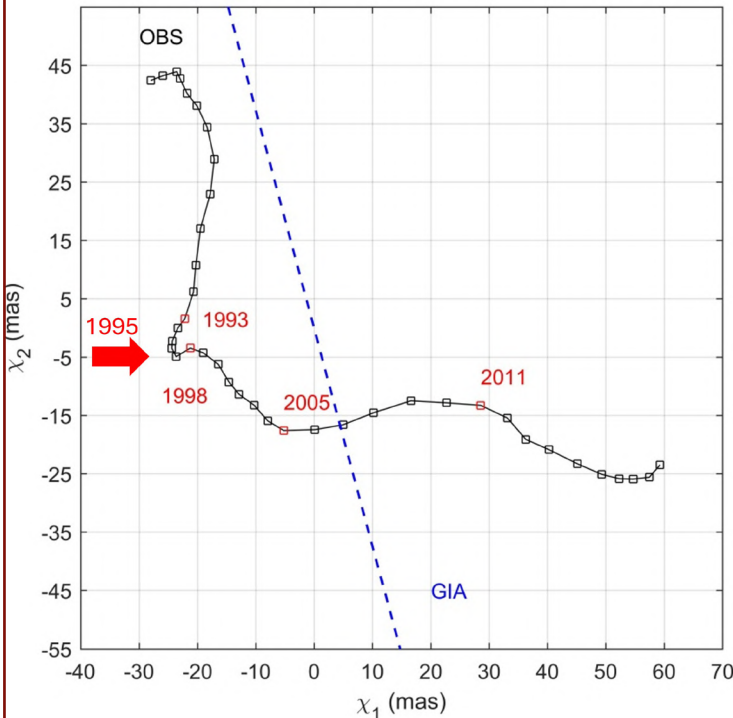
Hareketli ortalama yöntemi kullanılarak yıllık ve Chandler döngüleri çıkarıldıktan sonra gözlemlenen uyarımın uzun vadeli yörüngesi.

Kareli siyah çizgi: gözlemlenen yörünge; mavi kesikli çizgi: buzul izostatik ayarlamasının (GIA) neden olduğu kutupsal kaymanın yönü.

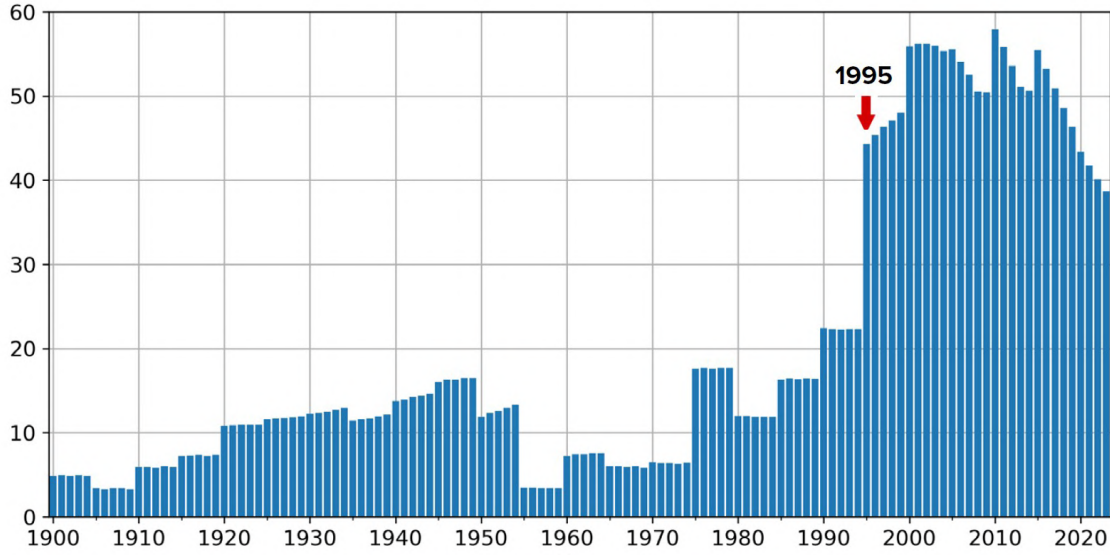
Hareketli ortalama alt küme boyutu, Liu ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmaya göre 12 ay (yıllık döngü) ve 14 ayın (Chandler döngüsü) en az ortak katı olan 84 ay olarak belirlenmiştir.

Kaynak: Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L., & Bauer Gottwein, P. (2021). 1990'lardaki Kutup Kayması Karasal Su Depolama Değişimleri ile Açıklanıyor. Geophysical Research Letters, 48(7).

<https://doi.org/10.1029/2020gl092114>



Kuzey Manyetik Kutbunun Kayma Hızı (km/yıl)



Şekil 3.

Kuzey Manyetik Kutbunun Kayma Hızı (km/yıl)

Kaynak: Kuzey Manyetik Kutbunun konumuna ilişkin NOAA verileri

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

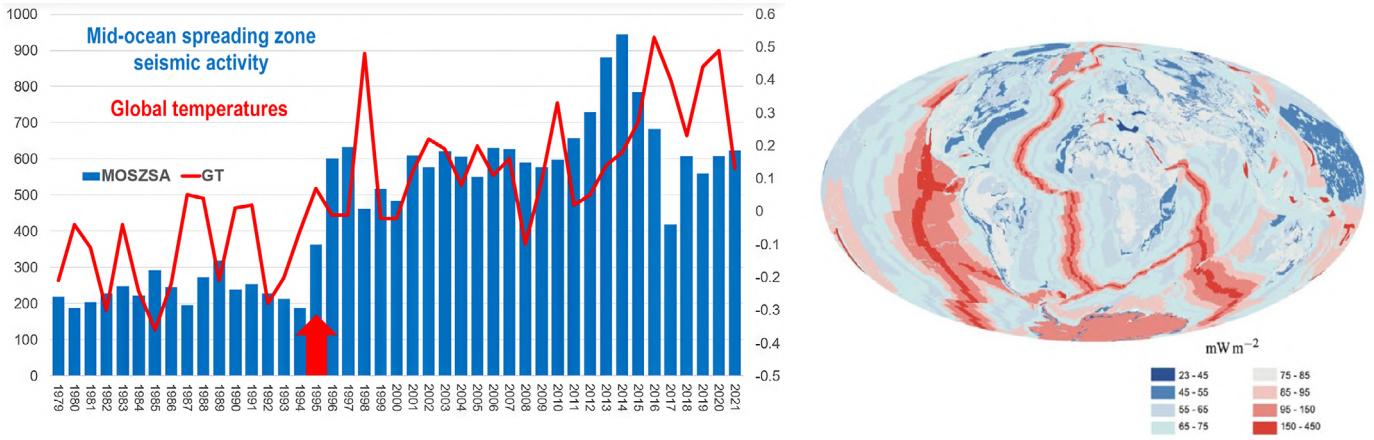
Hipoteze göre, bu noktada Güneş Sistemi, dış kozmik kuvvetlerin gezegen çekirdekleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaya başladığı bir bölgeye girmeye başlamıştır. Dünya'nın çekirdeğinde 1995 yılında gözlemlenen değişiklikler, dış çekirdeğin ısınmasında bir artış olduğunu ve ek enerjinin Dünya'nın çekirdeğine ulaşmaya başladığını göstermektedir. Dünya'nın çekirdeğindeki bu tür derin değişiklikler, insan uygarlığının varlığı boyunca ürettiği tüm enerjiden katrilyonlarca kat daha fazla enerji girdisi gerektirir.

Dünya'nın çekirdeğine dışarıdan enerji girişi, manto erimesi ve magmanın yüzeye çıkmasıyla ilişkili süreçleri tetiklemiştir. Bu da sismik ve volkanik faaliyetlerin zincirleme reaksiyonunu, Dünya'nın iç kısmından yayılan ısıнын artmasını ve dünya çapında iklimle ilgili felaketlerin artmasını başlatmıştır.

Örneğin, 1995'ten bu yana, daha yüksek frekans, büyüklük ve deprem enerjisi ile karakterize edilen sismik aktivitede önemli bir artış gözlenmiştir. Bu eğilim hem kıtasal bölgeleri hem de okyanus tabanını etkilemektedir (Şekil 4), daha önce sismik olarak aktif olmadığı düşünülen alanlar da dahil olmak üzere, bu değişikliklerin küresel niteliğini göstermektedir.

Büyüklüğü 5.0 veya daha yüksek olan depremlerin sayısındaki artışın sismik izleme teknolojisindeki ilerlemelerden kaynaklanmadığını (Şekil 5), ama Dünya'nın jeodinamik sistemindeki gerçek değişiklikleri yansıttığını belirtmek önemlidir. Uluslararası Sismoloji Merkezi'nden alınan kümülatif veriler, deprem sayısının son 25 yılda önemli ölçüde arttığını ve artmaya devam ettiğini doğrulamaktadır (Şekil 6).

Okyanus Ortası Sırtlar Boyunca Okyanus Tabanı Depremlerinde Artış



Şekil 4.

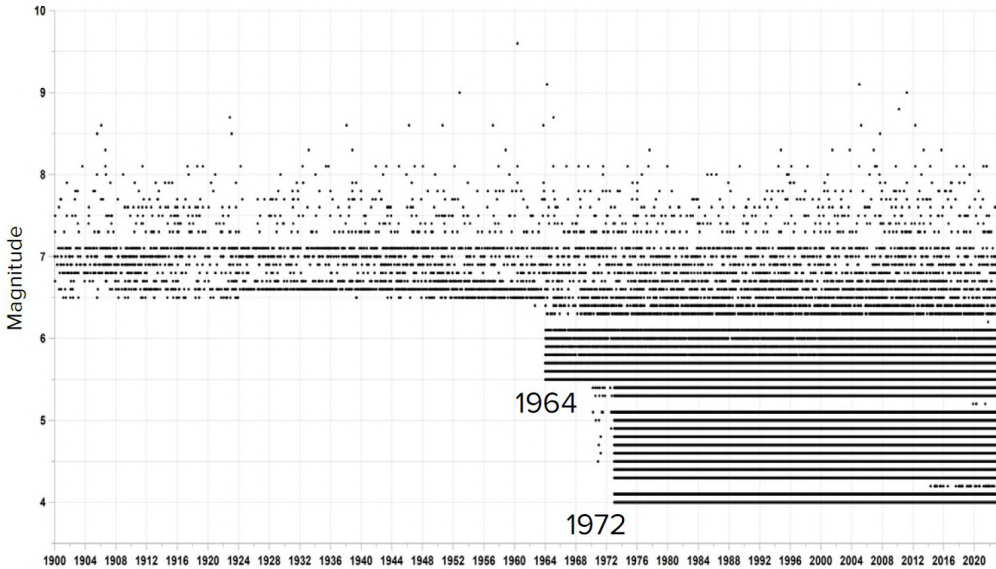
Okyanus tabanı depremlerinde ve küresel atmosferik sıcaklıklarda eşzamanlı artış (solda)

Okyanus Ortası Sırtlarının Jeotermal Isıtması (sağda)

Kaynak: Davies & Davies, 2010; Viterito, A. (2022). 1995: Yakın Jeofizik Tarihinde Önemli Bir Dönüm Noktası. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 29(5).

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

Diyagram, okyanus tabanı depremselliği ile atmosferik sıcaklıklar arasında güçlü bir korelasyonun yanı sıra 1995 yılından itibaren okyanus ortası sırtlar boyunca okyanus tabanı depremlerinin sayısında keskin bir artış olduğunu göstermektedir. Bu da hem okyanusları hem de atmosferi etkileyen ilave bir derin ısı kaynağına işaret etmektedir.

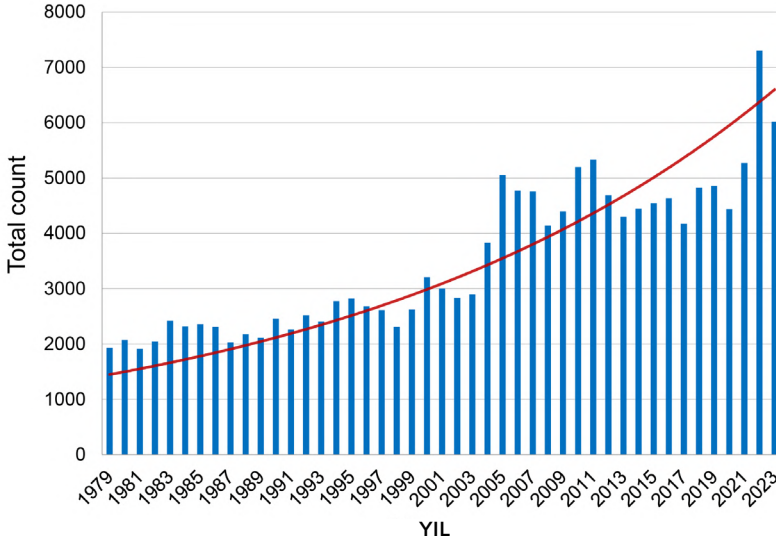


Şekil 5.

Zaman İçinde Kaydedilen Deprem Büyüklükleri

Siyah noktalar farklı yıllarda meydana gelen farklı büyüklükteki depremleri temsil etmektedir. 1964'ten önce sadece 6.5 ve üzeri büyüklükteki depremler kaydedilmekteydi. 1964 yılından itibaren daha hassas sensörlerin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte 5.5 ve üzerindeki depremler de belgelenmeye başlanmıştır. 1972'den bu yana, 4.0 ve üzerindeki depremler konumdan bağımsız olarak tutarlı bir şekilde kaydedilmektedir.

1979'dan 2023'e M5+ Depremler



Şekil 6.

1979'dan 2023'e M5+ Depremler

Kaynak: ISC veri tabanı.

Veri seti, her bir olay için ISC veri tabanında kaydedilen en yüksek büyüklük değeri seçilerek Maksimum Büyüklük Algoritması kullanılarak derlenmiştir (bkz. Ek 1).

Ayrıca, Yellowstone (ABD), Campi Flegrei (İtalya), Taupo (Yeni Zelanda) gibi süper volkanlar ve önceki 12.000 yıllık döngüler sırasında patlayan diğerleri de dahil olmak üzere volkanların yakınındaki sismik aktivite artmaktadır. Volkanik püskürme günlerinin toplam sayısı da anormal püskürmeler eşliğinde artmaktadır. Bu olaylarda, dışarı atılan lav aşırı ısınır ve daha derin manto katmanlarından gelen magmanın karakteristik atipik bir bileşimini sergiler.^{3,4,5,6,7}

Özellikle 300 kilometreyi aşan derinliklerde meydana gelen ve bazen Dünya yüzeyinin 750 kilometre altına kadar ulaşan derin odaklı

depremlerdeki artışa dikkat çekilmektedir. Bu olaylar yer kabuğundan değil, malzemenin tipik olarak kırılmak yerine yumuşak bir şekilde deforme olduğu mantodan kaynaklanmaktadır. Bu da bu tür depremlerin doğasını son derece sıra dışı kılmaktadır.

Bu derinliklerdeki aşırı basınçlar ve sıcaklıklar göz önüne alındığında, bu fenomenler, Dünya'nın mantosu içinde birden fazla atom bombasının eşzamanlı olarak patlatılmasıyla karşılaştırılabilir güçlü patlamalar olarak anlaşılabilir. Ayrıca, derin odaklı depremler genellikle yerkabuğunda önemli sismik olayları tetikleyerek yıkıcı etkilerini artırır.^{8,9}

³Castro, J., & Dingwell, D. (2009). Chaitén yanardağında riyolitik magmanın hızlı yükselişi, Şili. *Nature*, 461, 780-783. <https://doi.org/10.1038/nature08458>

⁴Smirnov, S. Z., ve diğerleri (2021). Raikoke yanardağının (Orta Kuril Adaları) 21 Haziran 2019 patlamasının yüksek patlayıcılığı: Piroklastik malzemeler üzerine mineralojik ve petrolojik kısıtlamalar. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 418, 107346. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107346>

⁵Tonga patlaması neden volkanoloji tarihine geçecek? (2022). *Nature*, 602, 376-378. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00394-y>

⁶Halldórsson, S. A., Marshall, E. W., Caracciolo, A., ve diğerleri (2022). İzlanda'daki Fagradalsfjall yanardağında derin bir magmatik kaynağın hızla yer değiştirmesi. *Nature*, 609, 529-534. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04981-x>

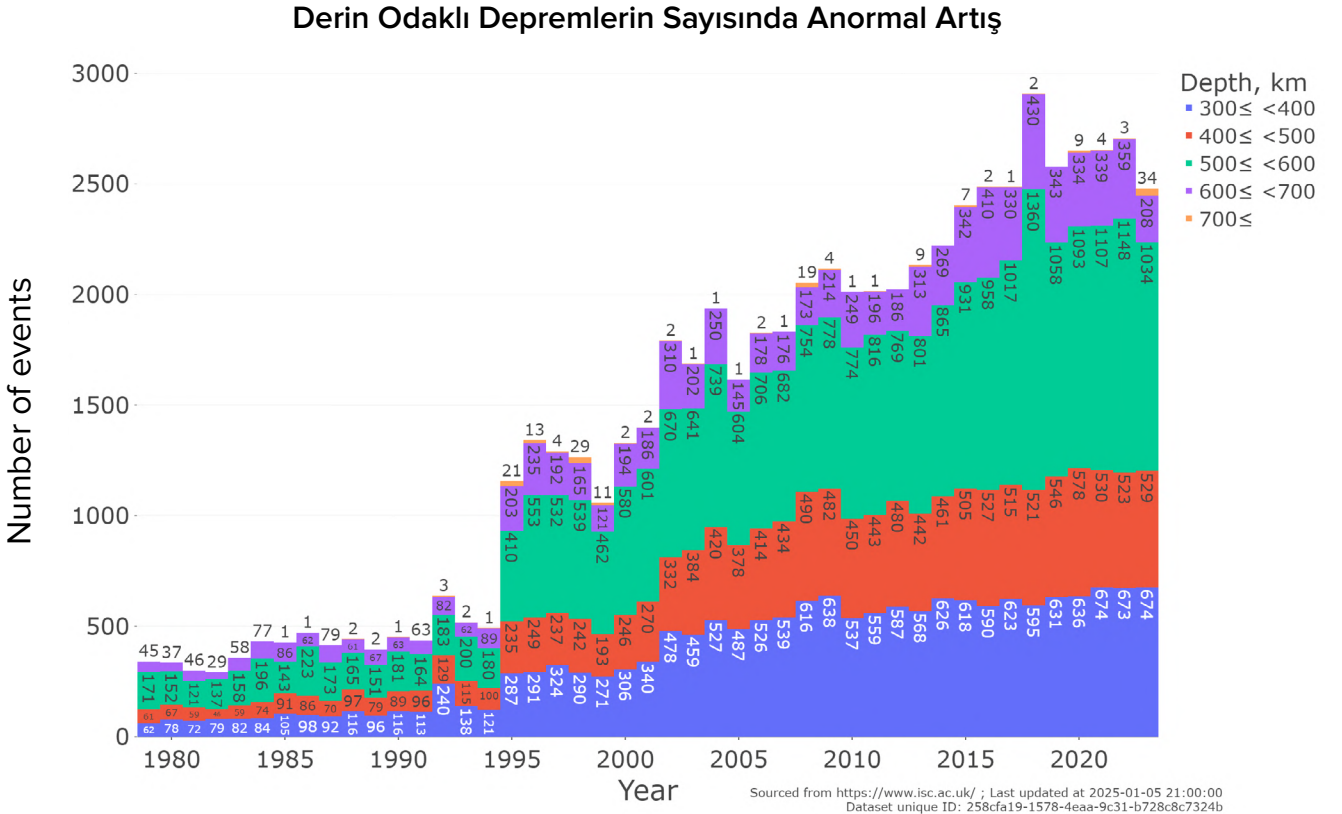
⁷D'Auria, L., Koulakov, I., Prudencio, J., ve diğerleri (2022). La Palma'nın altındaki hızlı magma yükselişi sismik tomografi ile ortaya çıkarıldı. *Scientific Reports*, 12, 17654. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21818-9>

⁸Mikhailova, R. S. (2014). Mantodaki güçlü depremler ve bunların yakın ve uzak bölgedeki etkileri. *Jeofizik Araştırma RAS*. <http://www.emsd.ru/conf2013lib/pdf/seism/Mihaylova.pdf>

⁹Mikhailova, R. S., Ulubieva, T. R., & Petrova, N. V. (2021). Mw=7.5, 10~7 olan 26 Ekim 2015 Hindukuş depremi: Önceki depremsellik ve artçı şok dizisi. *Earthquakes in Northern Eurasia*, 24(2015), 324-339. <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.31>

1995 yılından bu yana, bu tür derin depremlerin sayısında hızlı bir üstel artış olmuştur (Şekil 7, 8) ve aynı dönemde başlayan diğer jeodinamik anomalilerle çakışmaktadır. Bu manto içi

patlamalardaki artış, Dünya'nın derinliklerindeki enerjide bir artışa ve büyük ölçekli volkanik patlamalara neden olabilecek yoğun manto erimesine işaret etmektedir.

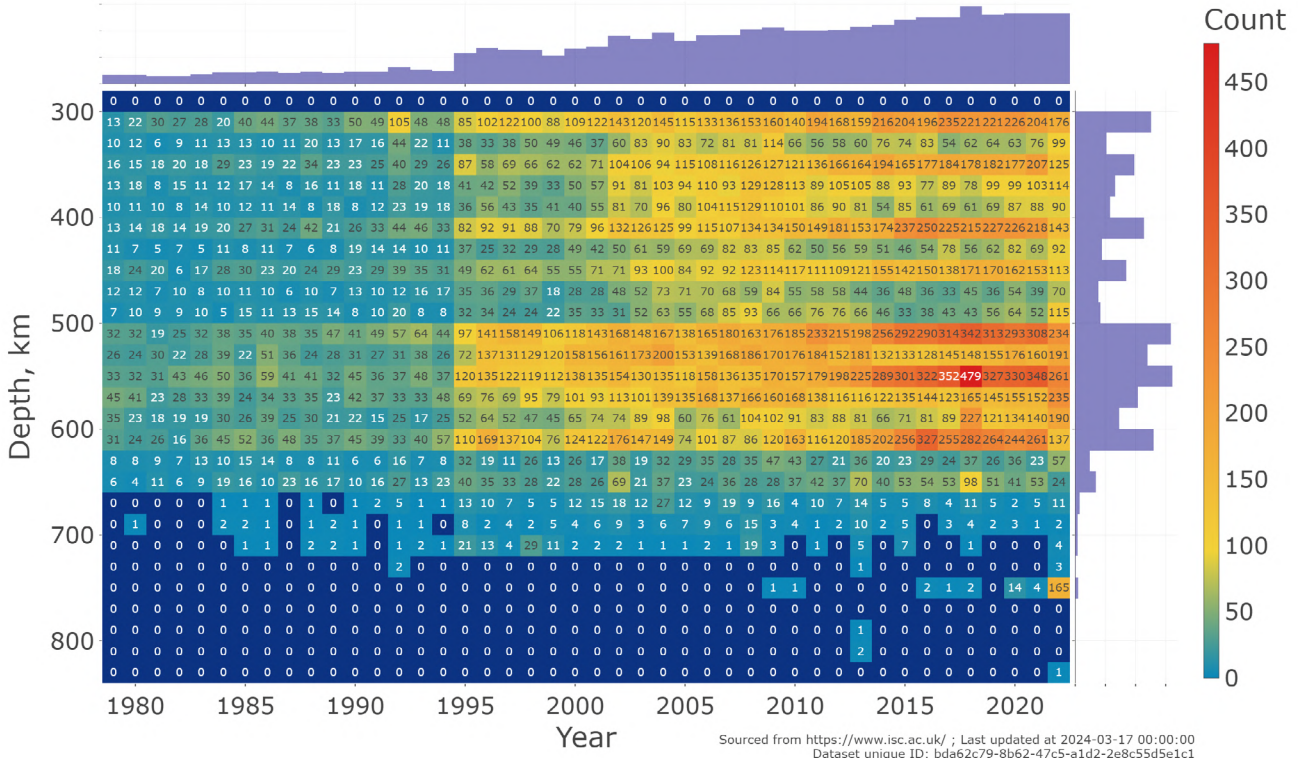


Şekil 7.
1979'dan bu yana dünya çapında derin odaklı M3+ depremlerinin sayısındaki üstel büyüme. Grafik, her bir olay için ISC veri tabanında bulunan Özel Medyan Büyüklük Algoritması (bkz. Ek 1) ile veri örneklemesine göre tasarlanmıştır.

Kaynak: ISC Veritabanı.

Grafik, geleneksel olarak plastik ve kırılma kabiliyeti olmayan bir bölge olarak kabul edilen Dünya'nın üst mantosunda 300 kilometreyi aşan derinliklerde meydana gelen depremlerin artışındaki geometrik ilerlemeyi göstermektedir. Diğer birçok jeodinamik anomalideki benzer artışlarla aynı zamana denk gelen 1995 yılından itibaren önemli bir artış gözlenmektedir. Derin odaklı depremlerdeki artışın sismik izleme sensörlerinin sayısındaki artışla ilgisi olmaması dikkat çekicidir.

Derin Odaklı Depremlerin Yıllara ve Derinliğe Göre Dağılımı



Şekil 8.

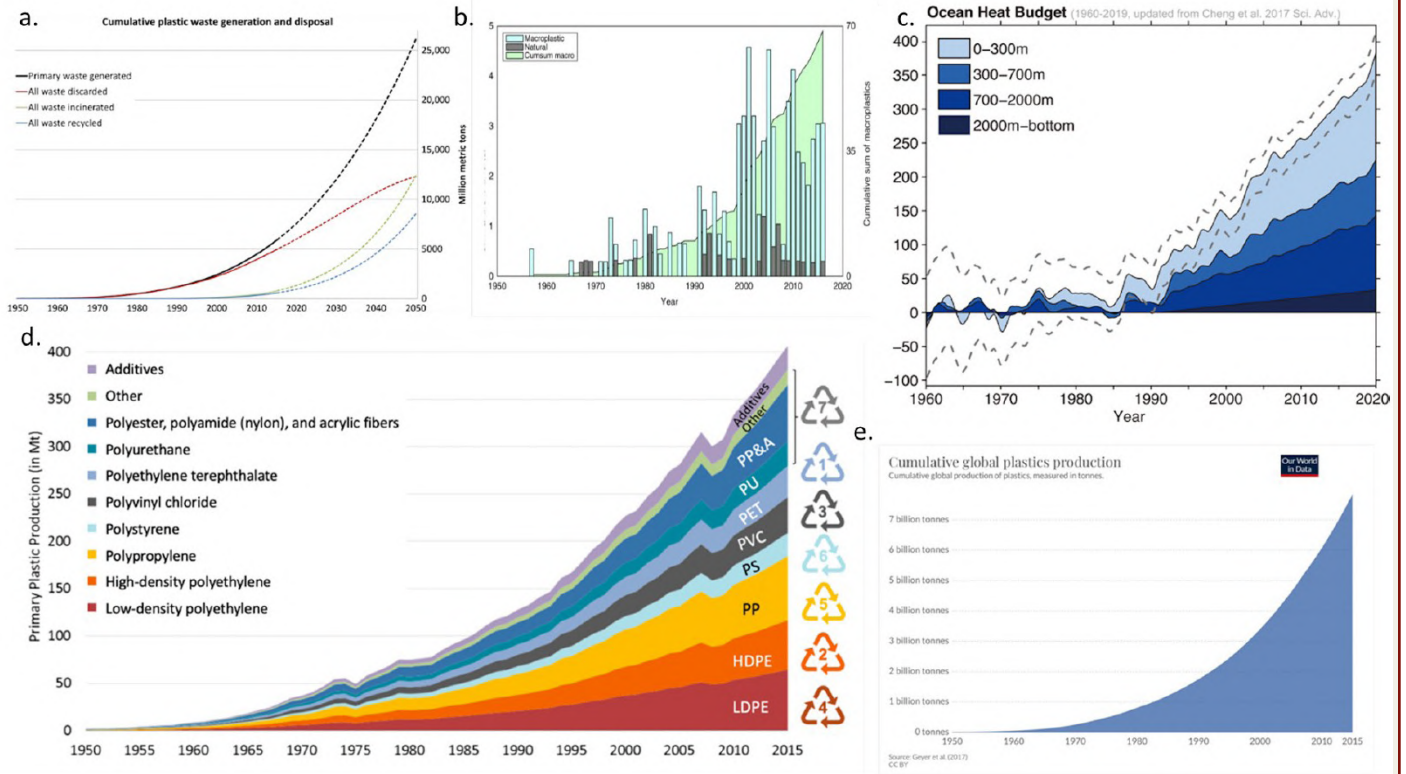
Derin odaklı M3+ depremlerinin yıllara ve derinliğe göre dağılımı

Kaynak: ISC Veritabanı.

Derin odaklı depremlerdeki artış, çekirdekten ısınan mantonun eridiğini gösterir. Merkezkaç kuvvetleri nedeniyle, manto içindeki erimiş magma Dünya yüzeyine doğru hızla yükselmeye başlar. Bu hareket litosferi aşındırır ve hızlandırılmış bir oranda içeriden ısıtır. Magmanın yükselişi, gezegenin iç kısmındaki jeotermal akışın artmasından ve Batı Antarktika ile Grönland'ın merkezindeki buzulların altındaki magma bulutlarının harekete geçmesinden doğrudan sorumludur. Bu süreç, buzulların ve donmuş toprakların aşağıdan yukarıya doğru erimesini önemli ölçüde hızlandırır.

Günümüzde okyanus daha önce hiç olmadığı kadar ısınmakta ve seller, kasırgalar ve tropikal

siklonlar gibi aşırı doğal olayları önemli ölçüde yoğunlaştırmaktadır. Okyanus, gezegenin ısısını düzenlemede çok önemli bir rol oynar çünkü aşırı ısıyı emebilir ve yeniden dağıtarak felaket sonuçlarını önleyebilir. Ancak, astronomik döngülerin neden olduğu jeodinamik faaliyetler nedeniyle Dünya'nın ısınması yoğunlaştığından, okyanus ısıyı derinliklerden uzaklaştırma işlevini kaybetmiştir. Bunun nedeni insan kaynaklı okyanus kirliliğidir. Plastik atıklar mikroplastiklere ve nanoplastiklere dönüşerek suyun termal iletkenliğini azaltmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9.

1960-2019 yılları arasında okyanus sıcaklığındaki değişikliklerin diyagramları ve bunların sentetik polimerlerin üretimindeki artış, ekonominin çeşitli sektörlerinde kullanımları ve plastik atıkların okyanusa atılması (çeşitli kaynaklardan) diyagramları ile karşılaştırılması.

a. Kümülatif plastik atık üretimi ve bertarafı

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Şimdiye kadar üretilen tüm plastiklerin üretimi, kullanımı ve akıbeti. *Science Advances*, 3(7).

<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

b. Okyanustaki makroplastiklerin kümülatif toplamı ve yıllık sayımlar

Ostle, C., Thompson, R. C., Broughton, D., Gregory, L., Wootton, M., & Johns, D. G. (2019). Okyanus plastiklerindeki artış 60 yıllık bir zaman serisiyle kanıtlandı. *Nature Communications*, 10(1622).

<https://doi.org/10.1038/s41467-019-09506-1>

c. 1960'tan 2019'a okyanus ısı bütçesi (Purkey ve Johnson, 2010; Cheng vd., 2017'den güncellenmiştir) 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). Rekor Düzeydeki Okyanus Sıcaklığı 2019'da Devam Etti. *Atmosfer Bilimlerinde Gelişmeler*, 37, 137-142.

<https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>

d. Polimer türüne göre küresel birincil plastik üretimi

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Şimdiye kadar üretilen tüm plastiklerin üretimi, kullanımı ve akıbeti. *Science Advances*, 3(7).

<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

e. 1950'den bu yana kümülatif küresel plastik üretimi

Veri kaynağı: Plastik Deniz Kirliliği Küresel Veri Seti

Su sıcaklıklarındaki artış sadece yüzeyde değil, tüm derinlikte ve okyanus tabanında meydana gelmektedir. Okyanusun ısınmasına, özellikle kıtasal kabuğa göre daha ince ve savunmasız olan okyanus kabuğunu ısıtan yükselen magma neden olmaktadır.

Jeolojik ve buz çekirdeklerinden elde edilen tarihsel veriler, Dünya'nın her 12.000 yılda bir benzer felaket döngüleriyle karşı karşıya kaldığını göstermektedir.¹⁰ Her 24.000 yılda bir, buz çekirdeklerindeki volkanik kül katmanları¹¹ (Şekil 10) ve diğer jeokronolojik araştırmalarla kanıtlandığı gibi, bu gezegensel felaketler önemli ölçüde daha yoğun olmuştur. Dünya şu anda böyle bir döngüye girmektedir. Ancak mevcut döngü, okyanusların Dünya'nın enerji dengesini düzenleme kabiliyetini daha da azaltan okyanus kirliliği gibi antropojenik faktörler nedeniyle daha da kötüleşmektedir.

Okyanuslar ısındıkça, plastik atıklar mikroplastiklere ve nanoplastiklere dönüşerek okyanusların ısı iletkenliğini daha da azaltmaktadır. Isı iletkenliğindeki bu kayıp, astronomik döngülerin yol açtığı jeodinamik faaliyetlerin arttığı dönemlerde kritik önem

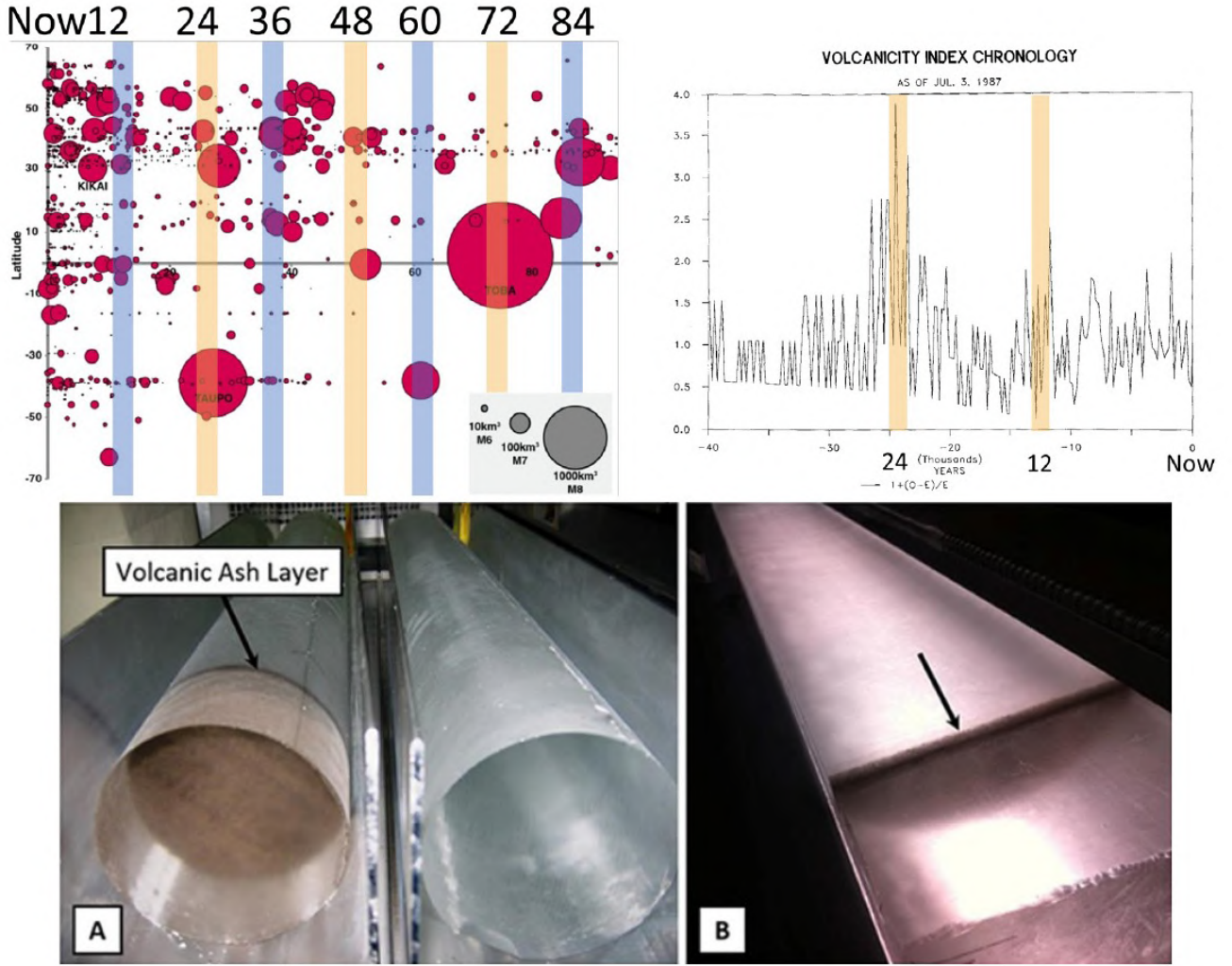
taşır. Dünya'nın iç kısmında aşırı enerji birikimi, derin odaklı depremlerin sayısında artışa ve yeni magma odalarının hızla oluşmasına yol açarak gezegenin istikrarsızlığını yoğunlaştırmıştır. Bu geri besleme döngüsü Dünya'nın ısınmasını ve istikrarsızlaşmasını hızlandırarak gezegeni kaçınılmaz bir yıkıma doğru itmektedir.

Matematiksel modellemeler, iklim felaketlerinin artan zararı nedeniyle dünyanın ekonomik ve sosyal sistemlerinin önümüzdeki 4-6 yıl içinde çökebileceğini göstermektedir. Felaket olaylarındaki üstel artış, önümüzdeki on yıl içinde Dünya'yı yaşanmaz hale getirme tehdidinde bulunmaktadır (Şekil 11). Önceki döngülerin aksine, gezegenin mevcut durumu insan faaliyetlerinin neden olduğu kirlilikle daha da kötüleşmekte ve ekosistemlerin veya Dünya'nın kendisinin hayatta kalması için çok az umut bırakmaktadır. **Okyanusla ilgili sorunların ele alınmasının felaketlerin ilerlemesini yavaşlatabileceğini ancak tamamen durdurmayacağını anlamak önemlidir.**

¹⁰Arushanov, M. L. (2023). İklim dinamikleri: Uzay faktörleri. LAMBERT Akademik Yayıncılık.

¹¹Sawyer, D. E., Urgeles, R., & Lo Iacono, C. (2023). Marsili Havzası, Tiren Denizi'nde 50.000 yıllık tekrarlayan volkaniklastik megabat birikimi. *Geology*, 51(11), 1001-1006. <https://doi.org/10.1130/G51198.1>

Felaket Niteliğindeki Volkanik Patlamalar 12.000 Yıllık Bir Döngüyle Gerçekleşiyor



Şekil 10.

Antarktika ve Kuzey Kutbu'ndaki buz çekirdeklerinde son 100.000 yılda meydana gelen patlamalardan kaynaklanan volkanik kül katmanlarına ilişkin araştırma verileri, çeşitli yazarların çalışmalarından derlenmiştir.

Kaynak: Brown, S. K., Croswell, 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). Kuvaterner püskürme kayıtlarının karakterizasyonu: Büyük Magnitüd Patlayıcı Volkanik Patlamalar (LaMEVE) veritabanı. *Journal of Applied Volcanology*, 3(5).
<https://doi.org/10.1186/2191-5040-3-5>

Bryson, R. A. (1989). Milankovitch iklim zorlamasının geç kuaterner volkanik modülasyonu. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 115-125.

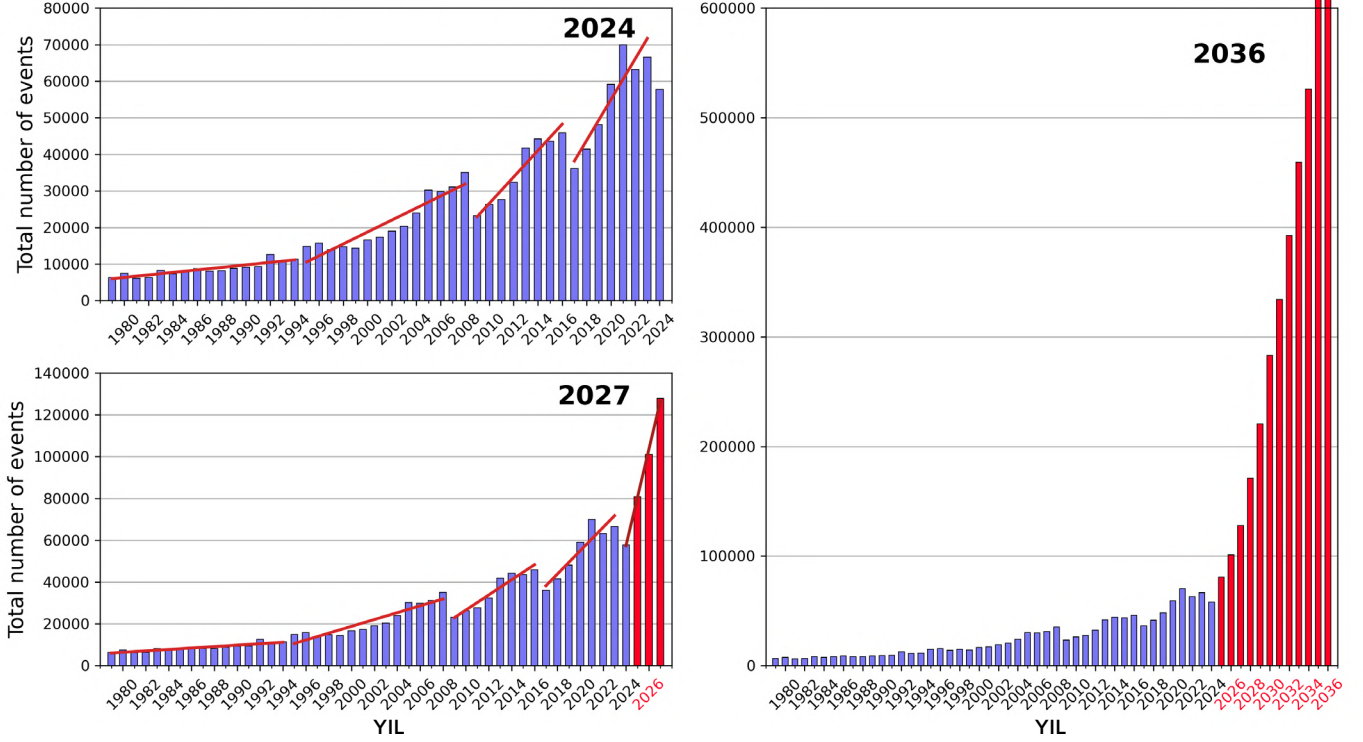
<https://doi.org/10.1007/bf00868307>

Grafikler, her 12.000 yılda bir meydana gelen yıkıcı volkanik aktiviteyi ve her 24.000 yılda bir (tarihleme belirsizlikleri hesaba katılarak) daha da yoğun olayları göstermektedir. Bu felaket dönemleri keskin sıcaklık dalgalanmalarına, doğal afetlere, volkanik kışlara ve türlerin kitlesel yok oluşlarına yol açmıştır. Geçmiş döngüler sırasında patlayan birçok süper volkan son yıllarda, özellikle de 1995'ten bu yana anormal faaliyetler göstermeye başlamıştır. years, particularly since 1995.

Depremlerle Örneklendirilen Artan Felaketlerin İlerleyişi

1979-2024 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen M3+ büyüklüğündeki depremler

volcanodiscovery.com



Şekil 11.

2036'ya kadar olan depremler örneğinde doğal afetlerin sayısındaki üstel büyümenin modeli.

Grafikler, mevcut eğilimlere göre dünya çapında depremlerin sıklığı ve büyüklüğündeki geometrik ilerlemeyi göstermektedir. Birbirini izleyen her aşamada deprem sayısı üç katına çıkmaktadır. 2028 yılına kadar, Dünya'nın günde ortalama 125 depreme

kıyasla, büyüklüğü 3.0'ın üzerinde olan günde 1.000 deprem yaşayacağı öngörülmektedir.

Altı yıl içinde Dünya'nın, 6 Şubat 2023'te Türkiye ve Suriye'de meydana gelen deprem kadar yıkıcı günlük depremler yaşaması kuvvetle muhtemeldir.

Bu rapor, dış enerji akışından kaynaklanan Dünya'nın çekirdeğindeki değişikliklerin yarattığı ek bir tehdidi ele almaktadır. 1997-1998 yıllarında bilim adamları, Dünya Kütle Araştırmaları Merkezi'nin uydu verilerini kullanarak, gezegenin iç çekirdeğinde ani bir kayma gibi benzeri görülmemiş bir olguyu gözlemlediler. Sonuç olarak, çekirdek Batı Antarktika'dan Doğu Sibirya'ya ve Rusya Federasyonu'ndaki Taimyr Yarımadası'na doğru bir yörünge boyunca kuzeye doğru göç etti. Bu çekirdek kayması, magmanın bu yönde kontrolsüz bir şekilde yükselmesine neden olmuş ve Sibirya'nın altında büyük bir magma gaz sütununun hızla yükselmesine yol açmıştır.

Şu anda Sibirya gaz sütunu Doğu Sibirya Kratonunun kuzey bölgesinde yerkabuğunun tabanına ulaşmış ve plakayı kaldırmaya

başlamıştır. Bu da erimiş magmanın yüzeye doğru yanmaya başladığını göstermektedir. Sibirya gaz sütununun kontrolsüz bir şekilde patlaması küresel bir yok oluşa yol açarak insanlığın hayatta kalma şansını ortadan kaldırabilir. Hesaplamalara göre, böyle bir patlama Yellowstone süper volkanının en önemli patlamasından 1.000 kat daha güçlü olacaktır. Sibirya'daki bir magma gaz sütununun benzer patlamaları 250 milyon yıl önce meydana gelmiş ve Büyük Permien Yok Oluşuna neden olmuştu.

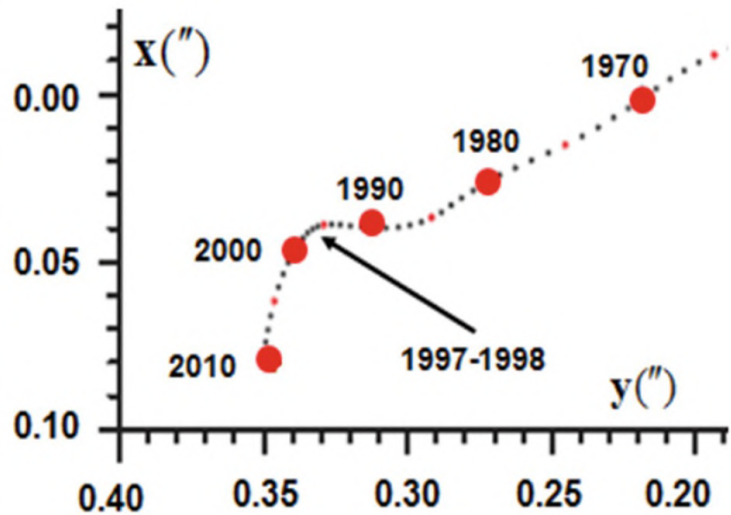
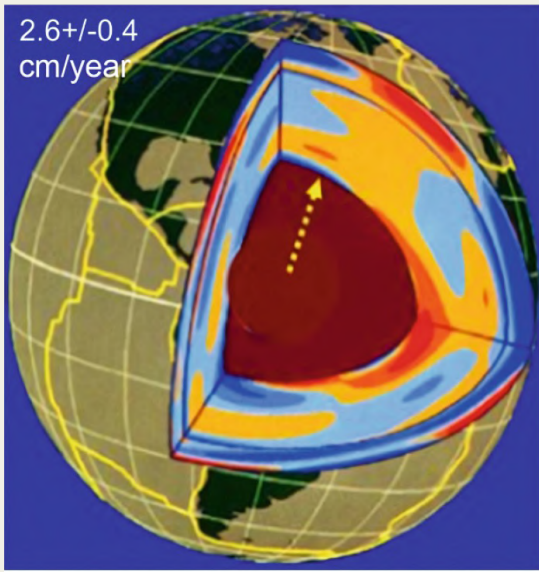
Bu rapor, bu durumun gelişmesine yönelik üç potansiyel senaryoyu ana hatlarıyla ortaya koymakta ve Sibirya'da yükselen magma gaz sütununu ele almak ve kontrolsüz patlamasının risklerini azaltmak için atılacak adımları önermektedir.

Aynı zamanda, dört farklı araştırma ekibi bağımsız olarak Dünya'nın çeşitli jeofizik parametrelerinde bu olayı kanıtlayan anormal değişiklikler kaydetti. Uydu verilerine göre, Moskova Devlet Üniversitesi ve Rusya Bilimler Akademisi Dünya Fiziği Enstitüsü'nden yazarlardan oluşan bir ekip, 1998 yılında Dünya'nın kütle merkezinde bir yer değiştirme kaydetmiştir¹⁴ (Şekil 13).

Dünya Rotasyon Servisi (IERS) gezegenin dönüşünde keskin bir hızlanma kaydetti. Aynı zamanda, İtalya'daki Medicina istasyonunda bilim insanları yerçekiminde ani bir kayma kaydetti.¹⁵ Eş zamanlı olarak, ABD uydularından

bir lazer telemetre sistemi kullanılarak kaydedilen Dünya'nın şeklinde¹⁶ keskin bir değişiklik gözlemlendi.

Fizik ve Matematik Bilimleri Doktoru Profesör Yuri Barkin, Teknik Bilimler Doktoru Profesör Gennadi Smolkov,¹⁷ Coğrafi Bilimler Doktoru Profesör Mikhail Arushanov,¹⁸ Rusya Bilimler Akademisi Akademisyeni ve Lomonosov Moskova Devlet Üniversitesi Onur Profesörü, Jeolojik ve Mineralojik Bilimler Doktoru Victor Khain,¹⁹ ve diğer birçok araştırmacıya göre çekirdeğin yer değiştirmesi Dünya'nın tüm kabuklarında değişikliklere neden olmuştur.



Şekil 13.

Dünya'nın iç yapısı; 1997-1998 yıllarında Taimyr Yarımadası'na doğru neredeyse 90 derecelik bir dönüşle 1990-2010 yılları arasında Dünya'nın kütle merkezinin seküler kayma yönü ve kutbunun Dünya yüzeyindeki yörüngesi
Kaynak: Smolkov, G.Ya. (2020). Heliogeophysical Research. Sayı 25, 14-29. <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=569> adresinden alındı .

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

¹⁴ Zotov, L. V., Barkin, Yu. V., & Lyubushin, A. A. (2009). Jeomerkez hareketi ve jeodinamigi. "Uzay Jeodinamigi ve Küresel Jeodinamik Süreçlerin Modellenmesi" Konferansı Bildirileri içinde (s. 98-101). RAS Sibirya Şubesi.

¹⁵ Romagnoli, C., Zerbini, S., Lago, L., Richter, B., Simon, D., Domenichini, F., Elmi, C., & Ghirotti, M. (2003). Zemin konsolidasyonu ve termal genişleme etkilerinin yükseklik ve yerçekimi değişimleri üzerindeki etkisi. 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). 1998'den bu yana karasal sistemde büyük ölçekli bir kütle yeniden dağılımının tespiti. Science, 297(5582), 831-833. <https://doi.org/10.1126/science.1072188>

¹⁷ Barkin, Yu. V., & Smolkov, G. Ya. (2013). 1997-1998 yıllarında jeodinamik ve jeofizik olayların eğilimlerindeki ani değişiklikler. Tüm Rusya Güneş-Yeryüzü Fiziği Konferansı Bildiriler Kitabı içinde (s. 16-21). Irkutsk.

¹⁸ Arushanov, M. L. (2023). Kozmik etkinin bir sonucu olarak Dünya'nın iklim değişikliğinin nedenleri, insan kaynaklı küresel ısınma efsanesini ortadan kaldırıyor. Deutsche Internationale Zeitschrift Für Zeitgenössische Wissenschaft, 53, 4-14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7795979>

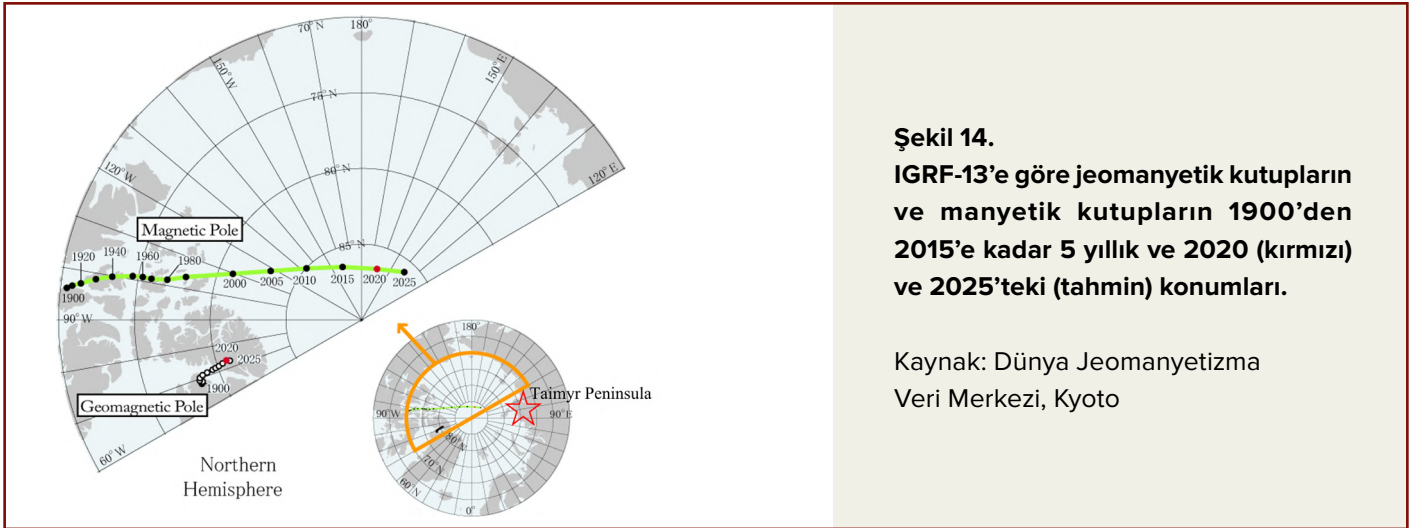
¹⁹ Uluslararası Komite GCGE GEOCHANGE. (2010). Küresel çevresel değişiklikler: Uygarlığın gelişimine tehdit (Cilt 1). Londra: GCGE. ISSN 2218-5798

Bu yönün, 1995 yılında başlayan Kuzey Manyetik Kutbunun ani kayması ile aynı hızda olduğunu belirtmek önemlidir. Geçen yüzyılın başından beri kutup ortalama 10 km/yıl hızla hareket ederken, aniden hızını maksimum 57 km/yıla çıkarmış ve yörüngesini değiştirerek Sibirya ve Taimyr Yarımadası'na doğru yönelmiştir²⁰ (Şekil 3, 14).

Bu da çekirdeğin Taimyr Yarımadası'na doğru kayması için gerekli koşulların, Dünya'nın dış sıvı çekirdeğinin sıvılaşmasıyla 1995 gibi erken bir tarihte oluşmaya başladığını göstermektedir. 2013 yılında Leeds Üniversitesi'nden araştırmacılar, manyetik alandaki bu değişikliklerin Dünya'nın dış çekirdeğindeki sıvı demir akışının hızlanmasından kaynaklandığını ortaya koymuştur²¹ (Şekil 15) ve bu durum muhtemelen 1995 yılında başlamıştır.

Yayınlanan verilere göre, manyetik alan inversiyonlarının sıklığı ile manto

magmatizmasının yoğunluğu arasında bir korelasyon vardır.^{22,23,24} Aynı zamanda, manyetik alan inversiyonlarının muhtemelen çekirdek-manto sınırına yakın dış çekirdekte meydana gelen süreçlerle ilgili olduğu bilinmektedir.²⁵ Manto magmatizmasının yoğunluğundaki değişiklikler ile Dünya'nın manyetik alanındaki ters dönmelerin sıklığı arasındaki korelasyon, Dünya'nın manyetik alanındaki bozulmaların, çekirdek-manto sınırında bulunan gaz sütunlarının tabanlarındaki ısı transferinin yoğunluğundaki değişiklikler nedeniyle dış çekirdekte meydana geldiğini göstermektedir. Hem yeni gaz sütunlarının ortaya çıkması hem de halen aktif olan gaz sütunlarının ısı çıkışındaki artış nedeniyle gaz sütunlarının toplam ısı çıkışı büyümektedir. Dış çekirdek ve mantodaki jeodinamik bozulmaların, bir gaz sütununun ortaya çıktığı ve yüzeye çıktığı dönemlerde meydana geldiği varsayılabilir.²⁶



²⁰Dyachenko, A. I. (2003). Dünya'nın manyetik kutupları. MCCME.

²¹Livemore, P. W., Hollerbach, R., & Finlay, C. C. (2017). Dünya'nın çekirdeğinde hızlanan bir yüksek enlem jeti. Nature Geoscience, 10, 62-68. <https://doi.org/10.1038/ngeo2859>

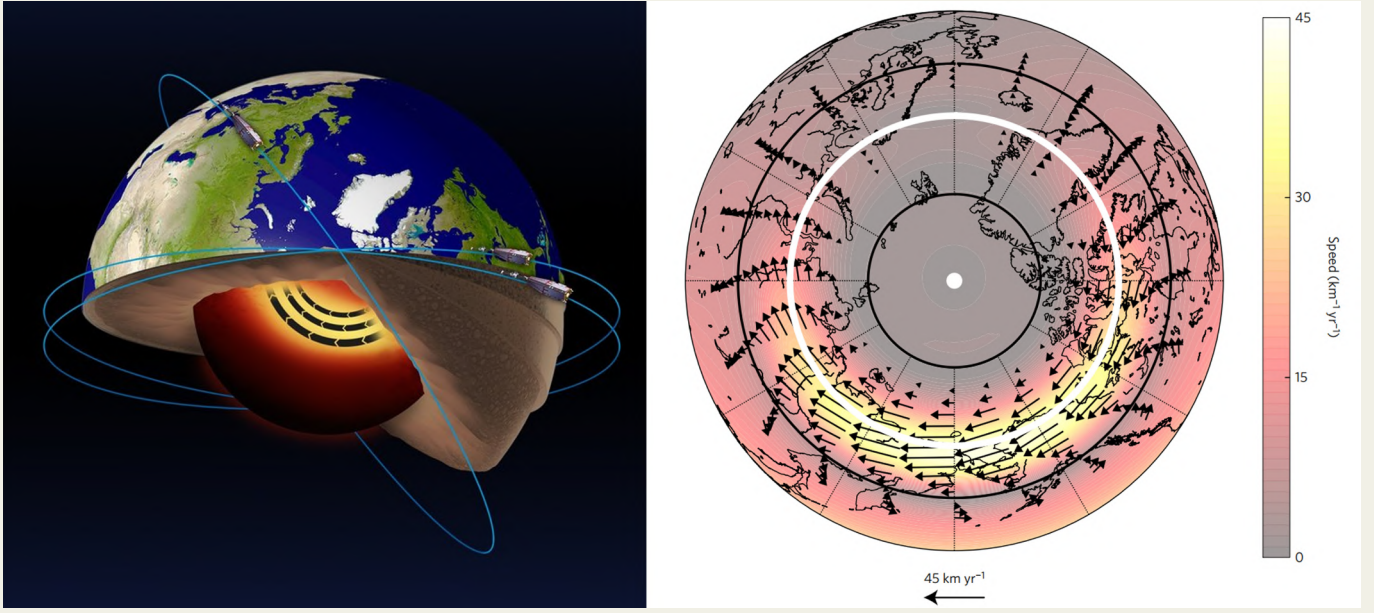
²²Alain Mazaud, Carlo Laj, The 15 m.y. jeomanyetik tersinme periyodikliği: nicel bir test, Earth and Planetary Science Letters, Cilt 107, Sayı 3-4, 1991, Sayfa 689-696, ISSN 012-821X, [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90111-T](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90111-T)

²³Roger L. Larson, Peter Olson, Manto gaz sütunları manyetik tersinme frekansını kontrol eder, Earth and Planetary Science Letters, Cilt 107, Sayı 3-4, 1991, Sayfa 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. "Yerkürenin Derin Jeodinamiği" // "Jeoloji ve Jeofizik", 1993, Cilt 34 (4), s. 3-13.

²⁵Dobretsov, N.L., Kiryashkin, A.G., Kiryashkin, A.A. "Derin Jeodinamik". Novosibirsk, Rusya Bilimler Akademisi Sibirya Şubesi Yayınevi, GEO Şubesi, 2001, 408 s.

²⁶Kiryashkin, A.A., Kiryashkin, A.G. Bir Termokimyasal Gaz Sütununun Manto Serbest Konvektif Akışları ile Etkileşimi ve Manto Erimesi ve Yeniden Kristalleşmesi Üzerindeki Etkisi // Jeoloji ve Jeofizik, 2013, Cilt 54, No. 5, s. 707-721.



Şekil 15. ESA Swarm uydu verilerinin analizi, Dünya çekirdeğinin sıvı demir kısmında yüzeyin 3000 km altında bir jet akımının varlığını ve bu jet akımının hızlandığını ortaya koymuştur.

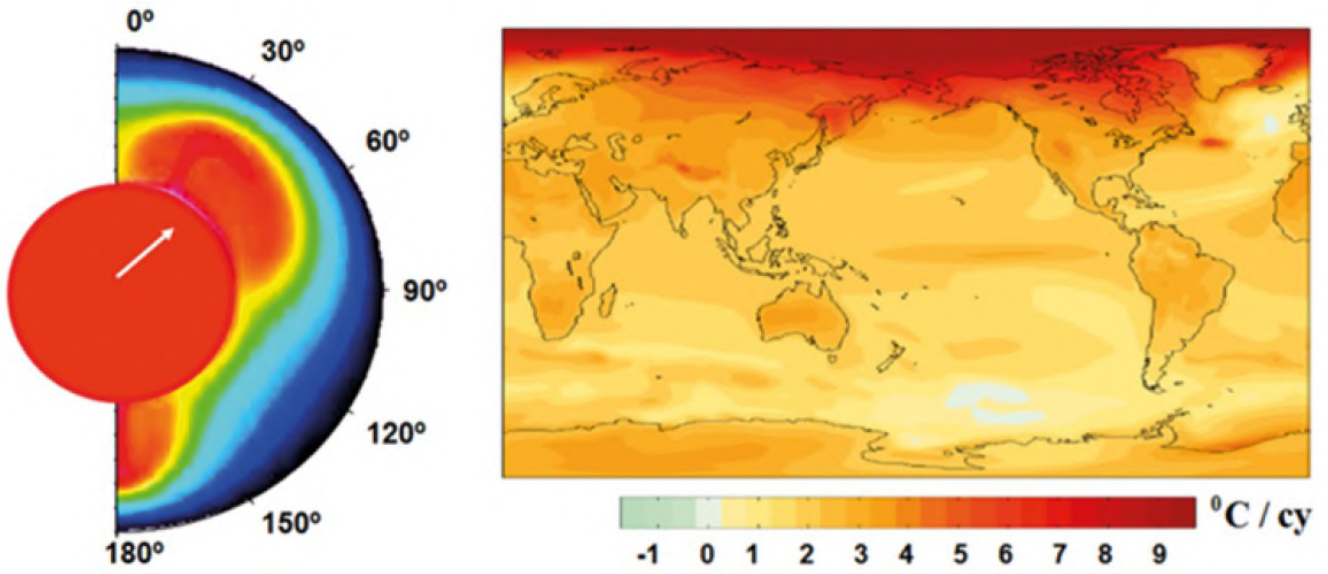
Kaynak: ESA

Livermore, P. W., Hollerbach, R., & Finlay, C. C. (2017). Dünya'nın çekirdeğinde hızlanan bir yüksek enlem jeti. *Nature Geoscience*, 10, 62-68. <https://doi.org/10.1038/ngeo2859>

Bu nedenle, Kuzey Manyetik Kutbu'nun Taimyr Yarımadası'na doğru mevcut kayması, Dünya'nın dış sıvı çekirdeğindeki değişikliklerin ve Sibiry'a'nın altındaki çekirdek-manto sınırından gaz sütununun keskin bir şekilde yükselmesinin ek bir kanıtı olabilir.

Böylece, 1995 yılında Dünya'nın çekirdeği üzerindeki dış kozmik etkinin bir sonucu olarak, iç çekirdek ısınmaya başladı. Dış çekirdek erimeye başladı ve bu da Kuzey Manyetik Kutbu'nun kaymasının hızla hızlanmasına yol açtı. Dış çekirdeğin sıvılaşması, 1997-1998 yıllarında çekirdeğin Sibiry'a ve Taimyr Yarımadası'na

doğru kayması için gerekli koşulları yarattı. Dr. Yuri V. Barkin tarafından önerilen hipoteze göre, çekirdek kayması Sibiry'a'ya doğru asimetrik bir ısı transferine neden olmuştur (Şekil 16). Manto içindeki ısı transferinin öncelikle konvektif karışım yoluyla gerçekleştiğine dikkat etmek çok önemlidir. Bu da çekirdek kaymasının öncelikle magmanın Sibiry'a'ya doğru yükselmesini tetiklediğini göstermektedir. Daha sonra, Sibiry'a'nın bu kısmında anormal atmosferik ısınma gözlenmeye başlamıştır ve bu ısınma her yıl artmaktadır.



Şekil 16.

Çekirdek ve mantonun zorlanmış göreceli kayması ve mantonun üst katmanlarına asimetrik ısı beslemesi şeması (solda). Özel bir senaryoya göre ortalaması alınmış NCAR CCSM3 verilerine göre yüzey ısınmasının doğrusal eğilimleri (yüzyıl başına °C cinsinden) http://www.realclimate.org/bitz_fig3.png (sağda)

Kaynak: Barkin, Yu.V. (2009). Ciklicheskie inversionnye izmeneniya klimata v severnom i juzhnom polusharijah Zemli [Dünya'nın Kuzey ve Güney Yarımkürelerinde Döngüsel İnversiyon İklim Değişikliği]. Denizlerin ve Okyanusların Jeolojisi: Materyalleri. Deniz Jeolojisi üzerine XVIII Uluslararası Bilimsel Konferans (Okul). Cilt III. - Moskova: GEOS. pp. 4-8.

Sibirya ve Sibirya Arktik Bölgesi Dünyanın Geri Kalanından 3-4 Kat Daha Hızlı Isınıyor

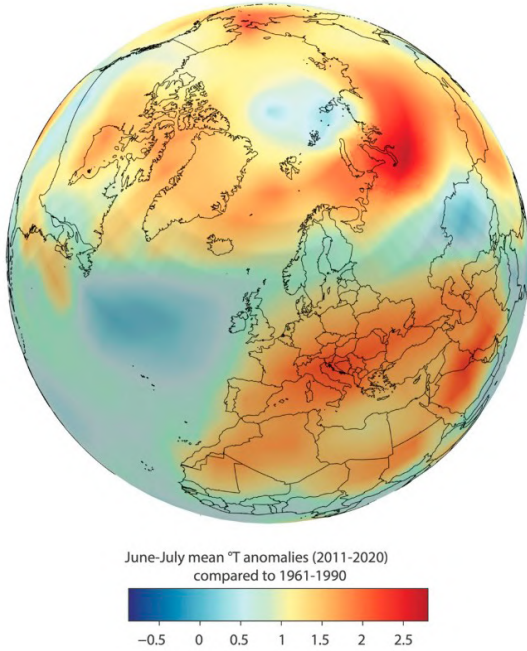
Çeşitli organizasyonlara göre, Rusya toprakları, özellikle de Arktik bölgesi, aşırı ısınma yaşıyor.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) bilim adamları tarafından 2021 yılı için sağlanan verilere göre, Rusya dünyanın geri kalanından üç kat daha hızlı ısınıyor ve Arktik ve Sibirya bölgeleri küresel ortalamadan dört kat daha hızlı ısınıyor.

Roshydromet'in başkanı Igor Shumakov, 2022 yılında Dünya Meteoroloji Organizasyonunun²⁷ verilerine değinerek Rusya topraklarının küresel oranın 2,5 katı hızla ısındığını ve ülkenin kuzey kutup bölgesinin özellikle son yıllarda en hızlı sıcaklık artışlarını yaşadığını belirtmiştir. Sibirya, küresel olarak en yoğun ısınmanın

yaşandığı bölgeler arasında yer almaktadır (Şekil 17); dendroklimatik çalışmalardan yeniden yapılandırıldığı üzere, son 7.000 yılda benzeri görülmemiş bir eğilim söz konusudur.²⁸

ABD Woodwell İklim Araştırma Merkezi (WCRC)²⁹ iklim değişikliğinin Kuzey Kutbu'nun çeşitli bölgelerindeki sıcaklıkları, toprak nemini, kar örtüsü kalınlığını, yağış seviyelerini ve diğer önemli iklim parametrelerini nasıl etkilediğini değerlendirmek için geniş çaplı bir çalışma yürütmüştür. Bunu yapmak için bilim insanları, son 40 yılda uydular, uçaklar, insansız hava araçları ve yer tabanlı meteoroloji istasyonları aracılığıyla toplanan verileri birleştirdi ve sistematik hale getirdi.



Şekil 17.

Son on yıllık gözlemler sırasında (2011-2020) Kuzey Yarımküre (Yamal ve Taimyr Yarımada) için Haziran-Temmuz aylarındaki ortalama sıcaklık anomalileri. Sıcaklıklar, HadCRUT.5 veri seti kullanılarak 1961-1990 temel iklimine göre anomaliler olarak ifade edilmiştir.

Kaynak: Hantemirov, R.M., Corona, C., Guillet, S., vd. Mevcut Sibirya ısınması son yedi bin yılda görülmemiştir. Nat Commun 13, 4968 (2022).

<https://doi.org/10.1038/s41467-022-32629-x>

²⁷TASS. (2024, Ocak). Rusya'nın toprakları gezegenin geri kalanından 2,5 kat daha hızlı ısınıyor. TASS Haber Ajansı. <https://tass.ru/obschestvo/16009287>

²⁸Hantemirov, R. M., Corona, C., Guillet, S., ve diğerleri (2022). Sibirya'nın mevcut ısınması son yedi bin yılda görülmemiştir. 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., ve diğerleri (2025). Kuzey yüksek enlemlerindeki bölgesel değişim noktaları uzaydan gelen gözlemlerle bilgilendirildi. Geophysical Research Letters, 52, e2023GL108081. <https://doi.org/10.1029/2023GL108081>

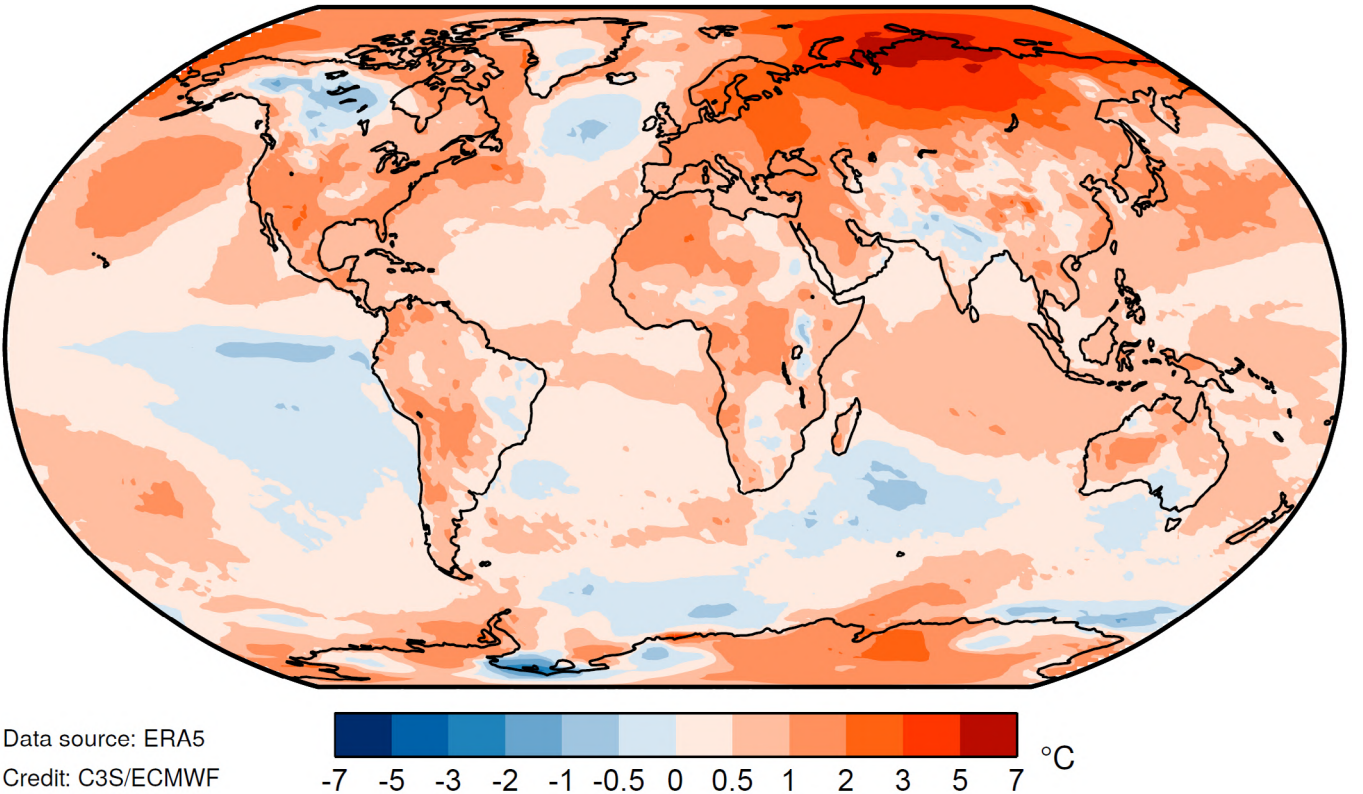
Bu verilerin daha sonra analiz edilmesi, araştırmacıların yaklaşık iki düzine iklimsel sıcak noktayı belirlemelerini sağladı. En yoğun ısınma, yıllık ortalama sıcaklıkların her on yılda 1,1 santigrat derece arttığı Doğu Sibirya'nın kutup ve orta bölgelerini etkilemiştir ki bu küresel ısınma oranından birkaç kat daha yüksektir. Taimyr Yarımadası'nda sıcaklıklar daha da hızlı artmıştır: her on yılda 1,7 santigrat derece. Benzer şekilde, Sibirya taygasındaki sıcaklıklar da 1980'lerin sonlarından bu yana her on yılda 0,6 santigrat derece artmaktadır.

Sibirya'daki sıcak hava dalgaları son yıllarda, özellikle de bölge genelinde sıcaklıkların keskin bir şekilde arttığı 2020 yılında endişe verici yeni

seviyelere ulaşmıştır (Şekil 18).

Sibirya'daki sıcaklıklar Ocak ayından Haziran ayına kadar ortalamanın 5°C üzerinde seyretmiş, anomaliler Haziran ayında ortalamanın 10°C üzerine kadar çıkmıştır (1981-2010 temel çizgisine göre). Bu olağanüstü sıcak dönem, 20 Haziran'da tüm zamanların en yüksek sıcaklığı olan +38°C'yi kaydeden Verkhoyansk meteoroloji istasyonu da dahil olmak üzere yerel sıcaklık rekorlarını kırmıştır (Şekil 19). Rus meteoroloji servisi bu sıcaklığın Kuzey Kutup Dairesi'nin kuzeyinde şimdiye kadar kaydedilen en yüksek sıcaklık olduğunu belirtmiştir.

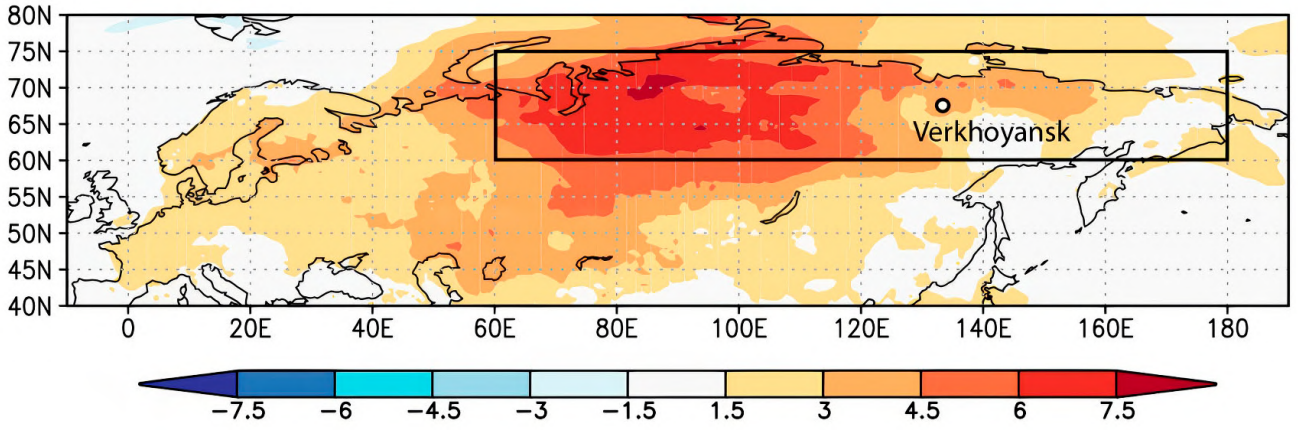
2020 sıcaklıklarının 1981-2010 ortalamasından sapması



Şekil 18.

2020 sıcaklıklarının 1981-2010 ortalamasından sapması.

Kaynak: Copernicus İklim Değişikliği Servisi, Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF)



Şekil 19.

Uzun süreli Sibirya sıcaklığı: Sibirya bölgesindeki normale (1981-2010) kıyasla Ocak-Haziran 2020 arasındaki ortalama sıcaklıklar ve Haziran ayında +38°C ile rekor kıran Kuzey Kutup Dairesi sıcaklığının gözlemlendiği Verkhoyansk konumu.

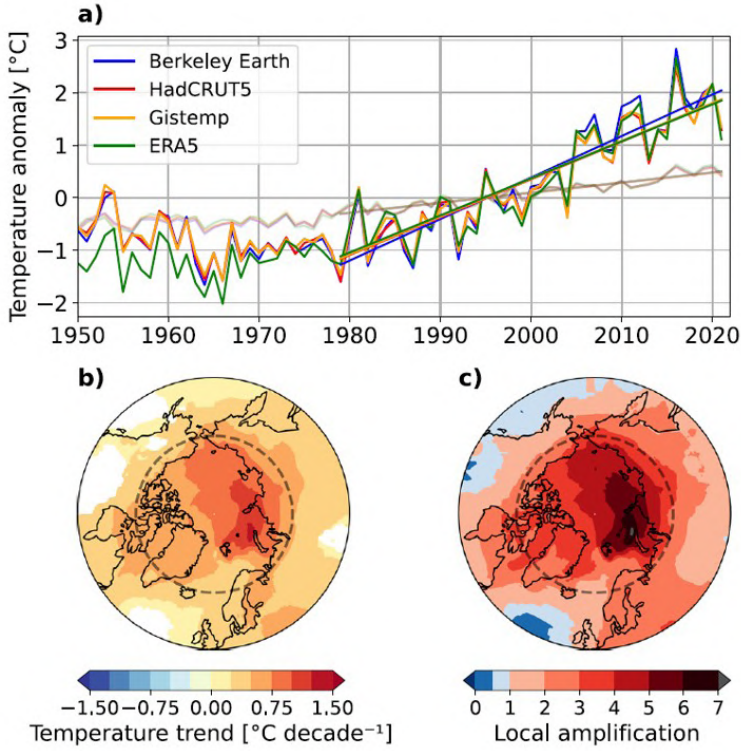
Kaynak: Ciavarella, A., Cotterill, D., Stott, P. ve diğerleri. 2020'nin uzun süreli Sibirya sıcaklığı insan etkisi olmadan neredeyse imkansız. Climatic Change 166, 9 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03052-w>

Bu ısı dalgaları Sibirya'da sürekli olarak devam etmemekte, ama ısı dalgalarına neden olan magma inklüzyonları dalga benzeri bir karaktere sahip olduğu için titreşimli bir düzende meydana gelmektedir. Hava kütlelerinin serbestçe hareket ettiği ve karıştığı atmosferde, su ortamlarındaki ısı dalgalarının aksine, ısı dalgaları 2020'de olduğu gibi birkaç ay içinde azalabilir.

2022 araştırmasına göre, Sibirya Kuzey Kutbu küresel ortalamadan yaklaşık dört kat daha hızlı ısınmaktadır; bu oran daha önce iklim modellerinde hesaplanandan daha yüksektir ve bilim insanlarını şaşırttı³⁰ (Şekil 20).

Kuzey Kutbu'ndaki bu ısınmanın özellikle Taimyr Yarımadası bölgesinde gerçekleşmesi dikkat çekicidir. Sibirya'nın okyanus bölgesindeki bu anormallik, ısıyı daha verimli bir şekilde ileten daha ince okyanus kabuğu ve suyun atmosfere kıyasla daha yüksek ısı kapasitesi ile açıklanabilir. Bu nedenle, okyanus suyu, yükselen magma gaz sütunundan gelen ısıyı yoğun bir şekilde emer ve tutar, gaz sütunu kıyı şeridinden nispeten uzakta kıtasal kabuğun altında yükseliyor olsa bile.

³⁰Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). Kuzey Kutbu 1979'dan bu yana dünyadan yaklaşık dört kat daha hızlı ısındı. Communications Earth & Environment, 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>



Şekil 20.

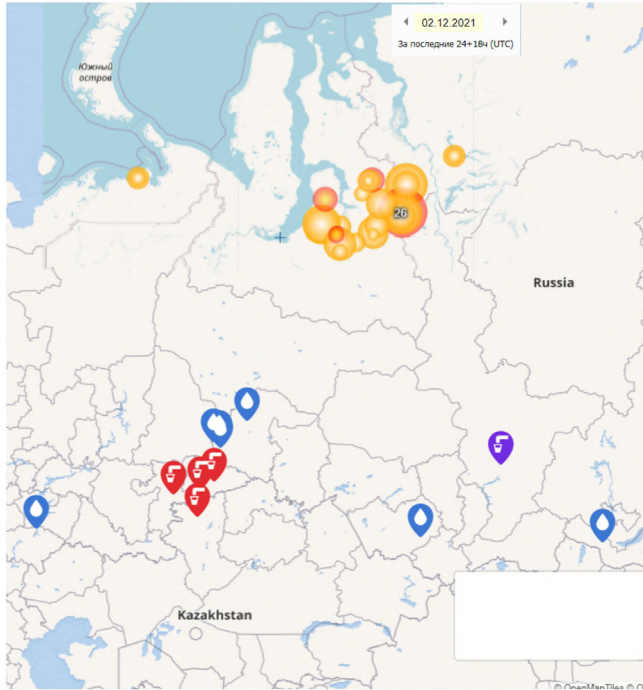
Kuzey Kutbu'nda yıllık ortalama sıcaklık gelişimi. a) 1950-2021 yılları arasında Kuzey Kutbu'nda ($66,5^{\circ}$ - 90° N) (koyu renkler) ve küresel olarak (açık renkler) çeşitli gözlemsel veri setlerinden elde edilen yıllık ortalama sıcaklık anomalileri. Sıcaklık anomalileri 1981-2010 arasındaki standart 30 yıllık döneme göre hesaplanmıştır. (b) ve (c)'deki kesikli çizgi Kuzey Kutup Dairesi'ni (66.5° N enlemi) göstermektedir.

Kaynak: Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). Kuzey Kutbu 1979'dan bu yana dünyadan yaklaşık dört kat daha hızlı ısındı. *Communications Earth & Environment*, 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>

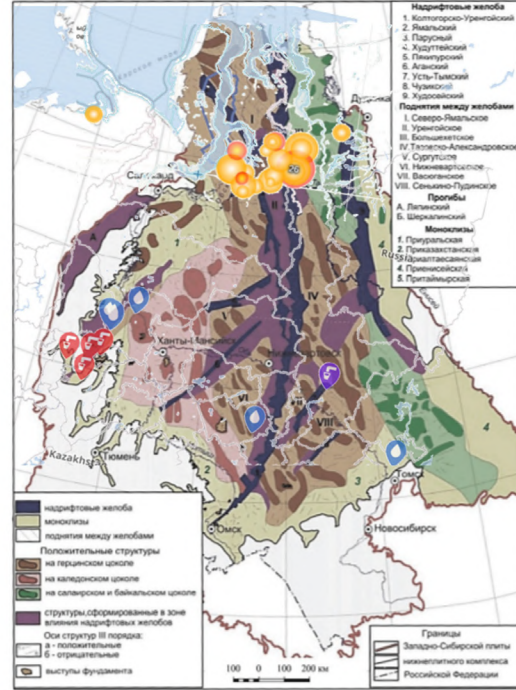
Sibiry Gaz Sütununun Yükselişinin Dolaylı İşaretleri

Magma gaz sütununun Sibiry'a'nın altındaki yerkabuğuna girmesi sadece atmosferik ısınmaya değil, aynı zamanda bir dizi başka anomaliye de neden oluyor: permafrost aşağıdan yukarıya doğru eriyor; bölgedeki sismik aktivite artıyor; sıcak su yüzeye çıkarak kuyuların kaynamasına neden oluyor ve kar altı da dahil olmak üzere Sibiry'a'nın dört bir yanında benzeri görülmemiş orman yangınları patlak veriyor. Kar

altındaki orman yangınlarının en üst düzeyde lokalizasyonu son yıllarda kutup bölgesindeki Taimyr, Yamal ve Gyda yarımadalarının güneyinde görülmeye başlamıştır. Önemli bir faktör de “zombi yangınlarının” - kar altındaki orman yangınları - ve kuyulardaki kaynar suyun derin fayların bulunduğu bölgelerin üzerinde meydana gelmesidir (Şekil 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]"

Şekil 21.

2021'de Kuzey Kutup Dairesi'nin ötesinde kar altındaki kış yangınlarının lokalizasyonunu gösteren harita (üstte)



Sverdlovsk bölgesinde kar altındaki yangınların fotoğrafları (altta)

Kuzey enlemlerinde, yeraltından metan ve hidrojen emisyonları artmakta, doğal gaz patlamalarından kaynaklanan kraterlerin sayısı artmakta ve Arktik sahanlığında çamur volkanizması yoğunlaşmaktadır. Alttan ısıtma, permafrostun bozulmasına ve gaz hidratların tahrip olmasına neden olur, bu da

gazların salınmasına, kraterlerin patlamasına ve çamur volkanizmasında artışa yol açar. Gezegenin içinden salınan gaz atmosferin durumunu etkileyerek ek termal, jeokimyasal ve elektromanyetik anomalilere neden olur. Bu süreçleri daha ayrıntılı olarak ele alalım.

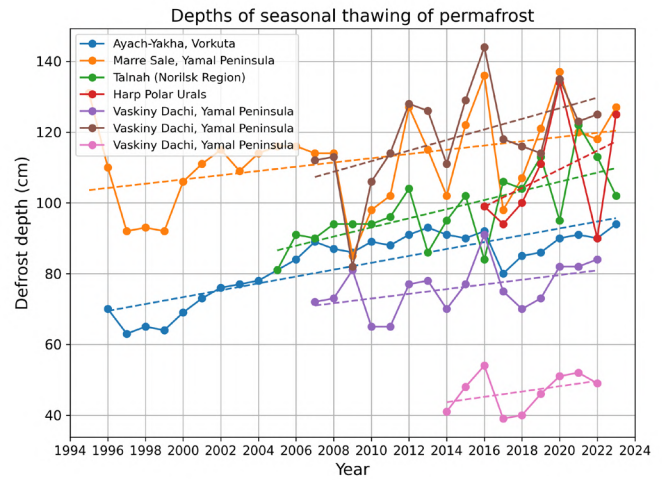
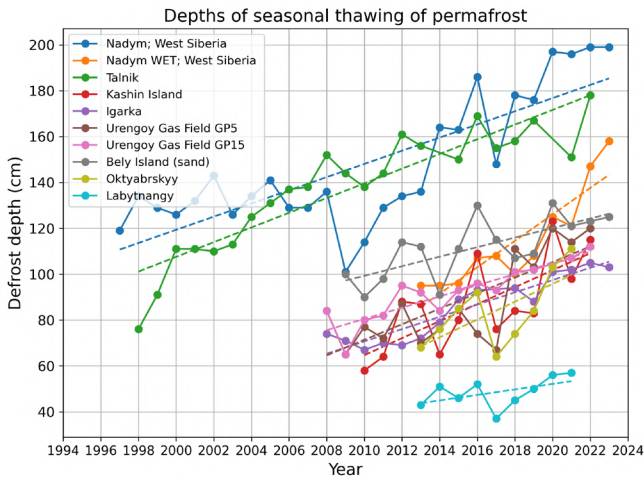
Permafrost'un Erimesi

Manto gaz sütunundan gelen ek jeotermal ısının bir başka göstergesi de permafrostun durumudur. Raporun yazarları, 1994'ten 2023'e kadar Rusya'daki permafrostun mevsimsel erime derinliğine ilişkin verileri analiz etti. Veri tabanı, aktif tabakanın ve yüzeye yakın permafrostun tepkisini gözlemleyen Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) programı çerçevesinde gerçekleştirilen ölçümlere dayanarak derlenmiştir. Veritabanı permafrost.su web sitesinde mevcuttur.

Şu anda Rusya'da permafrostu standartlaştırılmış bir metodoloji ile izleyen 58 saha bulunmaktadır ve sahaların 46'sı 10 yıldan uzun süredir ölçüm yapmaktadır, bu da uzun vadeli eğilimlerin

belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Veri dizisinin analizi, araştırmacıların, bu alanda ek ısınmaya işaret eden, erime derinliğinin artması yönünde istikrarlı bir eğilimin olduğu sahaları belirlemelerine olanak sağlamıştır.

İki grup veri tespit edilmiştir: 40 cm ile 200 cm arasındaki derinliklerde daha belirgin bir erime artış eğilimine sahip sahalar (Şekil 22, a) ve 40 cm ile 140 cm arasındaki derinliklerde daha az yoğun permafrost erime oranına sahip sahalar (Şekil 22, b).



Şekil 22.

Farklı yoğunluktaki çeşitli bölgelerde permafrostun mevsimsel erime derinliklerindeki değişim: a) erime derinliklerinde daha belirgin bir artışla; b) erime derinliklerinde daha az belirgin bir artışla.

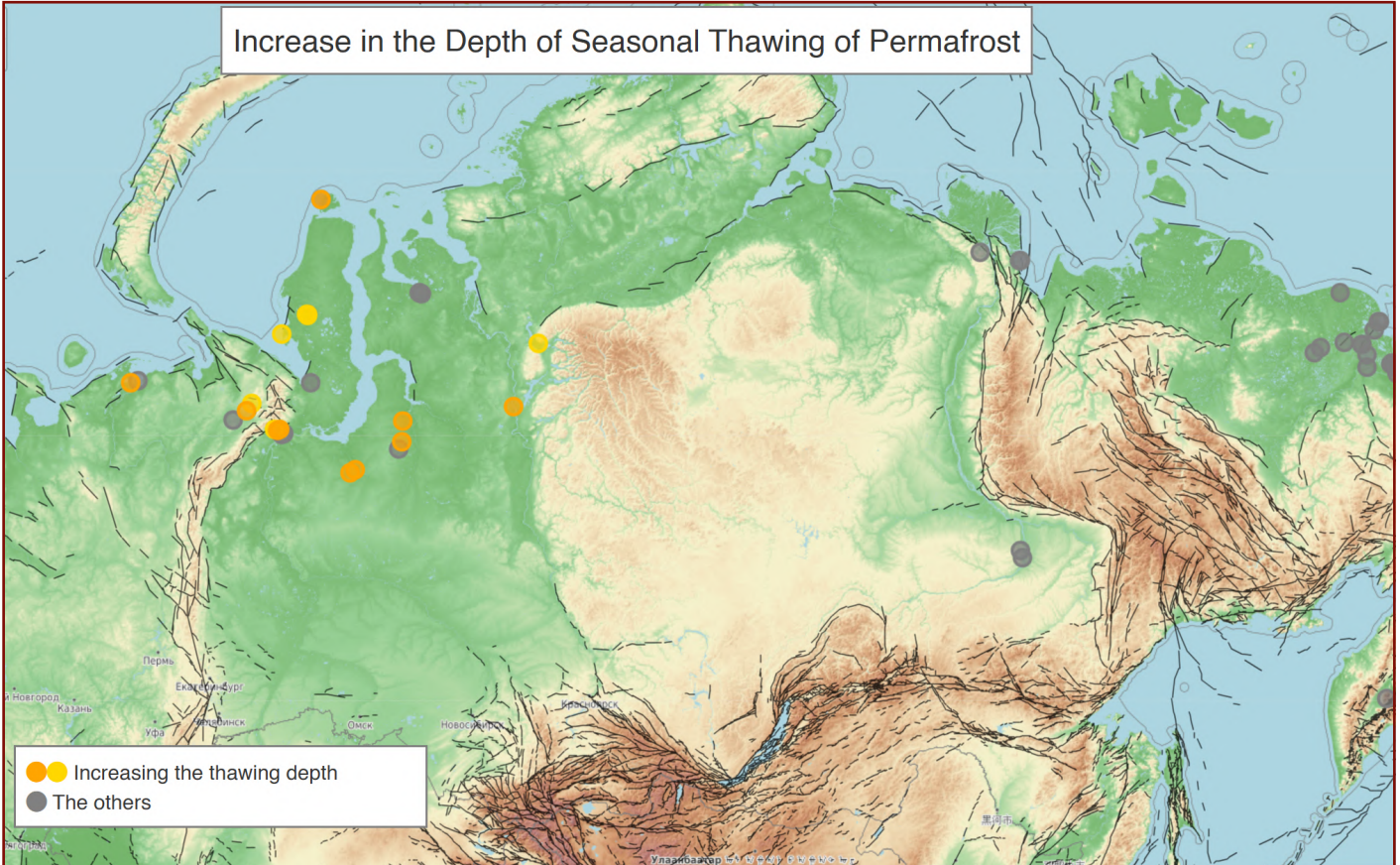
Veri kaynağı: <https://permafrost.su>

Ölçümler Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) programı çerçevesinde gerçekleştirilmektedir:

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

Anlaşılır olması için, izlenen tüm noktalar haritalandırılmış ve sırasıyla turuncu ve sarı renklerle işaretlenmiştir (Şekil 23). Bu noktaların çoğunlukla belirli bir bölgede yoğunlaşmış olması dikkat çekicidir: Batı Sibirya'nın kuzeyinde, Yamal Yarımadası'nda ve Gyda ve Taimyr yarımadalarının güneyinde.

Maksimum permafrost erimesi alanlarının bu şekilde lokalizasyonu, magma gaz sütunu başının yayıldığı varsayılan bölgede, mantodaki sismik dalga hızlarının azaldığı alana karşılık gelmektedir. Bu da donmuş tabaka da dahil olmak üzere toprak sıcaklıklarının artmasına neden olmaktadır.



Şekil 23.

Permafrostun mevsimsel erime derinliğinin arttığı yerler. Ölçüm alanları noktalarla işaretlenmiştir: gri - mevsimsel erimede gözle görülür bir artış olmayan yerler, sarı - erime derinliklerinin arttığı yerler.

Veri kaynağı: <https://permafrost.su>

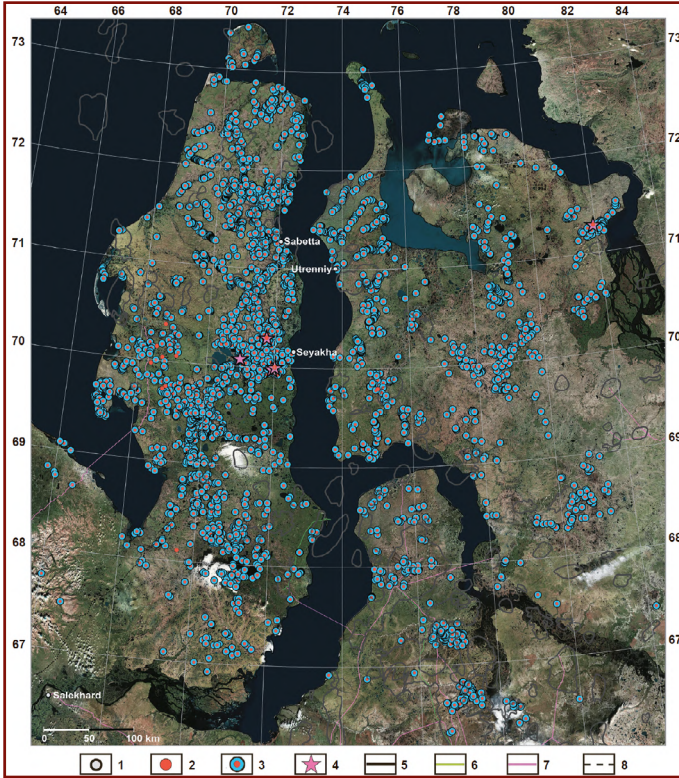
Ölçümler Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) programı çerçevesinde gerçekleştirilmektedir:

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

Çamur Volkanizmasının Tezahürleri

Yükselen magmadan kaynaklanan ilave ısınma, permafrostun bozulmasına neden olur ve topraklarda korunan gaz hidratları etkileyerek içerdikleri büyük hacimlerdeki gazları serbest bırakır. Ayrıca gaz, gaz yataklarından ve yüksek oranda gaza doymuş rezervuar sularından göç ederek toprakların elastik ve mukavemet özelliklerini azaltır, killerin sıvılaşmasını teşvik eder ve olası çamur volkanizması süreçlerine yol açar. Çamur volkanizması, iç jeostatik basıncın etkisi altında yerkabuğundaki çatlaklardan gaz, su ve kırıntılı malzeme karışımının püskürdüğü jeolojik bir süreçtir.

Bu süreçler Rusya Bilimler Akademisi (RAS) araştırmacıları tarafından Arktik Yamal Yarımadası'nda keşfedilmiştir.³¹ 2014 ve 2022 yılları arasında uzaktan algılama verileri kullanılarak yapılan jeolojik ve jeofiziksel çalışmalar sonucunda, termokarst göllerinin, nehirlerin ve Kara Deniz'in kıyı kesiminin dibinde kraterlerin olduğu 3.000'den fazla güçlü gaz emisyonu alanı tespit edilmiştir (Şekil 24).



Şekil 24.

Batı Sibirya'nın kuzeyindeki güçlü gaz patlama bölgelerinin dağılımı. İşaretler: 1 – yerleşim yerleri, 2 – gaz patlamalarının izole kraterleri, 3 – su tabanındaki gaz patlamalarının kraterleri, 4 – çamur volkanik belirtileri, 5 – petrol ve gaz sahalarının konturları, 6 – petrol boru hatları, 7 – gaz boru hatları, 8 – demiryolu. Temel harita ESRI'nin uydu görüntülerinden oluşan bir mozaiktir

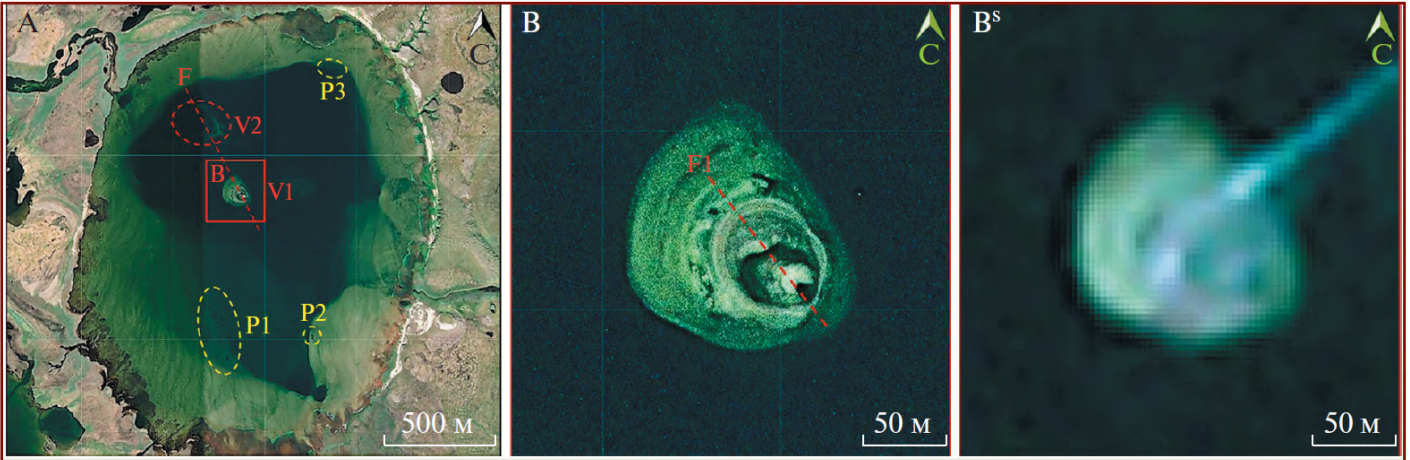
Kaynak: Bogoyavlensky, V. I., Nikonov, R. A. & Bogoyavlensky, I. V. Batı Sibirya'nın kuzeyindeki Kuzey Kutbu'nda yoğun toprak gazının giderilmesine ilişkin yeni veriler: gaz patlama kraterleri ve çamur volkanları ile termokarst gölleri. AEE 13, 353-368 (2023).

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

³¹ Bogoyavlensky, V. I., Nikonov, R. A. & Bogoyavlensky, I. V. Batı Sibirya'nın kuzeyindeki Kuzey Kutbu'nda yoğun toprak gazı çıkışı hakkında yeni veriler: gaz patlama kraterleri ve çamur volkanları ile termokarst gölleri. AEE 13, 353-368 (2023). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-3-353-368>

2022-2023 yıllarında, uzaktan algılama verileri, zaman zaman aktif çamur volkanizması sergileyen Labvarto ve Yambuto termokarst göllerinin tabanlarında ilk kez büyük çamur volkanik yapıları ortaya çıkardı³² (Şekil 25). Termokarst gölü, permafrostun çözülmesiyle oluşan bir su kütlesidir. Dolayısıyla, sadece gölün çözülmesi değil, aynı zamanda altındaki kilin sıvılaşması da derinlerde yer alan bir ısı kaynağına işaret etmektedir.

Çalışmanın yazarlarına göre, termokarst göllerinin tabanlarındaki bu tür farklı çamur volkanik yapılar daha önce tüm Circum-Arctic bölgesinde belgelenmemiştir.



Şekil 25.

Labvarto termokarst gölünün WorldView-2 uydu görüntüsü (A) ve Sentinel-2 uydu görüntüsünün bir parçası (B^s) ile desteklenmiş büyütülmüş parçası (B). İşaretler: P1, P2 ve P3 - çukurlar; V1 ve V2 - çamur volkanları; F ve F1 - öngörülen faylar.

Kaynak: Bogoyavlensky, V. I. Kuzey Kutbu'nda Yamal Yarımadası'ndaki Çamur Volkanizmasına İlişkin Yeni Veriler. Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle 512, 92-99 (2023). <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>

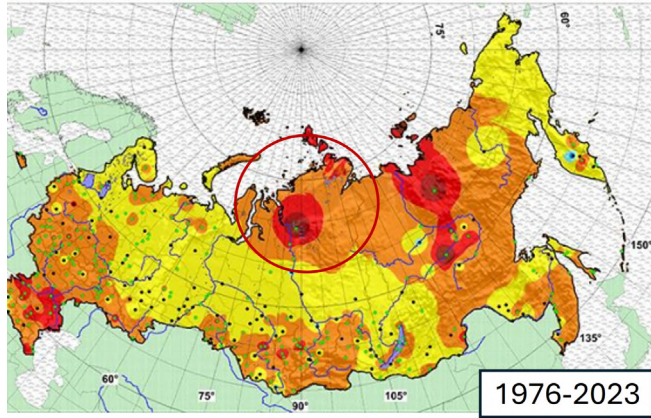
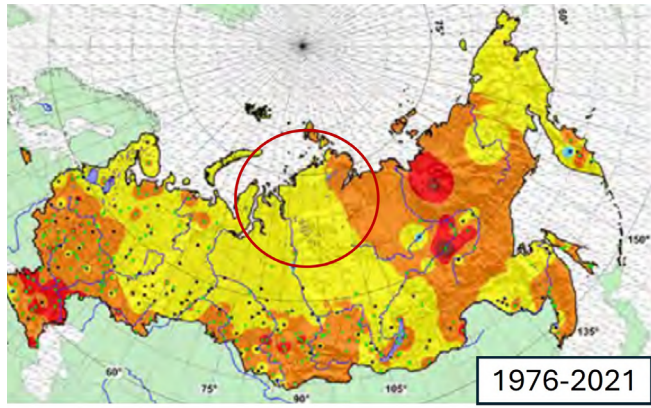
³² Bogoyavlensky, V. I. YAMAL PENİNSULA'DAKİ ARKTİK ÇAMUR VOLKANİZMASI HAKKINDA YENİ VERİLER. Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle 512, 92-99 (2023). <https://doi.org/10.31857/S2686739723601084>

Toprak Isınması

2021-2023 yıllarına ait Roshydromet verilerine dayanarak, 80 cm, 160 cm ve 320 cm derinliklerdeki toprak sıcaklığı haritaları analiz edilmiştir. En bilgilendirici karşılaştırma, 1976-2021 ve 1976-2023 dönemlerindeki sıcaklık eğilimleri (Şekil 26). 2021 ve 2023 yılları arasında, Gyda ve Taimyr Yarımadalarının güneyindeki bölgede eğilim haritasında belirgin bir anomali ortaya çıkmıştır. Bu anomali coğrafi olarak Sibiry'a bölgesinin

litosferinin altında sismik tomografi ile belirlenen mantodaki düşük hız bölgesiyle çakışmaktadır.

Ölçümlerin önemli derinliği (320 cm) ve gözlemlerin geniş kapsamı (Rusya genelinde 466 meteoroloji istasyonu) göz önüne alındığında, tespit edilen sıcaklık anomalisinin magma gaz sütununun yükselmesi nedeniyle jeotermal ısıdaki artışla ilişkili olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 26.

Roshydromet verilerinden elde edilen toprak ısınma eğilimi haritaları. Üst: 1976-2021. Alta: 1976-2023

Kaynak:

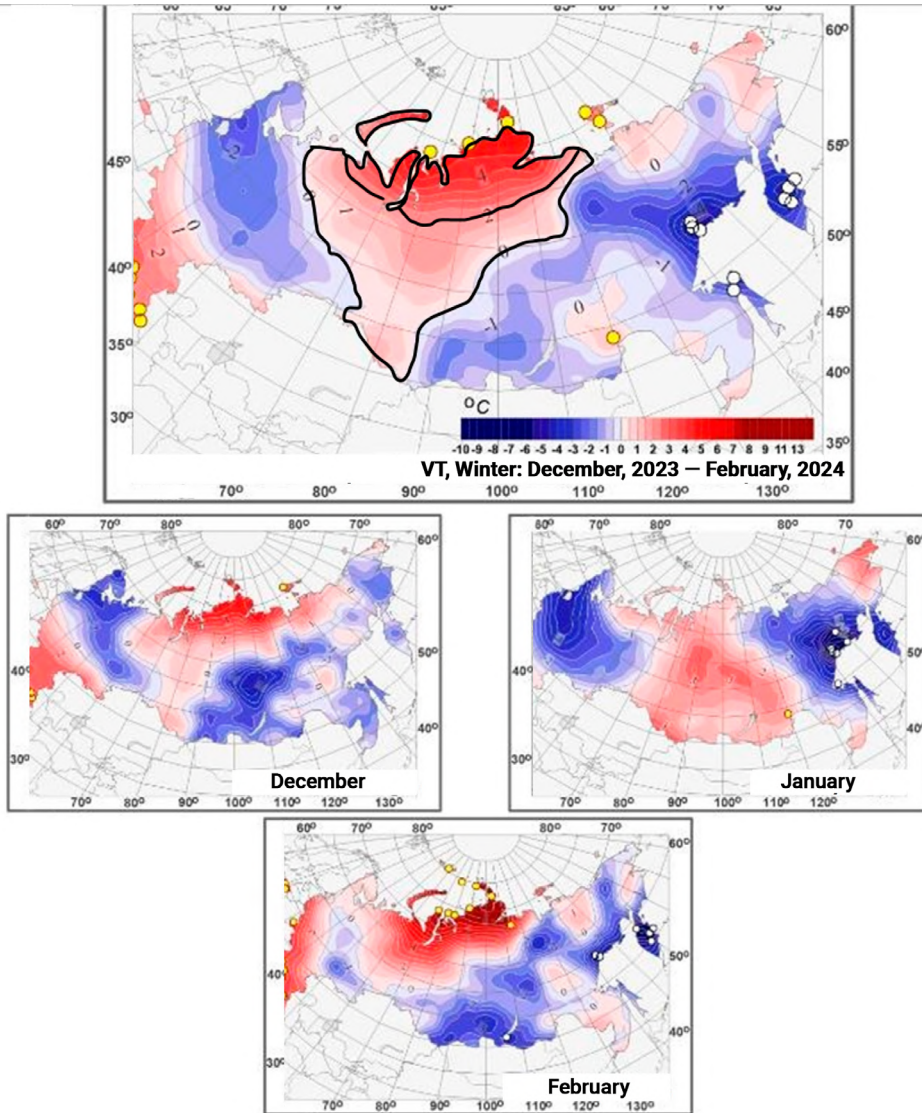
Roshydromet. (2022). Rusya Federasyonu'nda 2021 yılı iklim özellikleri raporu. Moskova: Federal Hidrometeoroloji ve Çevre İzleme Servisi.

Roshydromet. (2024). Rusya Federasyonu'nda 2023 yılı iklim özellikleri raporu. Moskova: Federal Hidrometeoroloji ve Çevresel İzleme Servisi.

Yüzeye Yakın Hava Sıcaklığı

2023-2024 kışı boyunca yapılan sıcaklık gözlemleri de yüzeye yakın hava sıcaklıklarında anormal bir model ortaya koymaktadır (Şekil 27). Aralık 2023'ten Şubat 2024'e kadar ortalama sıcaklık anomalileri haritası, Gyda ve Taimyr Yarımadaları bölgesinde normalin 2,0-4,5°C üzerinde bir artış olduğunu göstermektedir.

Bu bölgenin kuzey konumu göz önüne alındığında, böylesine önemli bir kış sıcaklık artışı manto gaz sütununun termal etkisine bağlanabilir.



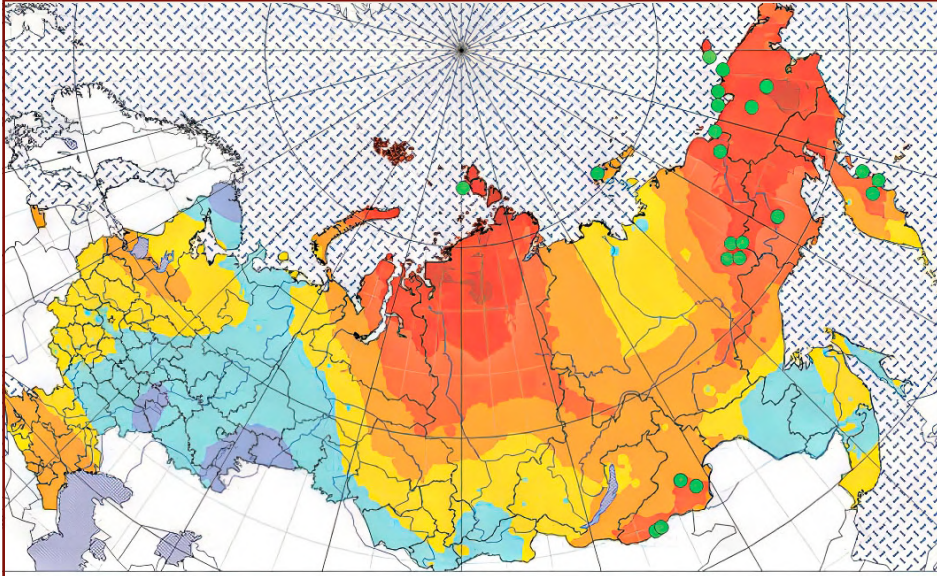
Şekil 27.

2023/24 kışında Rusya genelinde ortalama mevsimsel ve aylık yüzeye yakın hava sıcaklığı anomalileri (°C) alanları.

Kaynak: Roshydromet. (2024). Rusya Federasyonu'nda 2023 yılı için iklim özellikleri raporu. Moskova: Federal Hidrometeoroloji ve Çevre İzleme Servisi.

2001-2022 dönemi boyunca Ocak ve Temmuz ayları için aylık ortalama sıcaklık haritalarının³³ analizi, incelenen bölgede tutarlı bir sıcaklık anomalisi olduğunu göstermektedir (Şekil 28, 29). Bu, anomalinin yalnızca son iki

yılda gözlemlenmediğini, 23 yıllık gözlem döneminin tamamı boyunca devam ettiğini göstermekte ve bu da gaz sütununun girişinin yüzeye yakın sıcaklıkları etkilediği sonucunu desteklemektedir.



Şekil 28.

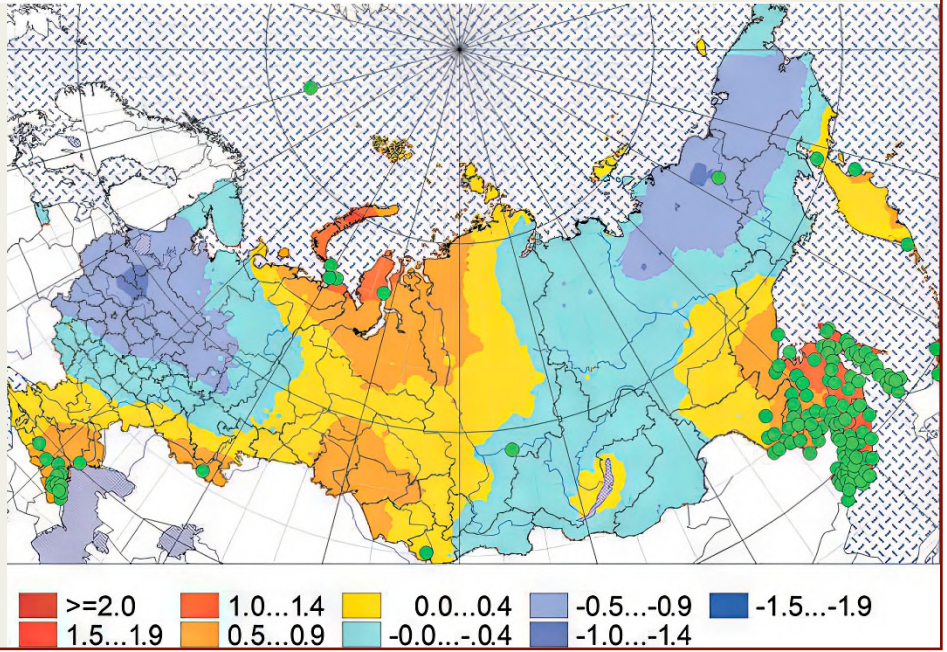
2001-2022 yılları arasında ortalama aylık hava sıcaklıkları için doğrusal eğilim katsayıları (°C/10 yıl) (Şubat 2022 itibarıyla Rusya sınırları içinde) - Ocak.

Kaynak: Sherstyukov B. G. Küresel ısınma ve olası nedenleri. Gidrometeorologiyai Ekologiya = Hidrometeoroloji ve Ekoloji Dergisi. 2023;(70):7-37. (Rusça). <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>

Şekil 29.

2001-2022 yılları arasında Moskova'da aylık ortalama hava sıcaklıkları için doğrusal eğilim katsayıları (°C/10 yıl) (Şubat 2022 itibarıyla Rusya sınırları içinde) – Temmuz.

Kaynak: Sherstyukov B. G. Küresel ısınma ve olası nedenleri. Gidrometeorologiya i Ekologiya = Hidrometeoroloji ve Ekoloji Dergisi. 2023;(70):7-37. (Rusça). <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>

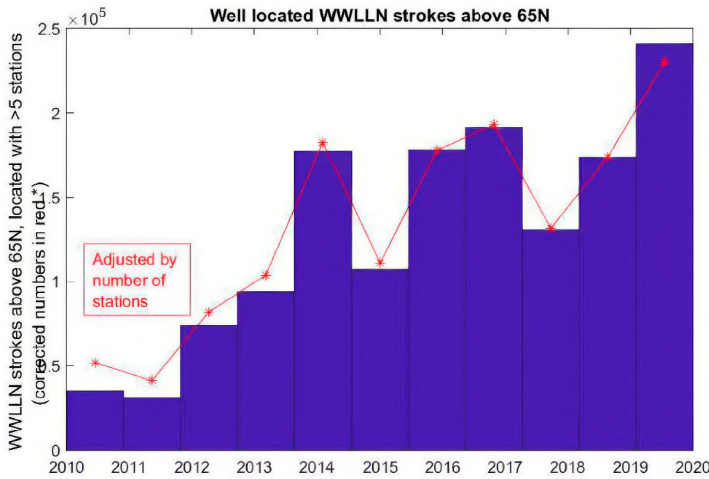


³³ Sherstyukov, B. G. (2023). Küresel ısınma ve olası nedenleri. Journal of Hydrometeorology and Ecology, 70, 7-37. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>

Yıldırım Aktivitesinde Artış

Bilim camiası, Kuzey Kutbu'nda gök gürültülü fırtınaların ve yıldırımların artması konusunda giderek daha fazla endişe duymaktadır. 65° N enleminin kuzeyindeki yıldırım çarpmalarının sayısı 2010 ile 2020 yılları arasında üç katına çıktı³⁴ (Şekil 30). Bu yıldırımların büyük çoğunluğunun kuzey Sibirya'da yoğunlaştığı, kuzey Kanada ve Grönland'da ise neredeyse hiç olmadığı dikkat çekmektedir (Şekil 31, 32).

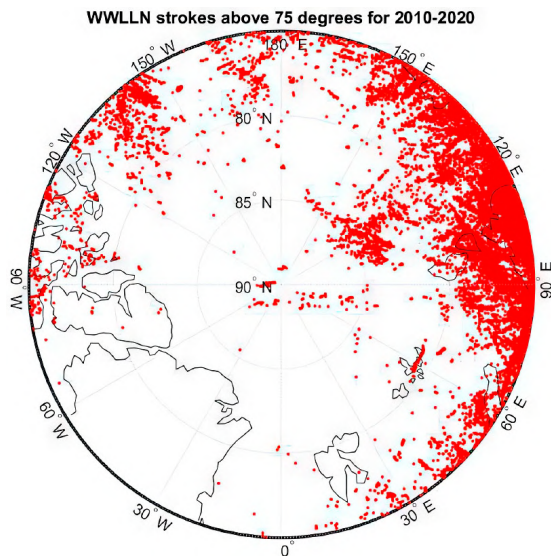
Yıldırım aktivitesi Kuzey Kutbu'na doğru ilerliyor. Ağustos 2019'da, Kutup'tan sadece birkaç yüz kilometre uzakta çok sayıda yıldırım düştüğü rapor edilmiştir.³⁵ Yüksek Arktik'teki (80° N'nin kuzeyi) yıldırım olaylarının çoğu, her yaz birkaç yoğun fırtına gününde meydana gelmektedir. Ancak bu fırtınalar bölge için yeni bir olguyu temsil etmektedir, çünkü önceki yıllarda gök gürültülü fırtınalar nadir görülmekteydi.



Şekil 30.

65°N üzerinde iyi konumlandırılmış WWLLN vuruşları (mavi) ve kırmızı grafik toplam WWLLN istasyon sayısına göre ayarlamayı göstermektedir. WWLLN, Dünya Çapında Yıldırım Konum Ağı.

Kaynak: Holzworth, R. H., Brundell, J. B., McCarthy, M. P., Jacobson, A. R., Rodger, C. J., & Anderson, T. S. (2021). Kuzey Kutbu'nda Yıldırım. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091366. <https://doi.org/10.1029/2020GL091366>



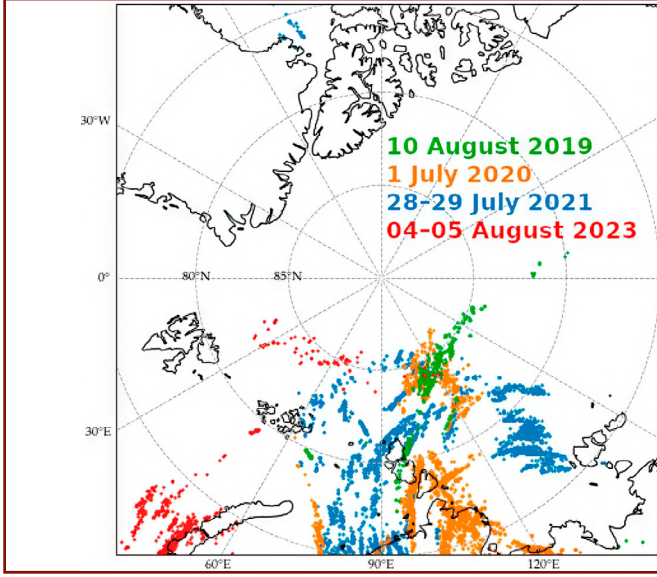
Şekil 31.

WWLLN çarpmalarının Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında 2010-2020 yılları için 75°N üzerindeki küresel dağılımı. WWLLN, Dünya Çapında Yıldırım Konum Ağı.

Kaynak: Holzworth, R. H., Brundell, J. B., McCarthy, M. P., Jacobson, A. R., Rodger, C. J., & Anderson, T. S. (2021). Kuzey Kutbu'nda Yıldırım. *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). Arktik'te yıldırım. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091366. <https://doi.org/10.1029/2020GL091366>

³⁵Samenow, J. (2019, 12 Ağustos). Kuzey Kutbu'ndaki hızlı ısınma devam ederken Cumartesi günü Kuzey Kutbu yakınlarına 48 kez yıldırım düştü. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/weather/2019/08/12/lightning-struck-within-miles-north-pole-saturday-rapid-arctic-warming-continues/>



Şekil 32.

2019-2023 yıllarında gök gürültülü fırtınalar sırasında WWLLN tarafından tespit edilen yıldırım konumları. Yeşil-2019, turuncu-2020, mavi-2021, kırmızı-2023.

Kaynak: Popykina, A., Ilin, N., Shatalina, M., Price, C., Sarafanov, F., Terentev, A., & Kurkin, A. (2024). Kuzey Kutbu yakınlarında gök gürültülü fırtınalar. Atmosphere, 15(3), 310. <https://doi.org/10.3390/atmos15030310>

Bu fırtınaların son yıllardaki ısrarlı konumu, yaz aylarında sıcaklıkların 35°C'ye kadar ulaştığı kuzey Sibirya'da gözlemlenen aşırı yaz sıcaklığına bağlanmaktadır. Buna ek olarak, magmatik gaz sütunu intrüzyonu nedeniyle bu bölgedeki atmosferik iyonizasyondaki genel bir artışın da yıldırım aktivitesindeki artışa katkıda bulunan önemli bir faktör olduğu varsayılmaktadır. Bu süreç, farklı sıcaklıklardaki magma akışları temas ettiğinde derin manto patlayıcı etkileşimleri sırasında meydana gelen Yutkin etkisi yoluyla termal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini içerir. Sonuç olarak, Dünya'nın iç kısmından büyük miktarlarda enerji açığa çıkar ve bu da yüzey statik yükünde bir artışa, yüzey potansiyelinde değişikliklere, atmosferik iyonizasyonun artmasına ve sonuç

olarak yıldırım aktivitesinde bir artışa neden olur.

Ayrıca, yerkabuğundaki çatlaklar yoluyla önemli miktarlarda gaz açığa çıkar. Bu süreç bulut oluşumunu ve yerel hava koşullarını etkileyebilir. Magma girişi, yüzey ısınmasında, atmosferik nemin artmasında ve termal anomalilerin gelişmesinde önemli bir faktördür ve bunların hepsi gök gürültülü bulutların ve şimşeklerin oluşumuna katkıda bulunur.

Gök gürültülü fırtına ve şimşek oluşumu soğuk hava, sıcak hava ve konvektif kararsızlığın bir kombinasyonunu gerektirdiğinden, Sibirya manto gaz sütununun konumu bunların gelişimi için en uygun koşulları sağlar.

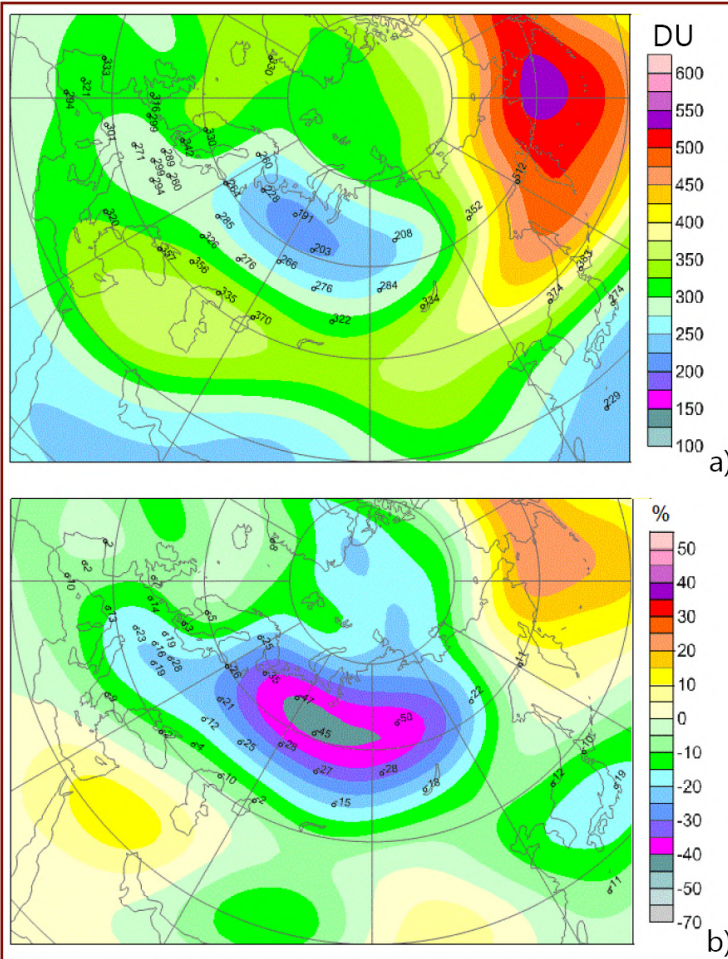
Ozon Tabakasının İncelmesi

Dünya'nın iç kısmındaki magmatik faaliyetlere hidrojen, metan ve karbondioksit gibi önemli miktarlarda volkanik gazların salınımı eşlik eder. V. L. Syvorotkin'in araştırmasına göre,³⁶ hidrojen emisyonları ozon tabakasının bozulmasına katkıda bulunmaktadır. Magma yükselmesi dalgalı bir şekilde gerçekleştiğinden, gazdan arındırma ve ardından ozon tabakasının tahribatı da düzensiz, yani ara sıra gerçekleşen olaylar olarak ortaya çıkacaktır.

Ozon tabakası anomalileri 1997-1998'den bu yana kuzey Sibirya üzerinde gözlemlenmektedir ve bu durum Dünya'nın çekirdeğinin Taimyr Yarımadası'na doğru kaymasıyla aynı zamana

denk gelmektedir. Ozon tabakasının incelme dönemi 2011, 2016 ve 2020 yıllarında kaydedilmiştir³⁷ ve en ciddi ozon açığı 2016 yılında meydana gelmiştir.³⁸ Ocak 2016'nın sonunda, 1973'te izleme başladığından beri ilk kez kuzey Urallar ve Sibirya üzerinde bir ozon anomalisi tespit edilmiş ve toplam ozon içeriği uzun vadeli ortalamadan 190-200 DU-40-%45 daha düşük ölçülmüştür. Bu anomali bir hafta kadar devam etmiştir (Şekil 33).

NASA'nın Aura uydusunda bulunan Ozon İzleme Aracı (OMI) kullanılarak toplam ozon içeriğinde de önemli bir azalma kaydedilmiştir (Şekil 34).



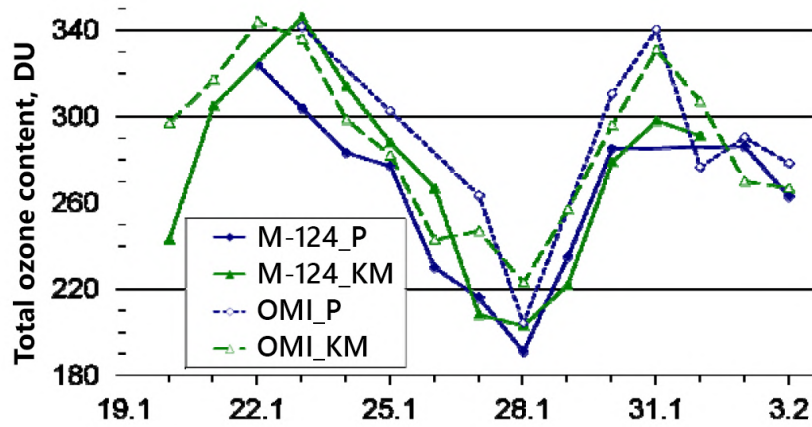
Şekil 33. Woudc uydu verilerine dayalı olarak 28 Ocak 2016 tarihinde toplam ozon içeriği (a) ve normdan sapmaları (b) [<http://woudc.org/>]. Haritadaki sayılar, yer tabanlı ozon izleme istasyonlarından alınan toplam ozon ölçümlerini temsil etmektedir.

Kaynak: Nikiforova, M. P., Vargin, P. N., Zvyagintsev, A. M., Ivanova, N. S., Kuznetsova, I. N., & Luk'yanov, A. N. (2016). Kuzey Urallar ve Sibirya üzerinde ozon mini deliği. Rusya Federasyonu Hidrometeoroloji Araştırma Merkezi Bildirileri, 360, 168-180. Proc. of the Hydrometeorological Conf. içinde, 9-10 Şubat, Cilt 4, 91-96. Voronezh: Nauchno-Issledovatel'skie Publikatsii.

³⁶Syvorotkin, V. L. GEZEĞENİN KUTUP BÖLGELERİNDE DERİN GAZ GİDERME VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ. APOG (2018): [10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art48](https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art48)

³⁷Xia, Y. ve diğerleri. 2020 İlkbaharındaki Sibirya-Arktik Yüzey Isınmasına Şiddetli Ozon Kaybının Önemli Katkısı. Geophysical Research Letters 48, e2021GL092509 (2021). <https://doi.org/10.1029/2021GL092509>

³⁸Nikiforova, M.P. Ocak 2016 sonunda kuzey Ural ve Sibirya üzerinde aşırı düşük toplam ozon değerleri. AOO (2017) doi:[10.15372/AOO20170102](https://doi.org/10.15372/AOO20170102)



Şekil 34.

Pechora (P) ve Khanty-Mansiysk (KM) istasyonlarında 20 Ocak - 3 Şubat 2016 tarihleri arasında yer tabanlı M-124 ozonimetre ve Aura uydusu (ABD) üzerindeki OMI cihazı kullanılarak ölçülen toplam ozon içeriği.

Kaynak: Nikiforova, M. P., Vargin, P. N., Zvyagintsev, A. M., Ivanova, N. S., Kuznetsova, I. N., & Luk'yanov, A. N. (2016). Kuzey Urallar ve Sibirya üzerinde ozon mini deliği. Rusya Federasyonu Hidrometeoroloji Araştırma Merkezi Bildirileri, 360, 168-180. Proc. of the Hydrometeorological Conf. içinde, 9-10 Şubat, Cilt 4, 91-96. Voronezh: Nauchno-Issledovatel'skie Publikatsii.

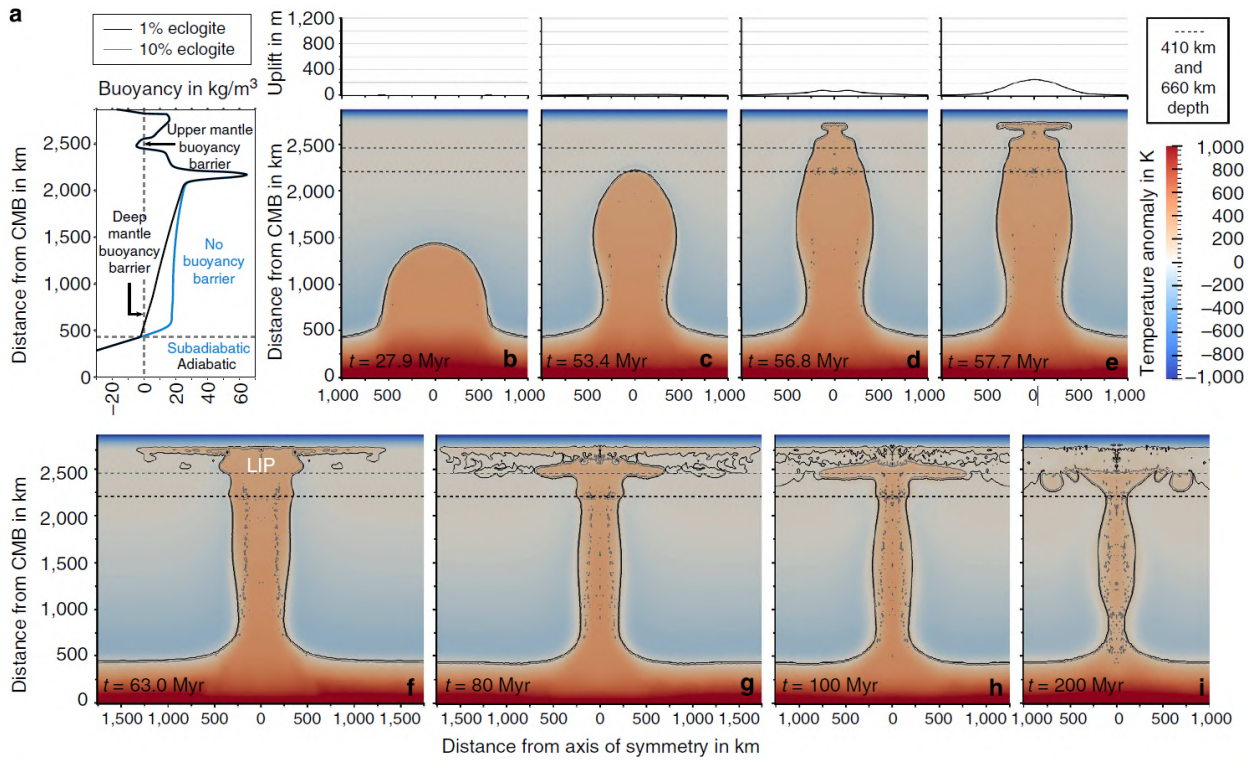
Kuzey Yarımküre'nin ekstrapikal enlemlerindeki toplam ozon içeriğinin uzun vadeli mevsimsel döngüsünün tipik olarak Eylül ayında minimuma ve Mart-Nisan aylarında maksimuma ulaştığını belirtmek önemlidir. Bununla birlikte, 2016 yılında ozon tabakasındaki bozulma Ocak ayında alışılmadık bir şekilde erken gerçekleşmiş ve aletli gözlemler tarihinde kaydedilen en düşük seviyelere ulaşmıştır.

Bu nedenle, Sibirya bölgesi üzerindeki ozon tabakasının incelenmesi, magmatik gaz sütununun yüzeye doğru yukarı doğru hareketinden kaynaklanan kabuk çatlakları yoluyla gaz emisyonlarının ek bir göstergesi olarak hizmet edebilir.

Yayınlanmış ve Gözlemsel Verilere Dayalı Olarak Magma Gaz Sütununun Yapısı, Olası Boyutları ve Lokalizasyonu

Gaz sütunu yapısı kabaca bir mantar olarak görselleştirilebilir. Çekirdek-manto sınırından ısınan malzemeyi yukarıya doğru taşıyan bir kuyruğu (gövdesi) vardır. Yükseldikçe genişleyen gaz sütununun üst kısmı gaz sütununun baş

kısmını oluşturur. Gaz sütunu litosferin tabanına ulaştığında, katılaşmış kayalardan oluşan refrakter bir katmanla karşılaşır ve baş kısmının bir mantar kapağı gibi litosferin altına yatay olarak yayılmasına neden olur (Şekil 35).



Şekil 35.

Bu çizim, 250 milyon yıl önce Sibiry Kapanlarını oluşturana benzer bir magmatik gaz sütunu evrimi modeli sunmaktadır.

Soldaki grafik (a) magmanın Dünya'nın mantosunun farklı katmanlarından nasıl yükseldiğini göstermektedir. Görüntünün ana bölümü (b-i) bir "zaman çizelgesi" görevi görmektedir ve magmanın gelişim aşamalarını göstermektedir: Başlangıçta, mantonun tabanından bir sıcak magma "sütunu" yükselir. Yavaş yavaş, bu sütun üst mantoya ulaşır ve burada

"mantar benzeri" bir baş şeklinde genişler. Zamanla gaz sütunu inceler ve ayrı yapılar halinde parçalanmaya başlar. Diyagramdaki renkler sıcaklığı temsil etmektedir: Kırmızı ve turuncu alanlar en sıcak bölgeleri göstermektedir. Mavi alanlar ise daha soğuk bölgeleri temsil etmektedir.

Kaynak: Dannberg, J., & Sobolev, S. (2015). Düşük kaldırma kuvvetine sahip termokimyasal dumanlar, klasik manto dumanı kavramına ilişkin tartışmaları çözüyor. Nature Communications, 6, 6960.

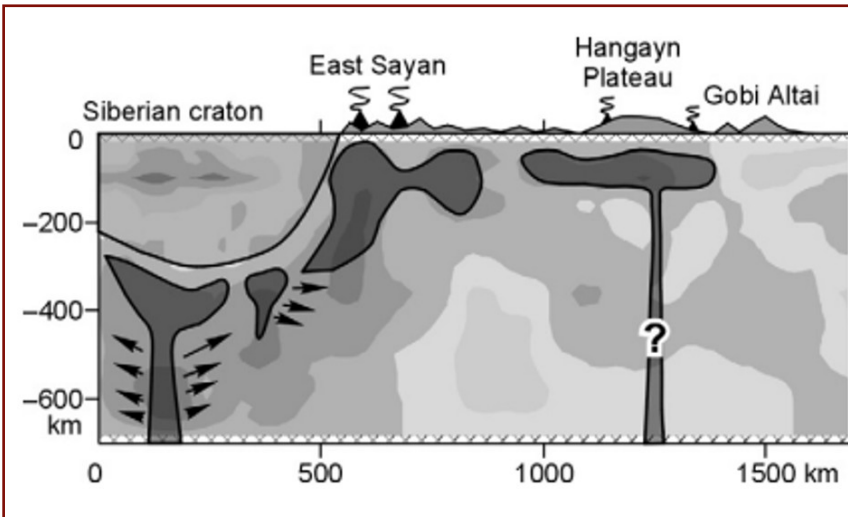
<https://doi.org/10.1038/ncomms7960>

Araştırma verilerine göre, gaz sütunu litosfere yaklaştıkça yarıçapı iki katına çıkar ve yükselme hızı önemli ölçüde azalır.³⁹ Gaz sütunu kuyruğundan yükselen sıcak malzeme basınç uygular ve litosfer boyunca yanarak çatlaklar oluşturur. Daha sonra zayıf bölgelerde, yerkabuğu içinde üst magmatik odacıklar olan ikincil gaz sütunları oluşur. Örneğin Yellowstone, Campi Flegrei ve diğer süpervolkanların altında bu tür odacıklar mevcuttur. Bu odacıklar, kabuk kırılmalarının ve büyük magma patlamalarının meydana gelebileceği yerlerdir.

Mevcut modellere göre, bir gaz sütununun yüzeye çıkmasının on milyonlarca yıl sürebileceğini belirtmek önemlidir. Ancak, bu hesaplamalar teorik varsayımlara dayanırken, jeodinamik süreçlerin devam eden tırmanışına ilişkin pratik gözlemler aksini göstermektedir. Sibirya'daki gözlemler, gaz sütununun yükselişinin birkaç on yıl içinde gerçekleşebileceğini göstermektedir.

Literatüre dayanarak,⁴⁰ Permiyen ve Triyas dönemlerinin sınırında (250 milyon yıl önce) Avrasya'da (Sibirya'da) çok sayıda bazalt patlamasına neden olan benzer bir magmatik süper gaz sütununun aşağıdaki boyutlara sahip olduğu bilinmektedir: Batıdan doğuya 4000 km ve kuzeyden güneye 3000 km. Gaz sütununun baş kısmının 1000 ila 2000 km çapında olduğu varsayılmaktadır.

Batı Sibirya Levhasının daha genç ve daha ince olduğu, kalınlığının 35 ila 40 kilometre olduğu bilinmektedir. Buna karşılık, Sibirya Kratonu olarak bilinen Doğu Sibirya Levhası (veya platformu) daha yaşlı, daha kalın ve daha soğuk olup kalınlığı 40 ilâ 45 kilometredir. Sismik tomografi verilerine göre,⁴¹ bilim insanları şu anda Doğu Sibirya Platformu'nun altında küçük magmatik sıcak yatakların gözlemlendiğini varsaymaktadır. Bu sıcak yataklar, levhanın daha soğuk yapısı nedeniyle Sibirya Kratonu'nun altında yanal olarak yayılmıştır (Şekil 36).



Şekil 36.
Makaleden alınan ve küçük magmatik yatakların (solda oklarla gösterilmiştir) Sibirya Kratonu boyunca nasıl aktığını gösteren diyagram

Kaynak: Koulakov, I. Y. (2008). Bölgesel sismik tomografiden Güney Sibirya ve Moğolistan'ın altındaki üst manto yapısı. *Russian Geology and Geophysics*, 49(3), 187-196.

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

³⁹Ernst, R. E., & Buchan, K. L. (2002). Manto gaz sütunlarının zaman ve mekandaki maksimum boyutu ve dağılımı: büyük magmatik bölgelerden kanıtlar. *Jeodinamik Dergisi*, 34, 309-342.

⁴⁰Lvova, E. V. (2010). Manto gaz sütunlarının tektoniği: Temel kavramların evrimi. *Moskova Üniversitesi Jeoloji Bülteni*, 5, 21-29.

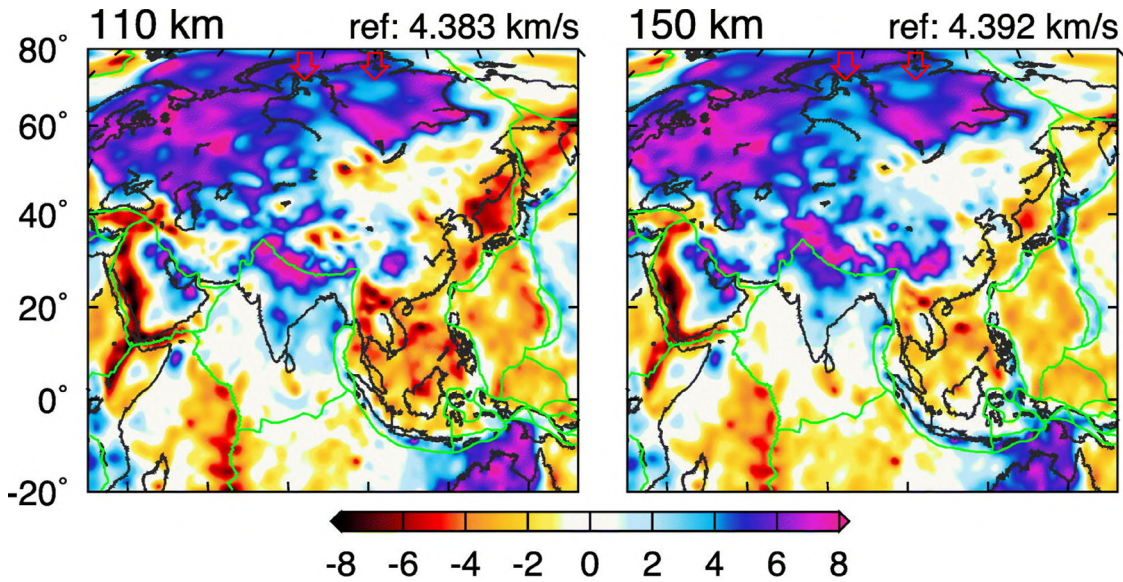
⁴¹Koulakov, I. Y. (2008). Bölgesel sismik tomografiden Güney Sibirya ve Moğolistan'ın altındaki üst manto yapısı. *Russian Geology and Geophysics*, 49(3), 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.06.012>

Hipoteze göre, modern Sibirya gaz sütunu şu anda Doğu Sibirya Plakasının tabanının ve kısmen Batı Sibirya Plakasının altına yayılmaktadır. Bu yayılmanın 50-60 km derinliklerde gerçekleştiği düşünülmektedir ve gaz sütununun “kuyruğu” en açık şekilde yaklaşık 100 km derinliklerde gözlemlenmektedir. İkincil gaz sütunu intrüzyonları muhtemelen yaklaşık 40 km derinliklerde meydana gelmektedir.

Bazı sismotomografik modeller, 110-150 km derinliklerde, Gyda ve Taimyr Yarımadalarının güneyindeki alanların altındaki sıvı manto

bölgesiyle tutarlı düşük hız anomalileri⁴² (daha erimiş bir ortamın göstergesi) ortaya koymaktadır (Şekil 37). Ağustos 2024 tarihli bir çalışmanın hız haritalarında görülen bu anomalilerin, “kuyruk” olarak adlandırılan iki magmatik malzeme akışına karşılık geldiği varsayılmaktadır (Şekil 38).

Bu model doğruysa, Doğu Sibirya Kratonu’nun altında yükselen her bir gaz sütunu kuyruğunun çapı yaklaşık 600-700 km’dir.

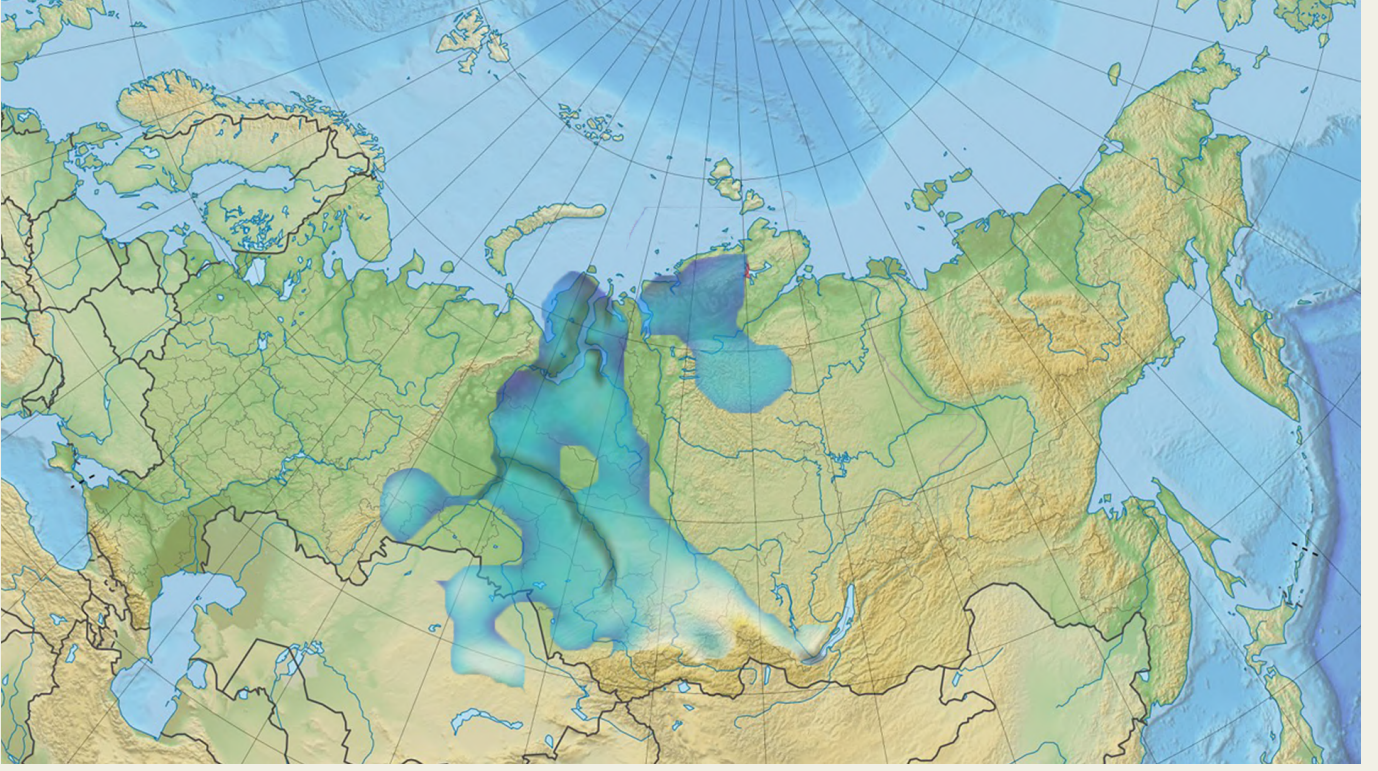


Şekil 37.

Harita, daha sert ve yoğun kayalara karşılık gelen mor renkle temsil edilen yüksek sismik dalga yayılma hızlarına sahip bölgeleri gösterirken, mavi alanlar daha sünek veya erimiş malzemenin varlığına işaret eden düşük hız bölgelerini göstermektedir. Daha sıvı manto içeriğine sahip bölgelere karşılık gelen düşük hızlı sismik dalga anomalileri iki kırmızı okla vurgulanmıştır.

Kaynak: Dou, H., Xu, Y., Lebedev, S., Chagas de Melo, B., van der Hilst, R. D., Wang, B., & Wang, W. (2024). Sismik tomografiden Asya’nın altındaki üst manto, tektonik, sismisite ve magmatizma mekanizmaları için çıkarımlar. *Earth-Science Reviews*, 255, 104841. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104595>

⁴² Dou, H., Xu, Y., Lebedev, S., Chagas de Melo, B., van der Hilst, R. D., Wang, B., & Wang, W. (2024). Sismik tomografiden Asya’nın altındaki üst manto, tektonik, sismisite ve magmatizma mekanizmaları için çıkarımlar. *Earth-Science Reviews*, 247, 104595. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104595>

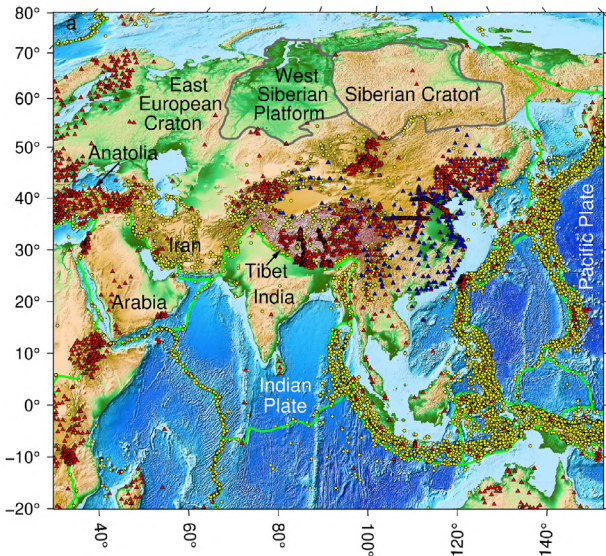


Şekil 38.

Dou ve diğerlerinin verilerine dayanan düşük hızlı sismik dalga anomalilerini gösteren ve uyarlayan Rusya'nın fiziksel haritası, 2024

Dou ve diğerlerinin (2024) çalışmasında Sibirya için sunulan sismotomografik analiz 10'dan az sismik sensörden (Şekil 39) elde edilen verilere dayandığını ve bunların tamamının Batı ve Doğu Sibirya'da neredeyse hiç kapsama alanı olmayan levha sınırları boyunca konumlandırıldığını

belirtmek önemlidir. Analizde 1994'ten 4 Eylül 2023'e kadar kamuya açık tüm geniş aralıklı deprem kayıtlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Karşılaştırma için, haritadaki kırmızı üçgenler Asya için yapılan analizde kullanılan ve sayıları binlerle ifade edilen sensörleri göstermektedir.



Şekil 39.

Sismik tomografik analizde kullanılan sensörlerin (kırmızı üçgenler) konumu

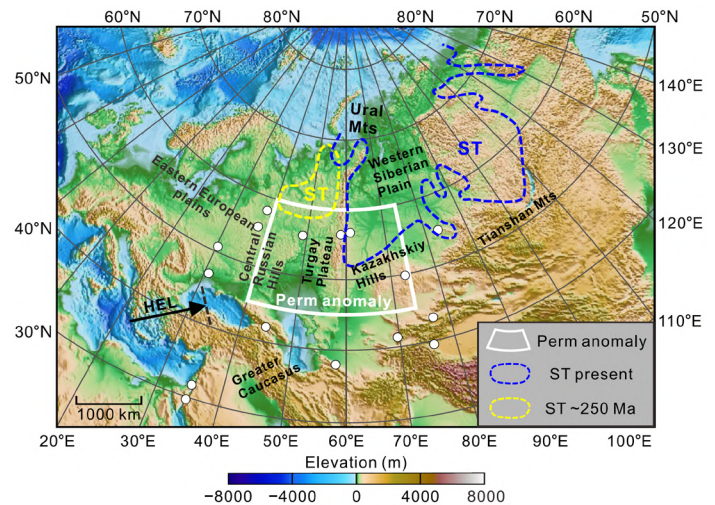
Kaynak Dou, H., Xu, Y., Lebedev, S., Chagas de Melo, B., van der Hilst, R. D., Wang, B., & Wang, W. (2024). Sismik tomografiden Asya'nın altındaki üst manto, tektonik, sismisite ve magmatizma mekanizmaları için çıkarımlar. *Earth-Science Reviews*, 247, 104595. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104595>

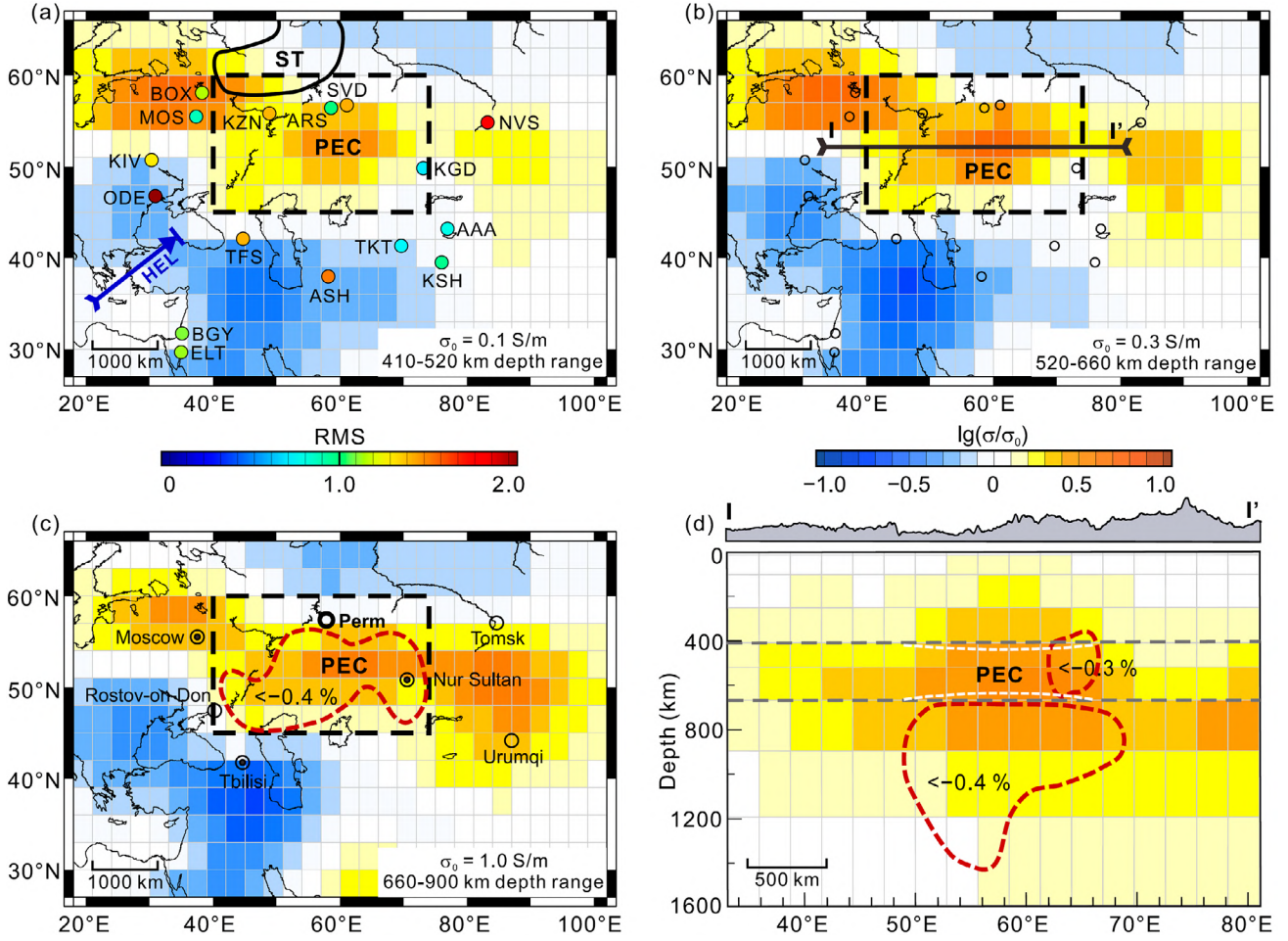
Çinli araştırmacılar tarafından 2023 yılında yapılan bir çalışma, magma faaliyetinin şu anda Sibirya'nın altındaki kabuğu erittiğini ve incelttiğini doğrulamaktadır⁴³ (Şekil 40). Devam eden bu süreç litosferik plakanın katılığını azaltmaktadır. Yazarlar, Kuzey Asya için jeomanyetik verilerden türetilen mantonun elektriksel iletkenlik modelini sunmakta ve patlamaları sırasında Sibirya Kapanlarının altındaki manto geçiş bölgesi içinde büyük bir iletkenlik anomalisini vurgulamaktadır. Bu anomali, bölgedeki Permiyen anomalisi ile bağlantılı, eriyik izleri taşıyan bir termal düzensizlik olarak yorumlanmaktadır (Şekil 41).

modeller farklı sonuçlar göstermektedir. Sibirya için açık bir sismolojik veri eksikliği vardır ve bu da bu modellerin doğruluğunu sınırlamaktadır.

Bu gözlemler, manto gaz sütunu gelişim hızlarına ilişkin mevcut anlayışları ve bunları incelemek için kullanılan metodolojileri gözden geçirme ihtiyacını vurgulamaktadır.

Beyaz noktalar, bu çalışmada C yanıtları kullanılan istasyonları göstermektedir. Permiyen anomali aralığı beyaz çizgilerle özetlenen bir bölge olarak gösterilmiştir. Sibirya Kapanlarının mevcut konumu mavi renkle, önceki konumları ise sarı renkle ve kesikli çizgilerle işaretlenmiştir.





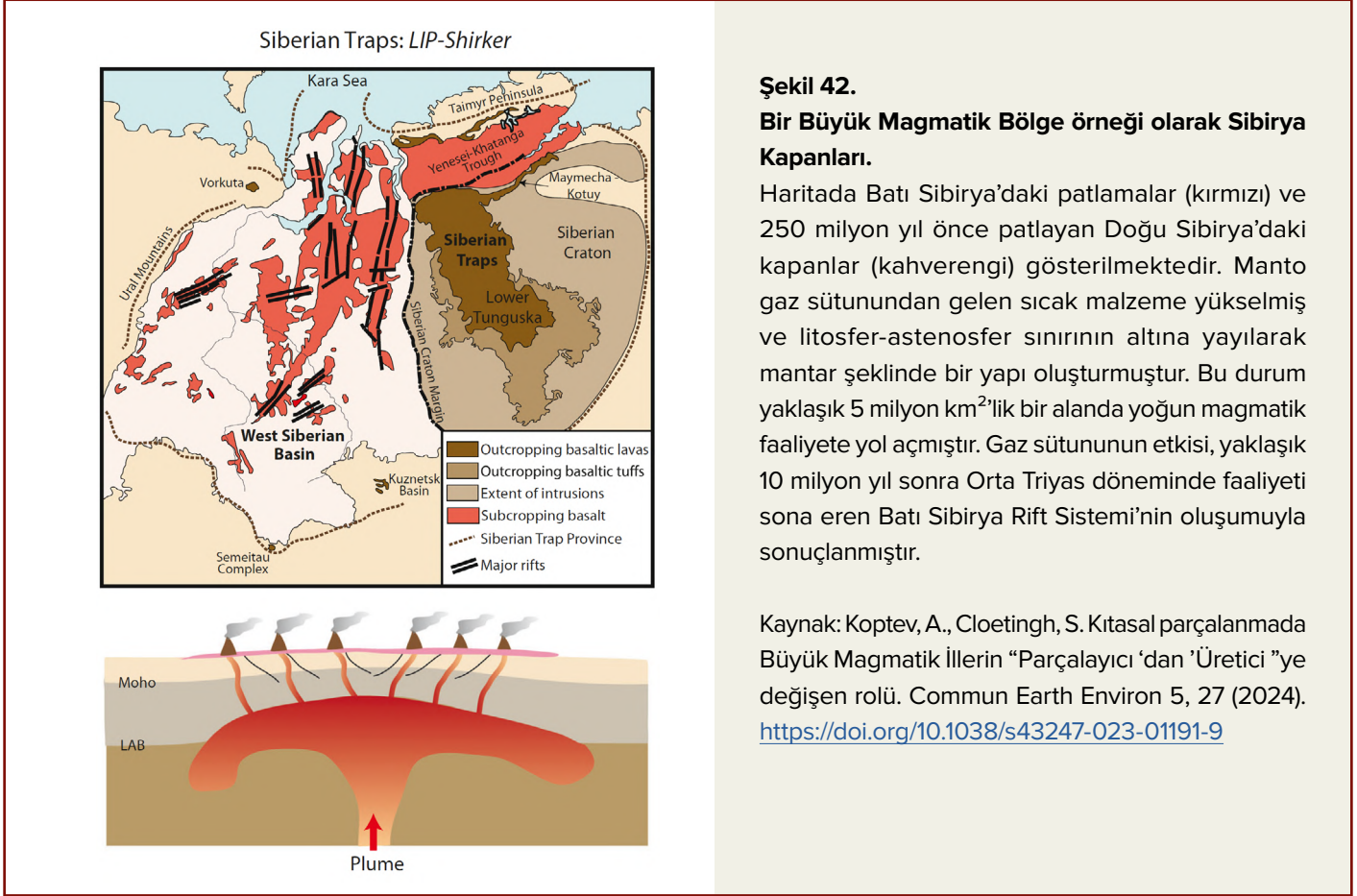
Şekil 41.

Jilin Üniversitesi ve Shijiazhuang Tiedao Üniversitesi'nden bilim insanları, mantonun çeşitli derinliklerdeki elektrik iletkenliğini hesaplamak için Kuzey Asya'daki 16 istasyondan alınan jeomanyetik alan verilerini kullandılar. Sibiry Kapanlarının altındaki bölgede (diyagramlardaki sarı ve kahverengi alanlar) dünya çapındaki ortalama iletkenliğe göre iletkenlikte gözle görülür bir artış olduğunu keşfettiler. Araştırmacılar, 400 ila 900 km derinlikteki bu alanların çevredeki mantodan ortalama 250 derece daha sıcak olduğunu tespit etmişlerdir. Bu bölgelerde, erimiş mantonun bir kısmı bulunmaktadır.

Kaynak: Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J., & Weng, A. (2023). Jeomanyetik verilerden çıkarılan Sibiry Kapanlarını oluşturan geç Permiyen süperp gaz sütununun kalıntısı. Nature Communications, 14, 1311. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37053-3>

Permian ve Triyas dönemlerinin sınırında 250 milyon yıl önce meydana gelen önceki patlamaların da bu bölgede meydana geldiğini belirtmek gerekir. Patlamanın merkez üssü

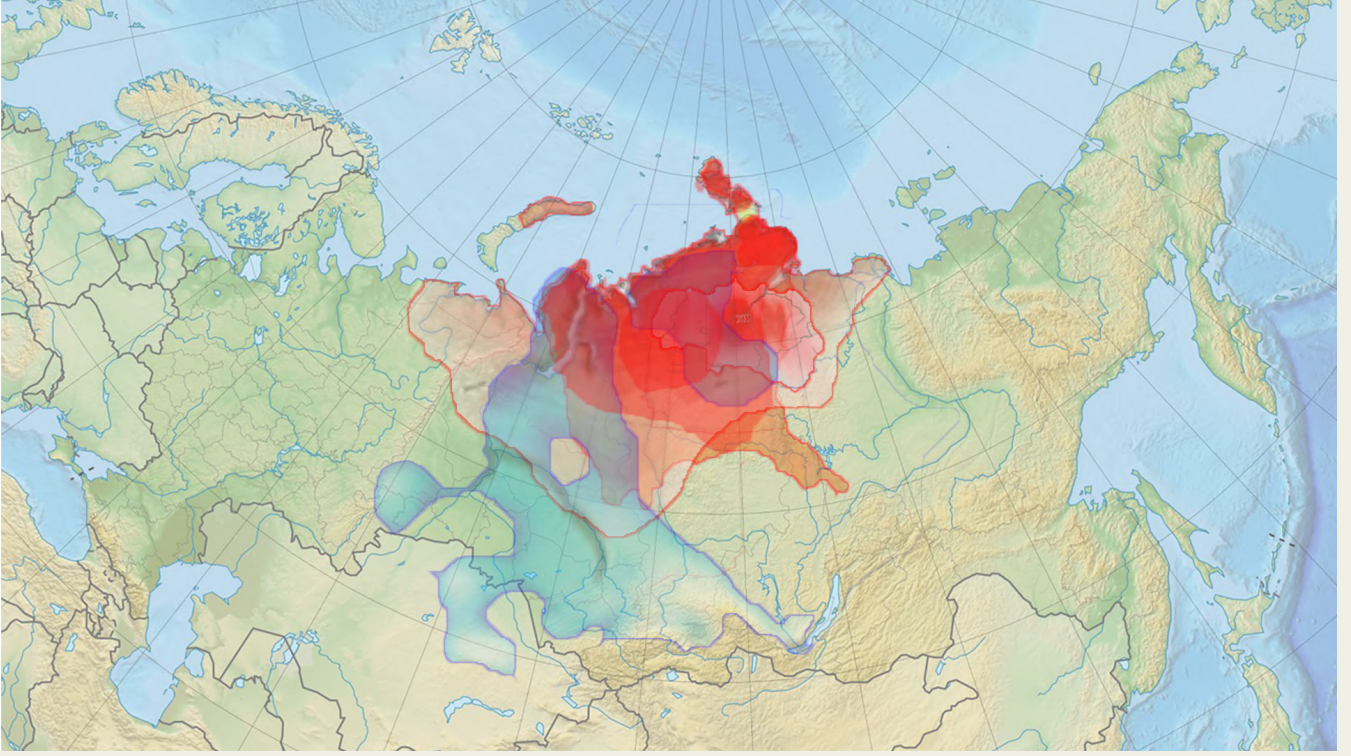
Doğu Sibirya Kratonu'nun altında (Putorana Platosu'nun altında) yer almaktaydı ve püskürmeler hem Batı hem de Doğu Sibirya'yı kapsamaktaydı (Şekil 42).



Magma Gaz Sütununun Lokalizasyonu

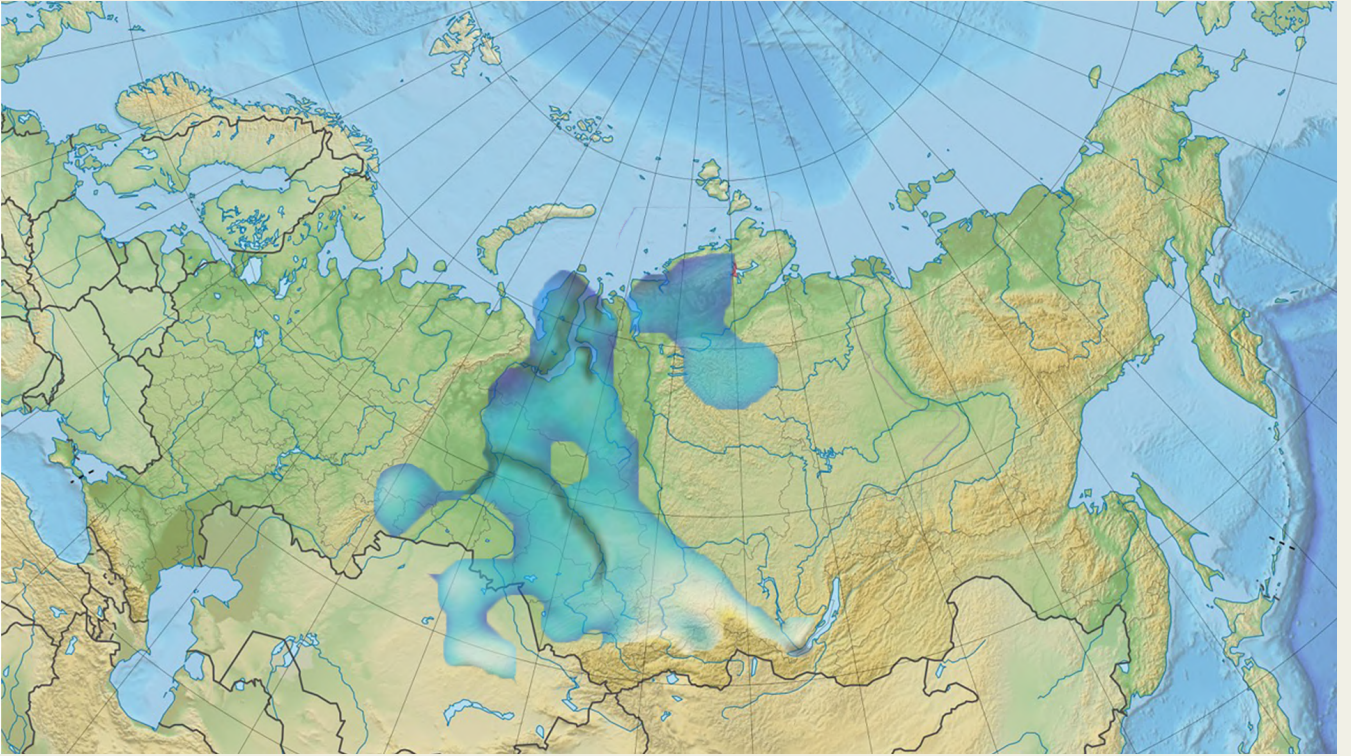
Toprak sıcaklığı anomalileri, permafrost çözülme derinliği, yüzeye yakın sıcaklıklar, mantodaki azalmış sismik hız anomalileri ve manyetik anomaly verilerinin yukarıdaki analizi

özetlenirse, gaz sütununun mevcut konumu ve boyutu belirlenebilir (Şekil 43).



Şekil 43.

A. Aşağıda ayrıntıları verilen çoklu parametrelerdeki temel anomalileri üst üste bindiren bileşik harita:



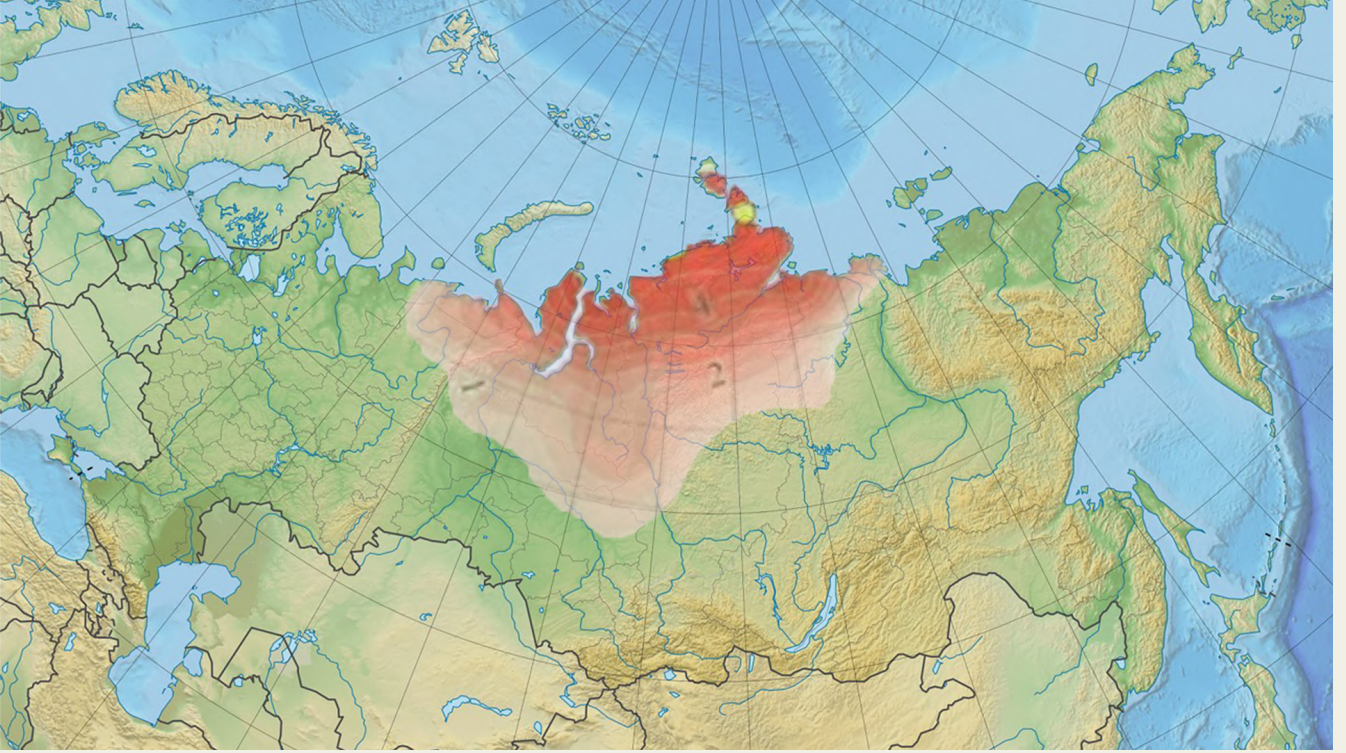
B. Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J., & Weng, A. (2023) sismotomografisine dayalı olarak 110 km derinlikte **düşük hız anomalilerinin** (daha fazla erimiş malzemenin göstergesi) haritası



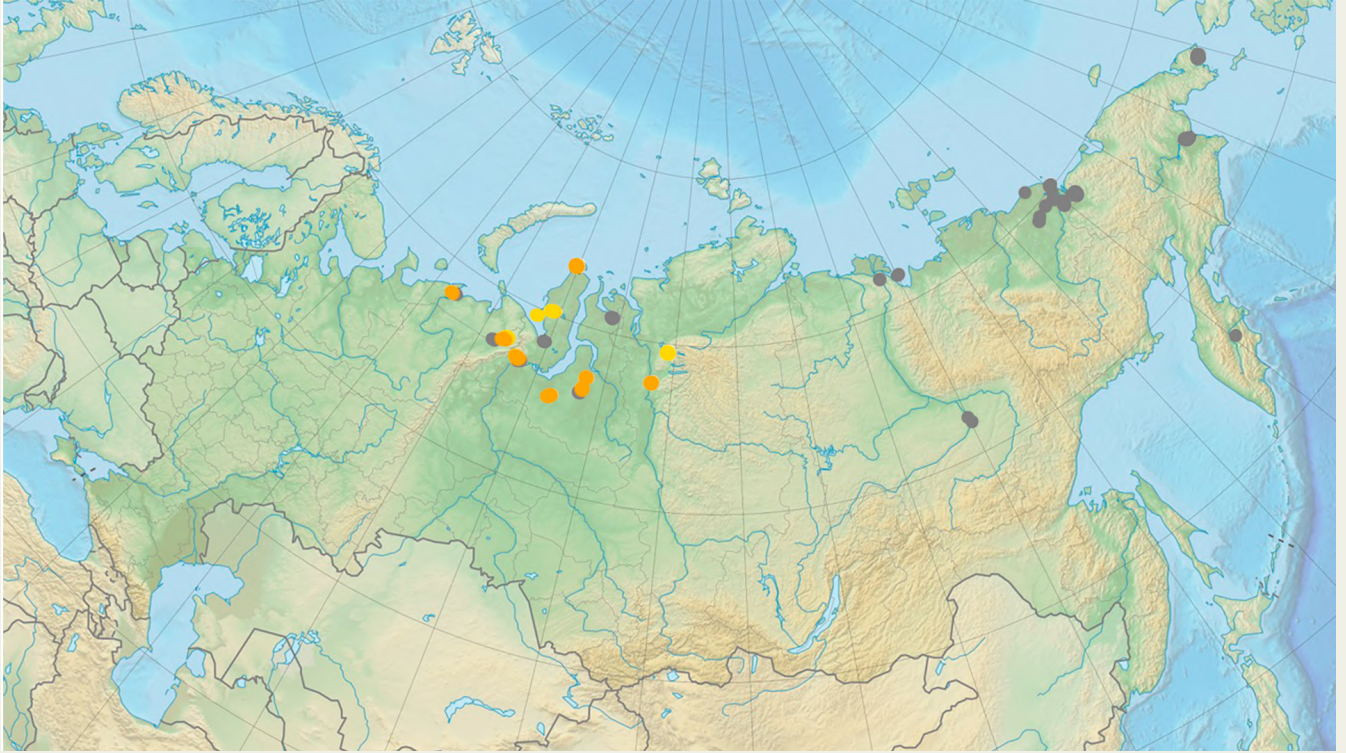
C. Roshydromet (2021, 2023) tarafından bildirildiği üzere **1976-2021 ve 1976-2023 dönemlerini karşılaştıran yeni toprak ısısı anomali eğilimleri.**



D. Sherstyukov'a (2023) göre **2001-2021 yılları arasında Ocak ayı için ortalama aylık hava sıcaklıklarının doğrusal eğilimi**



E. Roshydromet verilerine dayalı olarak Aralık 2023'ten Şubat 2024'e kadar mevsimsel ortalama hava sıcaklıkları (2024)



F. Permafrost tabakasında mevsimsel çözülme derinliğinin arttığı alanlar. Veri kaynağı: <https://permafrost.su/>

Hipoteze göre, gaz sütununun yükselen bölümü Gyda ve Taimyr Yarımadalarının güneyinde yer almaktadır ve birden fazla kola sahiptir. Gaz sütununun başının çapı 1.200-1.500 km olarak tahmin edilirken, magmatik akış dağılım bölgesi 2.500-3.000 km'ye ulaşabilir. Bu bölge Batı Sibirya Plakası ve Doğu Sibirya Kratonunun yapılarını kapsamaktadır.

Şu anda, gaz sütununun başı Doğu Sibirya Kratonu'nun tabanı üzerinde etkili olmakta ve magmatik akışları kendi bölgesinin altına yaymaktadır. Bu süreç muhtemelen Baykal ve

hatta Urallar gibi bölgeler de dahil olmak üzere levha kenarları boyunca artan sismik aktiviteye katkıda bulunmaktadır. Özellikle levhaların marjinal kısımlarındaki bu tür anomalilerin nedeni, altta yatan astenosferin yumuşaması ve yerkabuğunun Sibirya bloğunun orta kısmının, yani Batı Sibirya Levhası ve Doğu Sibirya Kratonunun tektonik yapılarının, Verk-hoyansk-Chukotka kıvrımlı sisteminin tektonik yapısı ile birlikte hafifçe yükselmesi nedeniyle levhaların dengesizleşmesidir.

Sibirya Magmatik Gaz Sütununun Aktivitesine Bağlı Tektonik Plaka Destabilizasyonunun Bir Göstergesi Olarak Sismik Aktivitedeki Artış

Sismik aktivite analizi metodolojisi, Uluslararası Sismoloji Merkezi (ISC) web sitesinden elde edilen verilerin indirilmesini ve özel olarak işlenmesini içermektedir. Veriler farklı ülkelerden ve araştırma enstitülerinden farklı kaynaklar ve farklı büyüklük türleri (Mw, Ms, Mb, ML, MD, vb.) içerdiğinden, farklı kaynaklardan uygun büyüklük türünü seçmek için belirli bir veri işleme algoritması gerçekleştirilmiştir (bkz. Ek 1). İşleme algoritmasının ana fikri, her bir olay için farklı kaynaklar ISC veri tabanına farklı büyüklük türleri ve değerleri sağladığından, her bir olay için en yaygın büyüklük türleri arasından medyan değeri seçmektir. Ortalama olarak, bu işlem gönderilen maksimum değere göre büyüklükte küçük bir azalmaya yol açar, ancak deneyimin gösterdiği gibi medyan tabanlı algoritma Gutenberg-Richter yasası ve diğer modellerle iyi uyum sağlayan sonuçlar üretir ve IRIS ve USGS gibi diğer sismolojik kaynaklardan gelen verilerle oldukça iyi uyum sağlar.

Algoritma aracılığıyla elde edilen veriler, madencilik faaliyetleri sırasında insan faaliyetlerinden kaynaklanan olayları hariç tutmak için ISC veri tabanındaki olay türlerine göre filtrelenmiştir (bkz. Ek 1): patlamalar, şüpheli patlamalar, kaya patlamaları vb. Ayrıca, Rusya genelinde çok sayıda maden işletmesi bulunduğundan, ISC veri tabanı, Rusya'daki bilinen tüm patlamaları ve kaya patlamalarını listeleyen Rusya Bilimler Akademisi Birleşik Jeofizik Servisi'nin⁴⁴ Ocak 2025 tarihli verileriyle çapraz referanslandırılmıştır. Elde edilen veri setinin patlamalara atfedilebilecek hiçbir olay içermediğinden emin olmak için bu olaylar da hariç tutulmuştur.

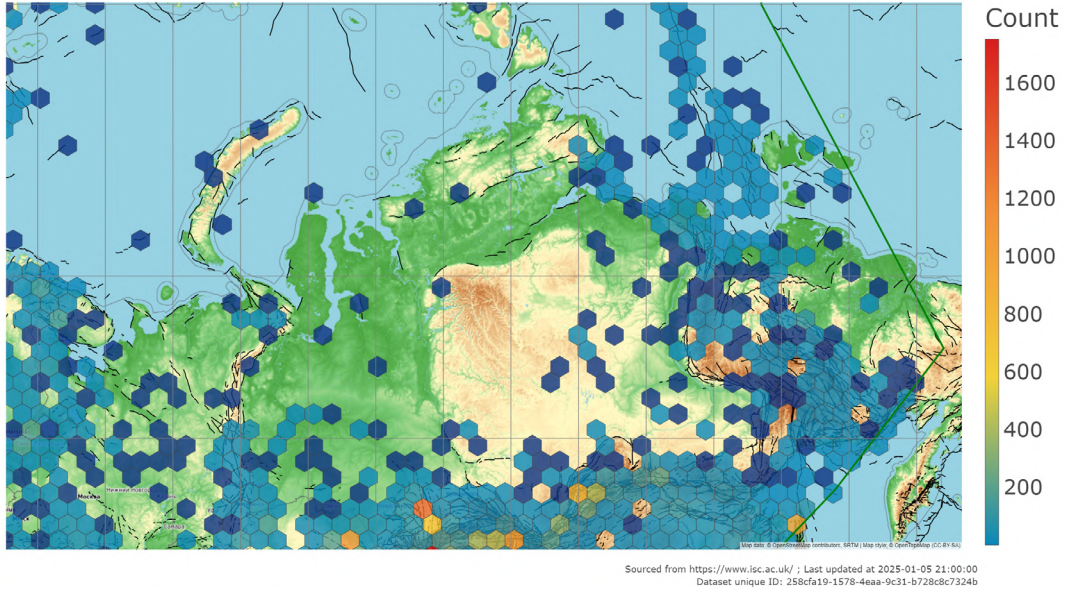
⁴⁴ Federal Araştırma Merkezi, Rusya Bilimler Akademisi Birleşik Jeofizik Servisi <http://www.ceme.gsr.ru/zr/contents.html>

Şimdi yükselen magmatik gaz sütununun bulunduğu bölgedeki ve doğrudan etkilediği büyük tektonik blokların çevre bölgelerindeki veri analizinin sonuçlarını ele alalım. Sibirya Kratonu nispeten istikrarlı, asismik bir platform olarak kabul edildiğinden, sınırları içinde az sayıda deprem olması bile bir anomali olarak değerlendirilecektir.

Şekil 45 Rusya genelinde deprem yoğunluğu dağılımını göstermektedir. Sibirya bölgesinde, en yüksek deprem yoğunluğunun kıvrımlı bölgelerde görülmesi beklenmektedir: doğuda Verkhoyansk

Sıradağları, Gakkel Sıradağları, batıda Ural Dağları ve güneyde Altay-Sayan bölgesi. Sibirya'nın kendi içinde de izole olaylar mevcuttur – Taimyr Yarımadası'nın güneyinde yaklaşık 4.0 büyüklüğünde birkaç deprem kaydedilmiştir. Sibirya'daki yerel bölgelerde meydana gelen depremlerin dinamiklerine daha yakından bakalım. Sibirya gaz sütunu ve komşu bölgelerdeki yerel depremlerin dinamiklerine daha yakından bakalım.

Sibirya topraklarında meydana gelen M3+ büyüklüğündeki depremlerin yoğunluğu

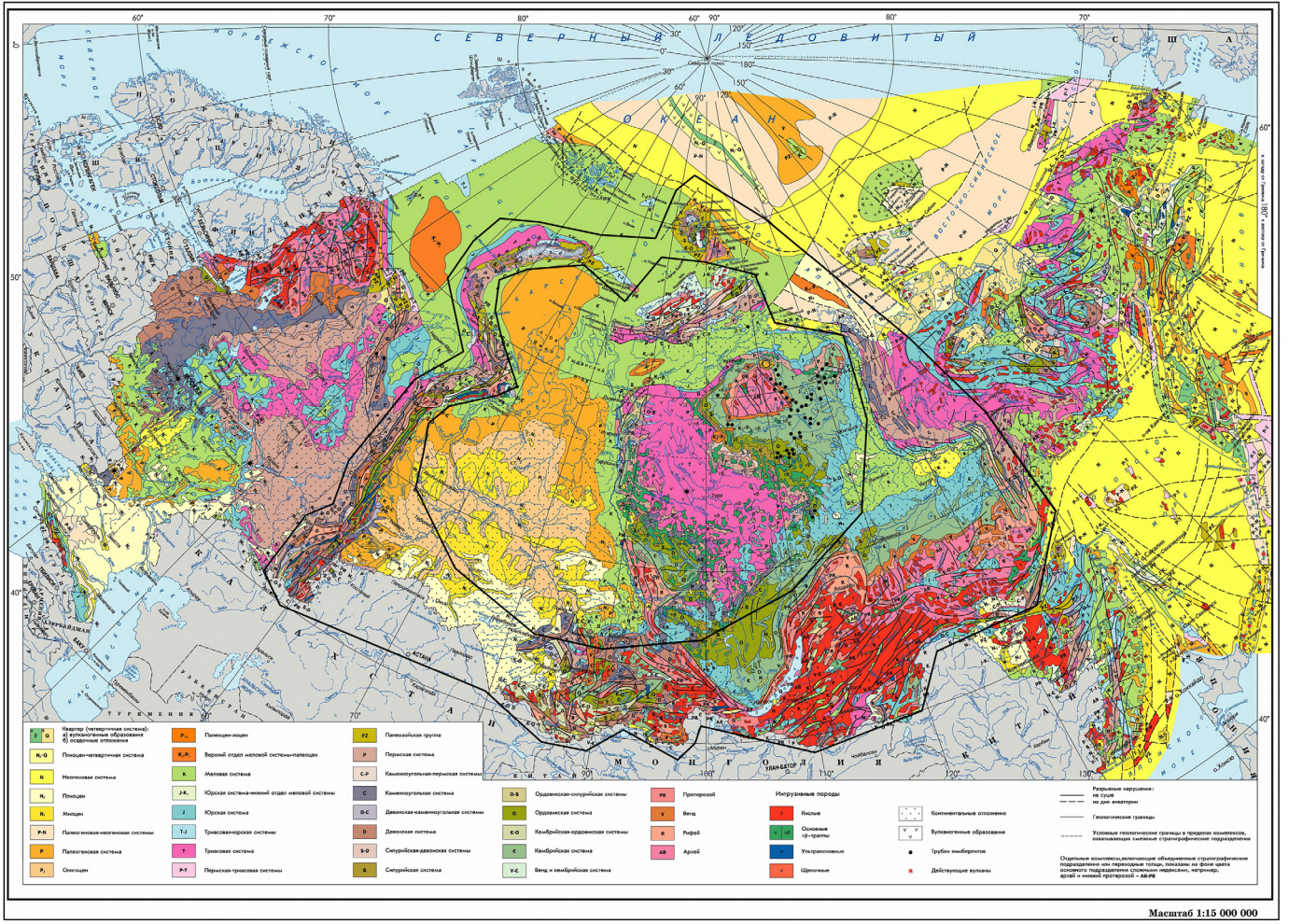


Şekil 44.
1990'dan 2024'e kadar Sibirya'da M3+ deprem yoğunluğu.

Kaynak: ISC veritabanı

Jeolojik yapılaraya dayanarak, manto gaz sütununun farklı etkiler gösterebileceği alanlar belirlenmiştir (Şekil 45). Etkinin magma ve sıvı fazın (magmatik gazlar) girişi ve basıncı ile ilişkili olabileceği, gaz sütununun kendisinin bulunduğu alan seçilmiştir. Doğu Sibirya Platformu ve Batı

Sibirya Plakası'nın marjinal kısımlarında, gaz sütununun sismisite üzerindeki etkisi muhtemelen yer kabuğunun yoğun bloklarının dengesiz konumundan kaynaklanmaktadır.



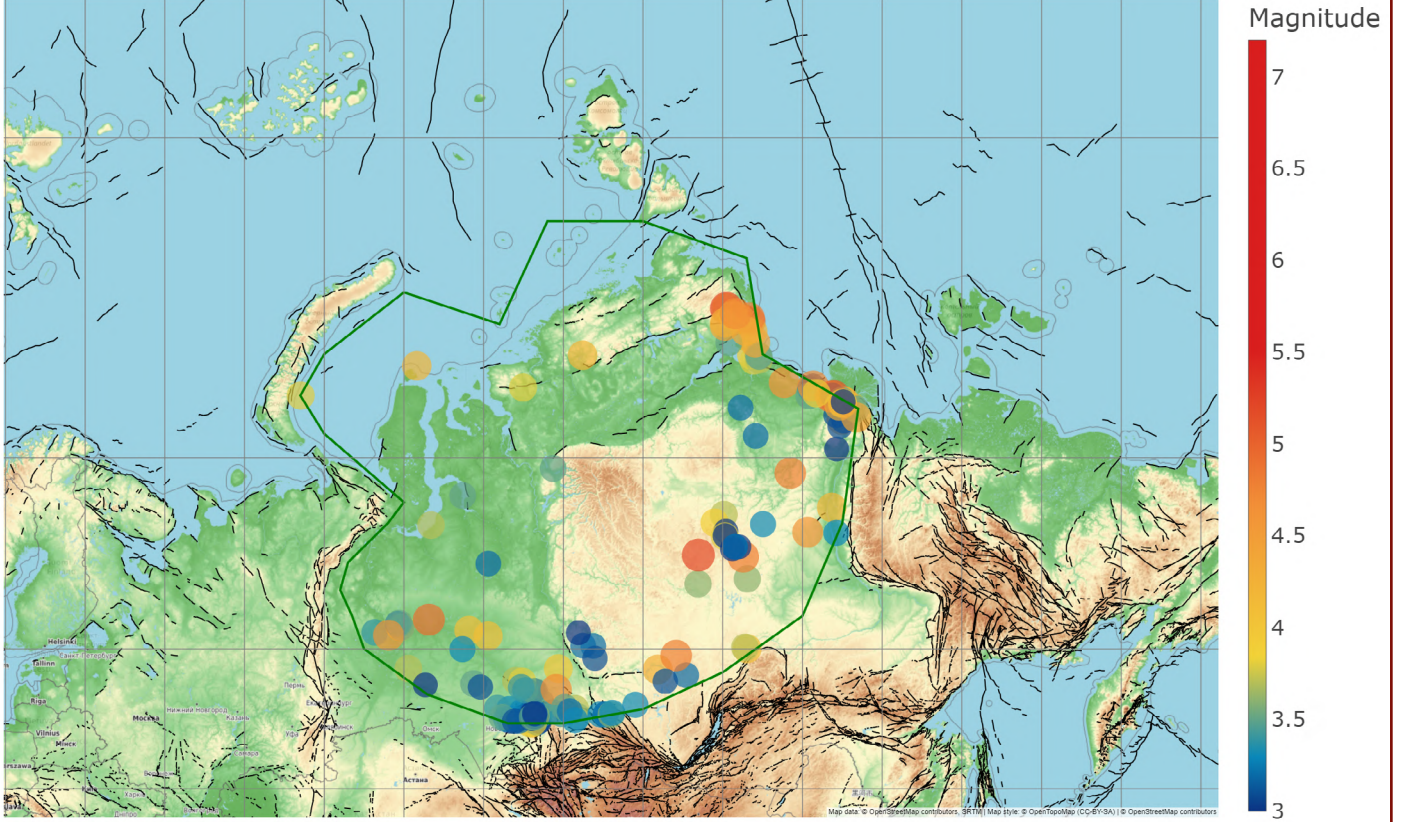
Şekil 45.

Sismisite analizi için Sibirya gaz sütununun (iç siyah alan) girdiği ve yanal yayıldığı alandaki jeolojik yapılarla sınırlandırılmış alan. Dıştaki siyah alan, Sibirya gaz sütununun levhalar üzerindeki basıncından kaynaklanan marjinal etkilerin olduğu alana karşılık gelmektedir.

Sibirya gaz sütununun merkezi bölgesindeki depremleri daha ayrıntılı olarak inceleyelim. Şekil 46, büyüklüğü 3.0 ve üzerinde olan depremlerin dağılımını gösteren bir harita sunmaktadır. Depremler Taymyr Yarımadası'nın güney bölgesinde kaydedilmiştir. Bu bölgede Ağustos ve Eylül 2024'te meydana gelen ve büyüklükleri sırasıyla 3,5 ve 3,8 olan iki yeni deprem özellikle

endişe vericidir. Benzer büyüklükler Gyda Yarımadası'nın güney kesiminde (M3.5) ve Yamal Yarımadası'nda (M3.7 ve M4.2) 10 km derinlikte kaydedilmiştir. Bu depremler, daha sonra açıklanacak olan endişe verici bir eğilim olan Sibirya gaz sütununun başının lokalizasyonuna karşılık gelen bölgede kaydedilmiştir.

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

Şekil 46.

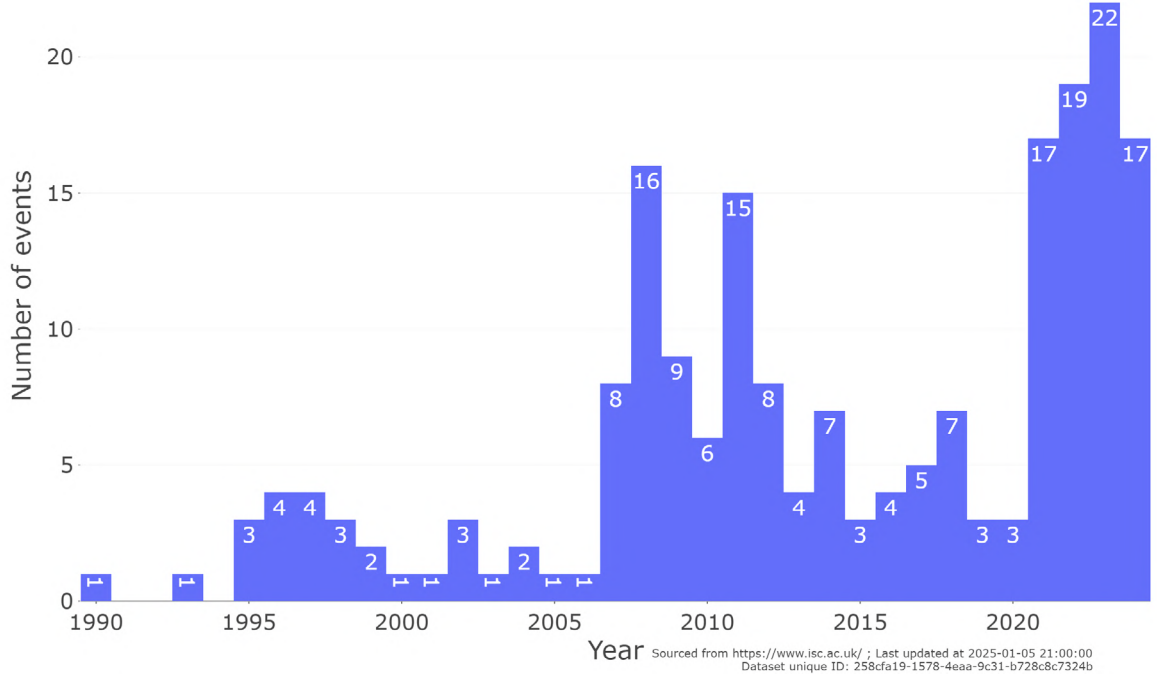
1990-2024 yılları arasında 1990'dan 2024'e kadar Sibirya Gaz Sütunu bölgesinde M3.0+ büyüklüğündeki depremlerin haritası.

Veritabanı: ISC.

Vurgulanan Sibirya Gaz Sütunu bölgesinde 1990 ile 2024 yılları arasında M3.0+ büyüklüğünde toplam 205 deprem kaydedilmiştir. Deprem sayısında 1995 yılında bir artış gözlenmiştir (Şekil 47) ve bu artış, 1995 yılında artan magmatik faaliyetle ilişkili olarak küresel sismik faaliyet artışı eğilimiyle uyumludur. 2007 yılından bu yana, deprem sayısında önemli bir artış olmuş ve bunu sismik aktivitede kademeli bir düşüş

izlemiştir. 2021'den itibaren deprem sayısı yeniden keskin bir artış göstererek önceki yıllık seviyeleri aşmıştır. Böylece Sibirya Gaz Sütunu bölgesinde sismik aktivitede dalga benzeri bir büyüme gözlenmektedir. Son yıllarda, geçmişte bu bölge için tipik olandan belirgin şekilde daha fazla olay kaydedilmiştir.

Sibiry Gaz Sütunu Bölgesi'nde meydana gelen M3+ büyüklüğündeki depremler



Şekil 47.

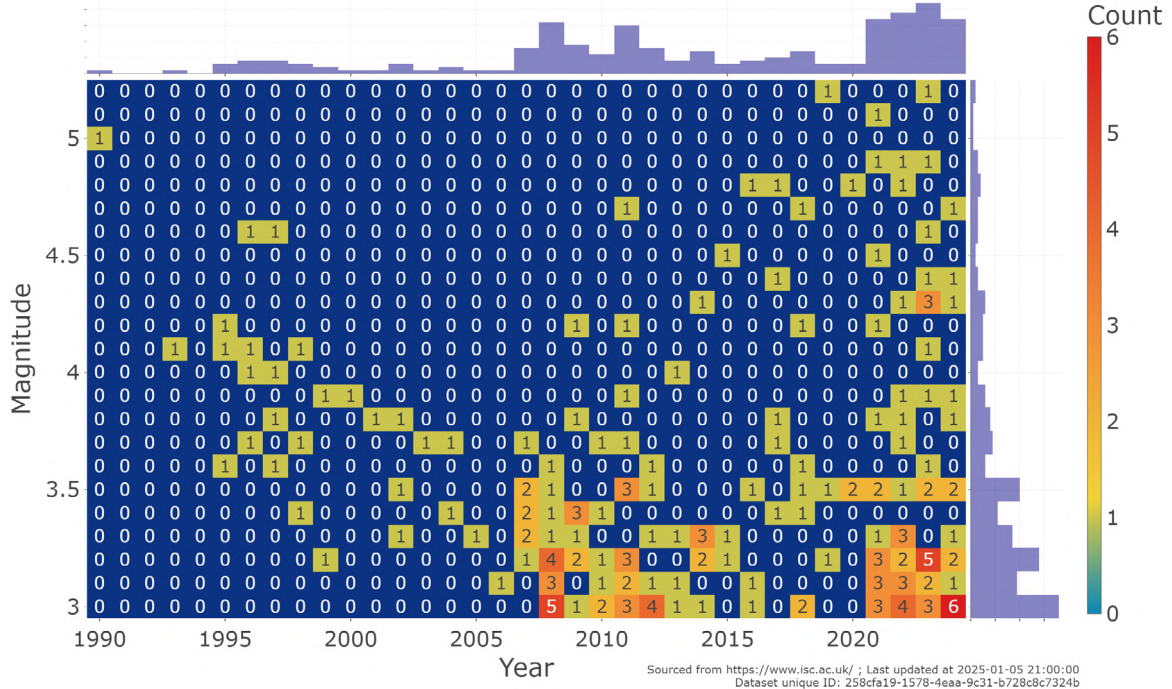
1990'dan 2024'e kadar Sibiry Gaz Sütunu bölgesindeki M3.0+ depremlerin sayısı.

Veritabanı: ISC.

1990 yılında meydana gelen M5.0 büyüklüğündeki depremin ardından, büyüklüklerde ve deprem sayısında kademeli bir azalma gözlenmiştir (Şekil 48). 1990'dan 2007'ye kadar büyüklüğü M4.5'in üzerinde olan sadece üç deprem kaydedilmiştir. 2007'den bu yana deprem büyüklüklerinde kademeli bir

artış olmuştur. Kayıtlı tarihte ilk kez 2019 yılından itibaren M5.1 ve M5.2 büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir. M4,5+ büyüklüğündeki tüm depremler alüvyonun çevresinde yer almaktadır (Şekil 49) ve bazıları bilinen fayların bulunmadığı duraylı alanlarda meydana gelmiştir.

Sibirya Gaz Sütunu Bölgesi'nde meydana gelen M3+ büyüklüğündeki depremler

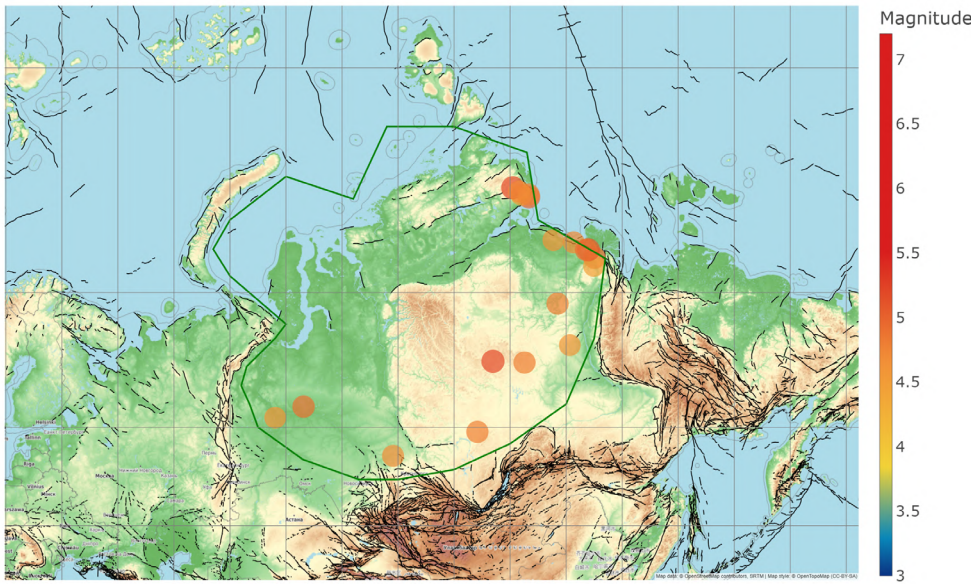


Şekil 48.

1990'dan 2024'e kadar Sibirya gaz sütunu bölgesinde meydana gelen depremlerin büyüklüklerine göre dağılımı.

Veri kaynağı: ISC.

Sibirya Gaz Sütunu Bölgesi'nde meydana gelen M4.5+ büyüklüğündeki depremler



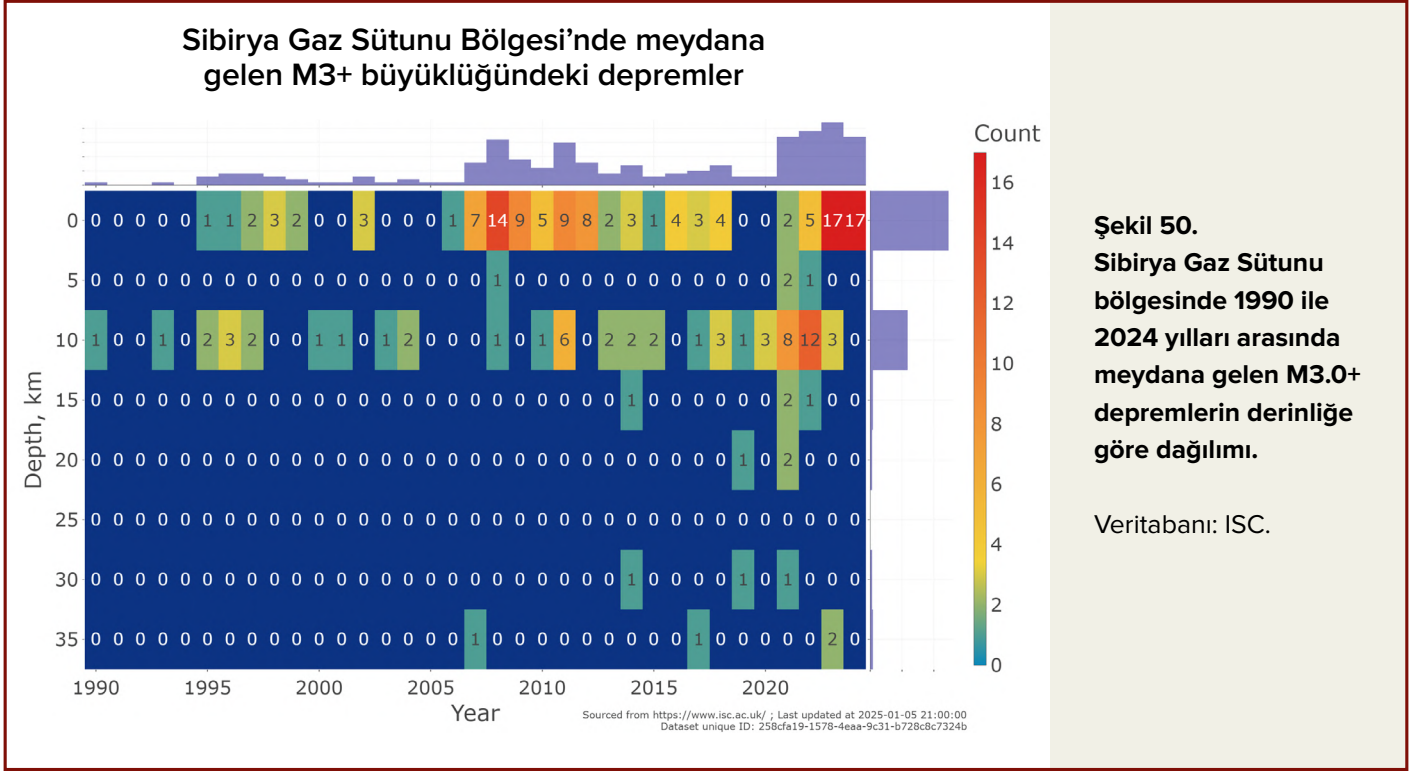
Şekil 49.

1990'dan 2024'e kadar Sibirya Gaz Sütunu bölgesinde meydana gelen M4.5+ depremlerin haritası.

Veri kaynağı: ISC.

Aynı yıl, 2007’de, Moho sınırına yakın 33 km derinlikte ilk kez 3.7 büyüklüğünde bir deprem kaydedilmiştir (Şekil 50). 2014’ten sonra, kabuğun tabanında, 30-35 km derinliklerde, büyüklükleri 5.0’a yaklaşan depremler önemli

ölçüde daha sık meydana gelmeye başlamıştır. Bunların tümü, varsayılan gaz sütunu bölgesinin çevresi boyunca yer almaktadır.



Varsayılan Sibirya Gaz Sütunu bölgesindeki depremlerin analizi, depremsellikte dalga benzeri artışlar olduğunu göstermektedir: depremlerin sayısı artmakta, büyüklükleri artmakta ve daha derin seviyelerde meydana gelmektedir. Bu da aşağıdan gelen magmanın muazzam basıncı altında levhanın deformasyon süreçlerine işaret etmektedir. Bu süreçlerin ilerlemesi, aşağıdaki nedenlerden dolayı yakın gelecekte kaçınılmaz olarak Sibirya Gaz Sütununun patlamasına yol açacaktır.

Doğu Sibirya Kratonu’nun temeli magmatik ve metamorfik kayalarla çimentolanmış olup 250 milyon yıl önce meydana gelen

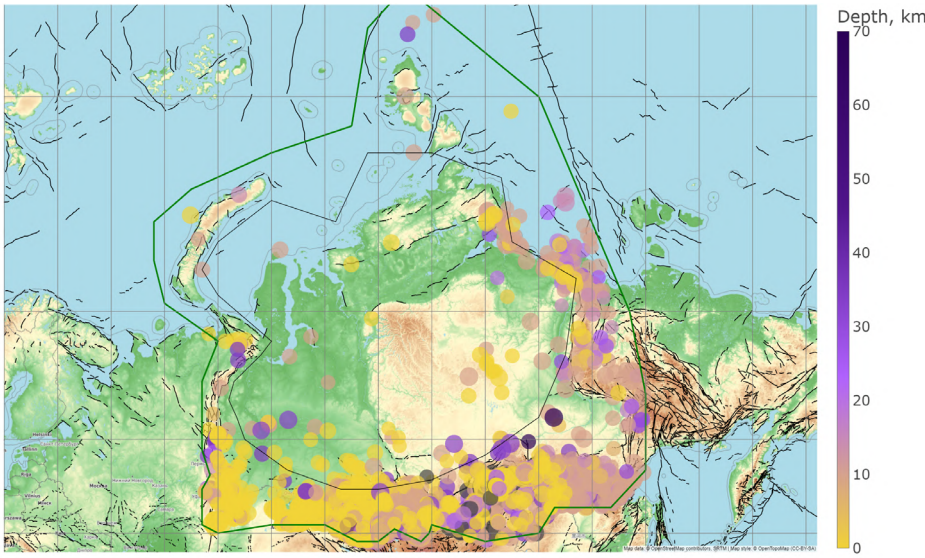
patlamalarla şekillenen yoğun, yekpare bir kabuk oluşturmaktadır. Bu bölgede büyüklükleri 7.0’dan başlayan güçlü depremlerin ortaya çıkması, Sibirya Kratonu’nun platform yapılarının kayaların dayanım sınırlarını aşan deformasyonlara uğradığını göstermektedir. Yekpare Sibirya Kratonu’nun gaz sütunu basıncı altında nasıl kırılabileceğini göstermek için, camın tamamen parçalanmadan hemen önce nasıl çatlamaya başladığını hayal edin. Bu nedenle, bu bölgede güçlü depremlerin ortaya çıkması, kelimenin tam anlamıyla bir gün içinde yüzeye doğru bir gaz sütunu ihlalinin başlangıcını işaret edebilir.

Halen, Sibirya'daki magmatik gaz sütunu bölgesinde gaz sütununun ilerlemesi ve yerkabuğunun sağlamlığı ile ilgili gerçek durumu anlamak için, tercihen birkaç kilometre derinlikteki sondaj kuyularına ilave sismik sensörlerin yerleştirilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu, yerkabuğu ve mantonun detaylı sismik tomografi analizini mümkün kılacak ve gaz sütununun konumu ve aktivitesinin sürekli izlenmesini sağlayacaktır (bkz. "Planlı

ve Kontrollü Gaz Giderme" bölümü).

Sibirya Gaz Sütunu bölgesinde ve çevre bölgelerinde depremlerin derinliğe göre dağılımına dikkat edilmelidir (Şekil 51). Moho sınırına yakın derinliklerde (30 km'den büyük) ve mantoda meydana gelen depremler çoğunlukla kıvrımlı bölgelerde meydana gelir ve görünüşe göre Sibirya Gaz Sütununun varsayılan yerini ana hatlarıyla belirtirler.

M3.5+ Earthquakes, Siberian Plume Region



Şekil 51.

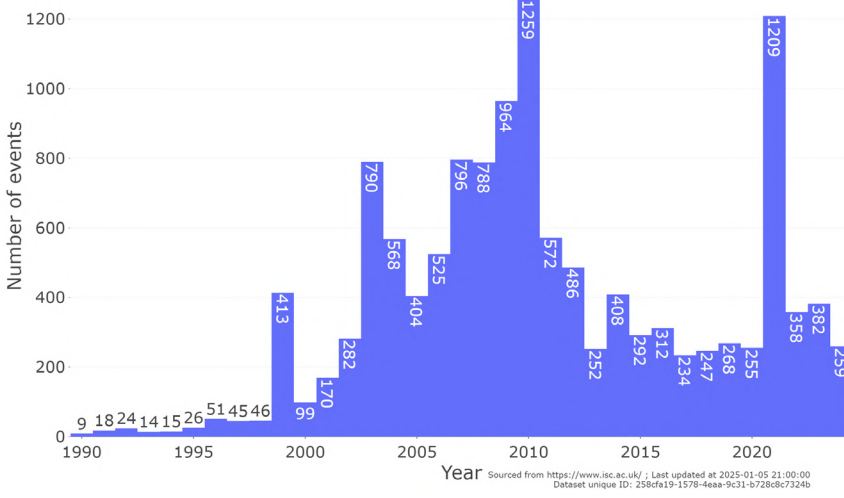
1990'dan 2024'e kadar Sibirya Gaz Sütunu bölgesindeki M3.5+ depremlerin haritası. Renk ölçeği derinliğe karşılık gelmektedir.

Veritabanı: ISC.

Sismik aktiviteyi özellikle Sibirya Gaz Sütununun çevre kısımlarında inceleyelim. Jeolojik olarak bu alanlar kıvrımlı kuşaklara ve sismik olarak aktif bölgelere ait olup sismisite hem tektonik hareketlerden hem de magmatik gaz sütununun etkisinden kaynaklanıyor olabilir. Deprem sayısı grafiği, örtüşen sismisite faktörlerinin karışık bir tablosunu göstermektedir (Şekil 52). Bazı yıllarda sismik aktivitede önemli artışlar görülmektedir. Bu süreçlerin doğasının daha iyi anlaşılması için her bölgenin ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir.

Laptev Denizi'nin tabanındaki Verkhoyansk kıvrımlı yapıları ve fay zonlarının analizi (Şekil 53), 2013 ve 2021-2022 yıllarında M3+ depremlerinde kayda değer artışlar olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 54). Bu tür ani artışlar, yerkabuğunun bütünlüğünde önemli bozulmalara ve kaya kırıkları ve yakındaki faylar yoluyla sıvı içeriğinin serbest kalmasına neden olan magma intrüzyon fazlarının karakteristik özelliğidir. Bu fenomenlere genellikle düşük büyüklükteki depremlerde artış, deprem sürülerinin oluşumu ve hatta bazen sürü serileri eşlik eder.

M3+ Earthquakes in the Marginal Parts of the Siberian Plume

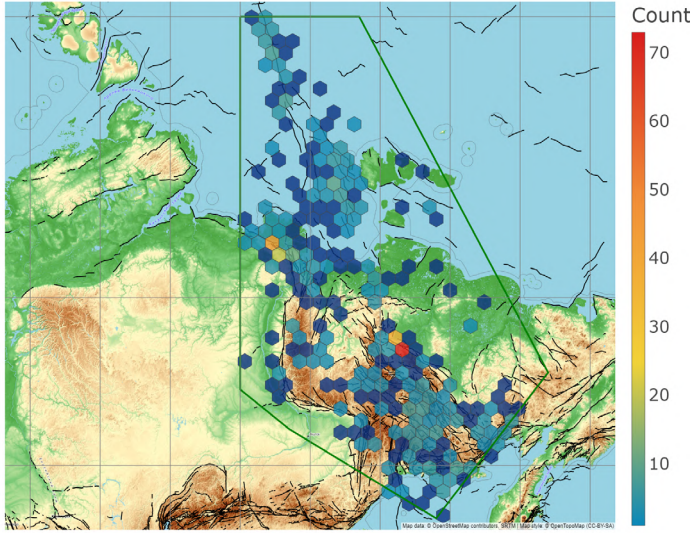


Şekil 52.

1990'dan 2024'e kadar Sibirya gaz sütununun çevre bölgelerindeki M3.0+ deprem sayısı. Gaz Sütunu içindeki depremler hariç tutulmuştur (Şekil 47).

Veri kaynağı: ISC.

M3+ Earthquakes Density, Northeastern Part

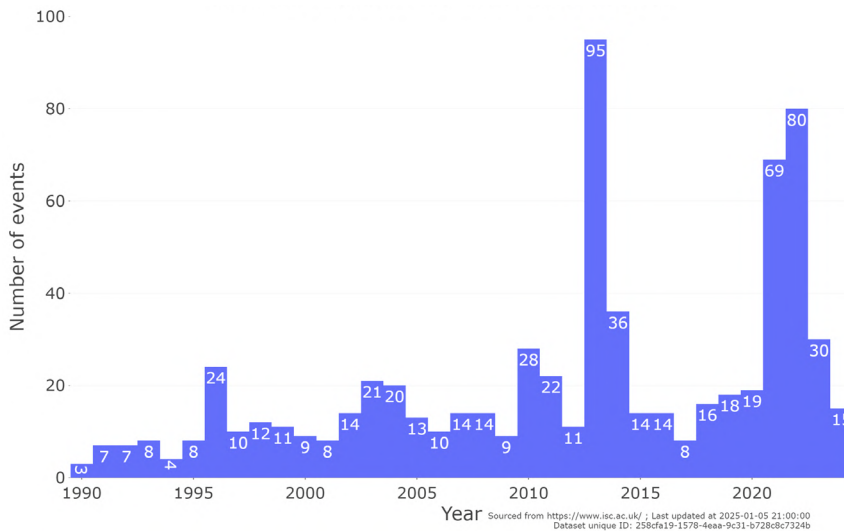


Şekil 53.

1990'dan 2024'e kadar Sibirya kabuk bloğunun kuzeydoğu kenarındaki seçilmiş bir kesitte M3+ Deprem yoğunluğu. Fay hatları siyahla işaretlenmiştir.

Kaynak: ISC Veritabanı.

M3+ Earthquakes Density, Northeastern Part



Şekil 54.

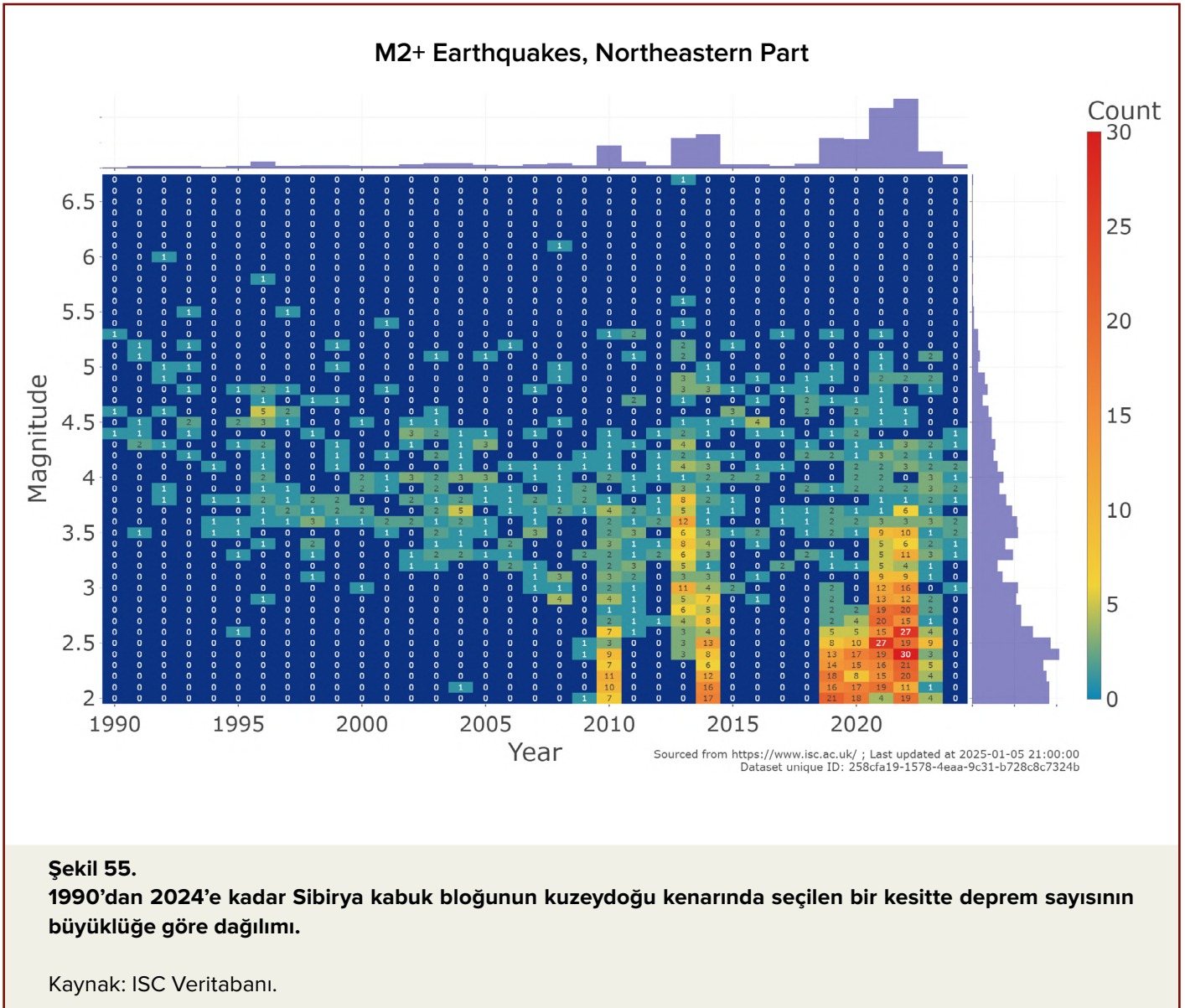
1990'dan 2024'e kadar Sibirya kabuk bloğunun kuzeydoğu kenarında seçilen bir kesitteki M3+ deprem sayısının grafiği.

Kaynak: ISC veri tabanı.

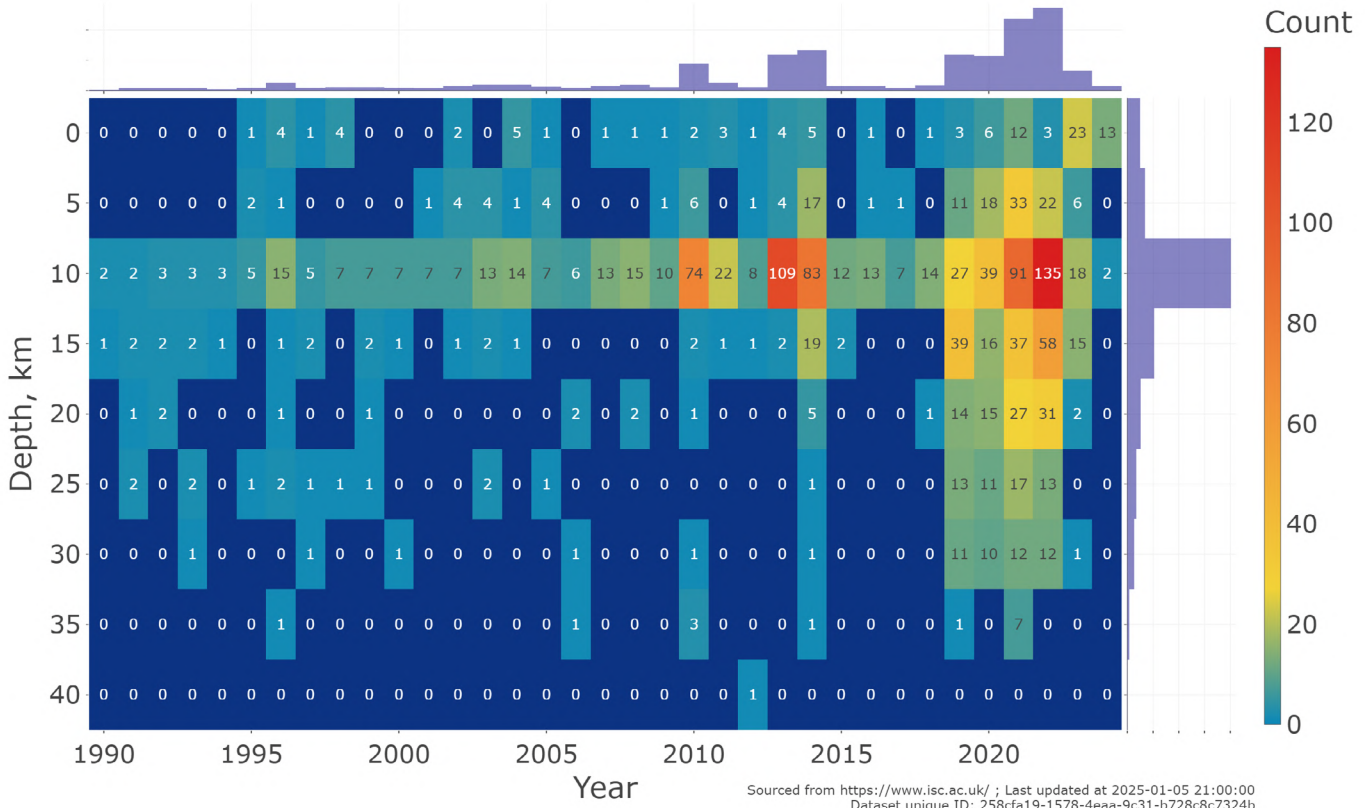
Bu bölgedeki deprem büyüklüklerinin analizi, 2010, 2013-2014 yıllarında büyüklüğü 2 ila 3,5 arasında olan depremlerin sayısında bir artış olduğunu ve 2019'dan itibaren önemli bir artış olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 55). 2019'dan bu yana, yer kabuğunu neredeyse tabanına kadar etkileyen ve 35 km'ye ulaşan derinliklerde meydana gelen depremlerin sayısında da kayda değer bir artış olmuştur

(Şekil 56). Bölge, 2013 yılında 6,7 büyüklüğünde ilk depremini yaşamış ve bu da ya uzun süreli bir basınç birikimi evresine ya da biriken magmatik sıvıların salınımına işaret etmiştir.

Taimyr Yarımadası'ndan güneydoğu yönündeki deprem grubu (Şekil 57) ayrıca incelenmelidir.



M2+ Earthquakes, Northeastern Part

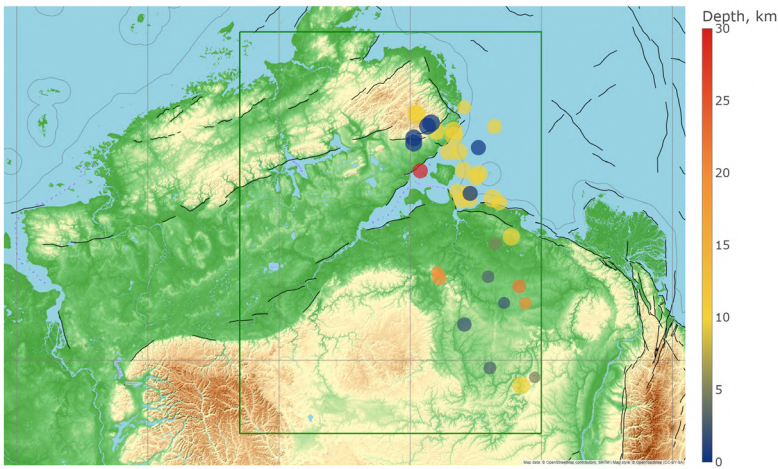


Şekil 56.

1990'dan 2024'e kadar Sibirya kabuk bloğunun kuzeydoğu kenarındaki seçilmiş bir kesitte M2+ depremlerinin derinliğe göre dağılımı.

Kaynak: ISC Veritabanı.

M2+ Earthquakes, Northeast of the Taimyr Peninsula



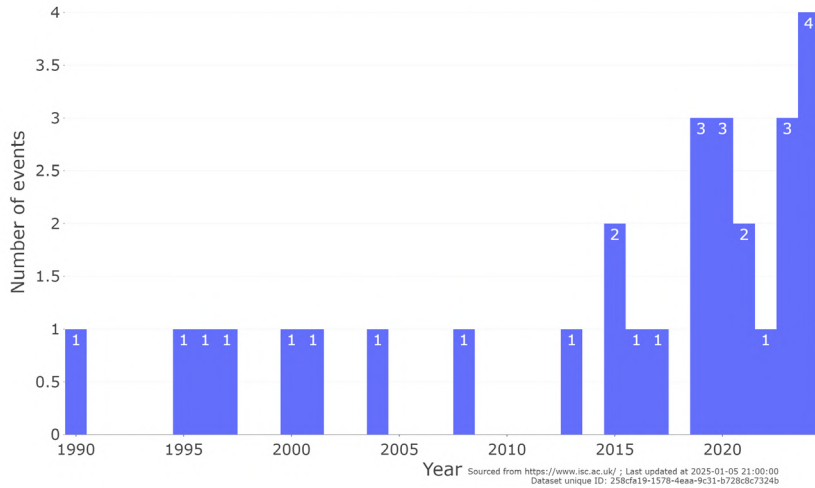
Şekil 57.

1990'dan 2024'e kadar Taimyr Yarımadası'nın kuzeydoğusundaki seçilmiş bölgede M2+ depremlerinin dağılım haritası.

Veri kaynağı: ISC.

2019-2020 yıllarında bu bölgede de düşük ve orta büyüklükteki sismik faaliyetlerde bir artış yaşanmıştır (Şekil 58, 59).

M3+ Earthquakes, Northeast of the Taimyr Peninsula

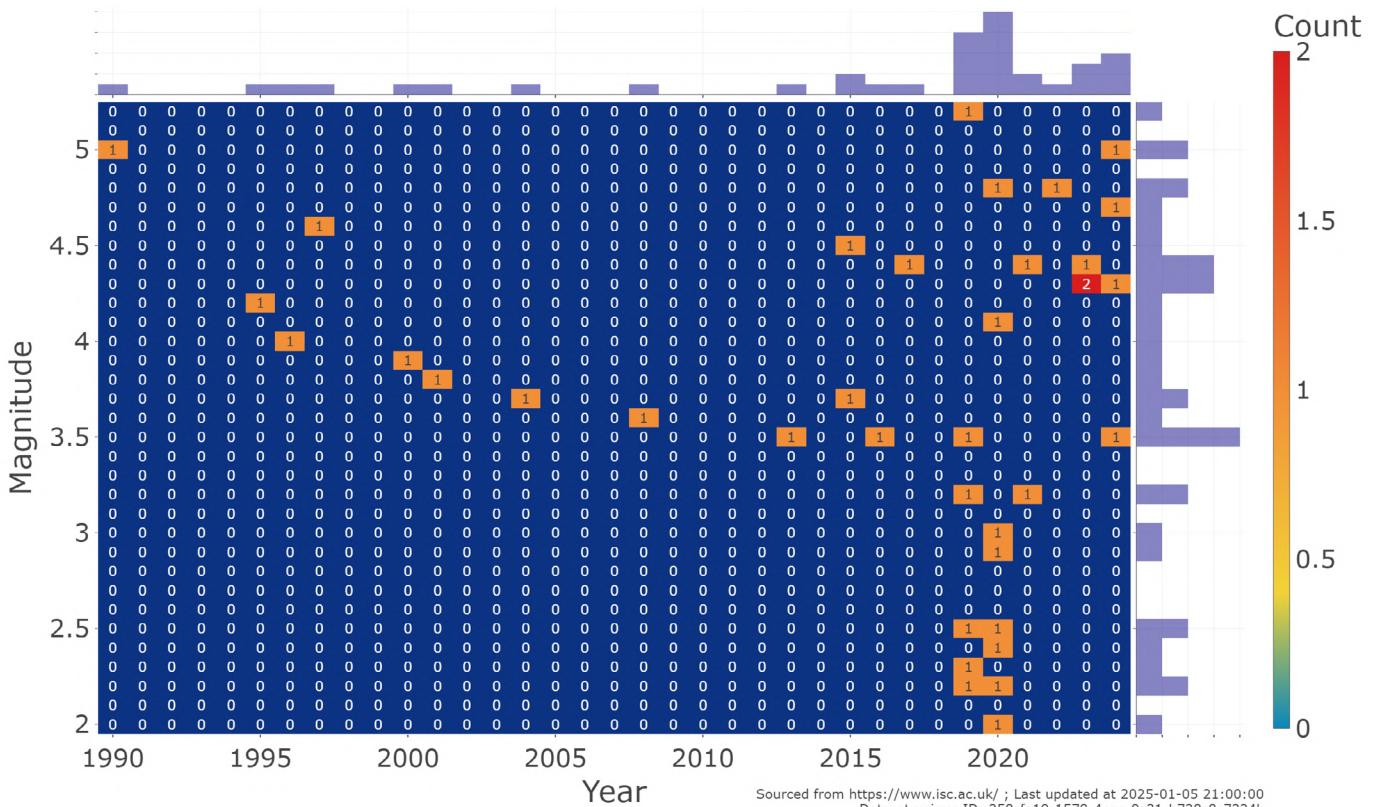


Şekil 58.

Taimyr Yarımadası'nın Taimyr Yarımadası'nın kuzeydoğusunda seçilen bölgedeki M3+ depremlerinin sayısı grafiği.

Veri kaynağı: ISC.

M2+ Earthquakes, Northeast of the Taimyr Peninsula



Şekil 59.

1990'dan 2024'e kadar Taimyr Yarımadası'nın kuzeydoğusunda seçilen bölgede deprem sayısının büyüklüğe göre dağılımı.

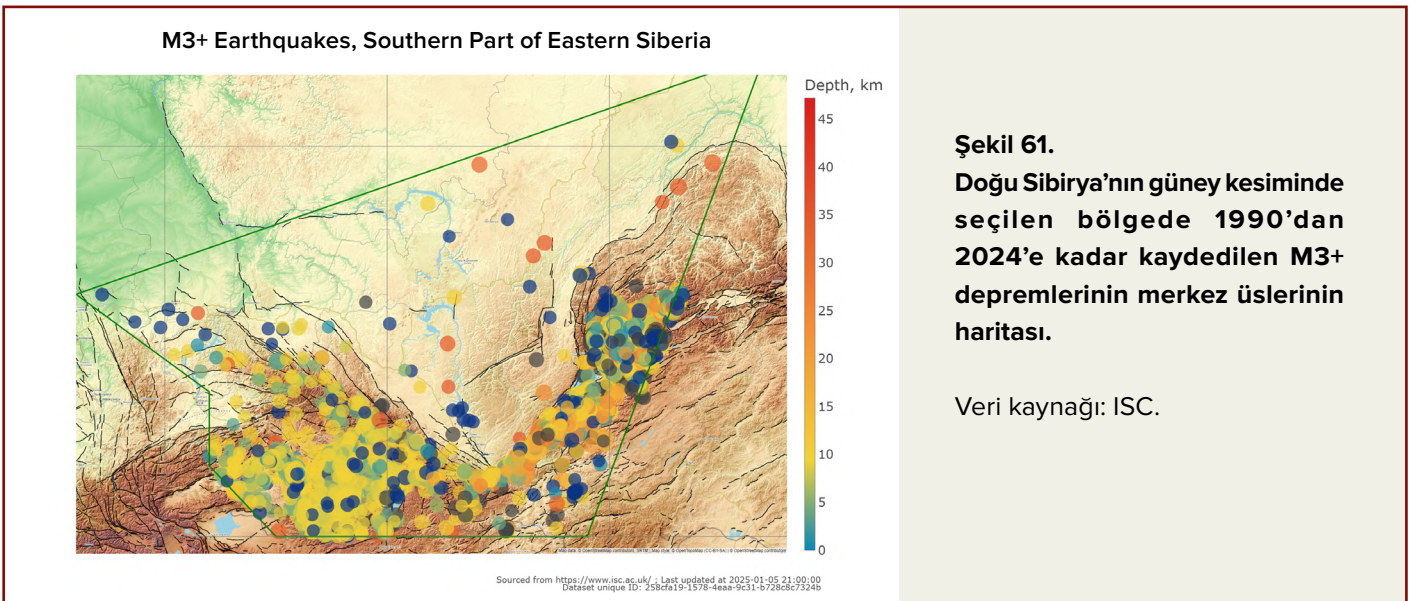
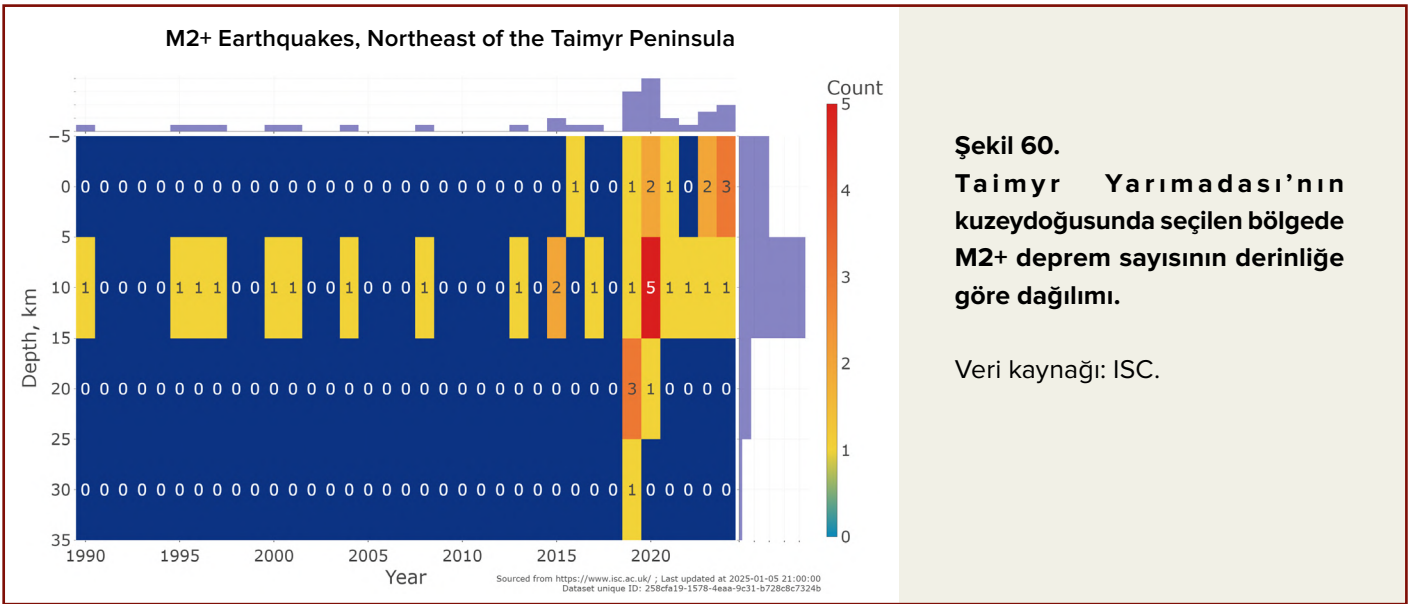
Veri kaynağı: ISC.

2019 ve 2020 yılları arasında, Verkhoysansk kıvrımlı yapı bölgesinde gözlemlenenlerle aynı dönemlerde kabuğun tabanına ulaşan depremlerin derinliği açısından kayda değer bir artış vardır (Şekil 60).

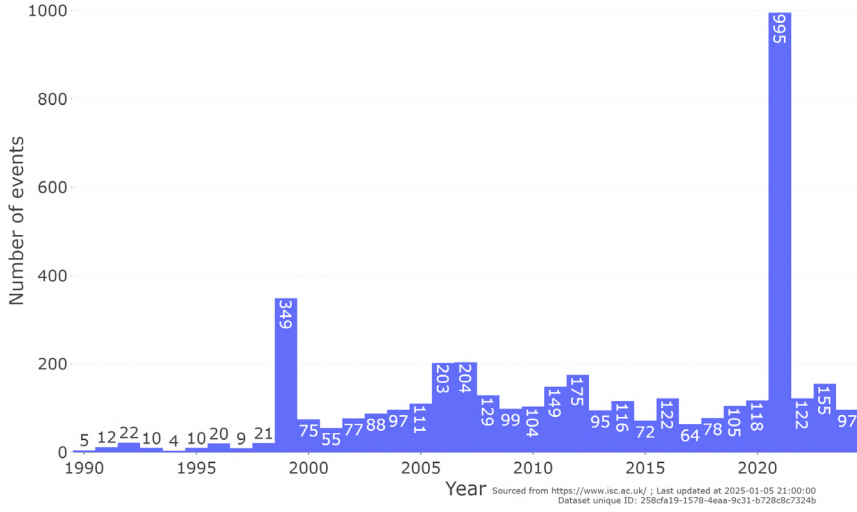
Bu bölgenin Sibirya gaz sütununun başının etkisi altında olduğu vurgulanmalıdır. Nispeten düşük deprem sayısına rağmen, bölge 2019'dan başlayarak Verkhoysansk kıvrımlı yapılarında olduğu gibi benzer bir artan derinlik ve deprem

sıklığı eğilimi sergilemektedir.

İncelenen bölgenin güney kısmı Altay-Sayan kıvrım kuşağı bölgesini ve Baykal bölgesini içermektedir (Şekil 61). Burası tektonik olarak hareketli ve sismik olarak aktif bir bölgedir. Sismisitede zirveler 1999 ve 2021 yıllarında gözlenmiştir (Şekil 62). Deprem büyüklükleri 2007 yılında artmaya başlamış ve 2021 yılında M6.8'e ulaşmıştır (Şekil 63).



M3+ Earthquakes, Southern Part of Eastern Siberia

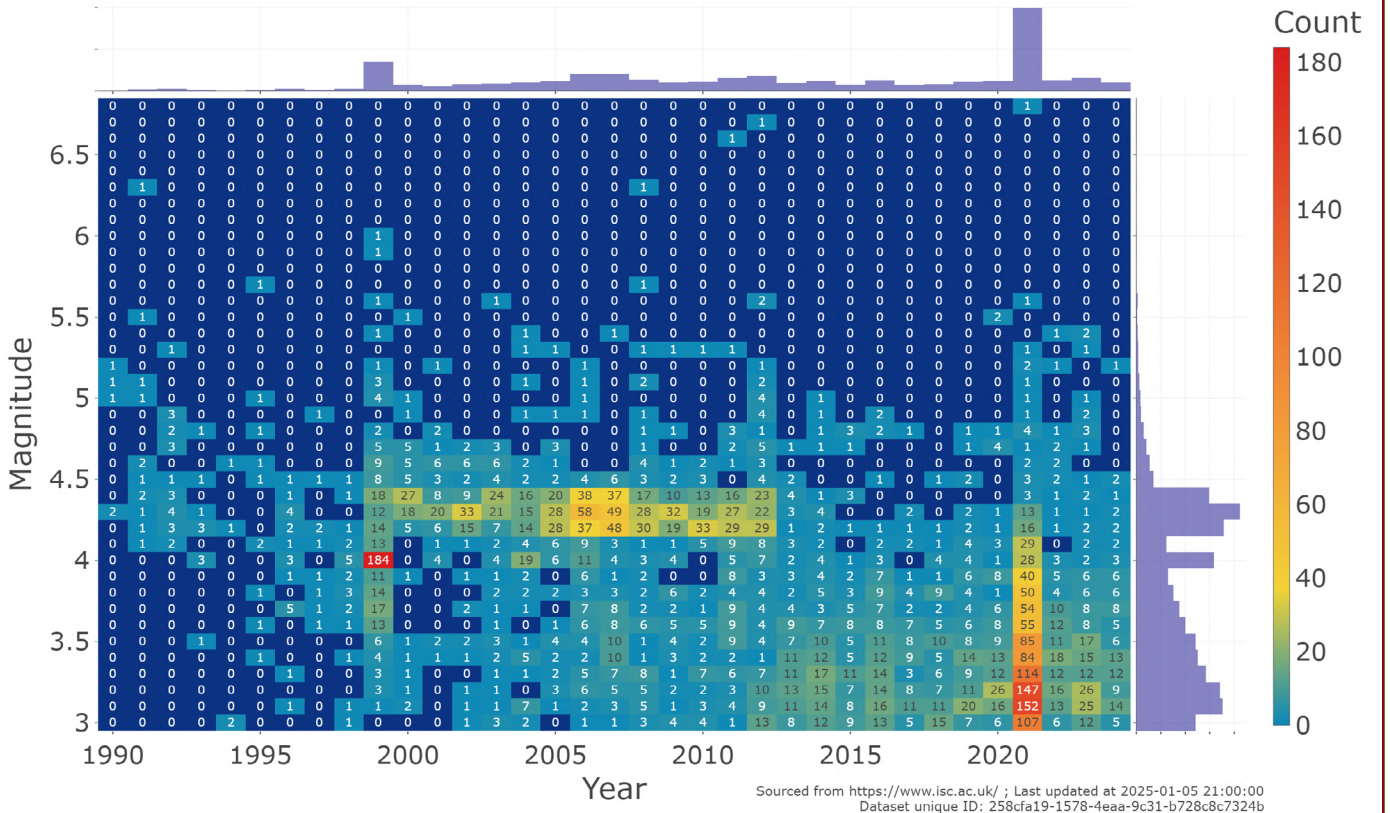


Şekil 62.

Doğu Sibirya'nın güney kesimindeki M3+ depremlerinin sayısı.

Veri kaynağı: ISC.

M3+ Earthquakes, Southern Part of Eastern Siberia



Şekil 63.

1990'dan 2024'e kadar Doğu Sibirya'nın güney kesiminde seçilen bölgede depremlerin büyüklüklerine göre dağılımı.

Veri kaynağı: ISC.

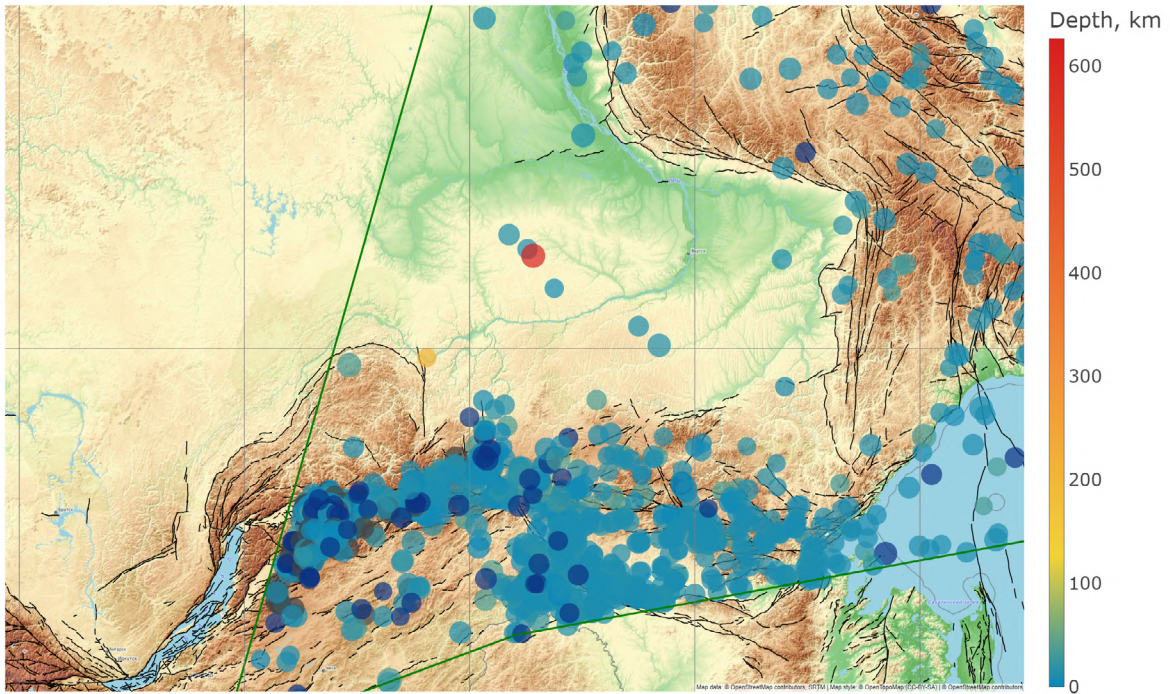
Sibirya Kratonunun altında manto depremlerinin meydana geldiğine dikkat etmek önemlidir. Daha 1998 yılında, Vilyuy Syneclise bölgesinde 211 km derinlikte 3.3 büyüklüğünde bir deprem kaydedilmiştir. Bu beklenmedik bir bulguydu, ancak daha da benzersiz bir olay, 2023 yılında aynı bölgede 627 km derinlikte 5.1 büyüklüğünde önemli bir depremdi (Şekil 64).

Yerkabuğunun kararlı kratonik bloğunun altında derin odaklı sismisitenin tezahür etmesi istisnai bir olaydır. Geleneksel olarak, bu tür manto içi depremlerin dalma-batma bölgelerinde meydana geldiği varsayılır; ancak en yakın dalma-batma bölgesi binlerce kilometre uzaktadır ve bu bölgeyi etkileyemez.

Bu raporun yazarları, bu derin odaklı

depremlerin nedenlerinin, nispeten daha sıcak magma akışlarının nispeten daha soğuk olanlarla temas ettiğinde meydana gelen muazzam güçteki manto içi patlamalar olduğunu öne sürmektedir. Sismotomografik modele göre, her iki derin odaklı depremin olduğu yerlerde sismik dalga hızlarında anomaliler gözlenmektedir. Bu anomaliler, muhtemelen sıcaklık farklılıklarını yansıtan nispeten daha viskoz ve akışkan akış bölgelerine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla, bu iki manto depremi nispeten soğuk ve nispeten sıcak manto akışlarının ara yüzeyinde meydana gelmiş (Şekil 65) ve sismik sensörler tarafından deprem olarak algılanan akustik dalgalar üreten önemli miktarda enerji açığa çıkarmıştır. Bu durum, bu bölgedeki manto akışlarının önemli ölçüde aktif olduğunu açıkça göstermektedir.

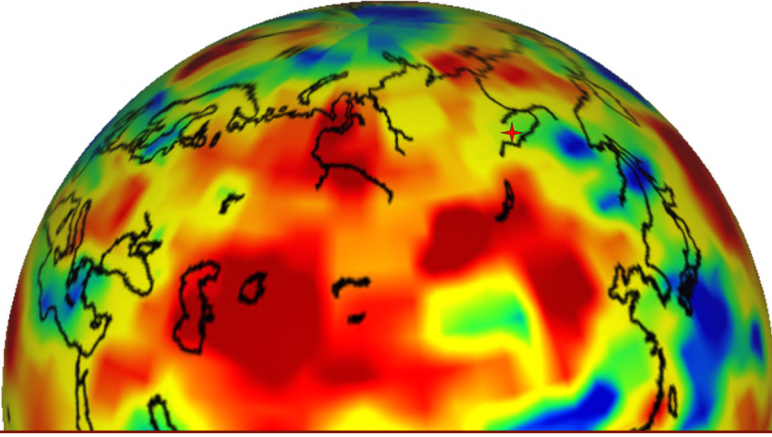
Location of Deep Earthquakes in Siberia



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

Şekil 64.

Haritada 2023 yılında Sibirya platformunun altında 627 km derinlikte meydana gelen derin odaklı M5.1 depreminin ve 211 km derinlikte meydana gelen M3.3 depreminin merkez üssü işaretlenmiştir (sarı ile işaretlenmiştir).



Şekil 65.

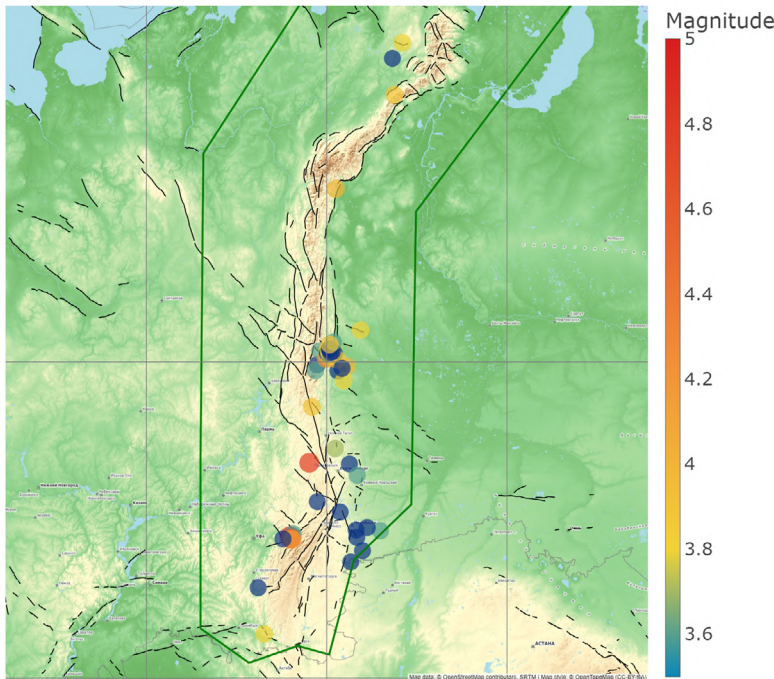
Mantoda yaklaşık 600 km derinlikte düşük sismik hız bölgeleri. 2023'teki M 5.1 büyüklüğündeki depremin hipomerkezi nispeten sıcak ve nispeten soğuk manto bölgeleri arasındaki temas alanında yer almaktadır.

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

Sibiry Bloğu'nun çevresel bölümlerinin salınımı Ural bölgesindeki sismik aktivitede bir artışı tetiklemektedir. Analiz için veriler, madencilik faaliyetleriyle ilişkili sismik olayları hariç tutmak için filtrelenmiş ve insan kaynaklı olayları ortadan kaldırmak için yalnızca 3,5 ve

üzeri büyüklükteki depremler dikkate alınmıştır (Şekil 66, 67). Sonuç olarak, sismisitede gözlenen dalga benzeri artış doğal süreçleri yansıtmaktadır.

M3.5+ Earthquakes in the Ural

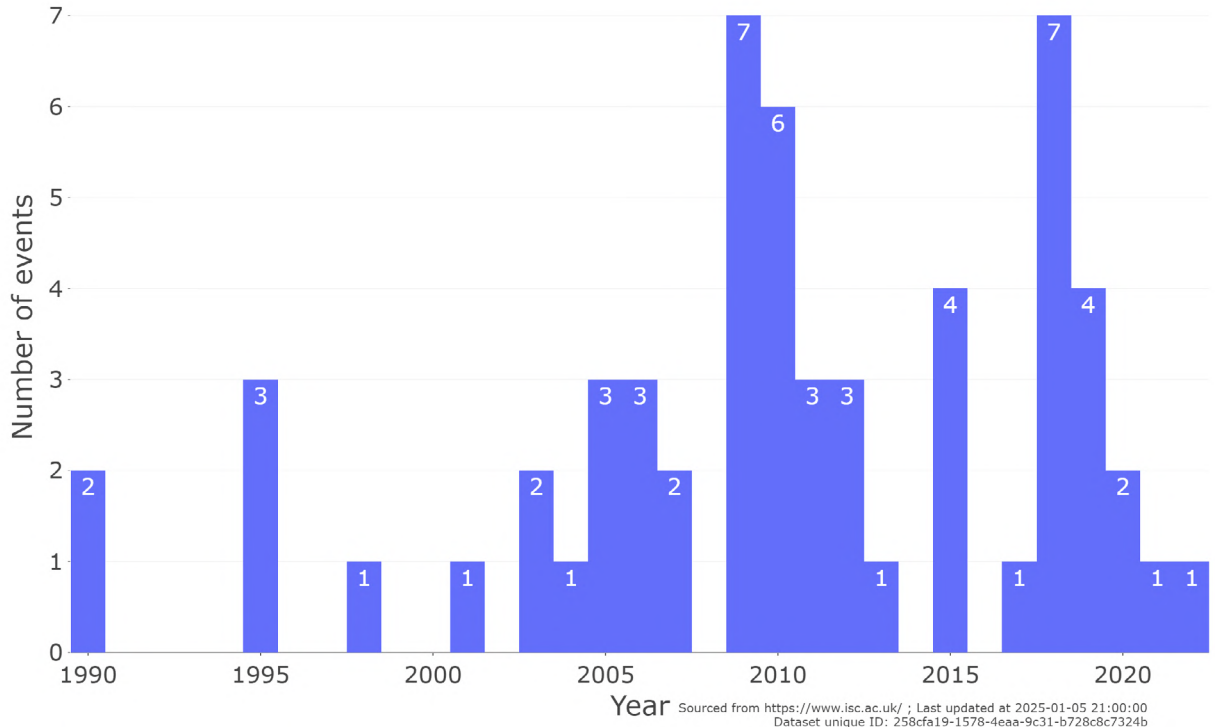


Sourced from <https://www.isc.ac.uk/> ; Last updated at 2025-01-05 21:00:00
Dataset unique ID: 258cfa19-1578-4eaa-9c31-b728c8c7324b

Şekil 66.

1990'dan 2022'ye kadar Ural bölgesinde kaydedilen M3.5+ depremlerin merkez üslerinin haritası.

M3.5+ Earthquakes in the Ural



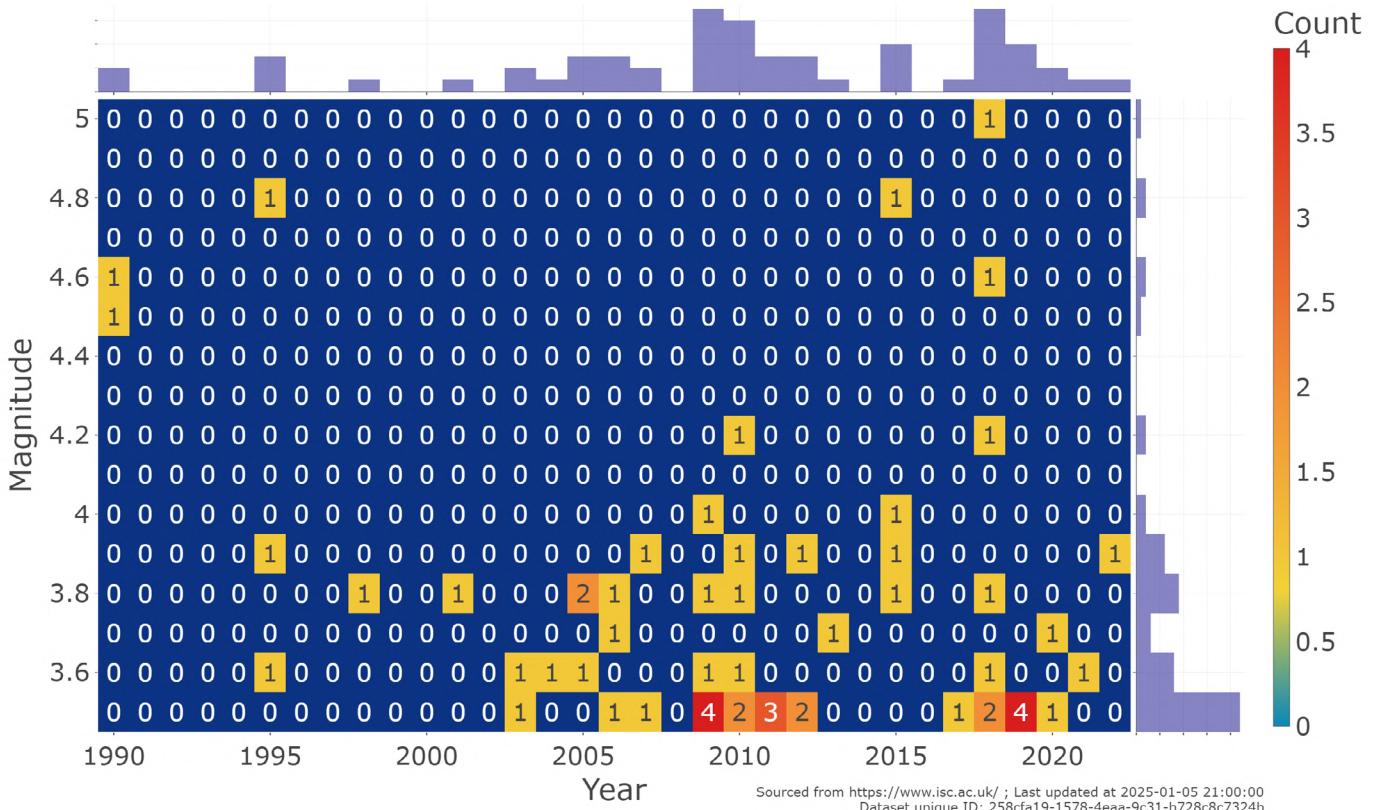
Şekil 67.

1990'dan 2022'ye kadar Ural bölgesinde kaydedilen M3.5+ depremlerin sayısı.

Buna ek olarak, bölgede büyüklükleri 4.0 ila 5.0 arasında değişen depremler de ortaya çıkmış ve sismik faaliyetteki doğal artışın bir başka kanıtı olmuştur (Şekil 68). Ural bölgesindeki

sismisite artışı düzenli olarak değil, doğal bir model olan dalgalar halinde gerçekleşmektedir.

M3.5+ Earthquakes in the Ural



Şekil 68.

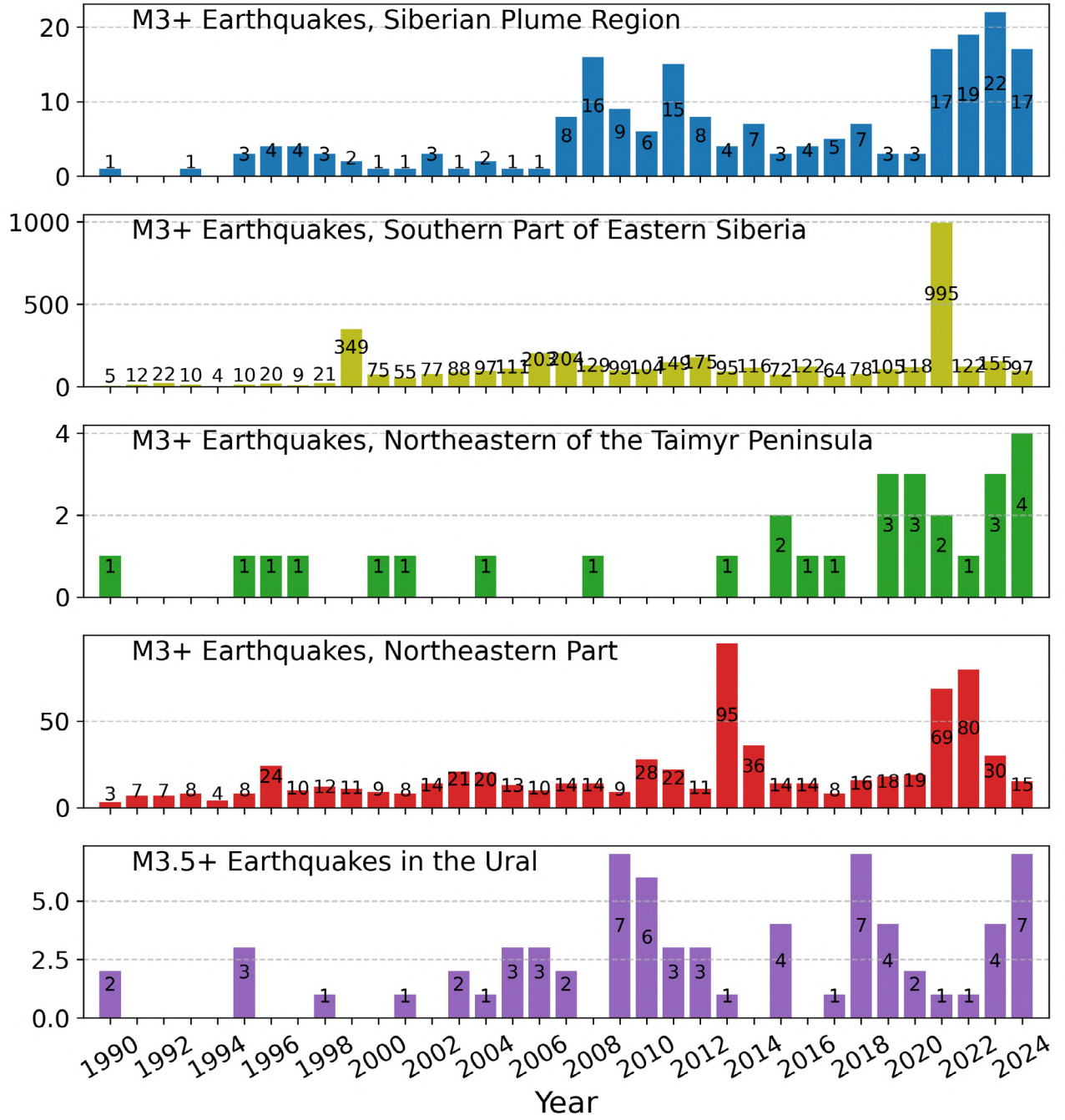
1990'dan 2022'ye kadar Ural bölgesinde kaydedilen depremlerin büyüklüklerine göre dağılımı.

Veri kaynağı: ISC.

Sibiry Gaz Sütunu alanının farklı bölgelerinde ve çevresinde sismik faaliyetteki tepe noktalarının zamanlamasını karşılaştırmak için bir grafik sunulmuştur (Şekil 69). 2021 yılında, Urallar hariç, incelenen tüm bölgelerde sismik aktivite artmıştır. Aktivitenin tüm bölgelerde yükseldiğini ve son yıllarda farklı bölgelerde dalga benzeri, 'titreşimli' dalgalanmalarla arttığını gözlemliyoruz. Aynı zamanda, levhanın batıdan doğuya ve kuzeyden güneye kademeli salınımını andıran belirli bir model gözlenmektedir.

Bazı bölgelerde orman yangınlarının ortaya

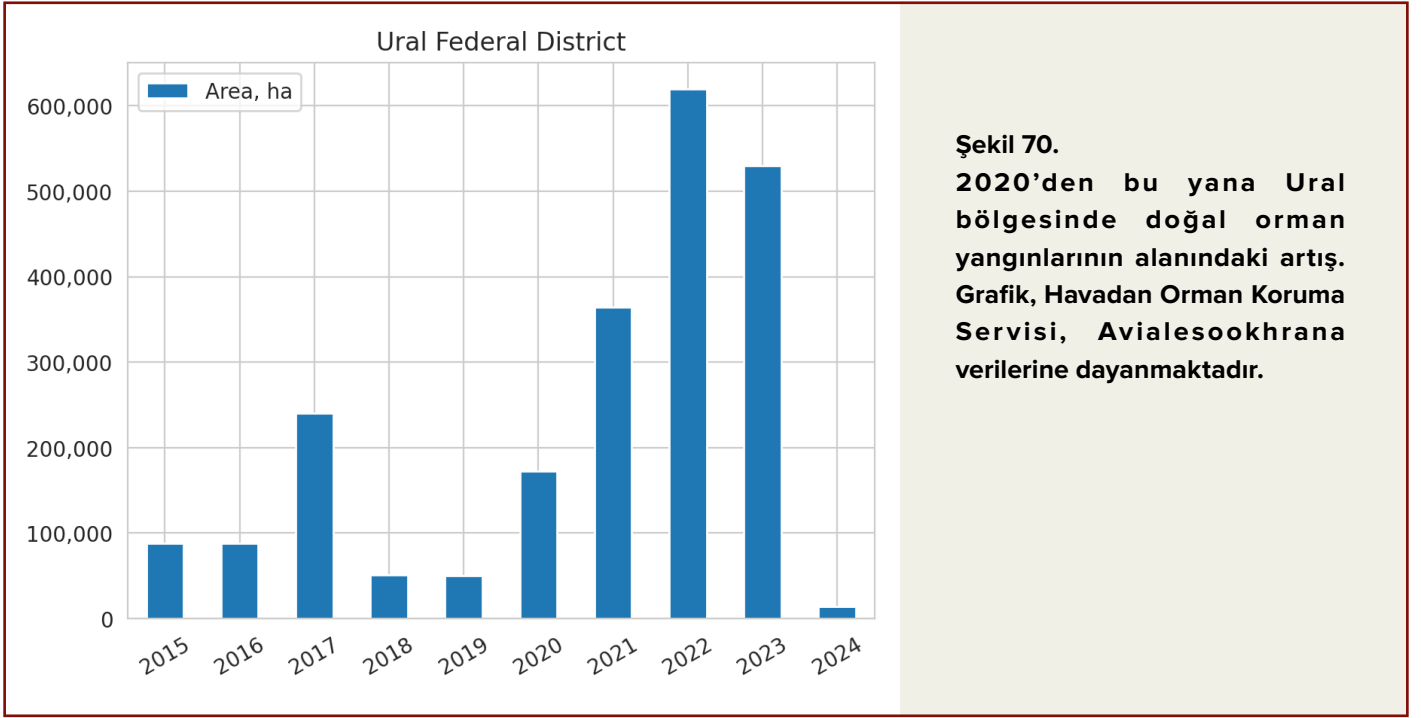
çıkması da dikkate alınmalıdır. Bu bölgede yangınlardan etkilenen alandaki artış, yangınlar genellikle yanıcı gazların kaçtığı fay bölgelerinde ortaya çıktığı için yeraltı faaliyetlerinin arttığına işaret etmektedir. Bu yangınların söndürülmesi zordur ve çok hızlı bir şekilde geniş alanlara yayılır. Ural bölgesinde, 2020'den bu yana doğal yangınların alanında keskin bir artış olmuştur (Şekil 70). Grafik, Havadan Orman Koruma Servisi (Avialesookhrana) verilerine dayanmaktadır.



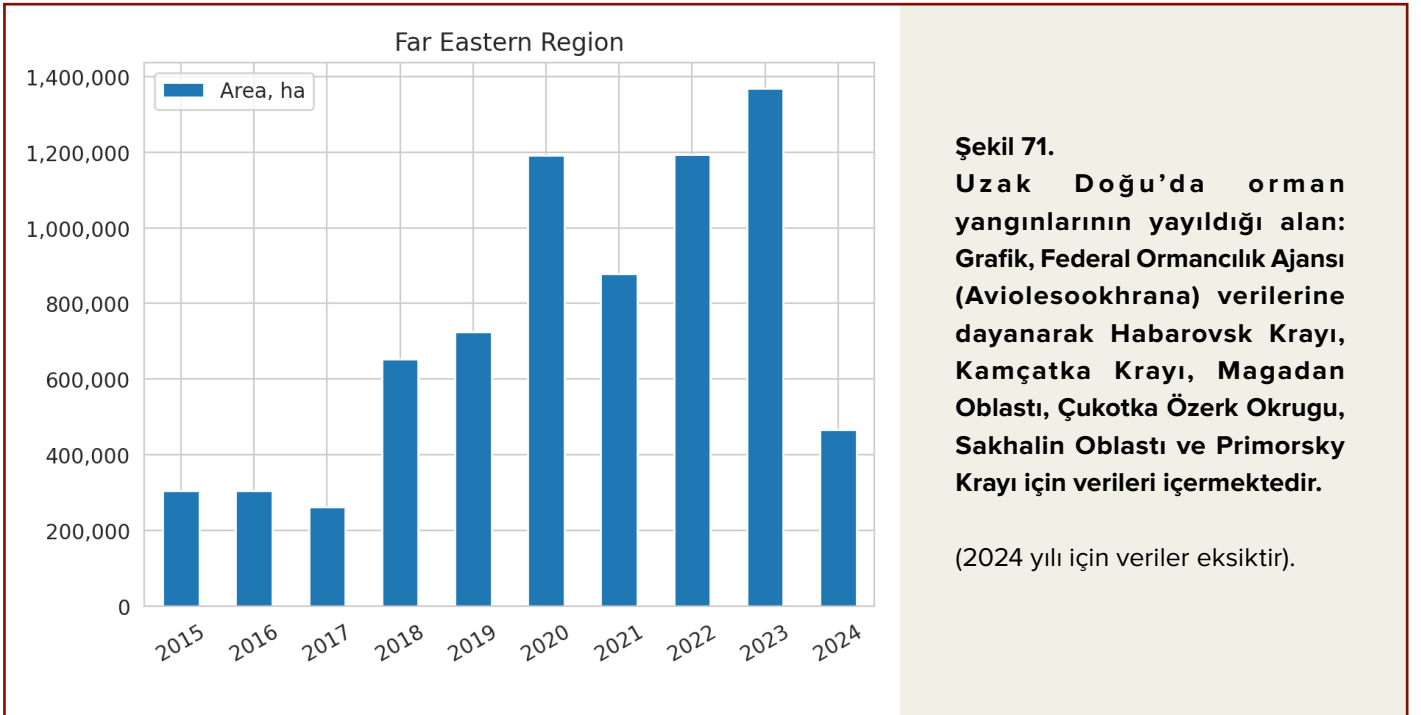
Şekil 69.

Doğu Sibirya Verkhoyansk bölgesinde (Sibirya platformunun doğusu), Doğu Sibirya'nın güney kesiminde, Ural bölgesinde (Sibirya platformunun batısı) ve orta Sibirya'da (Batı Sibirya Levhası ve Doğu Sibirya Platformu dahil) sismik faaliyetteki tepe noktalarının yıllara göre dağılımı. M3+ depremler.

Veri kaynağı: ISC.



Uzak Doğu bölgesindeki yangınlardan etkilenen alan da grafikte açıkça gösterildiği gibi katlanarak artmaktadır (Şekil 71).

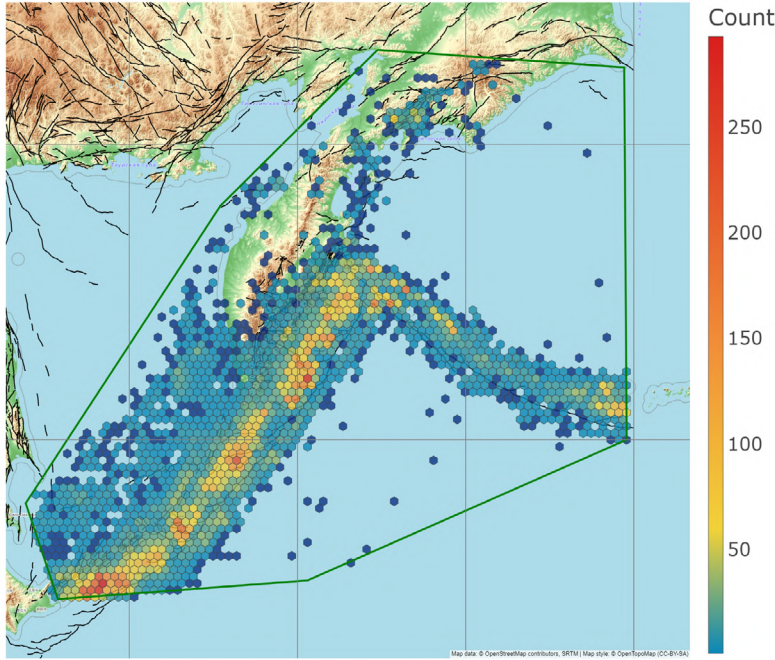


Dolayısıyla, artan sismisite ve orman yangınlarına ilişkin benzer süreçler, Sibirya ve Uzak Doğu kabuk bloklarının karşı tarafında, Pasifik Plakası ile sınır boyunca meydana gelmektedir.

Sibirya gaz sütununun intrüzyonunun Kuril-Kamçatka bölgesini de, gaz sütununun baskı yaptığı kıtasal kabuk bloğunun bir uç bölgesi olarak etkilediği varsayılmaktadır. Kamçatka ve Kuril Adaları bölgesindeki sismik verilerin analizi

M4.0+ depremlerinde gözle görülür bir artış olduğunu göstermektedir (Şekil 72, 73). Bölge Pasifik Ateş Çemberi'nin bir parçasıdır (Şekil 74) ve bu tektonik yapının modellerine göre artan bir sismisite eğilimi göstermektedir. Ancak, sismisite artışlarının çoğu bağımsızdır. Bu durum, Sibirya gaz sütununun Kamçatka ve Kuril Adaları bölgesi üzerinde kendi etkisini gösterdiğine işaret ediyor olabilir.

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

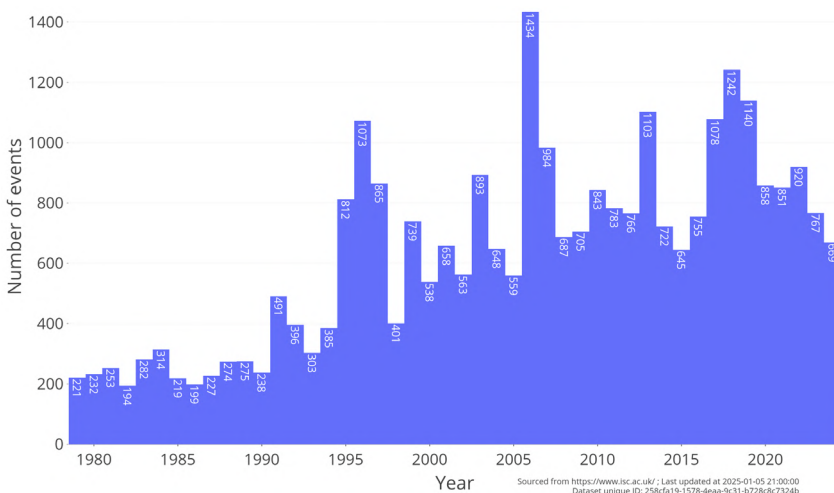


Şekil 72.

Kamçatka Yarımadası ve Kuril Adaları bölgesinde 1979'dan 2024'e kadar M4+ depremleri için deprem yoğunluğu.

Veri kaynağı: ISC.

M4+ Earthquakes in the Kamchatka Peninsula and Kuril Islands

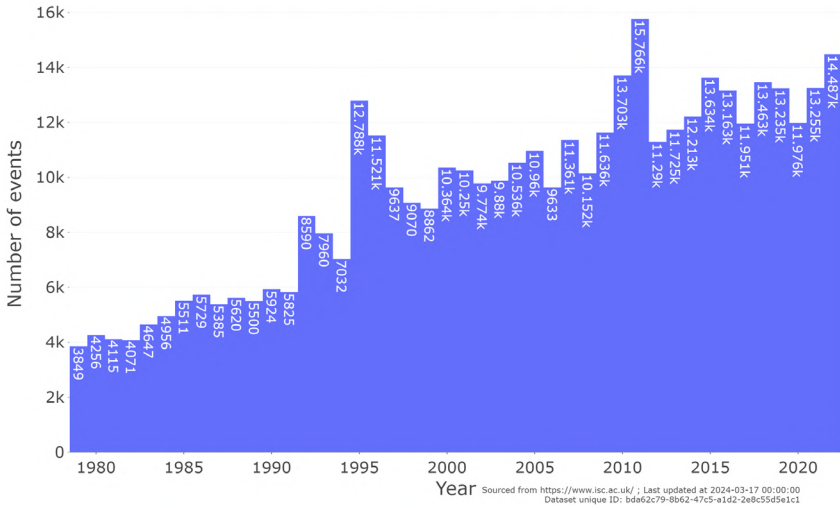


Şekil 73.

Kamçatka Yarımadası ve Kuril Adaları bölgesinde 1979'dan 2024'e kadar M4+ deprem sayısındaki artış.

Veri kaynağı: ISC.

M4+ Earthquakes in the Ring of Fire 1979-2022



Şekil 74.

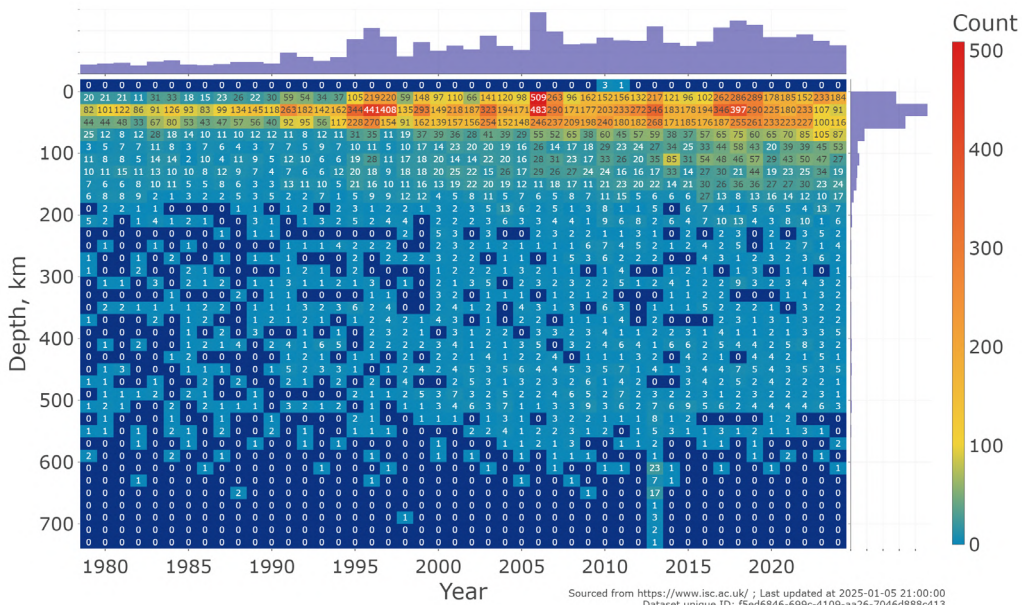
Ateş Çemberi bölgesinde 1979'dan 2022'ye kadar M4+ deprem sayısındaki artış.

Veri kaynağı: ISC.

Dikkat çekici bir şekilde, Kuril-Kamçatka bölgesindeki depremlerin derinliği de artmaktadır (Şekil 75). Bu durum, Sibiry manto gaz sütununun etkisiyle litosferik plakalar arasındaki etkileşimin daha dinamik hale geldiğini göstermektedir. Kuril-Kamçatka bölgesinde volkanik aktivitede bir artış, derin magmanın hızlı yükselişinde

anomalilerin ortaya çıkması ve volkanik patlamalar sırasında bileşimde daha mafik magmalara doğru hızlı bir kayma ile birlikte beklenmektedir. Daha derin kaynaklara doğru benzer bir bileşimsel kayma, 2017 patlaması sırasında Bezmyianny yanardağı tarafından da gösterilmiştir.⁴⁵

M4+ Earthquakes in the Kamchatka Peninsula and Kuril Islands



Şekil 75.

Kamçatka Yarımadası ve Kuril Adaları bölgesinin seçilen kesiminde 1979'dan 2024'e kadar kaydedilen M4+ depremlerinin derinliğe göre dağılımı. Veri kaynağı: ISC.

⁴⁵V.O. Davydova, V.D. Shcherbakov, P.Yu. Plechov, I.Yu. Koulakov, 20 Aralık 2017 patlamasından önce Kamçatka'daki Bezmyianny volkanının magma tesisat sisteminin hızlı evriminin petrolojik kanıtı, Volkanoloji ve Jeotermal Araştırma Dergisi, Cilt 421, 2022, 107422, ISSN 0377-0273, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107422>

Sismisite, orman yangınları ve volkanik aktivite anomalilerindeki artış, Sibiry gaz sütununun intrüzyonundan kaynaklanan basınca maruz kalan yerkabuğunun Sibiry bloğunun yükselmesinin kenar etkileridir.

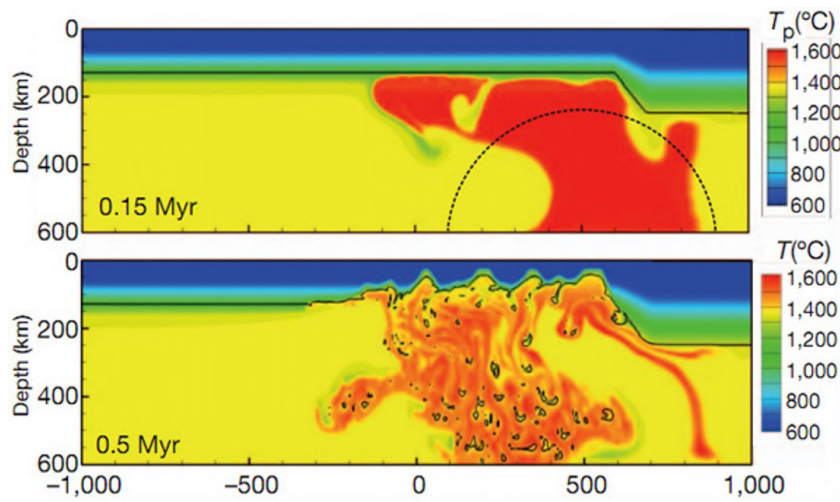
Sadece Sibiry'da değil, özellikle Batı Sibiry Plakası ve Doğu Sibiry Kratonunun kenarları boyunca sismik faaliyetlerdeki artış, altta yatan manto gaz sütunundan gelen basınç nedeniyle plakanın yukarı doğru yer değiştirmesinin çoktan başladığını göstermektedir. Bu da magma gaz sütununun plaka üzerindeki önemli ve yaygın etkisine işaret etmektedir.

Geleneksel modeller, manto gaz sütunları yükseldikçe ve üstteki litosferi ısıttıkça, magma kırılmadan önce 2 kilometre yüksekliğe kadar önemli bir yüzey yükselmesi yaratmaları

gerektiğini varsaymıştır. Ancak, 250 milyon yıl önce bir magma gaz sütununun intrüzyonu sonucu oluşan Sibiry Tuzakları bölgesinde böyle dramatik bir yükselmenin jeolojik kanıtı yoktur.

Rusya, Almanya ve Fransa'daki enstitülerden bilim insanları, Sibiry Kapanları'ndaki magmatik kayaların incelenmesine dayanarak, bir kabarcık olarak yükselmek yerine, gaz sütununun litosferi alttan yavaş yavaş aşındırdığını tespit ettiler⁴⁶ (Şekil 76).

Erimiş gaz sütunu malzemesi ile üst manto kayaları arasındaki temas bölgesindeki erozyon 50 kilometre (yaklaşık 31 mil) derinliğe ulaştığında, yüzeyde büyük ölçekli lav püskürmeleri ve patlamalar başlamıştır.



Şekil 76.

Sibiry Kapanlarının oluşumundaki ilk aşamaların yeniden yapılandırılması.

Dikey eksen derinliği (km cinsinden) göstermektedir. Farklı renkler kayanın sıcaklığını göstermektedir. Manto gaz sütununun tepe noktasının ilk konumu kesikli yarım daire ile gösterilmiştir. Gaz sütunu, litosferin alt sınırına yaklaşır - düz siyah bir çizgi olarak gösterilir - ve onun altına "yayılır".

En altta: gaz sütununun tepe noktasının aşınması nedeniyle - litosferin derinlere batan parçaları görülebilir - üst mantodan Dünya'nın kabuğuna doğru bir yol oluşturmuştur. Bu, tuzakla ilişkili magmatizmanın ana evresinin başlangıcına karşılık gelir.

Kaynak: Sobolev, S. V., Sobolev, A. V., Kuzmin, D. V., Krivolutskaya, N. A., Petrunin, A. G., Arndt, N. T., Radko, V. A., & Vasiliev, Y. R. (2011). Manto gaz sütunlarını, büyük magmatik bölgeler ve çevresel felaketleri birbirine bağlamak. *Nature*, 477, 312-316.

⁴⁶ Sobolev, S. V., Sobolev, A. V., Kuzmin, D. V., Krivolutskaya, N. A., Petrunin, A. G., Arndt, N. T., Radko, V. A., & Vasiliev, Y. R. (2011). Manto gaz sütunlarını, büyük magmatik bölgeler ve çevresel felaketleri birbirine bağlamak. *Nature*, 477, 312-316. DOI: 10.1038/nature10385

Gaz Sütununun modern aktivitesi de muhtemelen aynı mekanizmayı takip etmektedir. Bu nedenle, gaz sütununun başının girdiği tek bir noktada önemli lokalize yüzey yükselmesi beklenmemektedir. Ancak bu mekanizma, Doğu Sibirya Platformu'nun tamamının küçük bir miktar bölgesel olarak yükselmesini engellemez. Tektonofiziksel modellemeye göre, bu kadar küçük bir yükselme bile magma patlamalarını tetiklemek, yüksek basınç altında erimiş malzemeyi serbest bırakmak ve felakete neden olmak için yeterli olacaktır.

Gaz Sütununun başının varsayılan merkezi, Norilsk'in yaklaşık 225 km kuzeydoğusunda, Putorana Platosu'nun kuzeyindeki bölgede yer almaktadır. Buna ek olarak, atılımlar, eski sütürlerin (yerkabuğundaki yarıklar ve derin faylar) yeniden açılmasının muhtemel olduğu ince Batı Sibirya Levhasının tamamını etkileyecektir.

Sibiry Gaz Sütununun Patlamasının Kaçınılmazlığının Kanıtları

İçinde bulunduğumuz dönemde modern Sibiry gaz sütunundan magma fışkırması riskinin yüksek olması aşağıdaki koşullardan kaynaklanmaktadır:

Geçtiğimiz 30 yıl boyunca Dünya, gezegenin çekirdeğine yakın termal enerjiyi yoğunlaştıran dış kuvvetlerin doğrudan sonuçları olan jeofizik anomalilerde kademeli bir artış yaşamıştır. Ancak mevcut durum önceki dönemden önemli ölçüde farklılık göstermektedir. **2024 yılının sonunda gezegen, çekirdeği üzerindeki enerjik etkinin arttığı bir evreye girecektir. Hesaplamalar, 2030 yılına kadar bu aşamanın zirvesine ulaşacağımızı gösteriyor.**

Durumu daha da kötüleştiren kritik bir faktör, hidrokarbonlar, mikropplastikler ve nanoplastikler de dahil olmak üzere antropojenik etkiler nedeniyle okyanusların küresel olarak kirlenmesidir. Bu kirlilik, okyanus suyunun termal iletkenliğini önemli ölçüde değiştirerek, Dünya'nın iç kısmındaki ısıyı verimli bir şekilde dağıtma kabiliyetini bozmuştur. Tarihsel olarak, okyanus gezegenin birincil termal düzenleyicisi olarak hareket etmiştir, ama şimdi ısı iletme kapasitesinin önemli bir kısmını kaybetmiştir.

Sonuç olarak, mantoda anormal bir termal enerji birikimi meydana gelmekte ve bu da mantonun Dünya tarihinde daha önce görülmemiş bir oranda erimesine yol açmaktadır.

Jeofiziksel çalışmalar, aktif manto erimesinin doğrudan göstergesi olan derin odaklı depremlerin sayısında dramatik bir artış olduğunu göstermektedir. Erimiş magmanın genişleyen hacmi yerkabuğu üzerinde muazzam bir basınç

uygular. Bu süreç bir balonun şişirilmesine benzer. Sonunda, basınç yerkabuğunun gücünü aşacak ve bir yırtılma ile sonuçlanacaktır.

Sibiry bölgesi, benzersiz jeolojik yapısı nedeniyle bu süreçlere karşı özellikle savunmasızdır, çünkü güçlü bir manto gaz sütunu - erimiş manto malzemesinin yükselen bir akışı - bölgenin altında yükselmektedir. Bu akıntı 1997-1998 yıllarında çekirdeğin bu yöne kaymasıyla tetiklenmiştir. Sibiry'da artan sıcaklık anomalileri, Sibiry Kratonunun altındaki magma hacminin katlanarak büyümeye devam ettiğini göstermektedir. Jeolojik verilere ve son gözlemlere dayanarak, Sibiry'daki magmanın patlamaya hazır hale gelmek için kritik bir aşamaya girdiğine dair yüksek derecede güven vardır.

Özellikle endişe verici olan, kabuğun en ince ve en savunmasız olduğu okyanus tabanının en derin noktası olan Mariana Çukuru'ndaki eşzamanlı kritik durumdur. Bu bölge aynı zamanda sismik aktivitede önemli bir artışın eşlik ettiği erimiş magma yükselişini de yaşamaktadır. Burada bir okyanus yırtılması tehdidi, gezegensel yıkım için gerçekçi bir senaryo oluşturmaktadır.

İki potansiyel senaryo ortaya çıkabilir. Bunlardan ilki, artan magma basıncı nedeniyle her an meydana gelebilecek Sibiry gaz sütununun püskürmesini içermektedir. İkincisi ise Mariana Çukuru'nda Sibiry felaketinden önce meydana gelebilecek bir yırtılmayı içermektedir. Mariana Çukuru'ndaki yırtılma önce meydana gelirse Sibiry'daki gaz sütunu patlamayacaktır.

Mars'ın jeolojik tarihi böyle bir senaryonun sonuçlarına dair çarpıcı bir örnek sunmaktadır – Mariner Vadisi, okyanusun altındaki bir gaz sütununun tüm gezegen için felakete yol açtığı benzer bir felaketin sessiz bir tanıklığını yapmaktadır.

Jeofizik faaliyetlerdeki mevcut eğilimlere dayanan hesaplamalara göre, Mariana Çukuru için kritik kopma noktasına 2036 yılına kadar ulaşılmış olabilir. Ancak bu zaman çizelgesinin koşullu olduğunu kabul etmek önemlidir. Sibiryadaki yer kabuğu artan basınca çok daha erken boyun eğebilir. Olayların mevcut gidişatı göz önünde bulundurulduğunda, Sibiry gaz sütununun veya Mariana Çukuru'nun yırtılması, Dünya'nın derinliklerinde meydana

gelen süreçlerin kaçınılmaz bir sonucu gibi görünmektedir. Tek belirsizlik felaketin tam zamanlaması ve yeri ile ilgili, yaklaşmasının kesinliği ile ilgili değil.

Sibiry gaz sütunu ile ilgili durumun gelişimi için üç potansiyel senaryoyu ele alalım. İlk senaryo Sibiryadaki gaz sütununun ani ve tek seferlik bir atılım yapmasıdır. İkinci senaryo Sibiryada Sibiry Kapanlarının oluşumuna benzer şekilde yavaş ve kademeli lav patlamalarını içerir. Üçüncü senaryo ise insanlığın Sibiry gaz sütununun Dünya kabuğu içindeki ikincil magmatik sıcak noktalarını gazdan arındırmak için gerekli önlemleri alması halinde gerçekleşir.

Senaryo 1:

Sibiry Gaz Sütununun Tek Seferlik Ani Patlaması

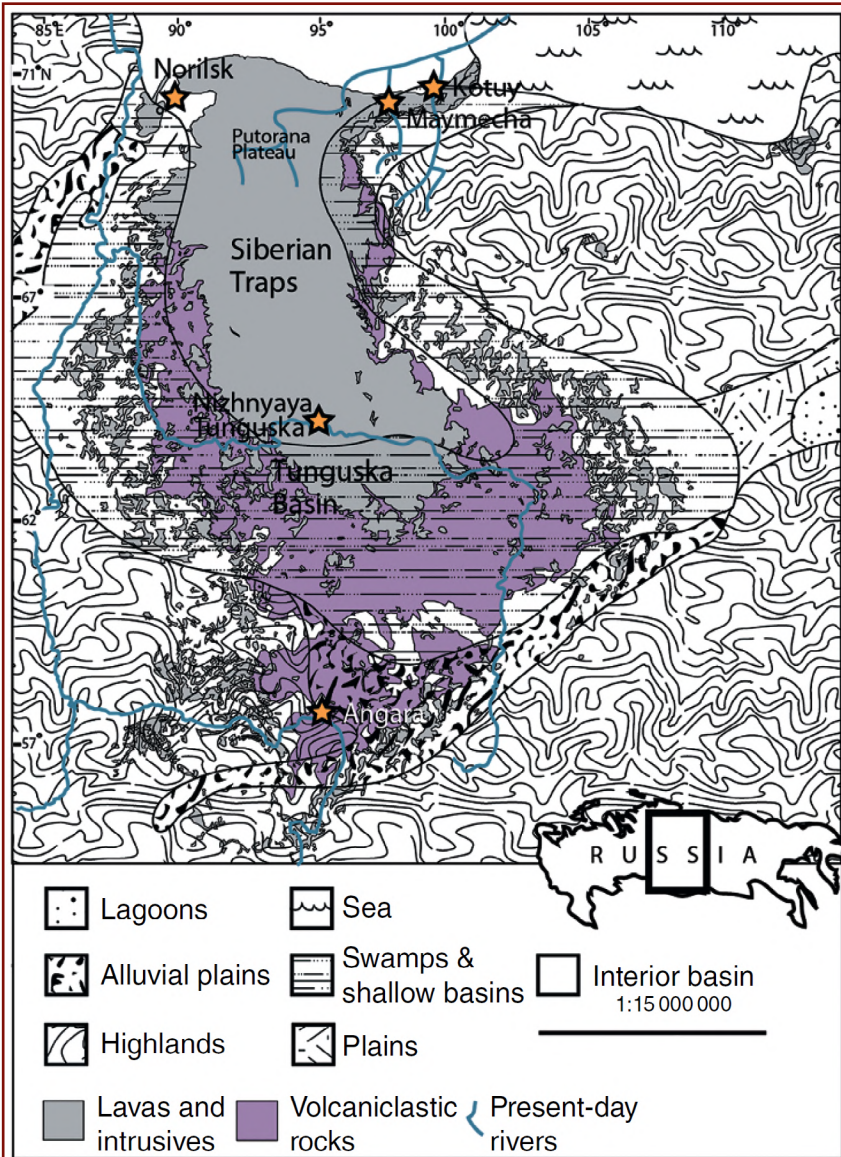
Tarihsel jeolojik olayların karşılaştırmalı bir analizi, Sibiry gaz sütununun ani bir patlamasından kaynaklanabilecek potansiyel hasarı tahmin etmek için kullanılabilir. Ancak, Dünyadaki mevcut koşulların, özellikle de 24.000 yıllık en yoğun döngünün gezegenin birincil soğutma sistemi olan okyanusların antropojenik kirliliği ile birleşmesinin daha önce görülmemiş olduğunu göz önünde bulundurmak önemlidir. Bu nedenle, insanlığın riskleri azaltmak için herhangi bir önlem almaması halinde Sibiry gaz sütununun aniden patlaması en olası senaryo olarak kabul edilmektedir.

Volkanik patlamaların büyüklüğünü değerlendirmek için fırlatılan malzemenin hacmi

kullanılır. Örneğin, 2,1 milyon yıl önce Yellowstone süper volkanının en güçlü patlamalarından biri sırasında, Kuzey Amerika'daki tüf yataklarının incelenmesinden belirlendiği gibi, püsküren magma hacmi yaklaşık 2.500 km³ idi.⁴⁷ Bu patlama kül ve gazları 50 kilometre yüksekliğe iterek stratosferin üst sınırına ulaştı. Benzer bir ölçek, yaklaşık 72.000-74.000 yıl önce meydana gelen ve son 25 milyon yılın en güçlü patlaması olan Sumatra adasındaki Toba süper volkanının patlamasında da gözlemlenmiştir.

⁴⁷ Swallow, E. J., Wilson, C. J. N., Charlier, B. L. A., & Gamble, J. A. (2019). Huckleberry Ridge Tüfü, Yellowstone: Karmaşık bir epizodik patlamada çoklu magmatik sistemlerin tahliyesi. *Journal of Petrology*, 60, 1371-1426. <https://doi.org/10.1093/petrology/egz034>

Olası bir Sibiry'a gaz sütunu patlamasının ani doğası göz önünde bulundurulduğunda, bu patlamanın aktivasyonu Yellowstone Kalderası veya Toba süper volkanı gibi tarihsel patlamalardan 1.000 kat daha büyük bir olaya yol açabilir.



Şekil 77.
Sibiryâ Kapanları ile ilişkili büyük volkaniklastik çıkışların ve bölgelerin ölçeğini gösteren Sibiryâ Kapanları Paleocoğrafya Haritası. Malich ve diğerleri (1974), Polozov ve diğerleri (2010) ve Black ve diğerlerinin (2015) verilerine ve Czamanske ve diğerlerinden (1998) uyarlanan basitleştirilmiş Geç Permiyen paleocoğrafyasına dayanmaktadır.

Kaynak: Black, B., Mittal, T., Lingo, F., Walowski, K., & Hernandez, A. "Büyük Magmatik Eyaletlerin Yerleşimi Sırasında Mafik Volkaniklastik Depozitlerin Oluşumu ve Değişmesinin Çevresel Sonuçlarının Değerlendirilmesi." Geophysical Monograph Series içinde (eds. Ernst, R. E., Dickson, A. J., & Bekker, A.), s. 117-131 (Wiley, 2021). <https://doi.org/10.1002/9781119507444.ch5>

^{4a}Black, B., Mittal, T., Lingo, F., Walowski, K., & Hernandez, A. (2021). Büyük Magmatik İllerin Yerleşimi Sırasında Mafik Volkaniklastik Depozitlerin Oluşumu ve Alterasyonunun Çevresel Sonuçlarının Değerlendirilmesi. R. E. Ernst, A. J. Dickson, & A. Bekker (der.), *Geophysical Monograph Series* içinde (s. 117-131). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119507444.ch5>

Sibiry gaz sütununun ani bir patlamayla tek bir kaldera oluşturarak patlayıcı bir püskürmeye yol açacağı varsayılmaktadır. Bu hipoteze göre, Sibiry gaz sütununun yarattığı kaldera yaklaşık 75.000 km² bir alanı kaplayacak, yarıçapı yaklaşık 150 km veya boyutları 380 km'ye 250 km olacaktır. Sibiry Kapanlarının 250 milyon yıl önce patlaması sırasında, literatürde belgelendiği gibi,⁴⁹ lavların sular altında bıraktığı alan 4 ila 7 milyon km² arasında değişmekteydi⁵⁰. Bu olayda da benzer ölçekte bir arazi örtüsü etkilenmiş olabilir.

Lav akıntılarının en tehlikeli volkanik olaylar olduğu düşüncesi bir yanılgıdır. Gerçekte, kül genellikle ölümcül sonuçların birincil nedeni haline gelir. Yüksek patlayıcılıkla karakterize edilen süper volkanlarda magmanın önemli bir kısmı lav haline dönüşmez. Bunun yerine, patlama sırasında parçalanarak muazzam miktarlarda ince volkanik kül üretir - atmosfere dağılan keskin, pürüzlü kaya parçacıklarından oluşan haşlayıcı parçalar. Bu külün solunması insan ciğerlerinde çimento benzeri bir karışım oluşturarak kaçınılmaz ölüme yol açar.

Sibiry gaz sütununun püskürmesi sırasında bu tür haşlayıcı küllerin yayılma yarıçapının yaklaşık 9.000 km'ye ulaşacağı ve yaklaşık 255 milyon km²'lik bir alanı kaplayacağı tahmin edilmektedir. Dünya'nın toplam yüzey alanının 510 milyon km²'nin biraz üzerinde olduğu düşünüldüğünde, nefes almanın imkansız hale geleceği külden etkilenen bölge gezegenin yaklaşık yarısını, yani Dünya yüzeyinin yaklaşık %50'sini kapsayacaktır.

Bu nedenle, Sibiry gaz sütununun ani bir patlamasının yaşamı tehdit eden üç etki bölgesi oluşturması beklenmektedir.

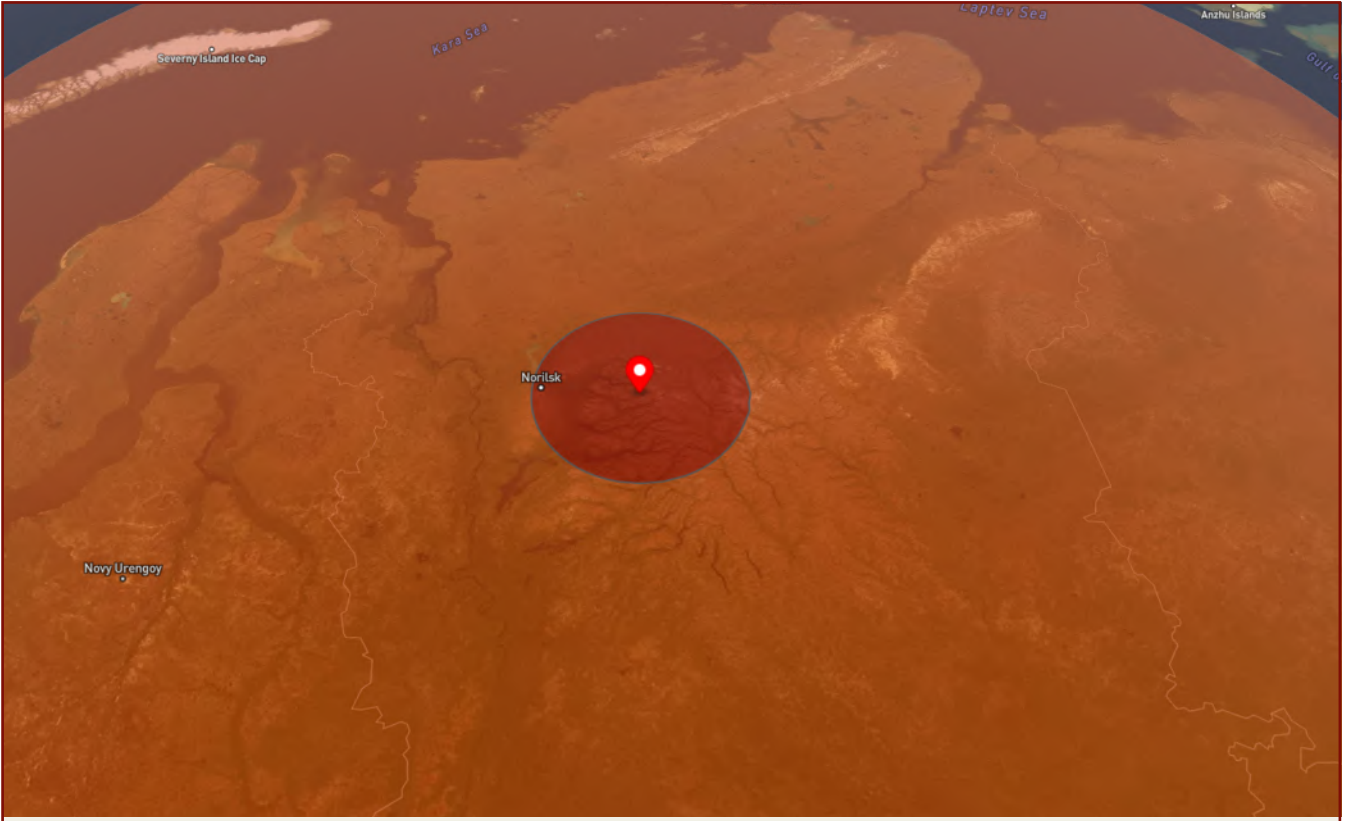
İlk (merkezi) çarpma bölgesi, kalderanın oluşması beklenen Putorana Platosu'nun kuzeybatı kesimini merkez alan 150 km yarıçaplı bir bölgedir (Şekil 78). Bu bölge Krasnoyarsk Krai'deki Norilsk, Dudinka ve Talnakh şehirlerini kapsamaktadır. Bu bölgede, gaz sütununun aktivasyonu, patlamanın ilk aşamasında şok dalgası ve kavurucu piroklastik akıntılar nedeniyle tüm yapıların anında yıkılmasına neden olacaktır.

Merkezden 1.500 km yarıçapa kadar uzanan **ikinci etki bölgesi**, lav akıntıları ve ağır volkanik malzemelerden etkilenen alandır (Şekil 79). Bu bölge Yamalo-Nenets Özerk Okrug, Taymyr Yarımadası, Khanty-Mansi Özerk Okrug'un bazı kısımları, kuzey Krasnoyarsk Krayı, batı Yakutistan ve Rusya'nın kuzeydoğu Avrupa kısmı dahil olmak üzere kuzey Sibiry'nin geniş alanlarını kapsayacaktır. Bu yarıçap içindeki büyük şehirler arasında Igarka, Novy Urengoy, Nadym, Salekhard, Vorkuta, Naryan-Mar, Mirny, Kogalym, Lesosibirsk, Surgut, Krasnoyarsk, Khanty-Mansiysk, Tomsk ve Nizhnevartovsk bulunmaktadır.

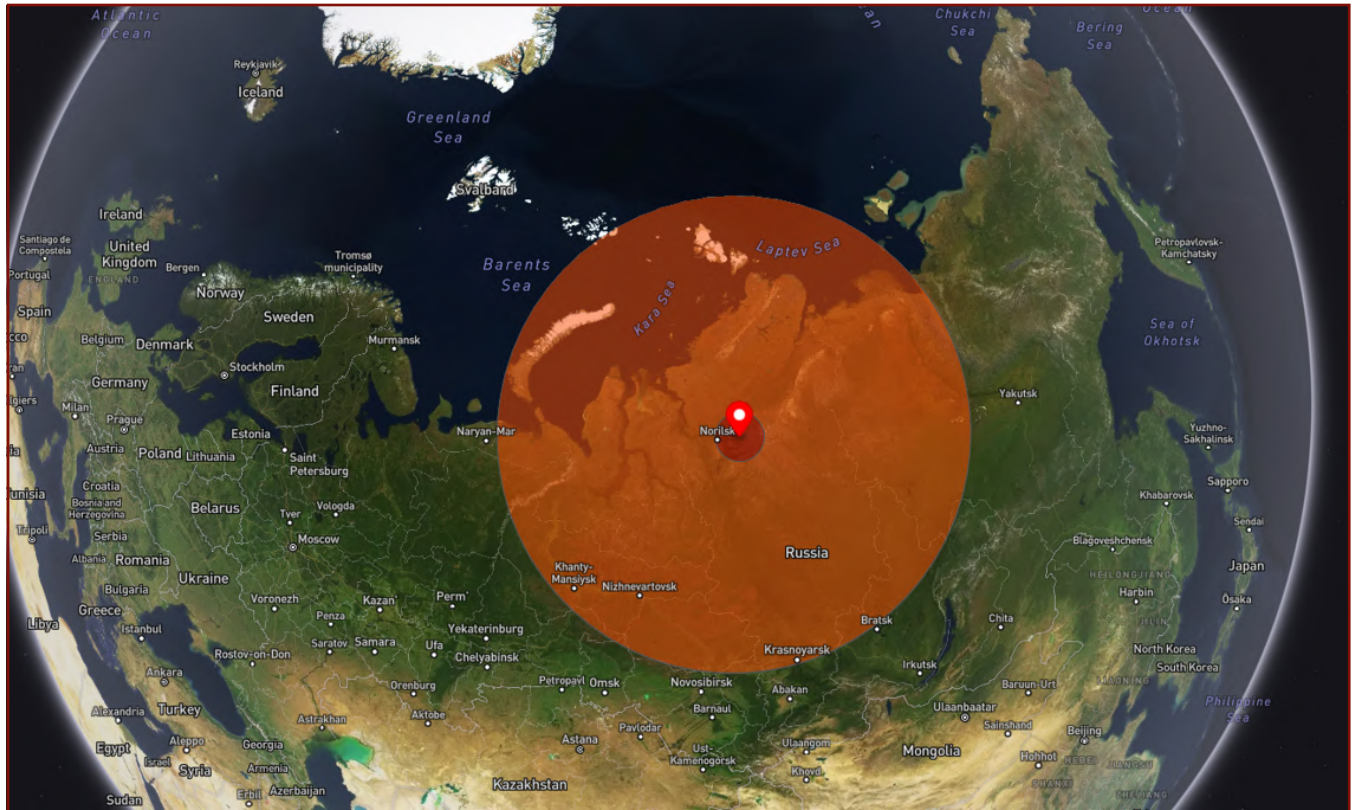
Patlamanın ilk saatlerinde bu bölge 700 km/saate varan hızlarda hareket eden kavurucu gaz, kül ve lav akıntılarına maruz kalacaktır. Bu akışlar tüm yaşamı ve altyapıyı yok edecek, bölgeyi kalın bir volkanik malzeme tabakası altına gömecek ve doğal kaynakları tüketecektir.

⁴⁹ Fedorenko, V. A., Lightfoot, P. C., Naldrett, A. J., Czamanske, G. K., Hawkesworth, C. J., Wooden, J. L., & Ebel, D. S. (1996). Noril'sk, Kuzey Orta Sibiry'daki Sel-Bazalt Sekansının Petrojenezi. *International Geology Review*, 38(2), 99-135. <https://doi.org/10.1080/00206819709465327>

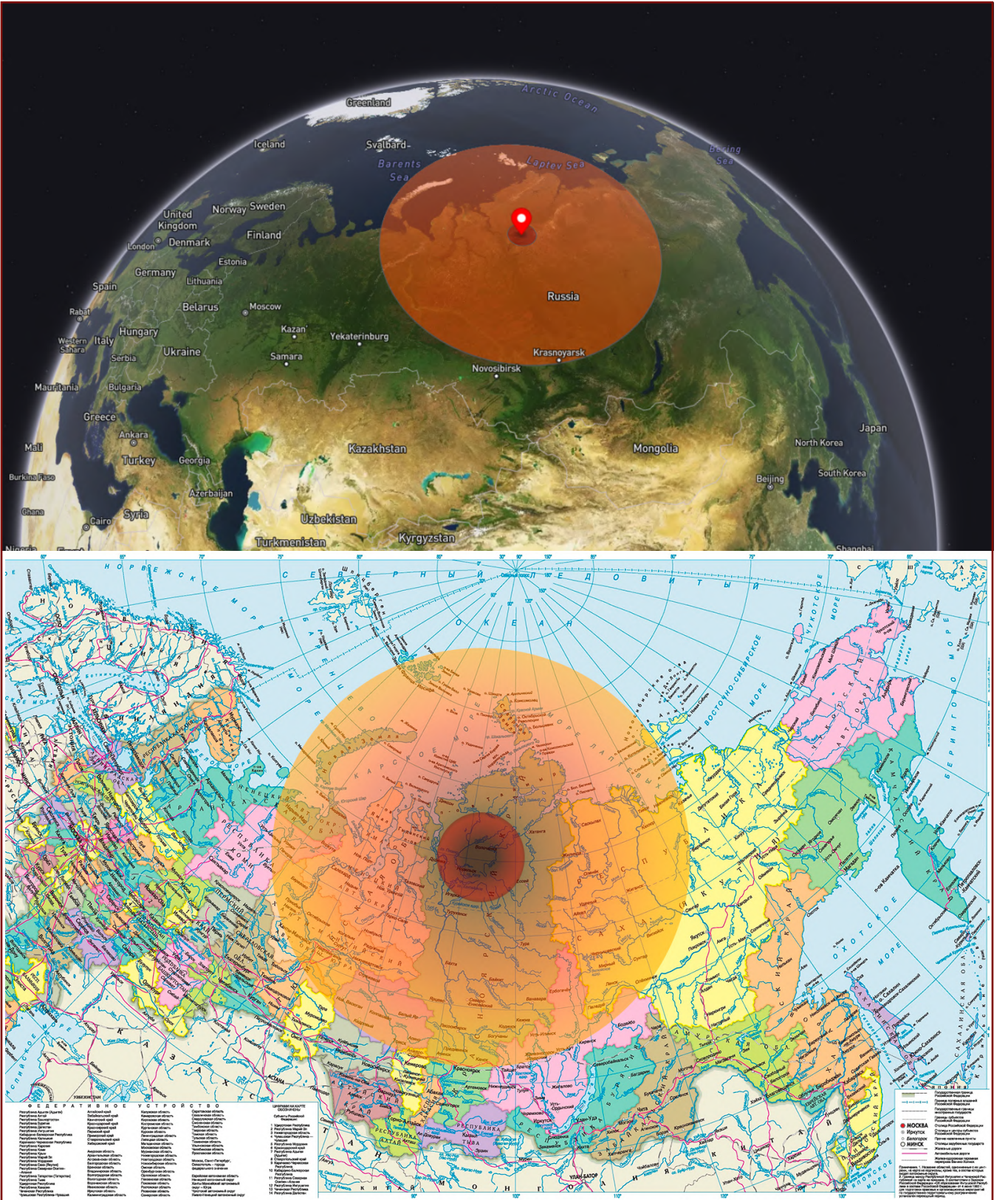
⁵⁰ Ivanov, A.V., He, H., Yan, L., Ryabov, V.V., Shevko, A.Y., Palesskii, S.V., Nikolaeva, I.V., 2013. Sibiry Kapanları büyük magmatik bölgesi: Permo-Triyas sınırı çevresinde ve Orta Triyas'ta iki taşkın bazalt darbesi ve eşzamanlı granitik magmatizma için kanıtlar. *Earth-Science Reviews*, 122, s.58-76. Şu adresten erişilebilir: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.001>



Şekil 78.
Kaldera oluşum bölgesi yaklaşık 150 km’lik yarıçapıyla kırmızı renkte gösterilmiştir.



Şekil 79.
Lav akıntısı ve ağır piroklastik serpinti bölgesi, yaklaşık 1.500 km’lik yarıçapıyla turuncu renkte gösterilmiştir



Şekil 79.

Lav akıntısı ve ağır piroklastik serpinti bölgesi, yaklaşık 1.500 km'lik yarıçapıyla turuncu renkte gösterilmiştir

Yarıçapı yaklaşık 9.000 km olan **üçüncü etki bölgesi**, ince piroklastik malzemelerin ve volkanik külün yayılma alanını kapsar ve Dünya yüzeyinin yaklaşık %50'sini kaplar (Şekil 80).

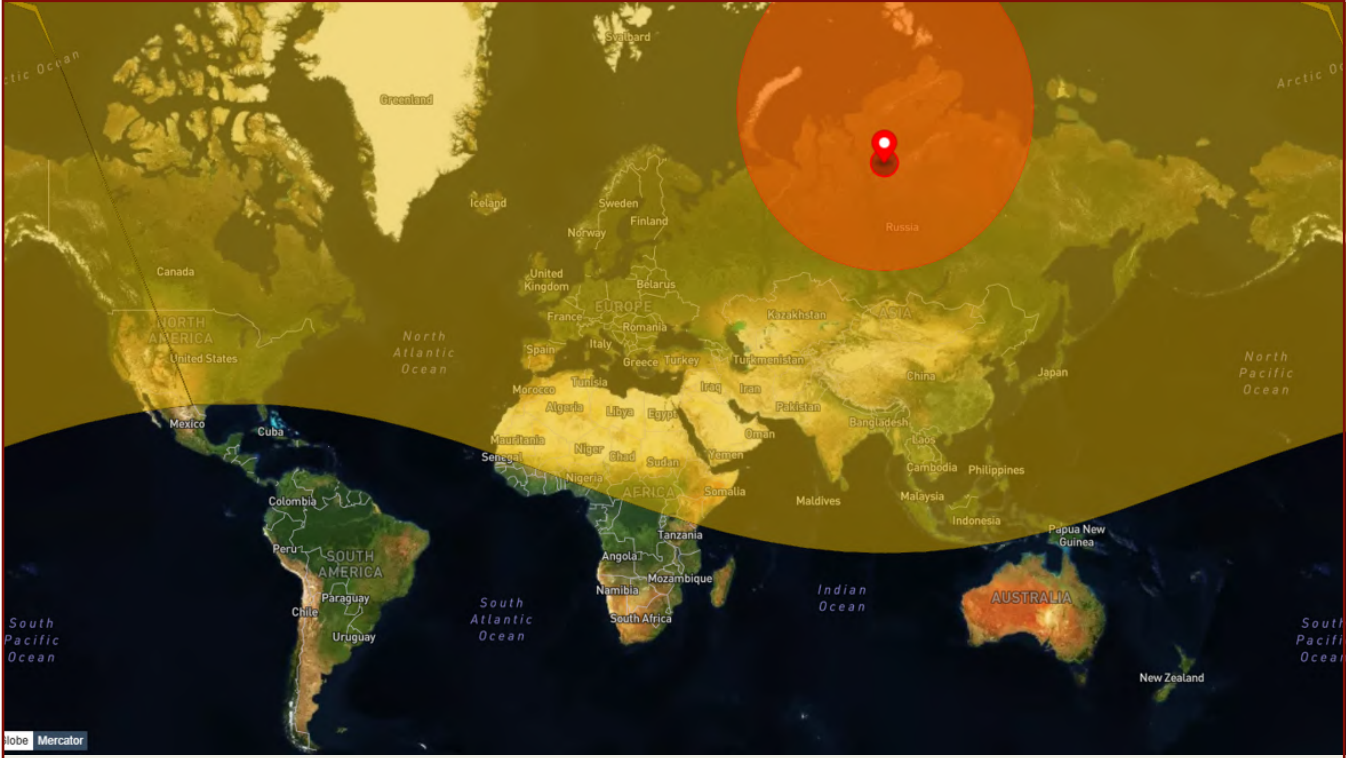
İlk aşamada (patlamadan sonraki ilk 24 saat) kül serpintisi öncelikle Rusya Federasyonu,

Asya kıtası, Avrupa, Arap Yarımadası, Afrika kıtasının kuzeyi ve Kuzey Amerika topraklarını etkileyecektir. Takip eden 7-10 gün içinde kül kütlelerinin Avustralya kıtasına, Güney Amerika'ya ve Antarktika'ya yayılması bekleniyor.



Şekil 80.

İnce volkanik külün yayılma alanı sarı renkle gösterilmiştir ve yaklaşık yarıçapı 9.000 km'dir



Şekil 80.

İnce volkanik külün yayılma alanı sarı renkle gösterilmiştir ve yaklaşık yarıçapı 9.000 km'dir

Jeolojik süreçler üzerine yapılan araştırmalar, Sibirya gaz sütununun harekete geçmesinin bir dizi ek felaket olayını tetikleyeceğini göstermektedir. Bunlar arasında güçlü bir şok dalgasının oluşması, güçlü depremlerin meydana gelmesi (büyüklükleri 10 civarında), yıkıcı tsunamilerin oluşması ve Dünya'daki diğer büyük volkanik sistemlerin potansiyel olarak uyanması yer almaktadır. Patlama sırasında açığa çıkan enerji zincirleme bir reaksiyon başlatarak gezegendeki süper volkanları

ve büyük volkanik bölgeleri harekete geçirebilir. Bu sonuçlar, enerji süreçlerinin matematiksel hesaplamalarına ve bunların yerkabuğu üzerindeki etkilerine dayanmaktadır.

Daha sonra, Sibirya gaz sütununun ani atılımının bir sonucu olarak insanlığı tehdit eden ek risk faktörlerini inceleyeceğiz.

Şok Dalgası

Kamuya açık verilere göre, Yellowstone süper volkanının patlaması yaklaşık 900.000 megatonluk bir enerji açığa çıkarabilir ve 11,2 büyüklüğünde bir depremi tetikleyebilir. Büyüklük ölçeği logaritmik olduğundan (her tam sayı artışı enerjide 32 katlık bir artışı temsil eder), Yellowstone'dan 1,000 kat daha güçlü olduğu tahmin edilen Sibiry püskürmesi 13.2 büyüklüğünde bir depreme neden olabilir. Bu, şimdiye kadar kaydedilmiş en güçlü deprem olan Büyük Şili Depremi'nden (9,5 büyüklüğünde, 1960) 350.000 kat daha güçlü olacak ve büyük bir asteroid çarpışmasının etkisine rakip olacaktır.

Serbest kalan 10^{24} joule mertebesindeki enerji, küresel ölçekte son derece güçlü bir şok dalgası yaratacaktır. Patlamanın merkezinde basınç o kadar aşırı seviyelere ulaşır ki kayalar anında buharlaşır ve üst atmosfere fırlatılır. Süpersonik bir şok dalgası, Tunguska meteor çarpışmasına benzer, ancak çok daha güçlü bir şekilde binlerce

kilometre uzaklıktaki bölgeleri dakikalar içinde harap edecektir.

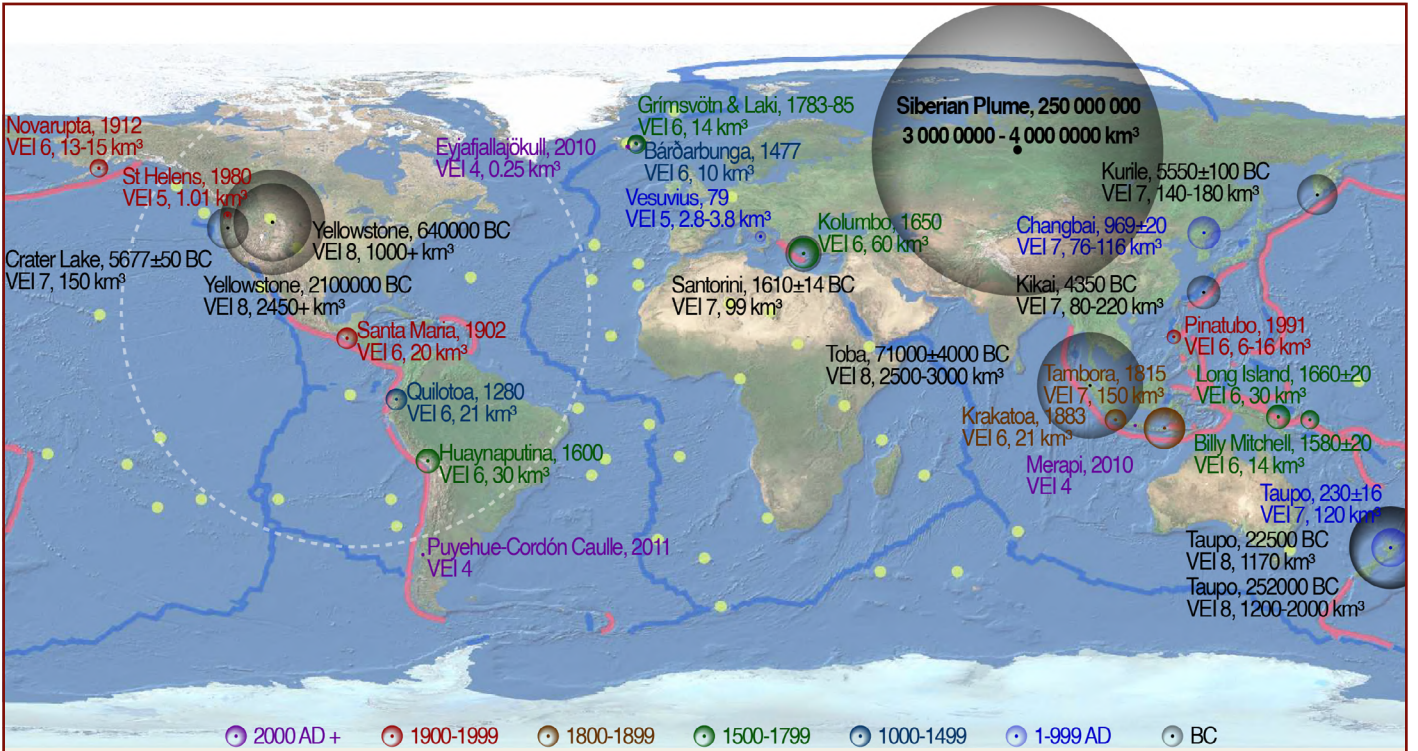
Sibiry taygalarında büyük orman yangınları patlak vererek geniş bölgeleri kalın bir volkanik kül tabakasının altına gömecektir. Permafrost binlerce kilometre boyunca hızla eriyerek önemli miktarda sera gazı açığa çıkaracaktır. Kabuk fay hatlarının harekete geçmesiyle birlikte yeryüzü büyük bir yıkıma uğrayacaktır. Sismik dalgalar tüm gezegen boyunca yayılacak ve büyüklüğü 10'u aşan ek depremleri tetikleyecektir.

Arktik Okyanusu'nda yüzlerce metre yüksekliğinde devasa tsunamiler oluşacak ve Rusya, Kanada, Grönland ve İskandinavya kıyılarını tehdit edecektir. İkincil tsunamiler Endonezya, Japonya, Avustralya ve hem Kuzey hem de Güney Amerika kıyılarını vuracaktır. Küresel atmosferik karışıklıklar güçlü kasırga ve fırtınaların oluşmasına yol açacaktır.

Süpervolkanların ve Volkanik Sistemlerin Aktivasyonu

Sibiry gaz sütununun püskürmesinden kaynaklanan sismik dalgalar yalnızca atmosfer ve Dünya yüzeyi boyunca değil, aynı zamanda mantonun derinliklerine de yayılacaktır. Tüm süper volkanlar mantonun erimiş katmanları aracılığıyla birbirine bağlı olduğundan, bu büyüklükteki sismik dalgaların ilk 24 saat içinde zincirleme bir patlama reaksiyonunu tetiklemesi

beklenmektedir (Şekil 81). Aktif hale gelmesi muhtemel en büyük volkanik sistemler arasında Yellowstone ve Long Valley kalderaları (Kuzey Amerika), Phlegraean Alanları (Apennine Yarımadası), Toba (Sunda Takımadaları), Aira Kalderası (Japon Adaları) ve Taupo volkanik kompleksi (Yeni Zelanda) bulunmaktadır.



Şekil 81.

Harita, Prekambriyen'den günümüze kadar jeolojik dönemlere göre sınıflandırılmış büyük volkanik patlamaların küresel dağılımını göstermektedir.

Sembollerin boyutu fırlatılan malzemenin hacmiyle (km³ cinsinden) orantılıdır. Harita, Volkanik Patlama İndeksi (VEI) ≥4 olan patlamaların kronolojik sırasını vurgulayarak Toba (MÖ 71.000 ± 4.000, 2.500-3.000 km³), Yellowstone (MÖ 640.000, >1.000 km³) ve Tambora (MS 1815, 150 km³) gibi olayları vurgulamaktadır. Sibiryaya gaz sütununun patlaması halinde 3-4 milyon km³'lük tahmini bir çıktı ile karşılaştırılabilir patlamalar beklenmektedir. Kırmızı çizgiler tektonik plaka sınırlarını göstermekte ve büyük patlamaların yerleri ile mekânsal korelasyonu ortaya koymaktadır.

Süper volkanlara ek olarak, Pasifik Ateş Çemberi ve diğer sismik olarak aktif bölgeler boyunca birçok volkanda patlamaların başlaması muhtemeldir. Fuji Dağı (Japonya), Krakatoa ve Merapi (Endonezya), Vezüv ve Etna (İtalya), Popocatepetl (Meksika), Kamçatka'daki volkanik gruplar, And Dağları ve Alaska volkanik kuşaklarının yanı sıra Batı Antarktika'daki buzul altı volkanik sistemler gibi volkanlarda yeniden faaliyete geçme olasılığı yüksektir.

Ağrı Dağı (Anadolu Platosu), Kilimanjaro ve Nyiragongo (Doğu Afrika Rift Sistemi) stratovolkanları; Elbrus volkanik masifi (Kafkasya bölgesi), Laacher See volkanı (Orta Avrupa) ve Arap Yarımadası'ndaki volkanik merkezler de dahil olmak üzere uykuda olan volkanik yapılar da yeniden aktif hale gelebilir.

Asit Yağmuru

Patlama sırasında volkanik kül ve sülfür dioksitin feci şekilde salınması, dünya çapında yağışların asit yağmuru şeklini almasına neden olacaktır. Emisyonların ölçeğini göstermek için, 630.000 yıl önce atmosfere yaklaşık 500 megaton sülfür dioksit salan Yellowstone süper volkan patlamasına değinebiliriz. Bunu Sibiry gaz sütununun varsayımsal patlamasına uyarlarsak, emisyonlar tahmini olarak 1.500.000 megaton ($1,5 \times 10^{12}$ ton) sülfür dioksite ulaşabilir - 1815'te "Yazsız Yıl"a neden olan Tambora'nın emisyonlarının yaklaşık bir milyon katı. Bu tahminin, zincirleme bir reaksiyonla tetiklenebilecek diğer yanardağlardan kaynaklanan emisyonları hesaba katmadığını belirtmek önemlidir.

Böyle bir sülfür dioksit konsantrasyonu stratosferde aerosol partiküllerinin oluşmasına yol açacak ve bu partiküller asit yağmuru olarak on yıllar boyunca yavaş yavaş yıkanacaktır. Asit yağışının birincil döneminin, iklimsel süreçlere ve atmosferik sirkülasyona bağlı olarak 3 ila 10 yıl süreceği tahmin edilmektedir. Günümüz Sibiryası gibi merkez üssüne daha yakın bölgeler, seyreltilmiş sülfürik asitle karşılaştırılabilecek 1,5'in altında pH değerine sahip yağışlar yaşayacaktır.

Etkileri arasında kökler, yapraklar ve dallar gibi bitki örtüsünün yok olması ve topraktan

minerallerin süzülerek yaşamı sürdürmeye elverişsiz hale gelmesi yer alacaktır. Su ekosistemleri de ciddi asitlenmeye maruz kalacak ve su kütlelerini pH seviyesi 2-3 olan zehirli asit göllerine dönüştürecektir. Bu koşullar çoğu yaşam formu için ölümcül olacaktır.

Ayrıca, su tedarik sistemlerine asit sızması, gelişmiş filtreleme sistemleri olmadan içme suyunu kullanılamaz hale getirecektir. Çimento, mermer ve metallere yapılmış altyapı, sülfat bileşiklerinden kaynaklanan hızlandırılmış korozyonla karşı karşıya kalacaktır.

Asit yağmurlarının en yoğun olduğu dönem patlamadan sonraki ilk aylarda gerçekleşirken, yağışlar kademeli olarak belirli bölgelerde yoğunlaşacaktır. Volkanik kış bastırdığında, yağışların çoğu kara dönüşerek ekosistemler üzerindeki ani asit yükünü azaltacaktır. Ancak bu noktaya gelindiğinde, asit yağmurlarının neden olduğu flora ve faunadaki küresel tahribat çoktan geri döndürülemez hale gelmiş olacaktır.

Ekosistemlere verilen zararın, küresel soğuma başlamadan çok önce doğal ve insani süreçler üzerinde derin etkileri olacaktır.

Volkanik Kış

Çok sayıda volkanın aynı anda faaliyete geçmesiyle güçlenen Sibiry gaz sütununun patlamasının kümülatif etkisi, küresel iklim ve ekolojik koşullarda feci bir değişikliğe yol açacaktır. Volkanik kül, gazlar (özellikle sülfür dioksit, SO_2) ve aerosollerin atmosfere büyük miktarda salınımı, onlarca yıl boyunca güneş radyasyonuna karşı aşılmaz bir bariyer oluşturacaktır.

Stratosferdeki yüksek konsantrasyondaki sülfat aerosollerini güneş radyasyonunun önemli bir kısmını yansıtarak gezegenin enerji dengesini bozacaktır. Bu durum, Dünya yüzeyine ulaşan ısıda dramatik bir azalmaya yol açarak iklimin aşırı soğumasına neden olur ki bu durum “hipervolkanik kış” olarak adlandırılabilir. Bu koşullar altında Dünya bir “buz topuna” benzeyecek ve yaşanabilir bölgeler başta ekvator olmak üzere sınırlı bölgelerle sınırlı kalacaktır.

Potansiyel etkilere ilişkin tahminler, önemli patlamalardan elde edilen tarihsel verilere dayanmaktadır. Örneğin, Yellowstone’un 2,1 milyon yıl önceki maksimum patlaması sırasında küresel sıcaklıklar ortalama 3-5°C azalmıştır. Büyüklüğü bu olayı çok aşacak olan Sibiry gaz sütununun patlaması durumunda, Dünya’nın ortalama sıcaklığının yaklaşık 24-31°C düşebileceği tahmin edilmektedir.

Kutup bölgelerinde sıcaklık düşüşlerinin 28-36°C veya daha fazla olması ve bunun sonucunda Kuzey Atlantik ve Pasifik Okyanusu’nun önemli kısımları dahil olmak

üzere kritik su kütlelerinin tamamen donması beklenmektedir. Orta enlemlerdeki sıcaklıklar 24-31°C düşerek tüm bitki örtüsünü yok edecek ve organizmaların kitlesel yok oluşunu tetikleyecektir.

Okyanus ekosistemleri feci bir yıkıma uğrayacaktır. Yüzeyde ve kıyı bölgelerinde donma başlayacak ve küresel ölçekte deniz biyotasının yok olmasına yol açacaktır. Ekvatorial bölgelerde sıcaklıkların 20-27°C düşerek tropikal bölgeleri bile yaşamı sürdüremeyecek kadar soğuk hale getireceği öngörülmektedir.

Neredeyse tüm kara yüzeyleri küresel soğuk, karanlık ve fotosentezin durması nedeniyle çoraklaşacaktır. Besin zincirleri çökecek, tarımın çökmesine ve flora, fauna ve insanlığın önemli bir kısmının kitlesel yok oluşuna neden olacaktır. Sadece aşırı koşullara adapte olmuş izole mikrobiyal ekosistemler yaşayabilir durumda kalacaktır.

Stratosferde kalmaya devam eden sülfat aerosollerini on yıllar boyunca güneş ışığını engellemeye devam edecektir. Ancak hipervolkanik bir kışın sonuçları çok daha uzun süre hissedilecektir. Kül ve aerosoller çöktükten sonra bile, donmuş okyanuslar, buzul genişlemesi ve biyosferdeki radikal dönüşümler göz önüne alındığında, Dünya’nın doğal iklimini ve ekolojik dengesini yeniden kurması için yüzlerce hatta binlerce yıl gerekecektir.

Senaryo 1'e İlişkin Sonuçlar: Sibiry Gaz Sütununun Ani Atılımı

Sibiry gaz sütununun ani bir patlaması, atmosfer, hidrosfer ve biyosferde küresel değişiklikleri tetikleyerek felaket niteliğinde bir jeolojik ve iklimsel olay oluşturacaktır. Putorana Platosu'ndaki büyük bir patlama 150 km yarıçapındaki her şeyi anında yok ederek dev bir kaldera oluşturacaktır. Piroklastik akıntılar ve lavlar 1.500 km yarıçaplı bir alana yayılarak Sibiry'yi kavrulmuş bir çorak araziye dönüştürecektir. Dünya yüzeyinin yarısı külle kaplanacaktır.

Gaz sütunu patlamasının neden olduğu 13.2 büyüklüğündeki bir deprem, gezegene yayılacak yıkıcı sismik dalgalar oluşturacak, fay hatlarını harekete geçirecek, ikincil depremler ve yüzlerce metre yüksekliğindeki mega tsunamiler kıtaların kıyı bölgelerini sular altında bırakacaktır.

1,5 milyon megaton sülfür dioksit (SO_2) salınımı, pH değeri 1,5'in altında olan asit yağmurlarına yol açarak toprakları, bitki örtüsünü ve su ekosistemlerini tahrip edecektir. Su kütleleri yaşanmaz hale gelecek ve toprak hızla verimliliğini kaybedecektir. Fotosentezin ve besin zincirlerinin çökmesi flora, fauna ve insan

uygarlığının kitlesel yok oluşuna yol açacaktır.

Yellowstone, Campi Flegrei ve Toba gibi süper volkanların kitlesel aktivasyonu, volkanik kül, sülfür dioksit (SO_2) ve aerosol emisyonlarını artırarak küresel iklim değişikliklerini şiddetlendirecektir. Bunların stratosferde birikmesi güneş ışığını engelleyerek gezegenin soğumasına ("hipervolkanik kış") ve onlarca derecelik sıcaklık düşüşlerine neden olacaktır. Kutup bölgelerinde sıcaklıklar $28-36^\circ\text{C}$; ılıman bölgelerde $24-31^\circ\text{C}$; tropik bölgelerde ise $20-27^\circ\text{C}$ arasında düşecektir. Bu durum okyanusların donmasına, okyanus sirkülasyonunun durmasına, ekosistemin çökmesine ve karada devasa buzulların oluşmasına neden olacaktır.

Hipervolkanik bir kışın etkileri Dünya'yı neredeyse yaşanmaz hale getirecek ve doğal koşulların düzelmesi için binlerce ila milyonlarca yıl gerekecektir. Böyle bir olay, gezegenin jeolojik tarihindeki en büyük yok oluşa işaret edecektir.

Senaryo 2:

Sibiry Gaz Sütununun Kademeli Patlaması

İkinci senaryo, tek bir patlayıcı olaydan çok, yerkabuğundaki çatlaklar ve zayıflamış bölgeler yoluyla kademeli bir dizi patlama ve lav akıntısı öngörmektedir. Bu süreç, 250 milyon yıl önce Permian döneminin sonunda aynı bölgede Sibiry Kapanlarının oluşumuyla karşılaştırılabilir.

Sibiry Kapan illerinin oluşumu, karasal volkanizmanın en büyük tezahürüne işaret etmektedir. Bu süre zarfında Dünya, tarihindeki en büyük çevresel felaketi, deniz türlerinin %90'ının ve karasal türlerin %70'inin yok olduğu

Permian-Triyas kitlesel yok oluşunu yaşamıştır (Şekil 82, 83).

Jeolojik kanıtlar⁵¹ Sibiry patlamalarının alışılmadık derecede patlayıcı olabileceğini (Campbell vd., 1992) ve piroklastik birikintilerin 800 metreye kadar kalınlığa ulaştığını göstermektedir (Khain, 1985). Patlamaların son derece patlayıcı doğası, tortul kayaları 10 km'ye kadar derinliklerden dışarı atmıştır.



Şekil 82.
Permian-Triyas yok oluş
olayı sırasında Sibiry'daki
patlamaların sanatsal tasviri.

İllüstrasyon: Tigran
Nshanyan'a ait görsel.

Şekil 83.
Permian-Triyas krizinden
sonraki ekosistem değişikliklerini
gösteren, ıssız bir manzaraya
hakim, kitlesel yok oluştan
kurtulan lystrosaurların sanatsal
tasviri.

İllüstrasyon: Julio Lacerda.



⁵¹Beerling, D.J., Harfoot, M., Lomax, B. & Pyle, J.A., 2007. Sibiry Kapanlarının Permian sonu patlaması sırasında stratosferik ozon tabakasının kararlılığı. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365, pp.1843-1866. Şu adresten erişilebilir: <http://doi.org/10.1098/rsta.2007.2046>

Bölgedeki volkanik faaliyet birkaç aşamada gerçekleşmiş ve jeolojik manzarayı büyük ölçüde değiştirmiştir. Başlangıçta, magma tortul katmanların içine girerek eşikler gibi çeşitli müdahaleci cisimler oluşturmuştur. Daha sonra, püskürme tarzı patlayıcıya dönüşerek büyük miktarlarda piroklastik malzemenin salınmasına ve kalın volkanik birikintilerin oluşmasına neden olmuştur. Bu sürecin doruk noktası, yüz binlerce kilometre küp olarak ölçülen devasa hacimlerde bazaltik lavın püskürmesi olmuştur. İntrüzyonlar, piroklastik çökelti ve lav akıntıları dahil olmak üzere volkanik kayaların toplam hacminin yaklaşık 3 milyon kilometreküp olduğu tahmin edilmektedir. Bu rakamın yalnızca günümüze kadar ulaşan kayaları yansıttığını ve patlamaların başlangıçtaki ölçeğinin çok daha büyük olduğunu ancak o zamandan beri aşınmış olduğunu belirtmek önemlidir.

Sibiry Kapanlarının oluşumu karbondioksit (CO₂), sülfür (SO₂), klor (HCl) ve diğer uçucu bileşiklerin muazzam emisyonlarına yol açmıştır. Bu gazlar sera etkisini önemli ölçüde yoğunlaştırarak volkanik bir kışın ardından hızlı ısınmaya neden oldu. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonları, mevcut seviyelerden 20 kat daha yüksek olan 8.000 ppm'e ulaştı. Sonuç olarak tropikal denizlerin sıcaklığı 22-25°C'den 30°C'ye yükseldi ve okyanuslar asitleşmeye başlayarak karbonat iskeletli organizmaları öldürdü.

Toplam sülfür emisyonu 7800 gigatona, klor 8700 gigatona ve flor 13.600 gigatona ulaştı⁵².

Volkanik kül ve aerosoller güneş ışığını engelledi, fotosentezi bozdu ve kitlesel ormansızlaşmaya ve besin zincirlerinin çökmesine neden olarak hem bitki hem de hayvan türlerinin yok oluşunu şiddetlendirdi.

O dönemin ekolojik krizi, Sibiry gaz sütununun püskürmesinin kademeli olarak gerçekleşmesi halinde bile ortaya çıkabilecek sonuçların potansiyel boyutunun altını çizmektedir.

Araştırmalar, 250 milyon yıl önceki püskürme döneminin, bir manto gaz sütununun yükselmesiyle - bugünkü Putorana Platosu'nun altındaki Dünya'nın derinliklerinden yükselen devasa bir magma akışı - gerçekleştiğini göstermektedir. Bu senaryonun günümüzde tekrarlanması, gezegendeki en büyük jeolojik oluşumlar arasında yer alan geniş lav platolarının oluşmasına, Sibiry ve komşu bölgeleri kapsayan binlerce kilometrelik alanda neredeyse tüm yaşamın yok olmasına neden olacaktır. Jeolojik kayıtlar, muazzam bazalt alanlarının püskürmesiyle⁵³ işaretlenen bu tür felaketlerin defalarca meydana geldiğini ve her seferinde büyük kitlesel yok oluşları tetiklediğini ortaya koymaktadır (Şekil 84).

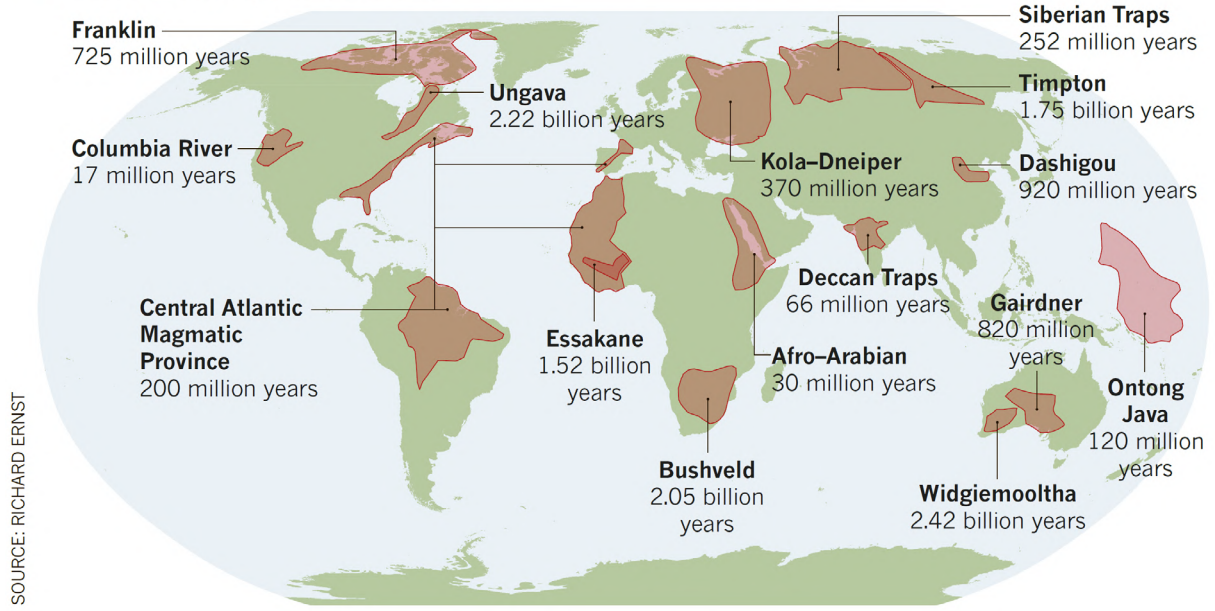
⁵²Benjamin A. Black, Linda T. Elkins-Tanton, Michael C. Rowe, Ingrid Uktins Peate, Sibiry Kapanlarından Uçucu Salınımının Büyüklüğü ve Sonuçları, Earth and Planetary Science Letters, Cilt 317-318, 2012, Sayfa 363-373, ISSN 0012-821X, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.12.001>

⁵³Witze, A. (2017). Dünya'nın gezegeni değiştiren patlamalara dair kayıp tarihi ortaya çıktı. 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



Şekil 84.

Harita, Dünya tarihindeki en büyük volkanik patlamaların coğrafi konumlarını ve yaşlarını, bu olaylarla ilişkili olarak oluşan lav platolarıyla birlikte göstermektedir.

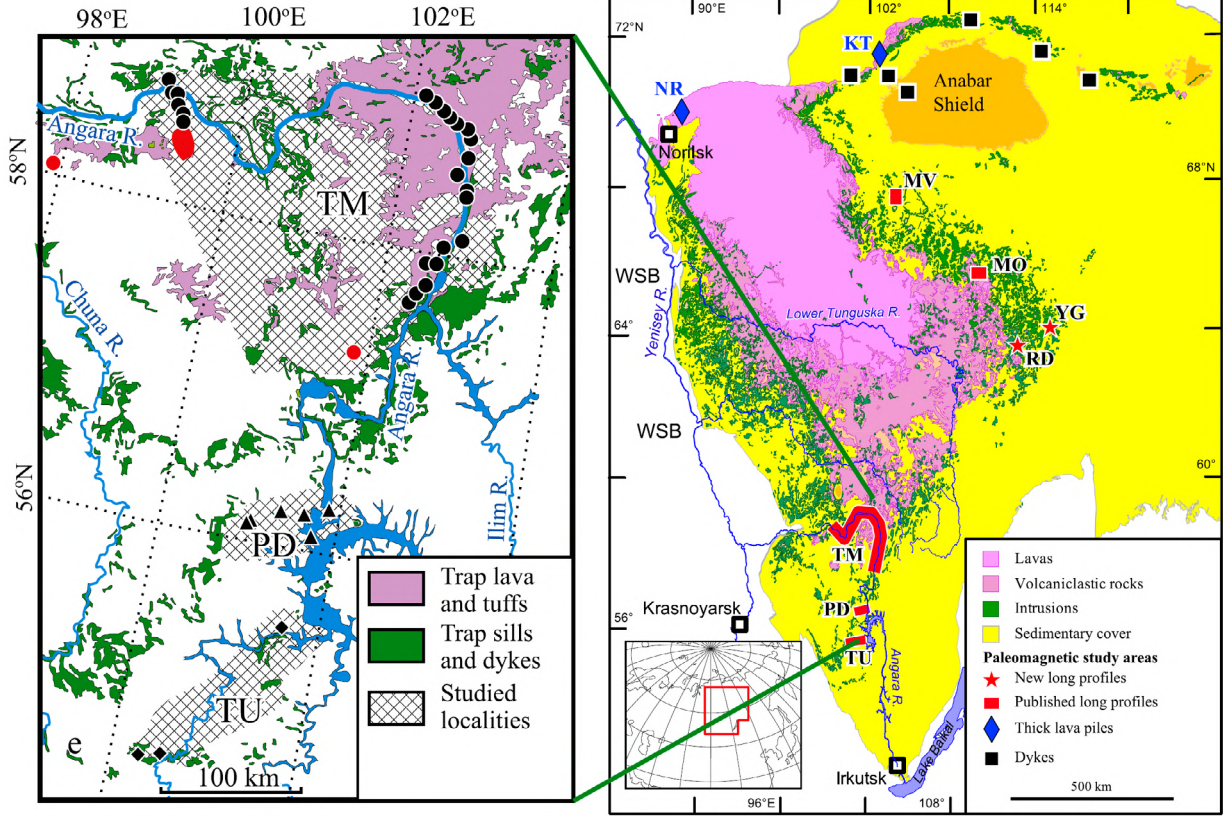
İllüstrasyon: Richard Ernst.

Kaynak: Witze, A. Dünya'nın gezegeni değiştiren patlamalara ilişkin kayıp tarihi ortaya çıktı. Nature, 543, 295-296 (2017).

Önceki jeolojik çağlarda olduğu gibi, magma mantodan yükselecek ve tıpkı yoğun bir filtreden sızan yumuşak bir madde gibi yerkabuğundaki çatlaklara nüfuz edecektir. Bu süreç yüzeyin aşırı ısınmasına, çok sayıda kabuk içi magma intrüzyonunun oluşmasına ve litosferin erimesine yol açacaktır.

Şekil 85, Sibirya'daki püskürük kayaların dağılımını göstermektedir: lav akıntıları mor

renkle, yerkabuğu içinde katılaştıran magmatik cisimler ise yeşil renkle gösterilmiştir. Haritadaki yeşil bölgeler, magmanın yerkabuğunu nasıl aşındırdığını, kırıklar oluşturduğunu ve bu zayıflamış alanlar boyunca ilerlediğini vurgulamaktadır. Bu tür artan magma basıncı, potansiyel olarak felaketle sonuçlanabilecek benzer bir süreci bir kez daha başlatabilir.



Şekil 85.

Sağdaki harita Sibirya Kapanları bölgesine genel bir bakış sunmaktadır (Svensen vd., 2009'dan basitleştirilmiş ve değiştirilmiştir) ve temel jeolojik yapılar farklı renklerle işaretlenmiştir: lav akıntıları için pembe, intrüzif cisimler için yeşil ve sedimanter örtü için sarı. Soldaki ayrıntılı harita ise tuzak magmatizmasının dağılımını göstermektedir: mor renk lav ve tüfleri, yeşil renk ise sill ve dikenleri temsil etmektedir.

Kaynak: Konstantinov, K. M., Bazhenov, M. L., Fetisova, A. M., & Khutorskoy, M. D. (2014). Kapan intrüzyonlarının paleomanyetizması, Doğu Sibirya: Taşkın bazalt yayılımı ve biyosferin Permo-Triyas krizine etkileri. *Earth and Planetary Science Letters*, 394, 242-253.

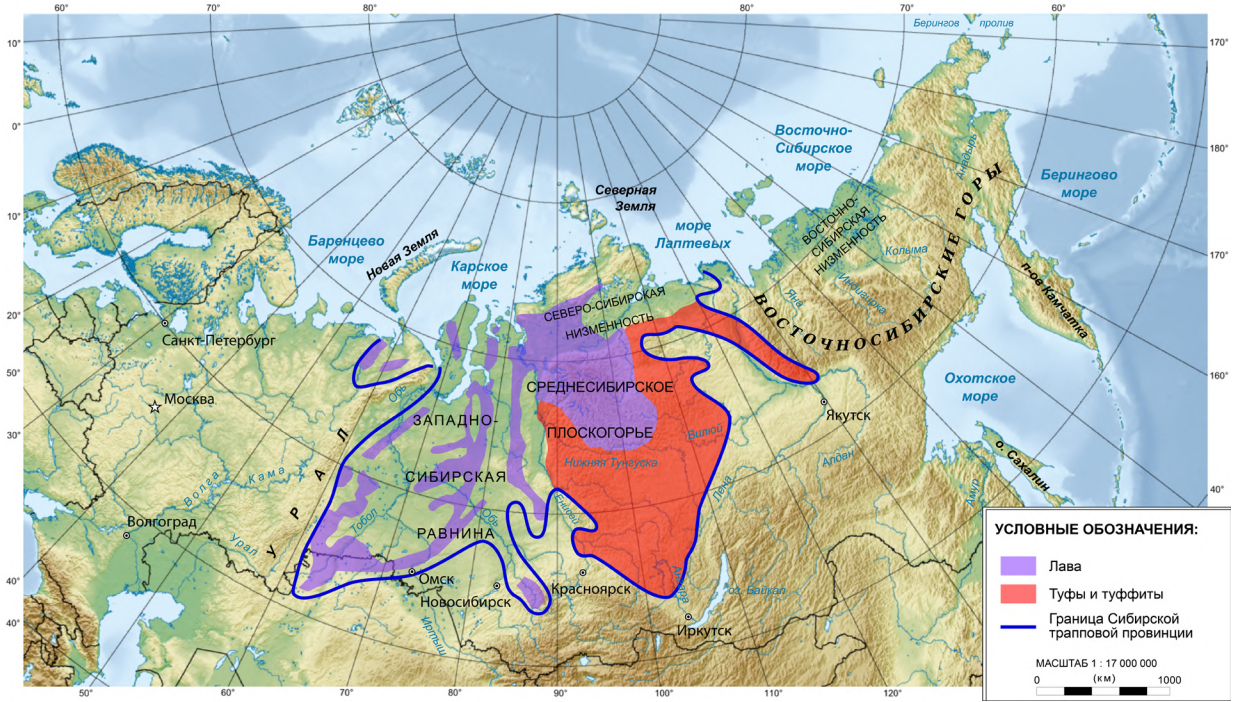
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.03.029>

Kademeli patlama senaryosu, Sibirya gaz sütununun ani patlamasıyla karşılaştırılabilir, ama zamana yayılmıştır. Batı Sibirya boyunca bazaltik lav akıntıları bırakan ani çatlakların yanı sıra haftalık olarak patlayan bir dizi volkan olarak düşünülebilir.

Şekil 86'da bu süreçler, lav akıntısı bölgeleri mor renkle işaretlenerek gösterilmektedir. Lavlar, Doğu Sibirya Platformu'nun daha yoğun, daha istikrarlı kabuğunun bulunduğu bölgede geniş alanlara yayılmıştır. Buna karşılık, daha ince, daha genç ve heterojen kabukla karakterize edilen Batı Sibirya'da püskürmeler uzun depresyonlar

veya yarıklar boyunca meydana gelmiştir. Harita, kırmızı renkle gösterilen, çimentolaşmış piroklastik parçalar ve külden oluşan tüf bölgelerini vurgulamaktadır.

Doğu ve Batı Sibirya'daki patlamalar önemli ölçüde farklılık gösterecektir. Doğu Sibirya'nın altında magma, yoğun Archean kratonuyla karşılaşarak önemli bir bariyer oluşturur. Magma yükseldikçe ana kayaları "kazar", soğur ve uçucu bileşenlerle zenginleşir. Bu da yüksek kül emisyonlu patlayıcı püskürmelere ve potansiyel asidik, viskoz magma oluşumuna yol açar.



Şekil 86.

Lav akıntıları (mor) ve tüflü tüfit alanları (kırmızı) dahil olmak üzere başlıca jeolojik yapıları gösteren Sibirya Kapanları Eyaleti haritası. Mavi çizgiler Sibirya Kapanları Bölgesi'nin sınırlarını göstermektedir.

Kaynak: wikipedia.org, Masaitis, 1983'ten alınan verilere dayanmaktadır.

İnce ve genç bir kabuğa sahip olan Batı Sibirya'da patlamaların ağırlıklı olarak akışkan bazaltik lavların püskürmesi şeklinde olması beklenmektedir.

Lav akıntıları ve tüflerle kaplanması beklenen alan, Batı ve Doğu Sibirya'da yaklaşık 7 milyon km² olup günümüz Avustralya'sının büyüklüğüyle kıyaslanabilir. Bununla birlikte, bozulmaya maruz kalan bölgelerin on milyonlarca kilometrekareyi aşması muhtemeldir. Bu bölgelerde büyük orman yangınları, asit yağmurlarının neden olduğu erozyon, kül yağışı, toprak kaymaları ve volkanik tortular taşıyan çamurlu akıntılar yaşanacaktır. Sibirya'nın tüm donmuş toprakları yok olma riskiyle karşı karşıya kalacaktır.

Putorana Platosu'nun batısındaki Taimyr Yarımadası'nın Norilsk Nickel şirketi tarafından geliştirilen dünyanın en büyük nikel, bakır ve platin grubu metal yataklarına ev sahipliği

yaptığını belirtmek gerekir. Bu yataklar magmatik kökenlidir ve yaklaşık 250 milyon yıl önce Sibirya Kapanları magmatik eyaletinin patlamaları sırasında oluşmuş, bu da benzersiz cevher düğümlerinin oluşmasını kolaylaştırmıştır. O dönemin magmalarındaki yüksek nikel konsantrasyonu muhtemelen Dünya'nın çekirdeğinden yüzeye malzeme taşınmasıyla bağlantılıdır.

Sibirya magma gaz sütununun yükselişi devam etmekte olup, Dr. Yuri Barkin tarafından tespit edildiği gibi, 1998'de Taimyr Yarımadası'na doğru çekirdek kaymasıyla ivme kazanmıştır. Yakın gelecekte, 250 milyon yıl önce benzer bir olayın meydana geldiği Norilsk kenti yakınlarında Sibirya magmasının patlaması riski büyüktür.

Daha sonra, bu senaryonun Rusya ve dünya için doğuracağı sonuçları inceleyeceğiz.

Sibiry Gaz Sütununun Kademeli Olarak İlerlemesinin Rusya İçin Sonuçları

Çalışmalar, bölgenin ince kabuğuna atfedilen güney Sibiry litosferindeki astenosferik eriyik merceklerinin yerlerini kesin olarak haritalamıştır. Bununla birlikte, Sibiry'nın kuzey kısmı sismik haritalarda büyük ölçüde keşfedilmemiş olarak kalmakta ve alt kabuk ve manto araştırmalarında bir “beyaz noktayı” temsil etmektedir. Bu veri eksikliği, özellikle Sibiry gaz sütunu bölgesinde kapsamlı bir yeraltı gözleminin yokluğu göz önüne alındığında, ilk lav atılımlarının ve gaz bakımından zengin magma püskürmelerinin yerlerini tahmin etmeyi imkansız hale getirmektedir.

Yaklaşan bir felaketin ilk uyarı işaretlerinin artan sismik aktivite ve yerel gaz emisyonları olduğu bilinmektedir. Magma yüzeye doğru ilerledikçe, hızlı permafrost erimesi başlayacak ve permafrost topraklar üzerine inşa edilen altyapının istikrarsızlaşmasına yol açacaktır. Toprağın ısınması aynı zamanda gaz hidrat patlamalarını (buz yapıları içinde sıkışmış metan) tetikleyerek büyük kraterlerin oluşmasına ve yerleşim yerlerinin yıkılmasına neden olabilir.

Metan salınımı, toprağın aşırı ısınması ve volkanik gazların yayılması nedeniyle büyük orman yangınları kaçınılmaz hale gelecektir. Sibiry'daki hidrokarbon yatakları ve Kuzbass gibi kömür havzaları, kömür yataklarının termal olarak 600°C'ye ısıtıldığı Permiyen-Triyas döneminde⁵⁴ meydana geldiği gibi tutuşabilir.

Patlamalar aniden başlar ve geniş bir bölgede birden fazla noktayı etkiler. Çatlaklar ve faylarla birleşen 7-8 büyüklüğündeki depremler, yüz

binlerce kilometrekarelik alanı kaplayan lav akıntılarına neden olur. Lav atılımlarının çevresinde, zehirli emisyonlar atmosferde ölümcül bir “kokteyl” oluşturarak bitkiler, hayvanlar ve insanlar arasında kitlesel ölümlere neden olacaktır.

İlk günler içinde milyonlarca insan ölecektir. Volkanik küller karayolları ve demiryollarında birikerek ulaşım ağlarını tahrip edecek, görüş mesafesini azaltacak ve altyapıyı harap edecektir. Külün uçak motorları için yarattığı tehlike nedeniyle havacılık tamamen duracaktır.

Donmuş toprakların erimesi krizi daha da şiddetlendirecektir: ulaşım yolları, boru hatları, binalar ve altyapı çökmeye başlayacaktır. Birçok şehir su, gıda ve elektrik kaynaklarına erişimini kaybederek insani bir krizi tetikleyecektir. Lavlar, gazlar, yangınlar ve asit yağmurları ulaşım yollarını kullanılamaz hale getireceğinden, patlama bölgesinin çoğunda toplu tahliye imkansız hale gelecektir. Panik milyonlarca insanı saracak ve Sibiry'daki nüfusu yeniden yerleştirme çabaları sosyal istikrarsızlığa ve yaygın huzursuzluğa yol açacaktır.

Ülke ekonomisi felaket boyutunda kayıplara uğrayacaktır. Petrol, gaz, kömür, elmas ve metal üretimi, altyapının fiziksel olarak tahrip olması nedeniyle duracak, endüstriyel faaliyetler duracak ve hammadde ve enerji sıkıntısı yaşanacaktır. Volkanik faaliyet, petrol ve kömür rezervleri de dahil olmak üzere bölgenin doğal kaynaklarını tahrip ederek ulus için kritik ekonomik varlıkları ortadan kaldıracaktır.

⁵⁴Elkins-Tanton, L. T., Grasby, S. E., Black, B. A., Veselovskiy, R. V., Ardakani, O. H., & Goodarzi, F. (2020). Kömür yanması için saha kanıtı, 252 Ma Sibiry Kapanlarını küresel karbon bozulmasıyla ilişkilendiriyor. *Geology*, 48(10), 986-991. <https://doi.org/10.1130/G47365.1>

Patlamadan onlarca yıl sonra Sibirya ekolojik bir felaket bölgesi olarak kalmaya devam edecektir. Bu felaket Rusya'nın coğrafyasını, ekonomisini ve toplumunu geri dönülmez bir şekilde değiştirecektir. Ülke topraklarının yalnızca %25'i yaşanabilir durumda kalacak, ancak çevresel ve

sosyal krizlerin muazzam baskısıyla karşı karşıya kalacaktır. Ekonomik kaleler, tarihi simge yapılar ve ülkenin doğal zenginliklerinin çoğu kaybolacak ve Sibirya modern uygarlık için yaşanmaz hale gelecektir.

Sibirya'da Kademeli Gaz Sütunu Patlamasının Küresel Sonuçları

Sibirya gaz sütununun patlamasının küresel sonuçları tüm dünyayı etkileyecek ve birkaç aşamada ortaya çıkacaktır.

İlk günlerde Avrupa ve Asya arasında Sibirya üzerinden ulaşım duracak ve atmosferdeki volkanik kül nedeniyle hava yolculuğu duracaktır. Bu aksamalar küresel lojistiği sekteye uğratacak, buğday ve diğer ürünlerin önde gelen ihracatçısı olan Rusya sevkiyatları durduracağı için büyük çaplı bir gıda krizini tetikleyecektir. Rusya'dan petrol, gaz ve diğer kaynak ihracatının durması fiyatların yükselmesine, bir enerji krizine ve çok sayıda ülkede ekonomik istikrarsızlığa yol açacaktır. Finansal ve sosyal çalkantılardan oluşan zincirleme bir reaksiyon küresel ekonomiyi dalgalandıracaktır.

Kül bulutları ve sülfür aerosollerini küresel bir karartma etkisi yaratarak güneş radyasyonunu azaltacak ve 2-3°C'lik bir sıcaklık düşüşü ile "volkanik kışa" neden olacaktır. Asit yağmurları ve toprak kirliliği sadece Rusya'da değil tüm dünyada tarımı mahvedecektir. Yaygın kıtlık, su kıtlığı, zehirli hava ve iklim sistemlerinin bozulması milyarlarca insan ve hayvanın kademeli olarak ölmesine neden olacaktır. Birkaç yıl içinde sosyal sistemler çökecektir.

Zamanla volkanik küller çökmeye başlayacak, ama ani iklim değişiklikleri meydana gelecektir. Donmuş toprakların çözülmesinden kaynaklanan metan ve karbondioksit salınımı sera etkisini artıracaktır. Sıcaklıklar kademeli olarak 5-10 °C artacak ve keskin sıcaklık dalgalanmalarıyla karakterize edilen istikrarsız bir iklime yol açacaktır. Ozon tabakasının tahrip olması, Kuzey Yarımküre'de ultraviyole radyasyon seviyelerinin artmasına neden olacak ve patlamaların sonuçlarını daha da kötüleştirecektir.

Sibirya'dan uzak olmasına rağmen Avrupa, Sibirya'daki gaz sütununun patlamasının ciddi sonuçlarıyla karşı karşıya kalacaktır. Kül Kuzey ve Doğu Avrupa'yı kaplayacak ve yaygın solunum yolu hastalıklarına yol açacaktır. Asit yağmurları ormanları, kentsel altyapıyı ve tarım arazilerini tahrip edecektir. Geçici bir soğuma evresinin ardından keskin bir ısınma eğilimi başlayacak ve güneye kuraklık, Orta ve Kuzey Avrupa'ya ise sel felaketleri getirecektir.

Rusya, Asya ve Orta Doğu'dan kitlesel göç, demografik bir krizi ve kaynaklar için artan rekabeti tetikleyecektir. Avrupa ülkeleri kalıcı ekolojik, ekonomik ve sosyal zorluklarla mücadele edecektir.

Patlamanın merkez üssüne en yakın olan Asya, patlamanın etkilerinin en ağır yükünü taşıyacaktır. Toz ve külden kaynaklanan hava kirliliği, özellikle Çin, Moğolistan ve Kazakistan'da yaygın solunum sıkıntılarına ve asit yağmurlarına neden olacaktır. Azalan güneş ışığı ve bozulan toprak kalitesi de önemli bir gıda üretim bölgesi olan Kuzey Çin'in tarımsal merkezini harap edecektir.

Sıcaklık dalgalanmaları kıta genelinde altyapı ve tarım sistemlerine zarar verecektir. Okyanusların kademeli olarak ısınması

oksijensizliğe yol açarak deniz ekosistemlerini yok edecek ve balıkçılığı çökertecektir.

Zaman içinde, devam eden patlamalar küresel yıkımı daha da şiddetlendirecektir. İklimsel ve ekolojik krizler yoğunlaşarak insanlığın teknolojik ve entelektüel ilerlemesinin çoğunu silecek ve uygarlığı derin bir gerilemeye itecektir. İnsanlık topyekûn bir toplumsal çöküşün eşiğine gelecektir.

Sibiry Gaz Sütununun Kademeli İlerlemesinin Gezegen İçin Uzun Vadeli Sonuçları

Sibiry gaz sütununun yavaşça patlaması, gezegeni milyonlarca yıl boyunca dönüştürecek derin ve geniş kapsamlı etkilere yol açacaktır. Atmosfer zehirli maddelerle dolacak, bu da gezegen çapında asit yağmurlarına ve ozon tabakasının tahribatına yol açacaktır. Bu durum ultraviyole radyasyonu artıracak ve küresel iklim sistemlerini daha da istikrarsızlaştıracaktır.

Okyanuslar kritik asitleşme yaşayacak ve deniz yaşamının kitlesel yok oluşuna neden olacaktır. Bu durum deniz ekosistemlerinin çökmesine, küresel gıda zincirlerinin bozulmasına ve neredeyse tüm deniz biyoçeşitliliğinin kaybolmasına yol açacaktır.

Karada ise toksik emisyonların yayılması, toprak ekosistemlerinin yok olması ve çoğu bitki

türünün kaybı kitlesel yok oluşa neden olacaktır. Tozlayıcılar olmadan karasal ekosistemler çökecek ve mevcut türlerin %75 ila 95'inin yok olacağı tahmin edilmektedir.

Patlamanın bir sonucu olarak, Dünya'nın biyosferini tamamen dönüştüren kapsamlı bir iklimsel, biyolojik ve jeolojik kriz ortaya çıkacaktır. Bu süreç insan uygarlığının çöküşüne, milyarlarca insanın ölümüne ve hayatta kalan, parçalanmış insan gruplarının Taş Devri gelişmişlik seviyesine gerilemesine yol açacaktır. Bu felaketin ölçeği, Dünya tarihindeki en büyük kitlesel yok oluşlarla karşılaştırılabilir olacak ve biyosfer için ortaya çıkması en az milyonlarca yıl sürecektir. Yeni bir evrimsel aşamanın başlangıcını işaret edecektir.

Senaryo 3:

Planlı ve Kontrollü Gaz Giderme

Mevcut Volkanik Jeomühendislik Yöntemleri

Batı Sibirya Plakası ve Doğu Sibirya Kratonunun altında yükselen Sibirya Gaz Sütunu nedeniyle artan basınç göz önüne alındığında, potansiyel sonuçları en aza indirmek için acil eylem gereklidir. Bu tür bir çözüm, ikincil odacıklardan yüzeye yaklaşan basınç, lav ve gazların kontrollü bir şekilde salınması, yani **planlı gazdan** arındırmadır.

Çağdaş bilimsel çalışmalar magmatik odacıkların gazdan arındırılmasını büyük ölçekli püskürmelerin önlenmesi için uygun bir yöntem olarak görmektedir. Bu yaklaşım, volkanik jeomühendislik teknolojilerinin sadece volkanlara veya süper volkanlara değil, aynı zamanda manto gaz sütunlarının aktivitesini yönetmek için de uygulanmasını desteklemektedir. Çeşitli ülkelerden uzmanlar tarafından geliştirilen çok sayıda bilimsel yayın ve patent, kontrollü gaz giderme kavramını incelemektedir.

Volkanik jeomühendisliğin teorik temelleri 20. yüzyılda atılmış ve geçtiğimiz yüzyıl boyunca pratik deneyler gerçekleştirilmiştir. Volkanik müdahale yöntemleri arasında kraterleri delmek, volkanik gölleri kurutmak, lav akıntılarını yönlendirmek için kanallar oluşturmak, lav

akıntılarını deniz suyu ile soğutmak, lav akıntılarını bombalamak ve karbondioksit ve metan gibi sera gazlarını çıkarmak yer almaktadır (Şekil 87).

ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) 1960'lerden bu yana Hawaii'deki Kilauea yanardağında lav akıntılarını yönlendirmek için lav gölü bölgelerinde sondaj çalışmaları yürütmektedir. Benzer girişimler Japonya, İzlanda ve İtalya'da da uygulanmıştır. Örneğin, Japonya magmatik odalardaki basıncı azaltmaya yönelik teknolojileri test etmiştir. İzlanda, lavların su topları kullanılarak soğutulduğu Heimaey adasında olduğu gibi lav akışlarını başarılı bir şekilde yeniden yönlendirmiştir. İtalya'da, 1983 yılında Etna Dağı'ndaki lav bariyerlerinin patlayıcılarla imha edilmesi de dahil olmak üzere, lav akışlarını kontrol etmek için erken uyarı sistemleri ve yöntemleri geliştirilmiştir.

Volkanik ve jeotermal faaliyet bölgelerinde derin sondajlara ilişkin uluslararası bilimsel konferanslar ve sempozyumlar, patlamaları önlemek ve küresel sonuçlarını hafifletmek için volkanik jeomühendisliğin potansiyel uygulamalarını genişletmektedir.



Şekil 87.

(a) Halbwachs ve diğerleri (2020) tarafından belgelendiği şekliyle Kamerun'daki Nyos Gölü'nden karbondioksitin gazdan arındırılması.

(b) Endonezya'daki Kelud Dağı'nın krater duvarındaki drenaj tüneli (Küresel Volkanizma Programı, GVP-01120 görüntüsü).

(c) 2009 yılında İzlanda, Krafla'da bir magmatik cebin yardımcı sondajı (GO Friðleifsson/IDDP'nin izniyle).

(d) 1973 yılında İzlanda, Heimaey'de deniz suyu enjeksiyonu ile lav akıntılarının soğutulması, Tristan H. Benediktsson.

Kaynak: Cassidy, M., Sandberg, A., & Mani, L. (2023). Volkan Jeomühendisliğinin Etiği. Earth's Future, 11(10), e2023EF003714.

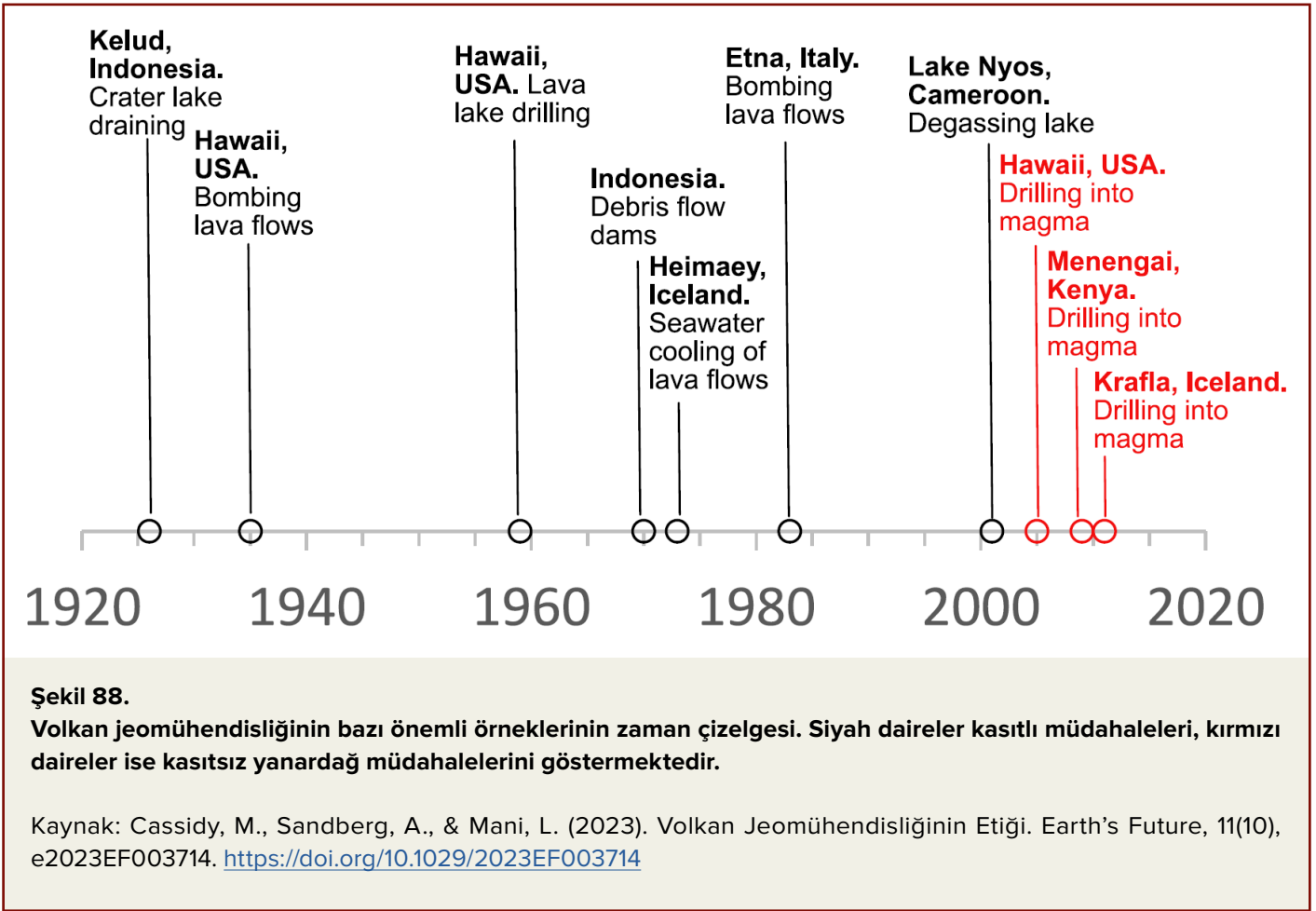
<https://doi.org/10.1029/2023EF003714>

Şekil 88'deki diyagram volkanik jeomühendislikle ilgili en önemli vakaların kronolojisini sunmaktadır. Siyah daireler kasıtlı müdahaleleri temsil ederken, kırmızı daireler volkanik faaliyetler üzerindeki kasıtsız etkileri göstermektedir.

Planlı gaz giderme ve volkanik ve süper volkanik patlama risklerini azaltmaya yönelik

patentli yöntemler de bulunmaktadır.

Örneğin, iki Rus uzman tarafından patenti alınan teknoloji, magma odaları içindeki basıncı düzenlemek için sondaj deliklerinin açılı olarak delinmesi yoluyla kontrolsüz, basamaklı volkanik patlamaların önlenmesini içermektedir. (Şekil 89).





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

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

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.04.2007

(45) Опубликовано: 10.01.2009 Бюл. № 1

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

(72) Автор(ы):

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

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЛАВИНООБРАЗНОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНОВ

(57) Реферат:

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

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

5 0 8 C 1

RU 2 343 508 C 1

Şekil 89.

Patent: Çığ Benzeri Volkanik Patlamayı Önleme Yöntemi.

Bu icat, kontrolsüz, çığ benzeri volkanik patlamaları önlemeye ve inşaatta kullanılmak üzere magmanın kontrollü taşınmasını organize etmeye yönelik yöntemlerle ilgilidir. Yaklaşımın verimliliğini artırır.

İcadın Özeti:

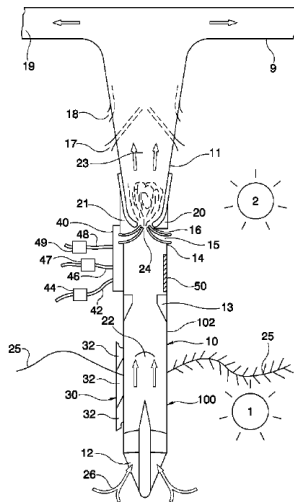
Yöntem, sülfat aktif volkanların altındaki ikincil magmatik odalardaki basıncın yönetilmesini içerir. Bu, ikincil magmatik odanın tabanına eğimli kanallar açılarak gerçekleştirilir. Basıncı artırmak için odaya sıkıştırılmış gaz enjekte edilir ve böylece birincil odadan magma akışı yavaşlatılır. Eş zamanlı olarak, ikincil odada biriken magma çıkarılır ve açılan kanallar aracılığıyla inşaat amacıyla taşınır. Bu süreç, basıncın çığ benzeri bir patlamayı tetikleyebilecek kritik seviyelere ulaşmamasını sağlar.

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

Bir başka teknoloji de Amerikalı bir mucit tarafından geliştirilmiştir. (Şekil 90) Bu teknoloji, potansiyel felaket patlamalarını önlemek için Yellowstone süper volkanının odası gibi volkanik magmatik odalardan magmanın tahliye edilmesine yönelik yöntemlerin ana hatlarını çizmektedir.

Ana fikir, magmayı işlenebileceği ve örneğin enerji üretiminde potansiyel olarak kullanılabilirliği yüzeye yönlendirmek için yapay kanallar (tüpler) oluşturmayı içermektedir.

(12) United States Patent Stratford		(10) Patent No.: US 7,284,931 B2
		(45) Date of Patent: Oct. 23, 2007
(54)	MAGMA EVACUATION SYSTEMS FOR THE PREVENTION OF EXPLOSIONS FROM SUPERVOLCANOES	3,357,505 A * 12/1967 Armstrong et al. 175/16 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
(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.	
FOREIGN PATENT DOCUMENTS		
(21)	Appl. No.: 10/230,549	GB 2362410 11/2001
(22)	Filed: Aug. 29, 2002	JP 070071020 A 3/1995 JP 100076104 A 3/1998 JP 100077952 A 3/1998 JP 100078497 A 3/1998
(65)	Prior Publication Data US 2003/0145592 A1 Aug. 7, 2003	
(30)	Foreign Application Priority Data Feb. 4, 2002 (GB) 0202465.1	* cited by examiner
(51)	Int. Cl. E21B 36/00 (2006.01) E21B 43/24 (2006.01)	<i>Primary Examiner</i> —Tara L Mayo (74) <i>Attorney, Agent, or Firm</i> —Woodard, Emhardt, Moriarty, McNett & Henry LLP
(52)	U.S. Cl. 405/131 ; 405/258.1; 405/303; 166/302; 166/57	(57) ABSTRACT
(58)	Field of Classification Search 405/52, 405/258.1, 130, 131, 303; 165/45; 166/302, 166/304, 57–62	An apparatus controls the evacuation of volcanic magma to prevent explosions. Magma evacuation is through a single evacuation tube that heats the magma flow within the tube to prevent stickiness of the magma in the tube. The heating may use small combustion chambers to heat steam, which in turn heats and stabilizes the magma flow. Stability is aided by central cooling, where needed, using water jets from nozzles located at the wall of the tube.
See application file for complete search history.		
(56)	References Cited U.S. PATENT DOCUMENTS 3,115,194 A * 12/1963 Adams 376/273	25 Claims, 2 Drawing Sheets



Şekil 90.
Patent: Süper Volkanlardan
Kaynaklanan Patlamaların
Önlenmesi için Magma
Tahliye Sistemleri.

Bir aparat patlamaları önlemek için Volkanik magmanın tahliyesini kontrol eder. Magma tahliyesi, magmanın tüp içinde yapışmasını önlemek için tüp içindeki magma akışını ısıtan tek bir tahliye tüpü aracılığıyla yapılır. Isıtma, buharı ısıtmak için Küçük yanma odaları kullanabilir, bu da magma akışını ısıtır ve stabilize eder. Stabilite, gerektiğinde tüpün duvarında bulunan nozullardan su jetleri kullanılarak merkezi soğutma ile desteklenir.

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

Başarılı bir gaz giderme örneği, Nisan 1999'da başlatılan altı yıllık bir girişim olan Japon projesi [“Unzen Scientific Drilling Project”](https://www.icdp-online.org/projects/by-continent/asia/usdp-japan/gallery/) (USDP). Bu proje Unzen Dağı'nın büyüme geçmişini, yeraltı yapısını ve magma çıkış süreçlerini incelemeyi amaçlamaktadır (Şekil 91). İlk aşamada volkanın yamaçlarında iki sondaj kuyusu açılmış ve yapısal bir model oluşturulmuştur. İkinci aşama,

gaz giderme mekanizmasını analiz etmek için 1990-1995 püskürmelerinden magma kanalına sondaj yapmaya odaklanmıştır. Sondaj stratejisi dikey sondajı ve ardından sondaj deliğinin eğimini kademeli olarak artırmayı içeriyordu (Şekil 92).

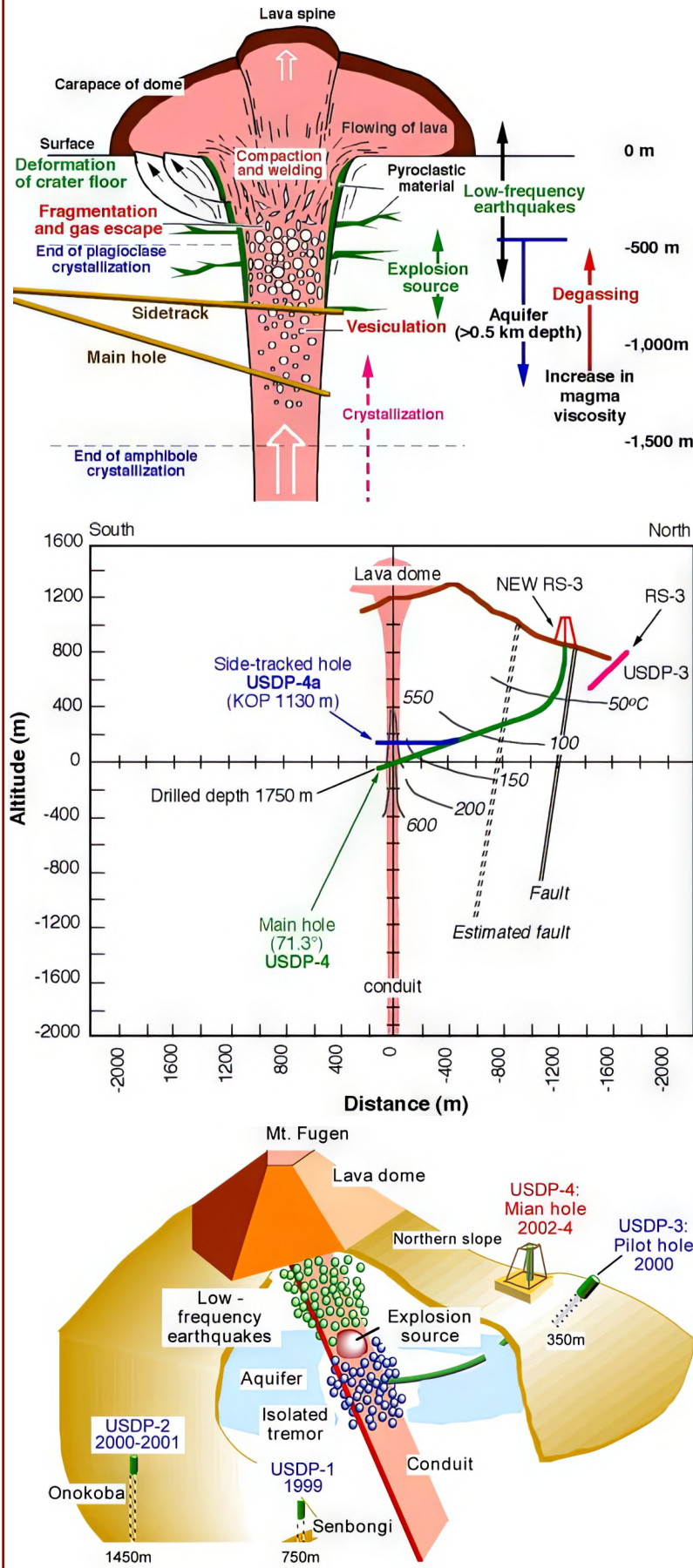


Şekil 91.

1995 yılında Unzen Yanardağı sondaj projesi için kullanılan sondaj ekipmanları.

Kaynak:

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



Şekil 92.

(A)

Unzen'deki lav kubbesinin ve kanalın üst kısmının görüntüsü. Köpüklü magmadan etkili gaz çıkışı, parçalanması ve kanalın üst kısmında tavlama sırasında meydana gelmiştir. Kanal durumu 2003 yılında ana deliğin (USDP-4) delinmesiyle araştırılacak ve 2004 yılında yan deliğin (USDP-4a) delinmesiyle sürekli karotlama yapılacaktır.

Kaynak: USDP projesi. (n.d.). Deprem Araştırma Enstitüsü, Tokyo Üniversitesi. Aralık 31, 2024 tarihinde

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

(B)

Kanal sondajının yörüngeleri. Yeni RS-3 ve RS-3 sırasıyla ana-yan deliklerin ve bir pilot deliğin sondaj sahalarıdır.

Kaynak: USDP projesi. (n.d.). Deprem Araştırma Enstitüsü, Tokyo Üniversitesi. Aralık 31, 2024 tarihinde <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/Yoran2003/sec4-5-eng.htm#:~:text=USD%20consists%20of%20two%20phases%20> adresinden alındı.

(C)

Kanal sondajının üç boyutlu görüntüsü

Kaynak: Volkanik sıvı araştırma merkezi. (n.d.). Unzen Yanardağı'ndaki kanal sisteminin anlaşılması. Deprem Araştırma Enstitüsü, Tokyo Üniversitesi. Aralık 31, 2024 tarihinde <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/VRC/vrc/usdp/conduit.html> adresinden alındı.

Günümüzde insanlık, volkanik sistemlere müdahale etmek için yeterli teknolojik ve mühendislik potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, her planlı gazdan arındırma vakası, kapsamlı veri analizi ve hassas hesaplamalar dahil olmak üzere en üst düzeyde hazırlık gerektirmektedir. O zaman bile riskler devam etmektedir.

Ana hatlarıyla belirtilen yöntemler öncelikle, devasa Sibiry manto gaz sütunu ile karşılaştırıldığında ölçek olarak temelde farklı olan geleneksel volkanlar üzerinde test edilmiştir. Bu gaz sütunu, tek bir süper volkanın gücünü çok aşan bir tehdidi temsil etmektedir. Binlerce Yellowstone kalderası patlamasının enerjisiyle karşılaştırılabilir. Bununla birlikte, bu sorunun ele alınması aciliyet kazanmıştır çünkü bu sorunu

hafifletecek potansiyel yaklaşımlar mevcuttur.

Doğru bir kararlılıkla insanlık, küresel uzmanların birikmiş uzmanlığından yararlanarak Sibiry manto gaz sütununun gazdan arındırılması için bir program geliştirebilir. Böyle bir programın birincil hedefi, ikincil magmatik odalardaki lav ve gaz basıncını azaltarak ve böylece büyük ölçekli kontrolsüz püskürmeleri önleyerek gaz sütununun yükselmesinin sonuçlarını en aza indirmek olacaktır.

Böyle bir programın uygulanması için yakın uluslararası işbirliği ve dünya çapındaki bilim adamları ve mühendislerin ortak çabaları gerekecektir. Bir bütün olarak insanlığın güvenliğini sağlamak için sadece birleşik bir yaklaşım etkili çözümler üretebilir.

Sibiry Gaz Sütununun Planlı Gazdan Arındırılması İçin Bir Program Örneği

Program, birkaç kilit alanın paralel olarak geliştirilmesini içerebilir:

1. Bir İzleme Ağı Oluşturulması

1.1 Bölgedeki sismik ve termal aktiviteyi izlemek için yüksek hassasiyetli sensörler ve uydu gözetim sistemlerinden oluşan bir ağ geliştirilmesi. Bu, ikincil magmatik odacıkların zamanında tespit edilmesini sağlayacaktır.

1.2 Sismik keşif yöntemleri kullanılarak ikincil magmatik odacıkların ayrıntılı haritalamasının yapılması. Her bir ikincil odadaki basınç ve magma hacminin ön değerlendirmeleri çok önemli olacaktır.

1.3 Anomalili bölgelerde bilimsel ve izleme amaçlı sondaj kuyularının açılması ve kritik

verilerin toplanması için basınç, sıcaklık ve sismik aktivite sensörlerinin yerleştirilmesi.

2. Kontrollü Gaz Giderme ve Magmatik Kanal Blokajı Teknolojilerinin Geliştirilmesi

2.1 Güvenli bölgelerde 8 km derinliğe kadar eğimli derin sondaj kuyularının açılması için bir plan geliştirilmesi gerekecektir. Sondaj deliklerinin ikincil magmatik odacıklara doğru bir şekilde ulaşmasını sağlamak için ayrıntılı yörünge hesaplamaları gerekecektir. Yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı sondaj teknolojileri kullanılmalıdır. Bu, sondaj deliği duvarlarını güçlendirmek için ısıya dayanıklı malzemelerin kullanılmasını ve güvenlik ve etkinlik için sondaj delikleri içindeki basınç ve sıcaklığı izlemek için bir izleme sistemi kurulmasını içerir.

2.2 Gazların ve lavların yönünü değiştirmeye yönelik bir süreç dikkatle planlanmalı ve ikincil magmatik odalar içindeki basıncın bir sondaj delikleri sistemi aracılığıyla adım adım yönetilmesini içermelidir. Bu, ani basınç değişikliklerini önlemek için gaz giderme oranının kontrol edilmesini ve gaz basıncını düzenlemek için kompresör sistemlerinin kullanılmasını gerektirir. Zehirli maddelerin atmosfere salınmasını önlemek için filtreleme ve soğutma sistemleri gerekli olacaktır. Lav ve gazların çıkarılması, her bir odadaki basınç dengelenene kadar devam edecektir.

2.3 Daha sonra ikincil magmatik odaların üzerindeki katmanları mühürlemek için belirli sondaj deliklerinde hedefli bir nükleer patlama planı geliştirilmelidir. Bu yaklaşım aşırı magmanın yüzeye ulaşmasını önlemeyi ve kül emisyonlarını en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Norilsk ve çevresindeki yerleşim yerleri risk altında kalabilecek olsa da, kademeli basınç tahliyesi Sibiry'a'nın istikrarını sağlayacak ve kilit nüfuslu bölgeleri koruyacaktır.

2.4 Lavın odacıklardan yönlendirilmesi sürecinde, lavın akışını mümkün olduğunca kontrol etmek için çaba gösterilmelidir. Lavlar özel olarak hazırlanmış kanallar vasıtasıyla Kuzey Kutbu denizlerine doğru yönlendirilmelidir. Ayrıca, magmanın yapay adalar oluşturmak veya

kıyı şeritlerini güçlendirmek gibi inşaat amaçları için kullanılması için bir program geliştirilmelidir.

3. Nüfusun Tahliyesi:

Öngörülemeyen acil durumlar için tahliye planlarının geliştirilmesinin yanı sıra bir erken uyarı sistemi uygulanmalıdır. Ayrıca, insanların yüksek riskli bölgelerden güvenli bir şekilde tahliyesi için yapılandırılmış bir plan gerekecektir. Bu plan, uzun vadeli yer değiştirme olasılığını göz önünde bulundurarak tahliye edilenlerin uyum sağlamasına ve sosyal olarak desteklenmesine yönelik tedbirleri içermelidir.

4. Altyapının Korunması:

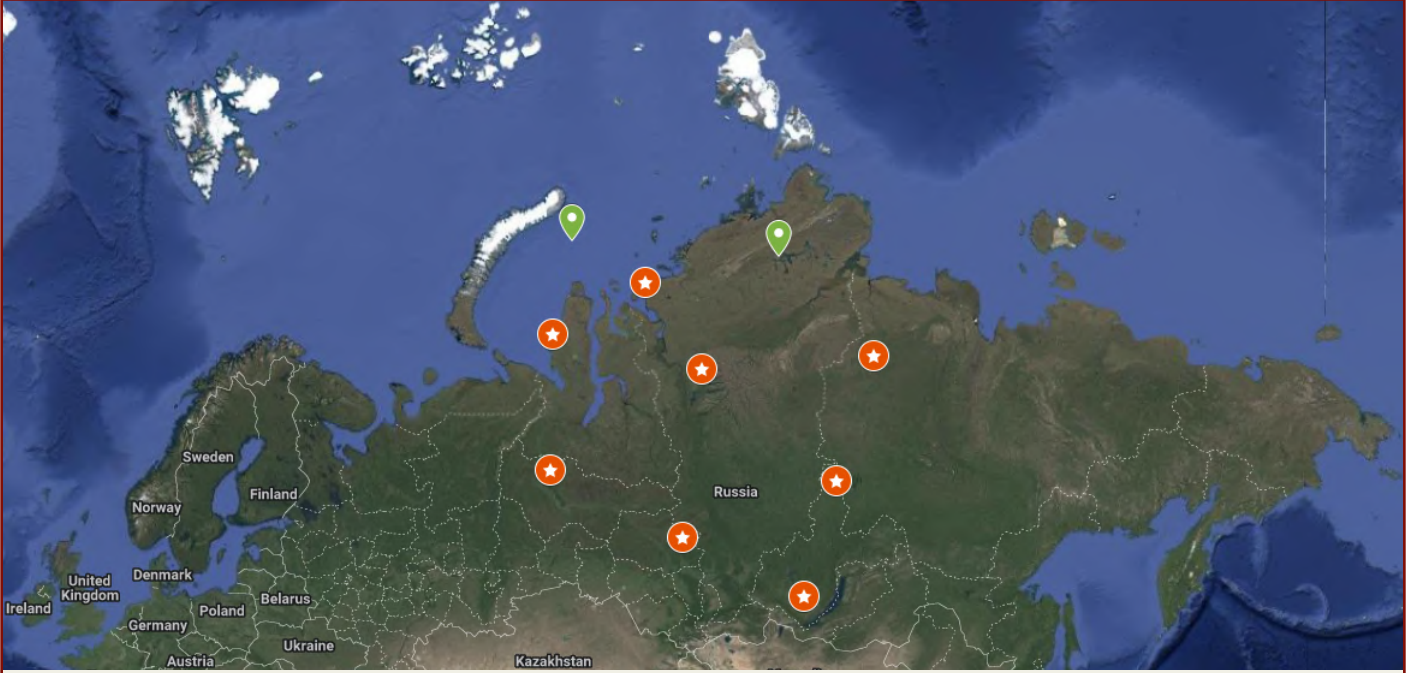
Stratejik tesislerin lav suları altında kalma riski olan bölgelerden korunması ve tahliyesi için planlar geliştirilmelidir. Bu, petrol, gaz, demir dışı ve değerli metaller, cevherler, gübreler, gıda malzemeleri, su ve tıbbi malzemeler gibi bölgenin kritik kaynaklarının tahliyesi için güvenli bölgelerde güvenli depolama tesislerinin kurulmasını içerir.

Modern Sibirya Manto Gaz Sütununun Dinamiklerini İzlemek için Araştırma Sondaj Kuyularının Yerlerinin Seçilmesinin Gerekçesi

Gaz Sütununun yükselme hızını ve yönünü, başının yayılmasını ve yerkabuğundaki çatlaklardan nüfuz etmesini anlamamanın birincil adımı, jeotermal ve jeofiziksel parametreleri derinlemesine izlemektir. Bu da yeni sondaj kuyularının açılmasını ve bu sondaj kuyuları içerisinde sıcaklık, basınç, gaz bileşimi,

yoğunlaşmış magmatik süreçlerin işaretleri, sismik gürültü ve diğer parametrelerin düzenli olarak ölçülmesini gerektirmektedir.

Araştırma sondaj kuyularının açılması için on lokasyon önerilmiştir (Şekil 93, 94).



Şekil 93.

Araştırma sondaj kuyularının açılması için önerilen 10 sahanın ön konumu

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
ЮB 6	Nakanno village in Katangsky District, Irkutsk Region	62.89873	108.45027	Eastern Siberia
B 7	Zhilinda village in Olenyoksky District, Yakutia	70.1528916	113.9261131	Eastern Siberia
C3 8	Dikson settlement in Taymyrsky Dolgano-Nenetsky District, Krasnoyarskiy Krai	73.50246	80.5498	Taymyr Peninsula
CB 9	Lead-zinc deposit to the northwest of Lake Taymyr, Taymyr Peninsula	74.52147	100.02184	Eastern Siberia
C3 10	Rogozinskaya-1 site, Kara Sea	75.16298	69.74128	Western Arctic Platform

Şekil 94.

Sibirya manto gaz sütununun ilerleyişini izlemek için önerilen 10 araştırma sondajı tablosu . Sondaj kuyusu adı, koordinatları, yakındaki yerleşim yeri veya altyapı ve jeolojik kesit yapısı dahil.

Bu sondaj kuyularının yerleri için seçim kriterleri aşağıdaki prensiplere dayanmaktadır:

1. Sondaj kuyusu konumları, gaz sütunu başının yükselmesi ve yayılması ile ilişkili termal ve jeodinamik anomalilerin maksimum kesişimine göre seçilmiştir. Bu prensibe dayanarak, bir sondaj kuyusu önerilen gaz sütunu başı yükselmesinin merkezi bölgesine yerleştirildi, yedi sondaj kuyusu beklenen magma akışının çevresi boyunca belirlendi, bir başka sondaj kuyusu Baykal Gölü yakınlarında, Doğu Sibiry Kratonu'nun altındaki aktif magma ilerlemesi yönünde konumlandırıldı ve bir tane daha Kara Deniz yakınlarında, Kuzey Kutup sahanlığının okyanus kabuğunun altındaki gaz sütununun ilerlemesini izlemek için planlandı.

2. Sondaj deliği yerleşimi, sismik sensör verilerinin işlendikten sonra en net 3D görüntülemeyi sağlayacağından emin olunarak sonraki sismotomografik çalışmalar için optimize edilmiştir. Başka bir deyişle, sondaj kuyuları içindeki sismik sensör ızgarası, yeraltı sismotomografisi için en uygun şekilde konumlandırılacak şekilde tasarlanmıştır.

3. Sondaj kuyusu konumları, sondaj için ekipman teslimatının ve erişim yollarının fizibilitesini (ulaşım uygunluğu) dikkate almıştır. Kuzey Batı ve Doğu Sibiry'daki zorlu arazi koşulları, bataklık araziler, az sayıda yol ve aşırı iklim koşulları nedeniyle, sondaj yeri seçimi bilimsel araştırmalar için yollar, yerleşim yerleri ve aktif sondaj platformları gibi mevcut altyapıya yakınlığa dayanıyordu. İki nokta Gazprom ve Rosneft tarafından işletilen mevcut petrol sahaları üzerinde seçilirken, diğerleri petrol, gaz ve diğer maden sahalarının yakınında yer aldı. Belirtilen koordinatlarda sondaj yapmanın imkansız olduğu kanıtlanırsa, sondaj deliği konumlarının herhangi bir yönde 10-20 km ayarlanabileceği unutulmamalıdır.

Sondaj Kuyuları için Önerilen Araştırma Yöntemleri :

Manto gaz sütununun kapsamlı bir şekilde izlenmesi ve incelenmesi için, araştırma sondajlarından aşağıdaki parametreler toplanmalıdır:

- 1. Sıcaklık izleme:** Bu, termal anomalileri analiz etmek için çeşitli derinliklerdeki sıcaklıkların ölçülmesini içerir.
- 2. Basınç:** Hidrodinamik koşulları değerlendirmek için tabakalar içindeki basınç seviyelerinin belirlenmesi.
- 3. Gaz örnekleme:** Bileşimlerini ve magmatik aktivitenin bunlar üzerindeki potansiyel etkisini incelemek için derin tabakalardan gaz örnekleri toplanması.
- 4. Sismik araştırma:** Sismik aktiviteyi kaydetmek için hem standart hem de geniş menzilli sismik sensörlerin kurulması ve bu sayede Dünya'nın kabuğunun ve mantosunun ayrıntılı bir sismotomografisinin oluşturulması ve magmanın durumunun sürekli olarak izlenmesi.
- 5. Oluşum sıvısı bileşimi:** Potansiyel termal veya magmatik katkıları belirlemek için oluşum sıvılarının bileşiminin analiz edilmesi.
- 6. Jeomekanik çalışmalar:** Gaz sütununun intrüzyonu nedeniyle deformasyona uğrayan litosferin stresli durumunu analiz etmek için kayalardaki stres ölçümlerinin yapılması.
- 7. Elektromanyetik yöntemler:** Magma'nın içeri girmesiyle ilişkili ortamın elektriksel özelliklerindeki değişiklikleri kaydetmek için elektromanyetik araştırmaların yürütülmesi.

Toplanan veriler, manto gaz sütunu dinamiklerinin kapsamlı bir modelini geliştirmek ve Sibiry'daki jeolojik süreçler üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir temel oluşturacaktır.

Planlı Gaz Giderme Sırasında Magmatik Kanalların Delinmesi ve Tıkanmasının Özellikleri

Planlı gazdan arındırma sırasında sondaj delikleri açmanın birincil amacı, gaz sütununun ikincil magmatik rezervuarlarındaki basıncı azaltmak, magma patlamalarını önlemek ve kontrollü bir gaz ve lav salınımı sağlamaktır.

İlk aşamada, sondaj insan operatörlerle gerçekleştirilecektir, çünkü sığ derinliklerde süreç, personel için minimum risk taşıyan standart teknolojik görevleri içermektedir. Süreci kontrol etmek ve normdan sapmalara anında müdahale etmek için sıcaklık ve basınç izleme sistemleriyle donatılmış geleneksel sondaj kuleleri kullanılacaktır.

Sondaj kritik derinliklere yaklaştıkça ve magmatik sistemin aktif bölgelerine yaklaştıkça, personel için risk önemli ölçüde artar. Bu aşamada operasyonların tamamen otomasyona geçmesi gerekir. Otomatik kontrol sistemlerine sahip özel sondaj makineleri kullanılacaktır. Sondaj süreci, gerçek zamanlı verileri analiz eden ve ekipman eylemlerini buna göre ayarlayan bir yazılım kullanılarak uzaktan yönetilecektir.

Operatörler, izleme hassasiyetini artırmak için sanal gerçeklik teknolojilerinden yararlanacak ve tehlikeli bölgelerde fiziksel varlık olmadan ayrıntılı ekipman kontrolü sağlayacaktır. Bu yaklaşım, yüksek basınçlı gaz deşarjları veya şok dalgalarından kaynaklanan ekipman arızalarından kaynaklanan kaza olasılığını en aza indirir.

Dronlar ve robotlar sondaj kompleksini ve çevresindeki ortamı izleyecektir. Kameralar, termal görüntüleme ve sensörlerle donatılmış dronlar gaz sızıntılarını, termal anomalileri ve sismik aktiviteyi tespit edecek. Doğrudan sondaj bölgesinde çalışan robotlar sıcaklık,

basınç ve ortamın kimyasal bileşimi hakkında veri toplayacak ve bu bilgileri otomatik kontrol merkezlerine iletecektir. Bu teknolojiler yüksek riskli alanlarda insan varlığını en aza indirerek yüksek düzeyde hassasiyet ve güvenlik sağlamaktadır.

Sondajın tamamlanmasının ardından, bir sonraki aşama kontrollü gazdan arındırmayı içerir - basıncı kademeli olarak serbest bırakır ve büyük hacimlerde lavı dışarı atar. Son aşamalarda, magma ve gaz hacimlerinde önemli bir azalmanın ardından, magma çıkış yollarını kapatmak için kontrollü bir patlama gerekli olabilir. Önerilen bir yöntem, sondaj deliğinde yönlendirilmiş bir nükleer patlamayı içerir. Bu yaklaşımın amacı tektonik stresi azaltmak ve magmatik kanalları bloke eden kararlı yapısal bariyerler oluşturmaktır.

Bu yaklaşım, yüksek stresli bölgelerdeki kayaların parçalanmasını, ardından termal enerjinin etkisi altında kaynaşmalarını ve soğumalarını içerir. Bu süreç, magmanın yüzeye erişimini tamamen veya kısmen engelleyebilen yekpare bir bariyer oluşumunu teşvik eder. Termodinamik etki ayrıca tektonik stresi hafifleterek gelecekteki patlamaların olasılığını azaltabilir.

Nükleer patlamaların uygulanması, litostatik basınç, kaya sertliği ve yoğunluğu ile magmatik eriyiğin özelliklerinin değerlendirilmesi de dahil olmak üzere hassas hesaplamalar gerektirir. Yöntemin etkinliğini en üst düzeye çıkarmak ve potansiyel riskleri en aza indirmek için bu faktörler dikkatle değerlendirilmelidir.

Planlı Gaz Giderme Sırasında Sondaj Kuyularının Açılması için En Uygun Zamanın Seçilmesi

Şu anda uzmanlarımız, planlanan gazdan arındırma işleminin bir parçası olarak sondaj operasyonlarının yürütülmesi için en uygun zaman dilimlerini incelemeye odaklanmış durumdadır. Kesin sonuçlara varmak için henüz çok erken olsa da, ön hesaplamalar gazdan arındırma işlemine başlamak için en uygun zamanın doğru bir şekilde seçilebilme potansiyeline işaret etmektedir. Bulgular, zamanlamanın doğru belirlenmesiyle komplikasyon riskinin birkaç kat azaltılabileceğini göstermektedir.

Sondaj süreci, kayaların mukavemet ve kırılma gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra gök mekaniğiyle bağlantılı zamansal parametreleri de hesaba katmalıdır. Hesaplamalar, Dünya'nın

ekliptik boyunca konumunu, Ay'ın evresini, Jüpiter gibi büyük gezegenlerin hizalanmasını ve mevcut güneş aktivitesi seviyesini analiz etmeye dayanmalıdır. Ayrıca, sondaj bölgesindeki derin odaklı depremlerin izlenmesi çok önemlidir, çünkü bu tür olaylar yerel sismik aktiviteyi önemli ölçüde artırabilir.

Şu anda, süreci yöneten mekanizma ve temel kalıplar hakkında genel bir anlayış oluşturduk, ancak bu bulgular kapsamlı doğrulama gerektiriyor. Sonuçlar bilimsel ekibimiz tarafından titizlikle yeniden incelenmeli ve diğer uzmanlar tarafından geliştirilen araştırma ve modeller aracılığıyla bağımsız olarak doğrulanmalıdır.

Sibirya Gaz Sütununun Planlanan Gazdan Arındırılmasının Öngörülen Sonuçları

Sibirya Gaz Sütununun planlanan gazdan arındırma işleminin gerçekleştirilmesi, iki proje aşaması boyunca hesaplanan üç ana senaryo ile sonuçlanabilir: erken ve sonraki aşamalar. Aşağıda her bir senaryonun ayrıntılı bir değerlendirmesi yer almaktadır.

1. Rus Topraklarına En Az Zarar.

Gazdan arındırma ve ikincil magma odalarından fazla lavın salınması süreci uluslararası bir uzman ekip tarafından dikkatle modellenir ve hesaplamalar tüm jeolojik özellikleri hesaba katacak şekilde titizlikle

yapılırsa, gazdan arındırmanın her iki aşaması da kazasız ve sorunsuz bir şekilde ilerleyebilir. Bu senaryoya göre, Rusya topraklarına verilecek zarar en aza indirilecek, ülke yüzölçümünün %5-7'si ya da en fazla %10'u kadar kayıp yaşanacaktır (etkilenen yarıçap yaklaşık 500-600 km). Krasnoyarsk Bölgesi'ndeki büyük şehirler korunabilir ve can kaybı önlenir. Ayrıca, olumlu gelişmeler lavların Arktik denizlerine doğru yön değiştirmesini sağlayabilir ve yeni kıyı arazileri yaratarak Rusya'nın topraklarını potansiyel olarak genişletebilir.

2. Rus Topraklarında Orta Derecede Hasar.

Bu senaryo erken gaz giderme aşamasının başarıyla tamamlandığını varsaymaktadır. Yine de daha sonraki aşamalarda ani bir gaz patlaması veya lav boşalması gibi öngörülemez komplikasyonları öngörmektedir. O zamana kadar bazı gazlar ve lavlar çoktan dışarı atılmış olacak ve genel etkiyi azaltacaktır. Olası sonuçlar arasında İzlanda veya Hawaii Adaları'nda gözlemlenenlere benzer sıvı bazaltik lav akıntıları veya orta şiddette bir patlama yer alabilir. Bu durumda potansiyel toprak kaybı %25-30'a (yaklaşık 4-5 milyon kilometrekare) çıkabilir. Bu durum aktif bölgenin 1.000 km yarıçapındaki şehirleri etkileyecektir. Ancak bu senaryo uygarlık için küresel bir felakete ya da Rusya topraklarında geri dönüşü olmayan bir yıkıma yol açmayacaktır. İnsanlık, ortaya çıkan iklim ve ekolojik zorlukları yönetebilecek kapasitede olacaktır.

3. Rusya ve Dünya için Maksimum Zarar.

Bu senaryo, geç bir girişimin ya da uzmanlar arasındaki yetersiz uzmanlığın önemli komplikasyonlara yol açabileceğini varsayar. Araştırma eksikliği, hesaplama hataları ya da yumuşak veya çatlak kayalarda sondaj yapılması operasyonları sektöre uğratabilir. Magma odalarındaki basıncın en yüksek olduğu erken gaz giderme aşamasında komplikasyonlar ortaya çıkarsa, iki felaket sonucundan biri meydana gelebilir: tüm Sibiry Gaz Sütunu sisteminin ani bir patlaması veya Sibiry Kapanlarının oluşumuna benzer şekilde yavaş ama kapsamlı lav akıntıları.

Potansiyel risklere rağmen, böyle bir sonucun ortaya çıkma olasılığı son derece düşüktür, çünkü böylesine karmaşık bir projenin uygun uluslararası hazırlık olmadan uygulanmasını öngörmek zordur.

İyimser ve en olası sonuç, Rusya topraklarının yalnızca %5-7'sinin en az hasarla kaybedilmesidir. Daha sonraki aşamalarda komplikasyonların ortaya çıkması durumunda bile kayıplar %25-30'a çıkabilir ki bu da eylemsizliğin sonuçlarından çok daha olumludur. Planlı gazdan arındırma sırasında Rusya ya da dünya için daha ciddi bir yıkım riski ihmal edilebilir düzeydedir.

Planlı gazdan arındırmanın uygulanması Rusya'ya küresel jeodinamik risklerin yönetiminde liderlik etmesi için eşsiz bir fırsat sunacak ve uluslararası bir bilimsel ve teknolojik lider olarak konumunu güçlendirecektir. Projenin başarıyla yürütülmesi, ülkenin gezegen ölçeğindeki zorlukları ele alma kapasitesini gösterecek ve doğal felaketleri önlemek için küresel işbirliğini teşvik edecektir. Bu girişim sadece Rusya'nın iç siyasi ve sosyal ortamını istikrara kavuşturmakla kalmayacak, aynı zamanda küresel sorunlarla mücadelede uluslararası işbirliğini de güçlendirecektir.

Sibiry gaz sütununun kontrollü gazdan arındırılması sadece yerel bölgeyi değil, Yellowstone ve dünya çapındaki stratovulkanlar gibi diğer volkanik sistemleri de etkileyebilir. Magmatik rezervuarlar ve bunların dinamikleri, birleşik bir jeomekanik sistem olarak işleyen, birbirine bağlı tek bir küresel ağ oluşturur. Bir bölümdeki kontrollü basınç tahliyesi, magmatik rezervuarlar boyunca stresi azaltarak zincirleme reaksiyonları ve patlamaları önleyebilir. Bu bir araba lastiğinin havasının indirilmesine benzetilebilir: bir bölgedeki basıncın azaltılması yükü yeniden dağıtır ve kritik stresli noktalarda yırtılmayı önler. Gazdan arındırmaya benzer bir yaklaşım, magmatik sistemleri küresel ölçekte stabilize edebilir.

Dolayısıyla, planlı ve kontrollü bir gazdan arındırma operasyonunun gerçekleştirilmesi, hem Rusya hem de tüm dünya için felaketi önlemek adına insanlığın tek geçerli şansı olmaya devam etmektedir. Bu senaryo, küresel bir felaketten kaçınmak için bir yol sunarken, insanlığın daha fazla çözüm geliştirmesi için zaman kazandırmaktadır.

Ancak, büyük umut vaat etmesine rağmen, en iyimser senaryonun bile başarılı

bir şekilde gerçekleştirilmesi muazzam bir zorluk oluşturmaktadır. Gecikmeler felaketle sonuçlanabilecek olayların olasılığını arttırdığından, derhal harekete geçilmesi şarttır. Şaşırtıcı bir şekilde, böyle bir proje, altyapı hasarı ve stratejik kaynaklar üzerindeki kontrolün azalması gibi potansiyel riskler nedeniyle Rusya içinde muhalefetle karşılaşabilir.



Sonuçlar

Sibiry gaz sütunu, en büyük süper volkanların bin felaket boyutundaki patlamasıyla kıyaslanabilecek ölçekte küresel bir jeodinamik tehdidi temsil etmektedir. Kontrolsüz bir patlama, buzul çağının başlaması, ekosistemlerin yok olması, altyapının çökmesi ve insanlığın yok olması gibi gezegen ölçeğinde sonuçlara yol açabilir. Bu riskler, Sibiry gaz sütununun magmatik sisteminin planlı gazdan arındırılması gibi önleyici tedbirlerin uygulanmasını gerektirmektedir.

Eylemsizlik, sonuçları sadece Rusya için değil tüm gezegen için felaket olacak spontane, kontrolsüz patlamalar tehdidi oluşturmaktadır. Magma odalarındaki basıncın kontrollü bir şekilde azaltılması, en kötü senaryoların önlenmesine yardımcı olabilir ve insanlığa uzun vadeli çözümler geliştirmek için kritik derecede ihtiyaç duyulan zamanı sağlayabilir.

Buna ek olarak, atmosferik su jeneratörü teknolojisinin Sibiry gaz sütununun gazdan arındırılmasıyla birlikte günlük kullanıma entegre edilmesi, ekolojik dengenin yeniden sağlanması için yeni fırsatlar yaratabilir. Bu sayede okyanuslardaki plastikler temizlenebilir, su döngüsü güçlendirilebilir ve gezegenin termal dengesi yeniden tesis edilebilir. Bu tür önlemlerin kapsamlı bir şekilde benimsenmesi

iklimi istikrara kavuşturabilir ve insanlığın geleceğini garanti altına alabilir. 12.000 yıllık döngü boyunca yaşanan felaketlerden sorumlu olan dış kozmik etkilerin ele alınması için zaman kazanılabilir.

Bu hedefler, kapsamlı çözümler geliştirmek ve uygulamak için kuantum fizikçileri de dahil olmak üzere çeşitli disiplinlerden bilim insanları arasında acil uluslararası işbirliği gerektirmektedir. Ancak jeopolitik ve askeri çatışmalar bu işbirliğini engellemektedir. Bu nedenle, küresel bir savaş moratoryumu ve askeri kaynakların afet azaltma ve insani yardım çabalarına yönlendirilmesi zorunludur. İnsanlığın gerekli adımları atabilmesi için nispeten istikrarlı koşullarda sadece 4-6 yılı var.

Açık işbirliğine yönelik koşullar oluşturulduğu takdirde, bilim insanları sıfırdan başlamayacaktır, çünkü bu alandaki mevcut araştırmalar ve nedensel ilişkilerin anlaşılması zaten bir temel oluşturmaktadır. İnsanlığın küresel birliğe ve bilimsel işbirliğine öncelik verememesi, Dünya'daki yaşam için geri dönüşü olmayan sonuçlara yol açacaktır.

Ek 1

Sismik aktiviteyi analiz etme metodolojisi, Uluslararası Sismoloji Merkezi'nden (ISC) verilerin indirilmesini ve işlenmesini içermektedir. Veri seti çeşitli ülkelerden ve araştırma kurumlarından katkılarının yanı sıra farklı büyüklük ölçekleri (Mw, Ms, Mb, ML, MD, vb.) içerdiğinden, birden fazla kaynaktan en uygun büyüklük türünü seçmek için özel bir veri işleme algoritması uygulanmıştır. İki farklı yaklaşım kullanılmıştır:

1. Metinde **Özel Medyan Büyüklük Algoritması** olarak adlandırılan bu yöntem, tercih edilen bir büyüklük tahmininin seçilmesini ve bir olayın yalnızca tercih edilen tahminin gerekli büyüklük aralığına girmesi halinde veri setine dahil edilmesini içerir. Seçim süreci, tercih sırasına göre büyüklük türlerinin bir hiyerarşisini takip eder: Mw, ML, MS, Mb, MD, MV.

Belirli bir olay için tercih edilen büyüklük türünün birden fazla değeri mevcutsa, olay için bu türün mevcut tüm tahminlerinden medyan hesaplanır.

Belirli bir olay için tercih edilen türlerden hiçbir tahmin mevcut değilse (bu nadirdir, tüm veritabanındaki olayların yalnızca yüzde birkaçını oluşturur), o olay için tüm büyüklük türlerinden hesaplanan medyanla eşleşen bir değere sahip herhangi bir büyüklük tahmini seçilir.

2. Metinde **Maksimum Büyüklük Algoritması** olarak anılan bu yöntem, verilen olay için mevcut tüm büyüklük tahminleri arasından en yüksek değere sahip büyüklük tahminini seçer.

İlk algoritma genellikle rapor edilen en yüksek tahmine kıyasla büyüklük değerlerinde hafif bir azalma ile sonuçlanır. Ancak deneyimler, Medyan Büyüklük Algoritmasının Gutenberg-Richter yasasının ve diğer sismik modellerin güvenilir bir temsilini sağladığını ve Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) ve Sismoloji Araştırma Kurumları (IRIS) gibi diğer sismolojik veri tabanlarından gelen verilerle iyi bir uyum sağladığını göstermiştir.

İkinci algoritma, seçilen bir eşiği aşan bir büyüklüğe sahip herhangi bir araştırma kurumu tarafından kaydedilen depremlerin sayısının değerlendirilmesine olanak tanır. Bu yaklaşım, belirli bir büyüklük aralığındaki depremlerin sıklığındaki eğilimlerin belirlenmesine yardımcı olur.

“Sibirya Magmatik Gaz Sütunu Aktivitesi Nedeniyle Plaka Destabilizasyonunun Bir Göstergesi Olarak Sismik Aktivitedeki Artış **“bölümünde sunulan tüm grafikler** ilk algoritma olan Özel Medyan Büyüklük Algoritması kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 44-75).

Büyükölük seçildikten sonra veriler, patlamalar, şüpheli patlamalar ve kaya patlamaları gibi madencilik faaliyetleriyle ilgili insan faaliyetlerinin neden olduğu olayları hariç tutmak için ISC veri tabanındaki olay türüne göre filtrelenmiştir. Aşağıdaki olay türleri hariç tutulmuştur:

km = bilinen mayın patlaması

sm = şüpheli mayın patlaması

kh = bilinen kimyasal patlama (Standart IMS değil)

sh = kimyasal patlama şüphesi (Standart IMS değil)

kx = bilinen deneysel patlama

sx = şüpheli deneysel patlama

kn = bilinen nükleer patlama

sn = şüpheli nükleer patlama

Ek olarak, Rusya çok sayıda maden işletmesine sahip olduğundan, ISC veri tabanı Ocak 2025 itibariyle Rusya Bilimler Akademisi Birleşik Jeofizik Servisi'nden alınan verilerle çapraz referanslanmıştır. Bu veri seti, Rusya topraklarında bilinen tüm patlamaları ve kaya patlamalarını içermektedir. Nihai veri setinde patlamayla ilgili hiçbir olayın kalmamasını sağlamak için bu olaylar da hariç tutulmuştur.

Referanslar

- 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 $M_w=7.5$, $I_0 \sim 7$: Previous seismicity and aftershock sequence. *Earthquakes in Northern Eurasia*, 24(2015), 324-339. <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.31>
- Nikiforova, M.P., 2017. Extremely low total ozone values over the northern Ural and Siberia in the end of January 2016. *AOO*. Available at: doi:10.15372/AOO20170102
- Ostle, C., Thompson, R. C., Broughton, D., Gregory, L., Wootton, M., & Johns, D. G. (2019). The rise in ocean plastics evidenced from a 60-year time series. *Nature Communications*, 10(1622). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09506-1>
- Popykina, A., Ilin, N., Shatalina, M., Price, C., Sarafanov, F., Terentev, A., & Kurkin, A. (2024). Thunderstorms near the North Pole. *Atmosphere*, 15(3), 310. <https://doi.org/10.3390/atmos15030310>
- Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment*, 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- Roger L. Larson, Peter Olson, Mantle plumes control magnetic reversal frequency, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 107, Issues 3–4, 1991, Pages 437-447, ISSN 0012-821X, [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90091-U](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90091-U)
- Romagnoli, C., Zerbini, S., Lago, L., Richter, B., Simon, D., Domenichini, F., Elmi, C., & Ghirotti, M. (2003). Influence of soil consolidation and thermal expansion effects on height and gravity variations. *Journal of Geodynamics*, 35(4-5), 521-539. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(03\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(03)00012-7)
- Roshydromet. (2022). Report on climate features in the Russian Federation for 2021. Moscow: Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.
- Roshydromet. (2024). Report on climate features in the Russian Federation for 2023. Moscow: Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.
- Samenow, J. (2019, August 12). Lightning struck near the North Pole 48 times on Saturday, as rapid Arctic warming continues. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/weather/2019/08/12/lightning-struck-within-miles-north-pole-saturday-rapid-arctic-warming-continues/>
- Sawyer, D. E., Urgeles, R., & Lo Iacono, C. (2023). 50,000 yr of recurrent volcanoclastic megabed deposition in the Marsili Basin, Tyrrhenian Sea. *Geology*, 51(11), 1001-1006. <https://doi.org/10.1130/G51198.1>
- Sherstyukov, B. G. (2023). Global warming and its possible causes. *Journal of Hydrometeorology and Ecology*, 70, 7-37. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-70-7-37>
- Smirnov, S. Z., et al. (2021). High explosivity of the June 21, 2019 eruption of Raikoke volcano (Central Kuril Islands): Mineralogical and petrological constraints on the pyroclastic materials. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 418, 107346. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107346>
- Smolkov, G. Ya. (2018). Exposure of the solar system and the earth to external influences. *Physics & Astronomy International Journal*, 2(4), 310-321. <https://doi.org/10.15406/paij.2018.02.00104>
- Smolkov, G. Y. (2020). Heliogeophysical research. *Heliogeophysical Research*, 25, 14-29. <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=569>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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