



PIOTR WOJCIECH
KOTLARZ

KATAKLIZMY,
KTÓRE ZMIENIAŁY
OBRAZ ZIEMI

GDAŃSK 2024

© **Piotr Wojciech Kotlarz**

Wydawca: Fundacja Kultury Wobec

Projekt okładki i opracowanie techniczne: Natalia Miller

Na okładce wykorzystano zdjęcie - Widok z lotu ptaka na krater Barringer w Arizonie. Z Wikimedia Commons, repozytorium wolnych mediów.

ISBN - 978-83-972116-3-6

Wydanie drugie, uzupełnione, poszerzone i poprawione.



Gdańsk 2024

Wprowadzenie do drugiego wydania

Pierwsze wydanie tej książki ukazało się w 2019 roku, niespełna pięć lat temu. To czas z jednej strony dość niedługi, z drugiej jednak, zwłaszcza biorąc pod uwagę niesłychane obecnie przyśpieszenie nauki, wręcz przeciwnie. To właśnie z tego powodu (przyśpieszenia tempa odkryć i badań naukowych) pisząc tę książkę w latach 2016-2019, już wówczas zdawałem sobie sprawę z tego, że po kilku latach wymagać będzie ona uzupełnienia, że prezentowana w niej wiedza ulegnie weryfikacji, wiedziałem też, że z czasem pojawią się nowe hipotezy badawcze. Moje ówczesne przekonanie było oczywiste, nawet w trakcie ostatnich korekt i adiustacji poprzedniego wydania znajdowałem niemal z dnia na dzień artykuły mówiące o kolejnych odkryciach. Śledząc przy okazji rozwój nauki w dziedzinach, których dotyczy ta książka, zdałem sobie również sprawę z tego, że i kolejne jej wydania nie wyczerpią zagadnienia. Nasza wiedza, świadomość, będzie się wciąż rozwijać, będzie się też w miarę kolejnych odkryć zmieniać. Proces ten będzie trwał tak długo, jak długo istnieć będzie Człowiek i świat. Nasza wiedza i świadomość będzie się wciąż zmieniać również tego powodu, że i my wciąż się zmieniamy.

Wśród ważniejszych zmian w obecnym wydaniu są informacje oraz szacunkowe mapy odnoszące się do etapów powstawania i przesuwania się kontynentów od czasu powstania pierwszych z nich. Zapewne wpływały na nie upadki asteroid, ale też i wulkanizm oraz związane z nimi zmiany klimatyczne. Na przykład od czasu powstania oceanów okresy zlodowaceń. Topnienie lodowców powodowało wzrost masy wody w oceanach i ich nacisk na płyty tektoniczne, powodując ruch płyt tektonicznych i związane z nim trzęsienia ziemi i wulkanizm. Przeglądając zamieszczone mapy przesunięć kratonów i kontynentów warto pamiętać, że poszczególne wizualizacje dzieli setki milionów, czasami nawet miliardy lat. Trudno dziś określić w jakim tempie dochodziło do tych zmian, zapewne też było ono nierównomierne.

Przygotowując obecne wydanie postanowiłem, że nie zmienię początkowego układu, a przede wszystkim kwestii rozłożenia akcentów. Zachowuję porządek chronologiczny, wciąż też jako jedno z ważniejszych zagadnień pozostawiam kwestie klimatyczne. To one skłoniły mnie do zainteresowania się pozostałymi zagadnieniami, które tu poruszam, one też pozostają w kręgu moich obecnych zainteresowań.

Wiele z przedstawianych w tej książce teorii - tak jak i w poprzednim wydaniu - to wciąż tylko hipotezy. Postęp, skala odkryć naukowych jest ogromna, ale świat wciąż skrywa i będzie skrywać jeszcze bardzo długo wiele tajemnic. Tym bardziej jednak powinniśmy zadawać pytania, szukać odpowiedzi. Może do kolejnych pytań, a nawet hipotez zainspiruje niektórych i ta książka.

Wstęp

Nasza wiedza zmienia się nieustannie, wciąż pozyskujemy nowe informacje, wciąż też tworzymy na ich bazie kolejne hipotezy. Proces ten trwa od chwili, gdy człowiek postawił pierwsze pytania i trwać będzie tak długo, jak długo będziemy istnieć. Zawsze też w naszym poznaniu będziemy ocierać się o błędy. Może dziś brzmi to jak banał, ale powinniśmy o tym pamiętać. Kiedyś zakładano, że to Słońce krąży wokół Ziemi. Wprawdzie już dość wcześniej pojawił się również pogląd przeciwny, ale został on udowodniony dopiero przez Kopernika w XVI wieku. Ten wybitny astronom zakładał jednak, że Ziemia krąży wokół Słońca po orbicie kołowej. Później udowodniono, że jej kształt jest eliptyczny, by wreszcie dojść do tego, że to nie Słońce stanowi centrum naszego układu, lecz że jest nim wspólny dla całego układu środek ciężkości. To wokół niego krąży Ziemia, inne planety naszego układu, a także asteroidy i komety. Wokół tego środka ciężkości krąży również Słońce.

Wspomniałem powyżej o Słońcu, gdyż jego istnienie, wytwarzana w trakcie zachodzących w nim procesów energia ma też jakiś wpływ na klimat naszej planety. Jaki wielki jednak, tego nie wiemy. Odpowiedzi na tak postawione pytanie jest bardzo wiele, wszystkie jednak jak dotąd są tylko hipotezami. Mniej lub bardziej prawdopodobnymi. Dziś wiemy, że na klimat naszej planety wpływa bardzo wiele czynników. Moim zdaniem, podstawowym są zmiany zachodzące na Ziemi, wulkanizm, zlodowacenia, ruchy prądów morskich itp., myślę też, że postępuje też proces ochłodzenia, który trwa od miliardów lat (od powstania skorupy naszej planety, która w chwili powstania była w stanie gorącej magmy. Zależy on jednak również od położenia Ziemi w stosunku do Słońca, ale i np. od ruchu komet. Wzajemny układ wszystkich planet, księżyców, asteroid itd. (wszystkich elementów mających jakąkolwiek masę) ma wpływ na odległość Ziemi od Słońca (wspólnego dla naszego układu środka ciężkości). Ta z kolei, wraz ze zmieniającym się wobec Słońca kątem nachylenia osi Ziemi wiąże się z kwestią ocieplenia lub ochłodzenia naszego klimatu (moim zdaniem, hipoteza taka jest dyskusyjna, a w każdym razie niewystarczająca do wyjaśnienia tej zmienności).

W naszym układzie porusza się też wiele asteroid, komet i meteoroidów. Dziś wiemy już o bardzo wielu, które spadły kiedyś na Ziemię; zapewne znacznie więcej spadło na Słońce. Ogony komety to ogromne masy lodu, tlenu i wodoru, paliwa, które ulegało spalaniu w tym ogromnym reaktorze, jakim jest Słońce. Zwiększona aktywność Słońca ma zapewne związek z ociepleniem klimatu. Wpływ Słońca jest ważnym elementem wpływającym na klimat, gdyby jednak nie inne czynniki życie na Ziemi byłoby niemożliwe, temperatura byłaby zbyt... No właśnie, jaka? Nazbyt wysoka, czy nazbyt niska? Gdyby nie efekt cieplarniany temperatura Ziemi wynosiłaby -16°C . Ten jednak istnieje, jaka byłaby w takim razie temperatura Ziemi, gdyby nie inne zanieczyszczenia? Myślę, że znacznie wyższa od obecnej. Kwestie temperatury Ziemi, klimatu, to zagadnienia niezwykle złożone, w mojej pracy poruszam je tylko w niewielkim zakresie.

Ziemię przed nadmiernym promieniowaniem słonecznym chroni atmosfera.

Wiele od niej zależy. Ważna jest jej zawartość. Prawie dwie dekady temu głośno było o tak zwanej „dziurze ozonowej”. Pojawili się nawet naukowcy, którzy dowodzili, że jej przyczyną jest ozon wypuszczany do atmosfery w wyniku wykorzystywania aerozoli. Dziś o „dziurze ozonowej” mało kto pamięta. Na pewno nie zniknęła w wyniku ograniczenia produkcji wspomnianych urządzeń.

Ostatnio wszyscy odczuwamy postępujące ocieplenie, choć w naszym kraju w obecnym roku wiosna jest stosunkowo chłodna¹. Znowu pojawiają się naukowcy, próbujący wykazać związek tego ocieplenia z naszą, ludzką aktywnością. Słusznie, że przywiązujemy tak dużą wagę do naszego środowiska naturalnego, jednak szukanie związków między naszą działalnością, a globalnym klimatem jest, co najmniej, dyskusyjne. Na marginesie, chciałbym dodać, że w wyniku stosowania nowoczesnej technologii, likwidacji wielu hut i innych wielkich zakładów przemysłowych emitujących wielkie ilości pyłów do atmosfery, a także przejściu na ogrzewanie gazowe, geotermiczne i słoneczne, dziś zanieczyszczamy atmosferę w znacznie mniejszym stopniu niż choćby trzydzieści lat temu. Przy okazji chciałbym zauważyć, że np. dwutlenek węgla, który dociera do atmosfery w wyniku naszej, ludzkiej działalności nie dociera do stratosfery. Cięższy od tlenu w wyniku ocieplenia zwiększa swoją objętość i unosi się w górę, jednak ochłodzony ponownie wraca na ziemię w stosunkowo niewielkiej odległości od źródeł jego wytworzenia oraz w stosunkowo krótkim czasie. Nasz wpływ na klimat jest wciąż jeszcze bardzo niewielki, choć – powtarzam – powinniśmy dbać o przyrodę na ile to jest tylko możliwe.

Widzimy, że na klimat naszej planety ma wpływ bardzo wiele zmieniających się czynników, miały one wpływ również w przeszłości, choć dziś nie jesteśmy w stanie rozpoznać, jaki był dokładnie przebieg tych procesów. Jesteśmy wprawdzie w stanie wyliczyć jak w przeszłości przebiegał ruch Ziemi wokół Słońca (wspólnego środka ciężkości), jak zmieniał się w tym czasie kąt nachylenia Ziemi, ale przecież nie sposób obliczyć (dowiedzieć się), w jakim stopniu zmieniała się aktywność Słońca. Z czasem dowiadujemy się o kolejnych kataklizmach spowodowanych uderzeniem w Ziemię planetoid, asteroid, komet lub meteoroidów (wiele z nich odkryto, czasami ich pozostałością są tylko krater, których wiele już zostało rozpoznanych, wiele jednak znajduje się pod wodami oceanów, lub lodami Antarktydy i Arktyki). Czasami udaje nam się z dużym przybliżeniem określić czas, gdy do nich doszło, podobnie potrafimy dziś badając dna oceanów, czy rdzenie lodowców ocenić, kiedy doszło do erupcji wielkich wulkanów. Określenie czasu tych wydarzeń przy pomocy dziś znanych metod jest jednak przy obecnych metodach badawczych bardzo trudne, często nie potrafimy jeszcze – zwłaszcza dla okresów odległych o miliony a nawet „tylko” o dziesiątki czy setki tysięcy lat – wyliczyć dokładnie czasu, kiedy do danych kataklizmów doszło. Nie potrafimy też z całą pewnością stwierdzić, czy między tymi wydarzeniami istniał bezpośredni związek. Odnośnie do zmian klimatycznych, ważne ponadto było miejsce wydarzenia i jego skala. Wpływ na klimat mają przecież również prądy morskie i istniejące lądolody. Wulkan, który emituje do stratosfery ogromne masy zanieczyszczeń i gazów w okolicach

¹ Pisałem to w 2019 r. Od tego czasu temperatury w kolejnych latach ulegały znacznym wahaniom.

największego nasłonecznienia, gdzie dochodzi do nagrzewania się prądów morskich ma zapewne większy wpływ na zmiany klimatyczne, ochłodzenie, niż wulkan do wybuchu, którego doszło np. na Alasce. Podobnie epoka ochłodzenia mogła trwać dłużej, jeśli w poprzednim okresie (kilka, kilkanaście a nawet kilkadziesiąt lat przed wybuchem kolejnego, nawet o mniejszej sile erupcji, wulkanu) doszło do bardzo znacznego ochłodzenia i rozbudowy lodowców, pod którymi zawracają prądy morskie. To tylko niektóre z czynników, które wpływają na klimat Ziemi.

Pisząc o zmianach klimatycznych natrafiamy również na kolejną trudność w ich przedstawianiu, gdyż skala zmian klimatycznych na różnych obszarach była odmienna, z tego powodu nie sposób, moim zdaniem, określić jakiegokolwiek jego cykliczność w skali globalnej. Z opisywanymi w tej książce kataklizmami wiążą się też tzw. „wielkie wymierania” gatunków istniejących na Ziemi. Mając, dzięki rewolucji informacyjnej, którą zawdzięczamy wynalazkowi Internetu, dostęp do aktualnych badań i mogąc dokonać pewnych porównań, zauważyłem, że teorie tzw. „wielkiego wymierania” obarczone są efektem tzw. „spłaszczenia”. Nie wiedząc wcześniej o całej serii kataklizmów wiązaliśmy wymieranie z tym lub innym kataklizmem i ujmowaliśmy je globalnie, często zawężając czas ich występowania. Na szczęście kataklizmy, które dotyczyły Ziemi nie dotyczyły jednocześnie całego globu i dlatego po kilkuset, a nawet po kilku tysiącach lat, nawet na obszary prawie całkowicie pozbawione życia organicznego, te stopniowo wracało. Mogliśmy to prześledzić obserwując np. powrót życia na tereny bezpośrednio zniszczone erupcją wulkanu Krakatau w XIX wieku, czy wcześniej np. powrót życia na tereny Ameryki Północnej w wyniku upadku meteorytu na Grenlandię ok. 12,8 tys. lat temu. Próbuje w mojej pracy porównywać skutki różnych erupcji, ich skalę, pamiętając przy tym, że w odległej przeszłości dochodziło do nich na odmiennych obszarach (innych prakontynentach). To ważne, gdyż miało to niewątpliwy wpływ na rozwój życia na Ziemi, czasy intensywnego rozwoju i regresu przeplatały się, ale nie wszędzie miały taki sam przebieg i nie wszędzie zmiany te zachodziły w tym samym czasie.

Wspomniane kataklizmy mają oczywisty związek nie tylko z klimatem. Asteroidy, komety, które upadały na Ziemię przyniosły z sobą wiele minerałów, do których powstania dochodziło już w pasie asteroid w wyniku ich zderzania, a i uderzenie w Ziemię powodowało zmiany geologiczne (np. przypuszczalnym skutkiem takich upadków było powstawanie diamentów). Wiele skał ma charakter powulkaniczny, w wyniku tych erupcji powstawał np. pumeks, bazalt (nie możemy też wykluczyć i tego, że istniejąca dziś w kalderach wulkanów magma pochodzi z kosmosu, że dotarła na Ziemię już po utworzeniu się jej skorupy). Wielkie kataklizmy były też przyczyną ruchu płyt tektonicznych i w ich konsekwencji orogenezy (powstawania gór).

Właśnie wspomnianym wydarzeniom poświęcona jest ta książka. Jako historyka interesują mnie głównie te kataklizmy, które dotknęły Ziemię od czasu powstania naszego gatunku, czyli od około 2.500.000 lat. Szukając jednak zależności między katastrofami naturalnymi, a klimatem postanowiłem wspomnieć w tej pracy również o znanych nam dzisiaj kataklizmach, do których doszło w okresie wcześniejszym. Zwracam szczególną uwagę na wybuchy

stratowulkanów (superwulkanów) lub takie skumulowanie wybuchów wulkanów o mniejszej skali erupcji w krótkim czasie, które w sposób zdecydowany wpłynęły na zmiany klimatyczne na całym globie. Uważam, że i mniejsze wybuchy wpływały na zmiany klimatyczne, ma na nie wpływ zapewne i nasza, ludzka aktywność, (np. wycinanie lasów, czy nawet i emisja gazów będąca wynikiem naszej aktywności), ale skala tych wpływów jest nieporównywalna i czasami wręcz niedostrzegalna, w każdym razie trudna do uchwycenia przez aparaturę badawczą i ich wpływ na ewolucje naszego gatunku i historię był i jest znacznie mniejszy, wręcz nieporównywalny.

Próbuję też wykazać związek między opisywanymi tu kataklizmami, a zmianami klimatycznymi i ich konsekwencjami w dziejach hominidów od początków paleolitu (plejstocenu), a później również z wydarzeniami w naszej historii. Niektóre z ukazanych w tej książce zdarzeń nie są wciąż jeszcze w pełni udokumentowane. Wiele z przedstawionych tu wzajemnych powiązań między nimi ma ciągle charakter hipotetyczny. Sądzę jednak, że uporządkowanie tej wiedzy pozwoli nam poznać naszą przeszłość, a także przewidywać przyszłość, uświadomi jak niestabilnym środowiskiem jest to, które daje nam Ziemia, jak bardzo powinniśmy je chronić, a także, co zrobić, by skutki przyszłych katastrof były znacznie mniej dotkliwe od tych z przeszłości oraz spróbować takim katastrofom zapobiegać.

Z powodu niedoskonałości dotychczasowych badań oraz dopiero obecnie podejmowanych prób ich usystematyzowania, niestety pierwsze kataklizmy i ich wpływ na nasze losy są znane nam dziś tylko szczątkowo. Więcej możemy powiedzieć o okresie od mniej więcej 80 tysięcy lat temu, ale i tu wiele pozostało do odkrycia. Zdaję sobie sprawę z powstałych w wyniku tego dysproporcji w mojej pracy, mam nadzieję, że kolejne badania pomogą w jej zmniejszeniu. Kolejne gwałtowne ochłodzenia, jaki dotyczyły Ziemi wiążę z konkretnymi kataklizmami. Ukazuję ich skalę i zasięg w oparciu o dotychczasowe badania. Próbuję również ukazać oddziaływanie lokalne wspominanych kataklizmów, ale przede wszystkim interesuje mnie ich wpływ na globalny klimat i konsekwencje historyczne spowodowane tymi kataklizmami i zmianami klimatycznymi.

Dziś, dzięki pracy archeologów, genetyków, wulkanologów i badaczy z wielu innych dziedzin nauki pozyskaliśmy już pewną wiedzę dotyczącą rozwoju naszego gatunku w odległej przeszłości. Często jest ona wprowadzie jeszcze bardzo szacunkowa i niepełna, ale dość wiarygodna i udokumentowana konkretnymi dowodami (złoża pumeksu, pyłów wulkanicznych, kratery, pozostałości meteorytów, szczątki kości, narzędzia, ślady w ziemi, wiele innych artefaktów). Dziś potrafimy już zarysować skalę zasiedlenia Ziemi w konkretnym okresie, (choć to oczywiste, dla epok wcześniejszych bardzo szacunkowo, z dużym przybliżeniem), ukazać poziom rozwoju kultury w tym czasie, a także wykazać, do jakich zmian doszło w tym zakresie wkrótce po zaistniałych w danym czasie katastrofach. Zgoda, często – w wyniku kolejnych odkryć – musimy weryfikować wiele przyjętych już poglądów, ale wiele pozyskanych dotąd informacji jest nie do podważenia. Mogąc odtworzyć obraz sytuacji przed konkretnymi katastrofami, a później pokazać taki bezpośrednio lub w bardzo krótkim okresie po tych katastrofach, możemy pokusić się o

postawienie bardzo wiarygodnej hipotezy o wzajemnym związku między bardzo odległymi w przestrzeni i czasie wydarzeniami. Mnie związki te wydają się bardzo prawdopodobne.

Pierwsze próby wyjaśnienia procesów przyrodniczych podejmowali już filozofowie starożytni. Heraklit z Efezu za przyczynę wszechrzeczy uważał ogień. W pismach Herodota znajdujemy informacje ściśle geologiczne. Arystoteles sądził, że lądy były wielokrotnie zalewane przez morze. Niektórzy uczeni starożytni trafnie wyjaśniali pewne fakty geologiczne: np. grecki filozof Kserowanej z Kolofonu (VI – V w. p.n.e.) wykazał organiczny charakter skamieniałości, a grecki geograf Strabon (I w. p.n.e. – I w. n.e.) stwierdził, że lądy muszą powoli wznosić się i opadać, skoro np. osady morskie z muszlami znajdują się w górach. Pliniusz Starszy w I w. n.e. napisał 37 ksiąg *Historii naturalnej*, która przez wiele wieków była głównym źródłem wiedzy w zakresie nauk o Ziemi (zwłaszcza mineralogii). Wieki średnie były okresem zastoju w europejskich naukach przyrodniczych. Dopiero rozwój górnictwa przyniósł wiele nowych obserwacji z dziedziny geologii. W XVII i XVIII w. wzrosło zainteresowanie wnętrzem naszej planety. Hipotezy dotyczące powstania i budowy Ziemi znajdujemy w dziełach Kartezjusza, Athanasiusa Kirchera czy Georges'a-Louisa Buffona. W tym czasie Abraham Gottlob Werner – niemiecki mineralog i geolog – wykładał na Akademii we Freibergu geologię pod nazwą *geognozji*. Przełom XVIII i XIX wieku był okresem ostrych starć pomiędzy zwolennikami dwóch kierunków w geologii: neptunizmu i plutonizmu. Na przełom XVIII i XIX wieku przypada również aktywność Stanisława Staszica, którego dzieło *O ziemiorództwie Karpatów i innych gór i równin Polski*, wydane w roku 1815, było pierwszym w języku polskim, obszernym opisem budowy geologicznej Polski i krajów ościennych. W XIX wieku uwagę geologów przyciągały problemy posłużenia się szczątkami organicznymi zawartymi w skałach (skamieniałości) przy ustalaniu wieku skał. William Smith wprowadził pojęcie skamieniałości przewodniej i stworzył zasady stratygrafii. Badania skamieniałości pozwoliły Georges'owi Cuvierowi, twórcy paleontologii, sformułować teorię katastrof (w końcu XX wieku teoria ta odżyła pod nazwą neokatastrofizm). Przeciwnikiem teorii Cuviera był Charles Lyell, który rozwinął hipotezę Jamesa Huttona znaną pod nazwą uniformitarianizmu.

Rozwój nowoczesnej geologii datuje się od połowy XX wieku. Eduard Suess, zajmujący się głównie tektoniką, stworzył syntezę wiedzy geologicznej przełomu XIX i XX wieku. Léonce Élie de Beaumont stworzył teorię kontrakcji zgodnie, z którą procesy górotwórcze zachodzące na Ziemi miałyby być związane z jej kurczeniem się. James Dwight Dana był twórcą systematyki minerałów, a także wprowadził do geologii termin geosynklina. Olbrzymie znaczenie miały prace Alfreda Wegenera, którego poglądy leżą u podstaw współczesnej teorii tektoniki płyt litosfery, najpełniej tłumaczącej niemal wszystkie zjawiska rządzące ewolucją skorupy ziemskiej. Dziś jednak wiele z tych teorii ulega weryfikacji. Coraz częściej przyjmuje się, że wiele zmian geologicznych miało swe źródło w upadkach asteroid.

Upadki meteorytów znane były ludziom od pradziejów, uważano to zjawisko za oczywiste również w starożytności, później jednak w wyniku regresu nauki i kultury aż do XVI wieku wiedza o tym, zwłaszcza w kręgu kultury europejskiej,

jakby zanikła. Być może wynikało to z tego, że od czasów pradziejów zjawisko to stało się mniej częste? Gdy ok. 1500 roku uczony francuski P. Gassendi zaobserwował meteoryt spadający na ziemię, odrzucono jego sugestię, że meteoryt ten mógł być fragmentem komety. W 1772 roku rosyjski uczony P. Pallas uznał, że meteoryt, który spadł w rejonie Abakanu na Syberii jest pochodzenia ziemskiego, mimo iż mieszkańcy osady przysięgali, że ciało to spadło z nieba. Dopiero w 1803 roku, gdy P. Biot zaobserwował i opisał upadek meteorytu Igle opinia naukowa zaczęła się przechylać na stronę tezy o ich kosmicznym pochodzeniu. Dzisiejsze badania dowodzą również, że upadki tych meteorytów (zwłaszcza asteroid o wielkiej masie) miały ogromny wpływ na obraz Ziemi. Nie tylko w bezpośrednim polu swego oddziaływania, ale i w sensie globalnym. Jak spróbuję wykazać w mojej pracy kataklizmy spowodowane upadkiem asteroid mogły mieć również dostrzegalny związek z następującymi po nich erupcjami wulkanicznymi i łącznie wpływały na zmiany klimatyczne. Związki takie, jak wspominałem powyżej, zajmowały różnych myślicieli już od czasów starożytności. Wiązano je zarówno z działalnością człowieka jak też i z działaniem sił przyrody (np. wybuchami wulkanów). Nie były to jednak usystematyzowane badania, lecz najczęściej luźne wypowiedzi, aż do końca XX wieku nie podjęto w tej dziedzinie szerokich, kompleksowych badań. Wiele pojawiających się na temat zmian klimatycznych teorii tkwi wciąż jeszcze w świecie hipotez.

Jako historyka interesuje mnie szczególnie związek między zmianami klimatycznymi, a dziejami ludzkości, historią i rozwojem cywilizacji. Zagadnienie to podejmuję tu jednak tylko bardzo szkicowo. To zbyt szerokie zagadnienie i nadmierne wgłębienie się mogłoby prowadzić do zaciemnienia głównego tematu. Szerzej o takich związkach od czasu powstania gatunku *Homo erectus* do 1000 roku p.n.e. piszę w mej pracy „Narodziny cywilizacji”. Moja praca ma charakter raczej popularnonaukowy, dlatego też nie odwołuję się tu do szczegółowych badań naukowych. Pracą popularnonaukową poświęconą wielkim katastrofom w dziejach Ziemi jest książka Igora A. Riezanowa. Powstała jednak w 1984 roku i w pewnej mierze jest dziś już nieco przestarzała. Ostatnie czterdzieści lat w rozwoju nauki to okres ogromnego postępu, zwłaszcza w wulkanologii oraz klimatologii, w tym czasie zlokalizowano też wiele kraterów związanych z upadkiem wielkich meteorytów. Riezanow w swej pracy zagadnieniom klimatu poświęca zaledwie kilka stron, a wulkanom około czterdzieści. Dostrzega związek między klimatem a wybuchem wulkanów, a także wpływ na klimat zawartości w atmosferze dwutlenku węgla. Warto zauważyć, że jego, przejęty od S. Arrheniusa, pogląd w tej kwestii wskazywał na zagrożenie odwrotne od tego, które wskazywane jest obecnie. Pisał mianowicie: *W roku 1909 S., Arrhenius, jako pierwszy, wykazał ogromną rolę dwutlenku węgla, jako regulatora temperatury przypowierzchniowych warstw powietrza. Dwutlenek węgla swobodnie przepuszcza promieniowanie kosmiczne do powierzchni Ziemi, ale pochłania większą część promieniowania cieplnego Ziemi. Atmosfera jest, więc kolosalnym ekranem, przeciwdziałającym ochładzaniu naszej planety. Obecnie zawartość dwutlenku węgla w atmosferze nie przekracza 0,03%. Jeżeli jego ilość zmniejszy się dwukrotnie, to średnie temperatury roczne w strefach umiarkowanych obniżą się o 4 – 5 K, co może doprowadzić do początku okresu lodowcowego.* W swej książce Riezanow wspomina tylko o erupcjach czterech wulkanów: Santorynu, Wezuwiusza,

Tombora i Krakatau nie wskazując przy tym na skalę ich erupcji i nie odnosząc się do wpływów tych erupcji na globalny klimat. Odnośnie do kwestii wpływu zawartości dwutlenku węgla w atmosferze na klimat, to spróbuję w mojej pracy wykazać, że zarówno Arhenius jak i wielu dzisiejszych klimatologów w tej kwestii przyjmuje teorię dyskusyjną i – moim zdaniem – błędną. Nie wiem, gdzie wspomniany uczony widzi źródło „promieniowania ciepłego ziemi”? Ta, według mojej wiedzy, raczej powoli, lecz nieustannie się ochładza.

Katastrofom w dziejach świata poświęcił swą książkę Rodney Castleden. Praca ta nie ma jednak nawet charakteru popularnonaukowego, autor ten zwraca głównie uwagę na wątki raczej sensacyjne, na ciekawostki. Nie stara się formułować własnych wniosków z opisywanych wydarzeń. Obok katastrof naturalnych, jak wybuchy wulkanów, trzęsienie ziemi, tornada itp., opisuje w swej dość obszernej pracy również katastrofy będące wynikiem działalności człowieka np. zatonięcie Titanica, łodzi podwodnej, wybuchy balonów itp. Pisząc o katastrofach naturalnych nie uwzględnia ich wpływu na klimat (o takim wspomina nieczęsto i tylko zdawkowo), pisząc o erupcjach wulkanów wspomina głównie o ich lokalnym znaczeniu. Nie wiąże wielkich katastrof z wydarzeniami historycznymi, jakby nie dostrzegał takiego związku.

Podobnie kompilacyjny charakter ma praca Macieja Rosolaka „Tsunami historia”. Autor ten zebrał bardzo wiele ciekawych informacji, jednak ich hierarchizacja i sposób uporządkowania są nieco chaotyczne. Nadając swej książce charakter publicystyczny autor nie zawsze wskazuje na związki przyczynowo skutkowe opisywanych wydarzeń. Na portalu *Historia.org* Szymon Nowak recenzując książkę Rosolaka stwierdził, że w pierwszej części pracy autor *opowiada nam o wszechświecie i naszej planecie. W drugiej części czytelnicy zapoznają się z wulkanami i Atlantydą, trzecia opowiada o zagładzie dinozaurów, karze boskiej na Sodomie i Gomorze oraz Potopie*, w części czwartej autor *pisze o ko-metach oraz dowiemy się, czym mogła być znana wszystkim Gwiazda Betlejemska*. W kolejnych rozdziałach pracy opisane są wydarzenia z niezbyt odległej przeszłości, w czasie II wojny światowej, w XIX wieku. W mojej ocenie, taki układ pracy jest uzasadniony „rynkowo”, niestety mało przydatny poznawczo. Tym bardziej, że autor bardzo rzadko podaje źródła, z jakich zaczerpnął informacje. Podobnie powierzchowne i kompilacyjne są prace Randy Cerveny’ego oraz Nadieždy Joniny i Michaiła Kubijewa. Książka tych ostatnich razi niechlujstwem, autorzy nie zadali sobie nawet odrobiny trudu, by dotrzeć do informacji o sile wybuchów wspomnianych przez nich wulkanów.

Od początków XXI wieku coraz częściej spotykamy się z poglądami wiążącymi zmiany klimatyczne, a przede wszystkim „masowe wymierania” z kataklizmami w postaci upadków asteroid lub planetoid lub intensywnym wulkanizmem. Obecnie teoria upadków asteroid ma zastosowanie w przypadku czterech z pięciu wielkich wymierań z przeszłości geologicznej, tj. z późnym dewonem, końcem permu, triasu i kredy. W przypadku trzech ostatnich wydaje się, iż obok upadków asteroid, ważną rolę odgrywał również wulkanizm. Stopniowo przechodzi się także od koncepcji nagłego zdarzenia i katastroficznego wymierania, do kryzysu biotycznego rozciągniętego w czasie. Nowym – tak sądzę – aspektem, jaki wnosi również moja praca jest

dostrzeżenie tego, że nawet największe kataklizmy jakie dotykały Ziemię (może poza pierwszym – jej zderzeniem z Theą) dotykały różne regiony (kratony, kontynenty) w sposób nierównomierny. W wyniku tych największych dochodziło w najbliższym ich obszarze do wręcz zniszczenia życia, na dalszych obszarach te jednak trwało i z nich ponownie wracało na obszary poddane zagładzie. Takie poglądy i teorie spotykamy jednak – jak na razie – tylko w artykułach prasowych i w Internecie, najczęściej też odnoszą się do poszczególnych, jednostkowych wydarzeń. O ile wiem, nie powstała jeszcze próba całościowego ujęcia tego zagadnienia.

Rozdział I

I. Dlaczego zmienia się klimat?

Nasza dzisiejsza wiedza odnośnie do powstawania naszej planety, skorupy ziemskiej oraz zmian klimatycznych w dziejach, którą zawdzięczamy badaniom geologicznym, archeologicznym, a z ostatnich tysiącleci również zapiskom o charakterze historycznym i wielu innym badaniom z różnych dziedzin nauki, jest wciąż niewielka i dowodzi tylko tego, że wszystko to ulegało nieustannym zmianom, że klimat ziemski oscyluje. W ciągu miliardów, milionów, tysiącleci, setek lat (a nawet poszczególnych lat wspomnianych okresów) zawsze ulegał i nadal ulega nieustannym zmianom. Pierwsze próby zrozumienia przyczyn tych zmian klimatycznych pojawiły się już w starożytności. Wiązano je z aktywnością sił natury, np. wulkanów (próbując często ich działania „oswoić” przy pomocy mitów lub religii), ale też, już wówczas, szukano ich przyczyn w działalności człowieka.

Dziś istnieje bardzo wiele hipotez odnoszących się do przyczyn zmian klimatycznych w Świecie. Bywa, że przypisuje się ich zaistnienie tylko jednemu czynnikowi (lub uważa się, że jest on decydujący), bywa też, że podaje się, jako przyczynę tych zmian kilka elementów. Wśród badaczy z XX wieku (prawie do jego końca) przyjmowano, że jedną z ważniejszych przyczyn zmian klimatycznych była aktywność Słońca, czy też falowanie sił grawitacji pochodzących z pulsującego układu mas Układu Słonecznego, przemieszczającego się w oddziaływającym nań Kosmosie. Myślę, że teza ta nie w pełni odpowiadała na stawiane przez nich pytanie.

Słońce, w którego wnętrzu temperatura wynosi około 13.000.000 K, a na powierzchni – około 6000 K, w ciągu każdej sekundy emituje energię $3,9 \cdot 10^{26} \text{ J}$. Na Ziemię dociera tylko jedna dwumilionowa część energii Słońca, ale już to wystarczyło do powstania i rozwoju życia. Słońce wysyła dwa typy promieniowania: fale elektromagnetyczne, od długości od milionowych części milimetra do kilkudziesięciu kilometrów oraz strumienie naładowanych cząsteczek (korpusek), poruszających się z prędkością około 1000 km/s, które docierają do Ziemi w ciągu jednego, dwóch dni. Część promieniowania kosmicznego pochodzi spoza Układu Słonecznego. Aktywność Słońca jest i była zróżnicowana tak w okresach długoterminowych (cykl Milankovicia), jak i w okresach znacznie krótszych. Ma to wpływ na stosunkowo nieduże kontrasty termiczne pomiędzy zimą a latem na półkuli północnej. Uważano, że do sytuacji, która sprzyjała powiększaniu się lądolodu dochodziło w przypadku, gdy Ziemia znajdowała się bliżej Słońca zimą przy małym nachyleniu osi obrotu do płaszczyzny ekliptyki – ciepła. Zima sprzyjała opadom na biegunach, a stosunkowo chłodne lato nie było w stanie roztopić całości śniegu. W sytuacji odwrotnej, gdy Ziemia latem jest blisko Słońca, a kąt nachylenia jej osi do ekliptyki duży – panują dogodne warunki do topnienia lodu i regresji lądolodu. Postanowiłem pozostawić to zdanie, choć przejąłem je za jakimś autorem. Chcę tu ukazać proces naszego myślenia. Przejmujemy pewne twierdzenia często

nie wgłębiając się w ich sens. Napisałem: *gdy Ziemia latem jest blisko Słońca*. Czy rzeczywiście *latem Ziemia jest bliżej Słońca niż zimą*? Przecież, gdy na naszej półkuli panuje zima, na przeciwnej mamy lato. Pora roku na poszczególnych półkulach nie zależy, więc do odległości Ziemi (całej kuli ziemskiej) od Słońca (wspólnego środka ciężkości). Ta dla obu półkul jest taka sama, zmianie w ciągu roku ulega tylko kąt nachylenia poszczególnych półkul i to on ma wpływ na zmiany pór roku. Jeśli przyjmujemy, że w ciągu obiegu Ziemi wokół Słońca po elipsie jej odległość w ciągu roku ulega zmianie, to przecież całej Ziemi, a więc odległość ta nie ma zasadniczego wpływu na różnicę temperatur na poszczególnych półkulach.

W związku z tzw. cyklami Milankovicia pojawiła się teoria, że ich znajomość pozwala przewidywać przyszłe okresy zlodowaceń, przy założeniu, że to one są za nie odpowiedzialne. Na tej podstawie część badaczy prognozuje, że temperatura powinna się obniżyć przez najbliższe 60 tysięcy lat o 5 °C, w tym o około 0,01 °C w XXI wieku, co jest prawdopodobnie hamowane przez globalne ocieplenie. Moim zdaniem, teoria ta jest dyskusyjna, a to z tego powodu, że – jak to spróbuję wykazać w mojej pracy – czynników wpływających na panujący na ziemi klimat było i jest znacznie więcej. Ponadto, tak wielka odległość Słońca od Ziemi wskazuje na to, że tak niewielkie (procentowo) zmiany tej odległości nie mogły znacząco wpływać na zmiany temperatury Ziemi. Śledząc zmiany klimatyczne (na ile to możliwe na bazie dostępnej mi o nich wiedzy) dostrzegam, że ulegał on zmianom, trudno jednak dostrzec ich cykliczność. Zmiany klimatu (ich skala i zasięg) miały też często odmienny przebieg na różnych obszarach. Zauważmy ponadto, że dziś wielu badaczy – osobiście nie zgadzam się z tą hipotezą – przychyliła się do teorii, że na zmiany klimatu główny wpływ ma działalność człowieka. Ta teoria (gdyby była prawdziwa) również zaprzeczałaby tezie o cykliczności zmian klimatycznych.

Przed większością składników promieniowania kosmicznego dobrze chroni mieszkańców Ziemi złożony system różnych sfer fizycznych, przez które przenika tylko światło widzialne oraz niewielki procent promieni ultrafioletowych i ograniczona część fal radiowych. Na przedpolu Ziemi zatrzymują się też korpuskuły, będące głównie jądrami wodoru (protony) i helu (cząsteczki alfa), a także, w niewielkiej ilości, jądrami pierwiastków ciężkich. Zbawczym „sitem” jest przede wszystkim atmosfera ziemską, zatrzymując znaczną część promieniowania kosmicznego; pomaga w tym wydatnie pole magnetyczne Ziemi, dzięki któremu istnieje wokół Ziemi jonosfera i dwa pasy naładowanych cząsteczek. Wewnętrzny pas, równikowy, o największej gęstości cząsteczek, położony jest w odległości około 3600 km od powierzchni planety. Stwierdzono, że ilość padającego na Ziemię promieniowania nieco się zwiększa (ok. 10%) w kierunku od równika ku biegunom. W stratosferze efekt ten jest kilka razy silniejszy niż na poziomie morza. Mimo, że Ziemia znajduje się w odległości około 150 mln km od Słońca i chroniona jest przez atmosferę, jonosferę i pasy naładowanych cząsteczek, bardzo dobrze odczuwamy to, co zachodzi na Słońcu. Badania naukowe ostatnich lat, o wiele bardziej precyzyjne dzięki eksploracji kosmosu rozpoczętej w drugiej połowie XX wieku (m. in. umieszczaniu aparatury badawczej na sputnikach), doprowadziły do odkrycia kolejnego cyklu zmian klimatycznych, tym razem związanego z okresowymi zmianami aktywności Słońca. Przyjmuje się, że co 11 lat strumienie gazów

słonecznych wzbijają się do góry na setki tysięcy kilometrów, kierując się w przestrzeń międzygwiazdową. Aktywność ta trwa dwa-trzy lata, a później ulega zmniejszeniu. W okresie maksimum aktywności słonecznej występują na Ziemi jasne zorze polarne, długie (do 10 dni) przerwy łączności radiowej w rejonach polarnych, burze magnetyczne, w ziemi zaczynają płynąć prądy elektryczne o takiej sile, że nierzadko psują się urządzenia stacji telefonicznych i telegraficznych. Myślę jednak, że przyjmowanie takiej cykliczności dla całego okresu istnienia naszego układu jest bardzo dyskusyjne. Zbyt krótko prowadzone są takie badania, by dochodzić do tak radykalnych wniosków.

Uważam, że zmiana aktywności Słońca może być zależna również od innych czynników. Na przykład od spadających na jego powierzchnię asteroid, meteoroidów lub komet. (W tym wypadku ważnym czynnikiem jest przypuszczalnie i to, po jakiej orbicie poruszają się poszczególne komety i jakim zmianom ich orbity podlegają). Tak jak i na Ziemi i inne planety upadki takie zdarzają się i na Słońcu, są być może nawet znacznie częstsze. Asteroidy i komety ściągane przez Słońce, a później spalane w tym „gigantycznym reaktorze” przyczyniają się do wzrostu jego aktywności, wydzielania energii, która emitowana jest w kosmos, trafiając również na Ziemię.

Myślę, że to właśnie z tym procesem związane są próby określania tzw. minimów aktywności słonecznej: Wolfa, Maundera i Daltona. Na to ostatnie minimum przypada wybuch wulkanu Tambora w 1815 roku. Zdaniem wielu badaczy aktywność wulkaniczna, która miała oziębiający wpływ na klimat szczególnie intensyfikowała efekty minimów aktywności słonecznej: co jest uważane za bezpośredni powód znaczących anomalii klimatycznych na całej Ziemi. Minimum Maundera wyznaczono na okres trwający od 1645 do 1717 roku, podczas którego powstało znacznie mniej raportów dotyczących plam słonecznych w porównaniu z pierwszą połową wieku. Podczas Minimum Maundera plamy na Słońcu obserwowali w Paryżu Jean Picard (do 1682 roku) i Philippe de La Hire (przed 1718 rokiem), a także John Flamsteed w latach 1676 i 1684 w Londynie oraz Jan Heweliusz w Gdańsku, który wyniki swoich obserwacji opisał w *Machina Coelestis* (1679). To głównie na spostrzeżeniach tych astronomów oparł swoją pracę Spörer, publikując listę wszystkich zaobserwowanych od 1672 roku plam słonecznych, które udało mu się zebrać. Plamy widoczne podczas Minimum Maundera obserwowano przeważnie na południowej półkuli Słońca i dopiero na początku XVIII wieku pojawiły się ponownie na północnej.

Minimum Maundera pokrywa się w czasie ze środkowym i najchłodniejszym okresem tzw. małej epoki lodowcowej. Ponieważ okresy zwiększonej liczby plam na Słońcu są równoczesne z nieznacznym zwiększeniem wartości *stałej słonecznej*, klimatolodzy zastanawiają się nad związkami zakresu tych zmian ze zmianami klimatu na Ziemi. W okresie trwania minimum Maundera zaobserwowano mniej zór polarnych niż w pierwszej połowie wieku. Przyjmuje się, że to zmiany aktywności Słońca wpływają na wielkość strumienia cząstek promieniowania kosmicznego, wytwarzających w atmosferze promieniotwórczy węgiel z azotu atmosferycznego i magazynowany potem przez rośliny. Skala tej zmienności wprowadza błąd w wynikach datowania radiowęglowego. Jeszcze większe zmiany powodują wahania siły ziemskiego pola magnetycznego, w

skalach czasowych rzędu kilku tysięcy lat. Pomiar obfitości izotopu ^{14}C w przyrostach rocznych drzew pozwalają wnioskować o występowaniu minimów aktywności słonecznej w przeszłości. Zmniejszona zawartość tego izotopu koreluje z obserwowanym w latach 1790–1830 minimum Daltona. Wyodrębniono i nazwano także wcześniejsze takie okresy, m.in. minimum Spörera (1420–1570) i Wolfa (przełom XIII i XIV wieku). Badania radiowęglowe wskazują, iż w ciągu ostatnich 8000 lat było 18 takich minimów.

Z publikacji, w której oszacowano wielkość tempa rotacji Słońca w 1684 roku na podstawie obserwacji przeprowadzonych przez Johna Flamsteeda – założyciela obserwatorium astronomicznego w Greenwich, może wynikać, że prędkość rotacji była wówczas mniejsza. Zmiany prędkości rotacji stwierdzono jednak i w innych okresach, zaś wyniki poszczególnych oszacowań są różne.

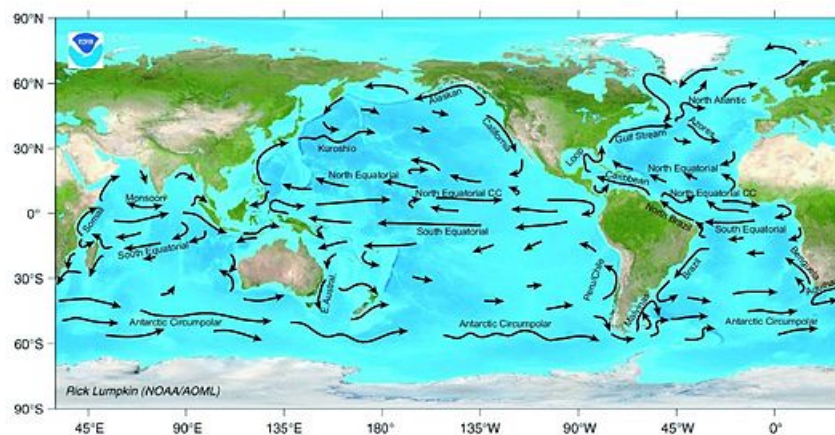
Nie wiemy jednak, z jakiego powodu dochodzi do powstawania plam na Słońcu, nie wiemy, na jakiej podstawie określamy tzw. wartość *stałej słonecznej*. Nie można też wykluczyć, że obfitość izotopu ^{14}C w przyrostach rocznych drzew zależy od panującego w danym okresie klimatu, lub od tego, do jakiej warstwy atmosfery dostał się dwutlenek węgla w wyniku np. wielkiej erupcji wulkanicznej, lub jaki wpływ na ten proces miały kolejne upadki asteroid.

W nauce wiele hipotez jest przyjmowanych zbyt pośpiesznie wprowadzając wiele zamieszania. Niestety autorzy tych teorii wyrażają swe poglądy w sposób zbyt radykalny powodując tym wiele zamieszania i zamiast przyspieszać nasze poznanie, opóźniają badania. Na przykład w 2011 grupa geochemików z Uniwersytetu Stanforda wysunęła teorię, że odkrycie Ameryki przez Krzysztofa Kolumba mogło być ważną współprzyczyną wystąpienia Małej Epoki Lodowcowej. W tamtym okresie w wyniku kolonizacji mogło szybko wyginać 90% rdzennych mieszkańców Ameryki Północnej, którzy wypalali tereny leśne pod pola uprawne. Na pozostawionych nieużytkach roślinność regenerując się pochłonięła 2–17 miliardów ton dwutlenku węgla, przez co osłabił efekt cieplarniany. Pomijając fakt, że pojęcie Małej Epoki Lodowcowej jest dziś kwestionowane, to należy uwzględnić i to, że do wyginięcia aż 90% rdzennych mieszkańców Ameryki Północnej dochodziło przez wiele dziesięcioleci, a po każdorazowym wypalaniu lasów przeciw z czasem następowała regeneracja roślinności. Ponadto, nie tylko lasy pochłaniają dwutlenek węgla. W skali globalnej ilość terenów zagospodarowanych przez ludy rolnicze Ameryki Południowej i Środkowej była stosunkowo nieznaczna. Przytoczyłem tu powyższą hipotezę, by ukazać w jak wielkim gąszczu niewiadomych musi poruszać się historyk zmian klimatycznych.

Niewątpliwie Słońce jest wielkim dyrygentem ziemskich procesów życiowych. Jest bardzo prawdopodobne, że istnieją jakieś cykle zmian aktywności słonecznej, których mają wpływ na życie organiczne Ziemi, być może istnieją cykle dłuższe od dotychczas określonych, których wpływ może być jeszcze silniejszy, jednakże z uwagi na ich długotrwałość nie możemy powiedzieć o nich nic konkretnego. Nie możemy jednak wykluczyć tego, że i w wypadku Słońca, tak jak i klimatu na Ziemi mamy do czynienia nie tyle z cyklicznością, co ze zmiennością. Pewne procesy (jak na przykład stały, choć nierównomierny wzrost grubości skorupy ziemskiej) są ciągłe, nie znaczy to

jednak, że możemy w nich wykazać jakąś cykliczność.

Kiedy to również dzięki satynom stwierdzono istnienie pasów radiacyjnych wokół Ziemi gruntownie zmieniło się nasze wyobrażenie o znaczeniu pola magnetycznego w ewolucji życia organicznego. Zdaniem części badaczy, to cykliczne zmiany grawitacji wywołują deformacje skorupy ziemskiej powodujące trzęsienia ziemi. Moim zdaniem, trzęsienia Ziemi wynikają z przesuwania się płyt tektonicznych, a na te przesuwania mogą mieć wpływ okresy ocieplenia lub ochłodzenia (topnienie lodowców wpływa na podnoszenie się poziomu wód w oceanach, te z kolei mogą naciskać na kontynenty). Do trzęsień dochodziło także w wyniku upadków większych asteroid.



Aktualna mapa prądów morskich (źródło: NOAA za: Wikipedia: Hasło – Prąd morski)

Jak już wspomniałem klimat Ziemi uzależniony jest od efektu cieplarnianego, ale ogromny wpływ na klimat całego globu mają też morza i oceany, które pokrywają zdecydowaną większość powierzchni naszej planety. W wodach oceanicznych występują dwa rodzaje tzw. prądów morskich. Są to ciepłe i zimne prądy morskie.

Większość z tych prądów posiada swoje stałe trasy, którymi niezmiennie płyną przez cały rok. To, właśnie, dlatego mogą one stale kształtować klimat na obszarach, obok których przepływają. Ciepłe prądy morskie powodują ogrzanie się powietrza nad nim i unoszenie go do góry. Takie powietrze jest ciepłe, ale zarazem bardzo wilgotne. Jeśli jakiś obszar lądu jest stale poddawany działaniu tego powietrza, powoduje to występowanie równomiernych opadów deszczu oraz stałe nagrzewanie tego obszaru.

Zimne prądy morskie sprawiają, że powietrze znajdujące się nad nimi jest chłodne i bardzo wilgotne. Takie powietrze zazwyczaj przynosi dość brzydką pogodę nad lądem. Powoduje występowanie częstych deszczy i mgieł. Powietrze to dopływając do lądu ogrzewa się tylko nieznacznie, dlatego powoduje ogólne obniżenie temperatury na obszarach swojego oddziaływania.

Zmiana rozkładu temperatur Pacyfiku następująca co 20 – 30 lat i powodująca wzrost temperatury wód powierzchniowych (oscylacja PDO) nie wpływa na długoterminowy trend ocieplania się klimatu. Indeks PDO faktycznie

się zmienia, jednak nie jest to trwały trend, lecz oscylowanie pomiędzy fazą zimną i ciepłą. PDO jest obecnie w stanie takim jak w latach 50. czy 70. XX wieku, podczas gdy średnia temperatura powierzchni Ziemi wzrosła od tego czasu o 0,5 °C. Nie oznacza to, że zmiany prądów oceanicznych, indeksowane wskaźnikami takimi jak PDO czy ENSO nie wpływają na zmiany średniej temperatury powierzchni Ziemi. Ich wpływ jest dostrzegalny w skali dekady lub nawet kilku dekad. Największym oceanem Ziemi jest Pacyfik, którego wody pokrywają 1/3 globu, dlatego zmiany temperatury jego wód powierzchniowych silnie wpływają na średnią temperaturę powierzchni całej planety. Oczywiście wpływ taki wywierają i inne akweny wodne.

Główny trend modyfikowany jest przez krótsze zmiany od 10000 do 1000 lat związane modą cyrkulacji termohalinowej w oceanach, takie jak wydarzenia typu Dansgaard-Oeschger oraz Heinrich. Odgrywają one dominującą rolę w szybkich zmianach klimatu o dużej amplitudzie, szczególnie w jego glacialnej modzie (np. MIS 3). Najsilniejszy wpływ ochłodzenia notowany jest w rejonie Północnego Atlantyku. Związane jest to z zatrzymaniem lub osłabieniem pasa transmisyjnego ciepła, jakim są ciepłe prądy oceaniczne, chociaż wiadomo, że same zmiany mają wpływ niemal globalny. Podczas zlodowaceń przedczwartorzędowych zmiany położenia kontynentów związane z ruchem płyt litosfery mogły wpływać na cyrkulację wód oceanicznych.

Żeby zrozumieć, jaki jest wpływ prądów oceanicznych na klimat Ziemi wystarczy porównać klimat Polski z klimatem innych miejsc leżących na tej samej szerokości geograficznej, np. Kamczatki w Rosji i Labradoru w Kanadzie. Wszystkie te regiony leżą na tej samej szerokości geograficznej, niedaleko oceanu, ale klimat w tych miejscach jest drastycznie różny. Średnia temp. roczna w Polsce to 7–8 °C, podczas gdy na Labradorze i Kamczatce jest to –1 °C. Na Kamczatce obszar większy od Polski zamieszkuje ponad stukrotnie mniejsza populacja, na Labradorze podobnie. Te różnice temperatur wynikają częściowo z wpływów dominujących wiatrów zachodnich i związanego z tym oceanicznego klimatu Europy Zachodniej i kontynentalnego Kamczatki i Labradoru, szczególnie zimą. Porównanie klimatu Alaski i Norwegii, obu leżących na zachodnich wybrzeżach kontynentów, również pokazuje, że Europa jest wyraźnie cieplejsza. W styczniu w Bodo w Norwegii temperatura oscyluje ok. –1 °C, a w Nome na Alasce ok. –15 °C. Ta różnica wynika głównie z wpływu prądów oceanicznych – w rejonie Kamczatki płyną zimne prądy oceaniczne z północy: Kamczacki i Oja Siwo, podobnie w przypadku Labradoru i Alaski. Klimat Europy jest z kolei izolowany od chłódów Arktyki i ogrzewany przez ciepły Golsztrom. To właśnie prądom oceanicznym i zachodnim wiatrom znad oceanu zawdzięczamy przyjemny klimat Europy.

Golsztrom niesie ciepłą wodę z rejonów Brazylii i gorącej Zatoki Meksykańskiej w stronę Europy północnej. Zgromadzone ciepło oddaje docierając do Oceanu Arktycznego na północ od Europy, zimą dostarczając do Europy zachodniej więcej ciepła niż promieniowanie słoneczne. Zimą powietrze nad oceanem położonym na zachód od wybrzeży Norwegii jest średnio o ponad 22 °C cieplejsze niż powietrze na podobnych szerokościach geograficznych. Jest to jedna z największych anomalii tego typu na Ziemi. Dzięki temu praktycznie całe wybrzeże Norwegii z fiordami przez cały rok pozostaje wolne

od lodu i śniegu.

Uwagę zwraca fakt, że w wielu miejscach następuje przecięcie prądów oceanicznych. Woda w rejonach równikowych i podzwrotnikowych nagrzewa się. Ciepła woda jest lekka i ma tendencję do trzymania się przy powierzchni. Płynąc w kierunku biegunów, woda oddaje swoje ciepło do atmosfery. Powierzchniowa warstwa wody, zbliżając się do biegunów wytrąca sól. Warstwa schłodzonej wody pod lodem staje się bardziej słona i gęstsza, wystarczająco gęsta, aby opaść na dno i odpłynąć w kierunku równika. Na jej miejsce napływa powierzchniowa, gorąca woda z tropików, na Atlantyku jest to właśnie Gólsztrom.

Prąd Zatokowy jest zjawiskiem dość stabilnym, ale nie wszystkie prądy oceaniczne charakteryzują się taką stabilnością. Przykładem cyrkulacji oceanicznej, który ma wpływ w skali globalnej, a nie jest stabilna, jest zjawisko El Niño. Zwykle ocieplenie wód występuje przez kilka tygodni, jednak, gdy El Niño trwa miesiącami lub latami, dochodzi do ochłodzenia wody w rejonie Australii oraz jej ocieplenia w rejonie Ameryki Południowej o 3 – 8 °C. Zjawisko El Niño powoduje odwrócenie się kierunku wiatru wiejącego nad Pacyfikiem. Wiatr normalnie wiejący na zachód, podczas zjawiska El Niño wieje na wschód, odwracając kierunek prądów oceanicznych – podczas El Niño woda zaczyna płynąć na wschód. Nagrzewająca się po drodze woda dociera do wybrzeży Ameryki Południowej, przynosząc tam katastrofalne opady. A ponieważ opady zazwyczaj nakładają się na porę deszczową powodują powodzie oraz spływanie lawin błota, szczególnie w Peru i Argentynie. Dodatkowo podnosi się temperatura powietrza, co powoduje topnienie wiecznych śniegów w Andach i zanikanie lodowców zapewniających dopływ wody do rzek w ciągu całego roku. Z kolei opady nad Australią zanikają, powodując tam katastrofalne susze. El Niño, choć obserwowany głównie na Pacyfiku, ma wpływ na całą Ziemię. Podnosi zauważalnie temperaturę całej planety. Zjawisko wiąże się także z chłodniejszymi, śnieżnymi zimami w USA, suchszymi, bardziej gorącymi latami w Ameryce Południowej i Europie oraz suszami w Afryce. Zjawisko El Niño zachodzi nieregularnie w okresie od dwóch do siedmiu lat i może obecnie trwać od kilku tygodni nawet do dwóch lat. El Niño powoduje coraz groźniejsze susze w i tak już pustynnej Australii. Nasilanie się tego trendu jest główną przyczyną przewidywań, że Australia będzie kontynentem najbardziej dotkniętym przez pustynnienie wynikające ze zmian klimatycznych. Autorzy hasła dotyczącego prądów morskich w Wikipedii zwracają uwagę, że zmiany prądów oceanicznych, szczególnie oscylacji El Niño – La Niña i Dekadalnej Oscylacji Pacyficznej, obok zmian aktywności słonecznej i krótkotrwałych zmian zapylenia atmosfery związanych z wybuchami wielkich wulkanów, są czynnikami znacząco wpływającymi na zmiany temperatury planety, w horyzoncie kilku lat mogącymi maskować wzrost temperatury związany ze wzrostem koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze.

Badania wpływu prądów morskich na klimat wzbogacane są o wciąż nowe przesłanki. Już w trakcie pisania tej książki ukazała się informacja o odkryciu starożytnej formacji skalnej pod lodowcem szelfowym Rossa, pod największym lodowcem szelfowym Antarktydy. Okazało się, że odkryte pod ogromną warstwą lodu skały mogły powstać w momencie tworzenia się tego

kontynentu. Naukowcy znaleźli też granicę geologiczną między wschodnią a zachodnią częścią Antarktydy. Według badań, dno morskie jest głębsze po zachodniej stronie, co wpływa na prądy morskie i sposób krążenia lodu. O ile lodowiec szelfowy Rossa spowalnia przepływ ok. 1/5 lodu, to same prądy morskie mogą przyspieszać topnienie. Gdyby lodowiec się roztopił, a woda trafiła do oceanu, doszłoby do wzrostu poziomu morza nawet o 11 m. Eksperci alarmują, że już teraz region przy lodowcu szelfowym Rossa topnieje 10 razy szybciej, niż zakładano. Stwierdzenie: *Obecnie lodowiec topnieje w tempie 10 razy szybciej niż zakładano*, jest – moim zdaniem – niezbyt precyzyjne. Może powinniśmy raczej stwierdzić, że proces topnienia obecnie postępuje szybciej niż obserwowano wcześniej. Nie możemy jednak przewidzieć, czy jakaś kolejna erupcja wulkanu nie wpłynie na ponowne spowolnienie tego procesu lub nawet jego odwrócenie? Uwzględniając ponadto wpływ prądów morskich na klimat musimy wziąć pod uwagę to, że przecież w długich dziejach Ziemi te ulegały zmianie. Zależały od zmieniającego się położenia lądów oraz oceanów.

Warto tu jednak podkreślić, że morza i oceany nie wytwarzają ciepła. To swego rodzaju akumulatory gromadzące ciepło uzyskane od Słońca (jakiś wpływ na ich temperaturę mają zapewne również erupcje podwodnych wulkanów). Jak wiele tego promieniowania jednak do nich dociera? Jaka jest ich temperatura w danym momencie i jakim podlega zmianom? Te badamy od stosunkowo niedawna. W cytowanym powyżej fragmencie tekstu informacji z Wikipedii, jej autor wspomina o wybuchach wulkanów, twierdząc, że koncentracja gazów cieplarnianych w horyzoncie kilku lat może maskować globalny wzrost temperatury. Tu dochodzimy do głównego tematu tej pracy. Uważam, że to właśnie wybuchy wielkich wulkanów i wielkie kataklizmy kosmiczne miały na klimat Ziemi znacznie większy wpływ niż działalność człowieka, a nawet aktywność Słońca i od niego odległość. Wahania temperatur spowodowane tymi ostatnimi czynnikami (Słońcem) z powodu odległości Ziemi od Słońca są, moim zdaniem, zbyt małe, by oddziaływały na klimat w sposób odczuwalny. Od powstania Ziemi, a później od pojawienia się naszego gatunku (paleolitu – plejstocenu) dochodziło do znacznych wahań temperatur i zmiany te przebiegały w okresach stosunkowo krótkich. W wyniku znacznego spadku dochodziło do zlodowaceń, później, w wyniku ocieplenia, lądolody częściowo ustępowały. Okresy te nazywane są interglacjami. Hanna Winter wspomina, że badania rdzeni lodowych wskazują, iż w okresach interglacjalnych: *Ilość gazów cieplarnianych (dwutlenku węgla i metanu) w atmosferze była zmienna*. Wzrost ilości dwutlenku węgla i metanu następował w interglacjach, a spadek w okresach zimnych. Różnice dotyczące zawartości wspomnianych gazów w atmosferze są bezdyskusyjne. Nie możemy też wykluczyć, że to występowanie gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń w stratosferze (ich zagęszczenie) ma wpływ na ochłodzenie lub ocieplenie klimatu. Tam jednak mogą się dostać wyłącznie w wyniku erupcji wulkanicznych lub innych kataklizmów, np. katastrof kosmicznych (uderzeń asteroid, lub komet). Jak ukażę w dalszej części mojej pracy, to nie dwutlenek węgla jest tym gazem, który wpływa na ochłodzenie, większy wpływ mają np. związki siarki. Wraz z ociepleniem (w interglacjach) rosła ilość dwutlenku węgla w atmosferze, czy to jednak wzrost jego ilości powodował to ocieplenie? W jaki sposób, skoro pod koniec glacja ilość dwutlenku węgla była znacznie mniejsza niż pod koniec interglacjalu (okresu ocieplenia)? Czy wzrost ilości dwutlenku węgla w

atmosferze nie jest raczej skutkiem ocieplenia niż jego przyczyną?

Wybuch wulkanu (oczywiście tylko tych o skali powyżej 5 VEI², mniejsze erupcje mają wpływ na klimat znacznie mniejszy) wyrzuca do stratosfery (na wysokość kilkunastu, do 30/40 km) ogromne ilości pyłów, dwutlenku węgla i tlenki siarki, które reagując z tlenem i wodą tworzą kropelki aerozolu kwasu siarkowego, które rozpraszają światło Słońca z powrotem w przestrzeń kosmiczną, zmniejszając w ten sposób ilość docierającej do powierzchni ziemi energii i temperaturę przy powierzchni. Wyrzucenie do stratosfery dużych ilości dwutlenku siarki wywiera o wiele większy wpływ na zmniejszenie dopływu promieniowania słonecznego do ziemi niż wyrzucenie popiołów, ponieważ ich opady trwają najwyżej kilka miesięcy, natomiast aerozole siarczanów mogą się tam utrzymywać przez kilka lat. Dzięki oddziaływaniu aerozoli po różnego rozmiaru eksplozywnych erupcjach indonezyjskich wulkanów Tambora (1815), Krakatau (1883) i Agung (1963), pomimo bardzo istotnych różnic objętości wyrzuconych popiołów, spadek temperatury przy powierzchni ziemi w ciągu 3 lat mieścił się w identycznym interwale 1,3-0,18°C. Ilość dwutlenku węgla uwalnianego do atmosfery podczas erupcji jest zbyt mała, żeby mogła być przyczyną globalnego ocieplenia. Zdaniem Elżbiety Jackowicz, na którą powołuję się powyżej, współczesne erupcje subaeralne i podmorskie dostarczają mniej niż 1% ilości CO₂ produkowanego obecnie wskutek działalności człowieka, natomiast w odległej przeszłości geologicznej ilość dwutlenku węgla wydobywającego się podczas kolosalnych erupcji mogła być tak pokaźna, że wywołane nią globalne ocieplenie kończyło się masowym wymieraniem. Uważam, że badaczka ta niesłusznie wiąże „masowe wymierania” tylko z wulkanizmem, ponadto i w bardzo odległych czasach wulkany wyrzucały do stratosfery również tlenki siarki. Dwutlenek węgla był absorbowany przez roślinność, wzrost jego ilości wpływał zapewne na wzrost roślinności i w konsekwencji na wzrost ilości tlenu. Uważam, że wiązanie wzrostu ilości dwutlenku węgla z teorią „masowego wymierania” jest błędną hipotezą.

Erupcja dużego wulkanu, takiego jak Mount Pinatubo na Filipinach, który wybuchł w 1991 roku, obniżyła ilość docierającej do powierzchni ziemi energii o imponujące 2 procent. Tak silne działanie jest jednak bardzo krótkotrwałe – po dwóch latach od wybuchu praktycznie całość aerozoli opadła na powierzchnię. Biorąc jednak pod uwagę skutki erupcji wulkanicznych na klimat należy rozpatrywać je w powiązaniu z innymi czynnikami, m.in. przebiegiem prądów morskich, istniejącą w czasie erupcji skalą złodowacenia, porą roku, czy – co bardzo ważne – kumulacją różnych erupcji i ich następstwem.

² Indeks Eksplozywności Wulkanicznej (ang. *Volcanic Explosivity Index*, VEI) – skala eksplozywności erupcji wulkanicznych, opracowana w 1982 przez Chrisa Newhalla i Steve'a Selfa. Skala eksplozywności oparta jest na wartościach objętości wydobywającego się materiału piroklastycznego, wysokości chmury pyłów wyrzuconych do atmosfery oraz opisowych określeniach wybuchu (od *łagodnego* po *megakolosalny*). Skala eksplozywności jest otwarta, ale wielkość 8 przypisana jest do największych znanych w historii erupcji wulkanicznych (około 1012 m³ tefry oraz 25 km słup pyłów), podczas gdy erupcje o wartości 0 to erupcje nieeksplozywne (poniżej 104 m³ wyrzuconych materiałów). Każdy punkt na skali VEI oznacza dziesięciokrotny wzrost eksplozywności wybuchu.

Używanie przez dzisiejszych publicystów, a zwłaszcza ekologów, terminu efekt cieplarniany w odniesieniu do obserwowanego obecnie wzrostu temperatur na Ziemi i wiązanie tego zjawiska z działalnością człowieka jest moim zdaniem pewnym nadużyciem, a w każdym razie, bez wyjaśnienia całej złożoności tego zjawiska, rażąco mija się z prawdą. Obecność tzw. gazów cieplarnianych w stratosferze przyczynia się do tego, że średnia temperatura na Ziemi jest na tyle wysoka, że na naszej planecie możliwe jest życie, natomiast dwutlenek węgla i inne zanieczyszczenia wytwarzane wskutek działań człowieka trafiają (w wyniku ich wagi w porównaniu z innymi gazami) tylko do najniższych warstw atmosfery i nie mają znaczącego wpływu na globalny klimat. CO₂ stanowi dziś zaledwie 0,04% składu atmosfery, a jego wzrost przez ostatnie 150 lat wynosi tylko 0,02%. Dla porównania zawartość w atmosferze pary wodnej (też zaliczanej do tzw. gazów cieplarnianych) wzrosła w wyniku erupcji podwodnego wulkanu Hunga Tonga aż o 10%. Wzrost ilości niektórych gazów (dwutlenku węgla i metanu) w niższych warstwach atmosfery w okresach interglacjalnych wynikał zapewne i z tego, że w czasie ocieplenia więcej wytwarzały je oceany itp.

Zmiany klimatyczne będące wynikiem tak wpływu Słońca, kataklizmów kosmicznych, czy też działania wulkanów i wielu innych wzajemnie powiązanych czynników przyczyniały się do powstawania w historii naszej planety szeregu epok lodowcowych. Trwanie poszczególnych zlodowaceń rozciągało się niekiedy na setki tysięcy a nawet miliony lat, bywało jednak, że okresy te były krótsze i zlodowacenia obejmowały mniejsze obszary, np. tzw. „mała epoka lodowcowa”. W czasie tych zlodowaceń ich zakresy oczywiście ulegały okresowym zmianom (w wyniku kolejnych kataklizmów oraz procesów ocieplenia – powrotu składu stratosfery do stanu sprzed kataklizmu). Z drugiej strony, po pewnym okresie od zaistniałych katastrof, gdy ich skutki przestały oddziaływać, a także (być może) w wyniku wspomnianych cykli słonecznych dochodziło do ponownego ocieplenia klimatu. Powodowało ono topnienie lodowców, co z kolei wpływało na wzrost poziomu mórz i oceanów. Woda naciskając na płyty tektoniczne powodowała ich przesuwanie i w konsekwencji tego trzęsienia ziemi i wybuchy wulkanów. Ochłodzenia i ocieplenia zaznaczają się również w rozmieszczeniu stref opadów mających wpływ na wegetację roślinną i produkcję żywności. Oziębienia powodują np. wzrost opadów w Afryce północnej (moim zdaniem na wzrost opadów wpływają w znacznym stopniu również erupcje wulkanów podwodnych). Klimat miał i ma ogromny związek z rozwojem życia naszej planety, ale jak zauważymy w dziejach Ziemi nie tylko on na nie wpływał. Pisząc w mej pracy o wielkich kataklizmach, które dotknęły naszą planetę, nie koncentruję się wyłącznie na klimacie, ale też na innych bezpośrednich i pośrednich ich skutkach.

Rozdział II

Wpływ katastrof naturalnych na klimat

Jak wspominałem powyżej, jedną z bardziej znaczących przyczyn zmian klimatycznych na Ziemi są wybuchy wulkanów i katastrofy kosmiczne (uderzenia asteroid, komet lub meteorów)³. Kataklizmy te miały i mają też podstawowy wpływ na rozwój życia na naszej planecie. W mojej pracy wspominam tylko o kilkudziesięciu wielkich katastrofach. Wiele wskazuje na to, że między tymi kataklizmami dochodziło do innych o nieco mniejszym zakresie, być może były też i znacznie większe, których śladów dotąd nie rozpoznaliśmy. Niestety, dziś jeszcze nie jesteśmy w stanie precyzyjnie opisać przebiegu tych procesów. Zmiany skorupy ziemskiej, przesunięcia kontynentów były tak znaczne, że często jest to prawie niemożliwe. Nie potrafimy ponadto odczytać większości śladów tzw. „impaktów mokrych”. Doskonalenie metod badawczych prowadzi jednak do pozyskania coraz większej wiedzy o ich przebiegu. Do końca pierwszej dekady XXI wieku rozpoznano około 190 kraterów uderzeniowych po upadkach asteroid i innych ciał kosmicznych. Dziś, dzięki satelitom poznaliśmy ich znacznie więcej. Niektóre są małe i dochodzą jedynie do kilku metrów średnicy. Inne to gigantyczne struktury o promieniu nawet ponad 150 kilometrów. Według bazy NASA na Ziemi odkryto dotąd ślady po 45 tys. uderzeniach asteroid. Postęp w tej dziedzinie jest jednak tak wielki, że dziś możemy z ogromnym prawdopodobieństwem założyć, że liczba ta wkrótce ulegnie znacznemu zwiększeniu. Dowodem na to przypuszczenie jest choćby odkrycie śladów ogromnych impaktów, które miały miejsce ok. 700.000 lat temu zarówno na obszarze dzisiejszych Indochin, jak i Australii oraz na innych kontynentach. Na terenie Polski udokumentowano dotąd około 20 stosunkowo dużych uderzeń.

Asteroidy i komety

Asteroidy lub planetoidy to ciała niebieskie o niewielkich rozmiarach (od kilku metrów do ponad 1000 km) poruszające się po orbitach tak jak planety w Układzie Słonecznym. W poprzednim wydaniu tej książki opierając się na informacjach z Wikipedii i podobnych źródłach pisałem, że: *Jak dziś się powszechnie uważa, są pozostałością z czasów formowania się Układu Słonecznego, kiedy ok 100 – 250 mln lat po Wielkim Wybuchu z **chmury pyłów i gazów** powstały gwiazdy i zaczęły formować się większe skupiska materii, które wpadając na siebie łączyły się, aby z czasem stworzyć planety. Niektóre z nich pozostały niepołączone i do dziś mają średnicę nie większą niż 1000 km, a stało się tak na przykład między orbitami Marsa i Jowisza, w tak zwanym głównym pasie asteroid, gdzie silne oddziaływanie grawitacyjne Jowisza nie pozwoliło na połączenie się mniejszych ciał. W 2018 r. Naukowcy z University of Florida opublikowali badanie, które wykazało, że pas asteroid powstał z*

³ Odnośnie do wpływu wulkanizmu na klimat prekursorem tej hipotezy był Benjamin Franklin.

pozostałości kilku starożytnych planet zamiast pojedynczej planety. Podczas wczesnej historii Układu Słonecznego asteroidy stopiły się do pewnego stopnia, umożliwiając częściowe lub całkowite zróżnicowanie elementów w ich masie. Niektóre z ciał progenitorowych mogły nawet przejść okresy wybuchowego wulkanizmu i uformować oceany magmy. Jednak ze względu na stosunkowo małe rozmiary ciał okres topnienia był koniecznie krótki (w porównaniu do znacznie większych planet) i na ogół zakończył się około 4,5 miliarda lat temu, w pierwszych dziesiątkach milionów lat formacji. Prowadzone w sierpniu 2007 roku badanie kryształów cyrkonu w meteorycie antarktycznym, który prawdopodobnie pochodził z Westy, sugerują, że wraz z rozszerzeniem pozostałej części pasa asteroid meteoryt ten utworzył się dość szybko, w ciągu 10 milionów lat od powstania Układu Słonecznego. Jeszcze i dziś możemy w Wikipedii znaleźć informację, że: Według najbardziej prawdopodobnej hipotezy planetoidy powstawały w początkowym okresie kształtowania się Układu Słonecznego. Tak jak i same planety, utworzyły się one z obłoku gazowo-pyłowego – pierwotnej mgławicy, z której powstało również Słońce. Z gazu i pyłu mgławicowego, który w gigantycznym dysku wirował wokół Słońca, zaczęły się z wolna tworzyć większe skupiska materii. Nieduże, bliższe Słońca planety (Merkury, Wenus, Ziemia i Mars) powstawały głównie z cząstek stałych (akrecja), które jednak często zawierały też bardziej lotne substancje (np. wodę). Gazowe olbrzymy (Jowisz, Saturn, Uran i Neptun) potrafiły przechwycić także gazy. Pomiędzy Marsem a Jowiszem mogłaby utworzyć się teoretycznie kolejna planeta, jednak – jak dziś się uważa – silne oddziaływanie grawitacyjne Jowisza nie dopuściło do połączenia się mniejszych ciał. W ten sposób pozostały mniejsze i mało masywne ciała, których było bardzo wiele. Silne oddziaływanie gigantycznego Jowisza wytrącało je z ich orbit, w wyniku czego zderzały się one często, zmieniając swoje trajektorie⁴.

Powyższy wpis z Wikipedii nie uwzględnia najnowszych odkryć, zresztą i te wciąż obracają się w świecie hipotez, które zmieniają się wraz z kolejnymi odkryciami. Podkreśliłem w powyższym cytacie określenie „chmura pyłów i gazów”. To oczywisty błąd, we wcześniejszych opracowaniach znajdowało się też pojęcie gruz. Niektórzy z naukowców spekulują np., że złoto w układzie słonecznym pojawiło się w wyniku jakiegoś rozpadu „supernowej”. To również nieprawda.

Naukowcy uważają, że w najwcześniejszych momentach istnienia wszechświata nie było w nim żadnej struktury, o której można by mówić, a materia i energia były rozłożone niemal równomiernie. Do powstania Wszechświata (ok. 13,7 mld lat temu) doszło w wyniku Wielkiego Wybuchu. Wysokie temperatury mu towarzyszące powodowały, że materia znajdowała się zaraz po nim w stanie plazmy kwarkowo-gluonowej (QGP lub zupa

⁴ Hasło: Planetoida, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Planetoida>

kwarkowa)⁵.

Kiedy wszechświat był bardzo młody — mniej więcej w setnej miliardowej miliardowej sekundzie — przeszedł niesamowity skok wzrostu. Podczas tego wybuchu ekspansji, znanego jako inflacja, wszechświat rósł wykładniczo i podwoił swój rozmiar co najmniej 90 razy. Wszechświat się rozszerzał, a wraz z rozszerzaniem stawał się chłodniejszy i mniej gęsty.

Prawdopodobnie w wyniku ochłodzenia, a także działania sił grawitacji z czasem doszło do procesu zwanego rejonizacją. Uważano, że proces ten zaczął się ok. 400 milionów lat po Wielkim Wybuchu, są też hipotezy, które tę datę przesuwają bliżej Wielkiemu Wybuchowi. Sądzi się, że ta dynamiczna faza trwała ponad pół miliarda lat.

W niektórych opracowaniach odnoszących się do kształtowania się wszechświata możemy przeczytać, że: *Wraz z rozszerzaniem się wszechświata temperatury spadały, a protony i neutrony zderzały się, tworząc deuter, który jest izotopem wodoru. Duża część tego deuteru łączyła się, tworząc hel.* Myślę jednak, że etapem pośrednim był etap plazmy⁶ – zjonizowanej materii o stanie skupienia przypominającym gaz, w którym znaczna część cząstek jest naładowana elektrycznie. Mimo że plazma zawiera swobodne cząstki naładowane (jony i elektrony), to w skali makroskopowej jest elektrycznie obojętna.

Tak zresztą możemy przeczytać w najnowszych opracowaniach NASA. Jedną sekundę po Wielkim Wybuchu wszechświat był wypełniony neutronami, protonami, elektronami, antyelektronami, fotonami i neutrinami. W ciągu pierwszych trzech minut istnienia wszechświata w procesie znanym jako nukleosynteza Wielkiego Wybuchu narodziły się lekkie pierwiastki. Temperatury spadły ze 100 nonilionów (10^{32}) kelwinów do 1 miliarda (10^9) kelwinów, a protony i neutrony zderzyły się, tworząc deuter, izotop wodoru. Większość deuteru połączyła się, tworząc hel, zostały również wytworzone śladowe ilości litu.

Według NASA, grawitacyjne przyciąganie niewielkich fluktuacji gęstości materii w tamtym czasie dało początek ogromnej sieciowej strukturze gwiazd i pustce widocznej dzisiaj. Gęste regiony przyciągały coraz więcej materii poprzez grawitację, a im stawały się bardziej masywne, tym więcej materii

⁵ Plazma kwarkowo-gluonowa to stan materii, w którym cząstki elementarne tworzące hadrony materii barionowej zostają uwolnione od silnego wzajemnego przyciągania przy ekstremalnie wysokich gęstościach energii. Cząstkami tymi są kwarki i gluony, które tworzą materię barionową.

Plazma kwarkowo-gluonowa została wykryta po raz pierwszy w laboratorium w CERN w roku 2000.

⁶ Plazmę po raz pierwszy zidentyfikował w laboratorium Sir William Crookes .

Crookes wygłosił wykład na temat tego, co nazwał „materia promienistą” dla Brytyjskiego Stowarzyszenia Postępu Naukowego w Sheffield w piątek 22 sierpnia 1879 r. Systematyczne badania plazmy rozpoczęły się od badań Irvinga Langmuira i jego współpracowników w latach 20. XX wieku. Langmuir wprowadził również termin „plazma” jako opis zjonizowanego gazu w 1928/

mogły przyciągać poprzez grawitację, tworząc gwiazdy, galaktyki i większe struktury znane jako gromady, supergromady, włókna i ściany, z „wielkimi ścianami” tysięcy galaktyk osiagającymi ponad miliard lat świetlnych długości. Mniej gęste regiony nie rosły, ewoluując w obszary pozornie pustej przestrzeni zwane pustkami.

Według francuskiego Narodowego Centrum Badań Kosmicznych (Centre National d'Etudes Spatiales, CNES) przez pierwsze 380 000 lat wszechświat był zasadniczo zbyt gorący, aby mogło świecić światło. Ciepło stworzenia rozbijało atomy z wystarczającą siłą, aby rozbić je na gęstą plazmę, nieprzezroczystą zupę protonów, neutronów i elektronów, która rozpraszała światło jak mgła. Według NASA, około 380 000 lat po Wielkim Wybuchu materia ostygła na tyle, że atomy mogły się uformować w erze rekombinacji, co doprowadziło do powstania przezroczystego, elektrycznie neutralnego gazu.

Do powstania naszego Układu Słonecznego doszło ok. 9 mld lat po Wielkim Wybuchu, co oznacza, że ma on ok. 4,6 mld lat⁷. Centrum naszego układu stanowi Słońce, wokół którego (znajdującego się w nim środka ciężkości naszego układu) krążą planety, czasami ich księżyc lub księżyce oraz planetoidy, asteroidy i komety. Część z tych ostatnich (planetoid, asteroid i komet) czasami w wyniku zmiany swych orbit spada na różne planety, księżyce lub Słońce. Nie jesteśmy w stanie obliczyć jaka była liczba tych upadków. Na naszej planecie udokumentowano dotąd dopiero ok. 196 kraterów po uderzeniu asteroid. Najstarszy z nich ma 2 mld lat⁸.

Asteroidy nie są próbkami pierwotnego Układu Słonecznego. Od czasu ich powstania przeszły znaczną ewolucję, w tym wewnętrzne ogrzewanie (w ciągu pierwszych kilkudziesięciu milionów lat), topienie powierzchni od uderzeń, wietrzenie przestrzeni kosmicznej od promieniowania i bombardowanie mikrometeoritami. Chociaż niektórzy naukowcy nazywają asteroidy resztkowymi planetozymalami, inni naukowcy uważają je za odrębne. Uważa się, że obecny pas asteroid zawiera jedynie niewielki ułamek masy pierwotnego pasa. Symulacje komputerowe sugerują, że oryginalny pas asteroid mógł zawierać masę równoważną Ziemi. Głównie z powodu zaburzeń grawitacyjnych większość materiału została wyrzucona z pasa w ciągu około 1 miliona lat od powstania, pozostawiając mniej niż 0,1% pierwotnej masy. Od czasu ich powstania rozkład wielkości pasa asteroid pozostał względnie stabilny: nie odnotowano znaczącego wzrostu lub zmniejszenia typowych wymiarów asteroid pasów głównych.

Kiedy doszło do utworzenia pasa asteroid, temperatury w odległości 2,7 AU od Słońca utworzyły „linię śniegu” poniżej punktu zamarzania wody. Planetesimale utworzone, poza tym promieniem były w stanie gromadzić lód. W 2006 roku ogłoszono, że została odkryta populacja komet w pasie asteroid poza linią śniegu, co mogło być źródłem wody dla oceanów na Ziemi. Według

⁷ Charles Q. Choi, *Nasz rozszerzający się wszechświat: wiek, historia i inne fakty*, <https://www.space.com/52-the-expanding-universe-from-the-big-bang-to-today.html>

⁸ Podana liczba, w wyniku kolejnych odkryć - stosunkowo szybko ulega zmianom.

niektórych modeli niewystarczające odgazowanie wody w okresie formacyjnym Ziemi do formowania oceanów wymagało zewnętrznego źródła, takiego jak bombardowanie komet.

W początkowym okresie formowania się Układu Słonecznego stale rosnące skupiska materii regularnie zderzały się ze sobą, widać to doskonale na pokrytej bruzdami i kraterami powierzchni planetoid, widać to również doskonale na powierzchni naszego księżyca. On właśnie stanowi oderwaną, na skutek takiego kosmicznego zderzenia, część skorupy ziemskiej, kiedy 4,5 mld lat temu w formującą się Ziemię uderzyła planeta wielkości Marsa (Teoria Wielkiego Zderzenia). Taka geneza powstania księżyca tłumaczy, dlaczego w jego składzie występują głównie minerały skałotwórcze takie jak w skorupie ziemskiej. Można też założyć, że podobieństwo to wynika z podobnych do ziemskich upadków asteroid na Księżyc.

Kilka skądinąd nieistotnych ciał w pasie zewnętrznym asteroid wykazuje aktywność kometarną. Ponieważ ich orbit nie można wytłumaczyć schwyтaniem klasycznych komet, uważa się, że wiele zewnętrznych asteroid może być oblodzonych, a lód czasami narażony jest na sublimację przez niewielkie uderzenia. Komety pasa głównego mogły być głównym źródłem oceanów na Ziemi, ponieważ stosunek wodoru i deuteru jest zbyt niski, aby klasyczne komety były ich głównym źródłem. Niektóre szczątki powstałe w wyniku zderzeń asteroid mogą tworzyć meteoroidy, które dostaną się do ziemskiej atmosfery. Uważa się, że spośród 50000 meteorytów znalezionych na Ziemi, 99,8% powstało w pasie asteroid.

Pierwszymi obiektami blisko Ziemi obserwowanymi przez ludzi były komety. Ich pozaziemska natura została rozpoznana i potwierdzona dopiero po tym, jak Tycho Brahe próbował zmierzyć odległość komety poprzez jej paralaksę w 1577 roku; okresowość niektórych komet została rozpoznana w 1705 roku, kiedy Edmond Halley po raz pierwszy opublikował swoje obliczenia orbity dla powracającego obiektu znanego obecnie jako Kometą Halleya. Powrót Komety Halleya w latach 1758–1759 był pierwszym przewidywanym pojawieniem się komety. Mówi się, że kometa Lexella z 1770 roku była pierwszym odkrytym obiektem w pobliżu Ziemi.

Pierwszą asteroidą zidentyfikowaną w pobliżu Ziemi była 433 Eros w 1898 roku. Asteroida została poddana kilku kampaniom obserwacyjnym, głównie dlatego, że pomiary jej orbity umożliwiły precyzyjne określenie niedokładnie znanej wówczas odległości Ziemi od Słońca. W 1937 roku została odkryta asteroida 69230 Hermes, gdy minęła Ziemię w odległości dwukrotnie większej od Księżyca. Hermes był uważany za zagrożenie, ponieważ zaginął po jego odkryciu; dlatego jego orbita i potencjał zderzenia z Ziemią nie były dokładnie znane. Hermes został ponownie odkryty w 2003 roku. Dziś wiadomo, że nie stanowi on żadnego zagrożenia przez co najmniej następne stulecie. 14 czerwca 1968 roku asteroida o średnicy 1,4 km 1566 Icarus minęła Ziemię w odległości 0,042482 AU (6 355 200 km), czyli 16 razy więcej niż Księżyc. Podczas tego podejścia Ikar stał się pierwszą mniejszą planetą obserwowaną za pomocą radaru, z pomiarami uzyskanymi w Obserwatorium Haystacka i na stacji monitorowania Goldstone.

Do dziś rozpoznano ponad 20000 znanych asteroid w pobliżu Ziemi (NEA), ponad sto krótkoterminowych komet (NEC) oraz wiele orbitujących wokół Słońca meteoroidów wystarczająco dużych, aby można je było śledzić w kosmosie przed uderzeniem w Ziemię. Obecnie powszechnie przyjmuje się, że kolizje w przeszłości odegrały znaczącą rolę w kształtowaniu geologicznej i biologicznej historii Ziemi. Asteroidy tak małe, jak te o średnicy do 20 m, mogą uszkodzić lokalne środowisko i populacje. Większe asteroidy penetrują atmosferę, a po upadku na powierzchnię Ziemi, tworzą ogromne kratery lub tsunami.

Często materiał asteroidy jest tak cienko rozmieszczony, że liczne bezzałogowe statki kosmiczne przemierzyły go bez żadnych incydentów. Poszczególne asteroidy w pasie asteroid są podzielone na kategorie według ich widm, przy czym większość dzieli się na trzy podstawowe grupy: węglową (typ C), krzemianową (typ S) i bogatą w metal (typ M). Pas asteroid utworzony z pierwotnej mgławicy słonecznej określany jest jako grupa planetozymali. Planetesimals to mniejsze prekursorzy protoplanet. Jednak między Marsem a Jowiszem zaburzenia grawitacyjne Jowisza nasycali protoplanety zbyt dużą energią orbitalną, aby mogły się one przeniknąć na planetę. Zderzenia stały się zbyt gwałtowne i zamiast się stopić, planetozymale i większość protoplanet roztrzaskały się. W rezultacie 99,9% pierwotnej masy pasa asteroid zostało utracone w ciągu pierwszych 100 milionów lat historii Układu Słonecznego. Niektóre fragmenty ostatecznie trafiły do wewnętrznego Układu Słonecznego, prowadząc do uderzeń meteoroidów w wewnętrzne planety. Orbits planetoid nadal są znacznie zakłócone, ilekroć ich okres obrotu wokół Słońca tworzy rezonans orbitalny z Jowiszem. Na tych orbitalnych odległościach występuje przerwa Kirkwooda, gdy są one przenoszone na inne orbity.

Komety bliskie Ziemi (NEC) to obiekty na orbicie ziemskiej z ogonem lub śpiączką. Jądra komety są zwykle mniej gęste niż asteroidy, ale mijają Ziemię z większymi prędkościami względnymi, dlatego energia uderzenia jądra komety jest nieco większa niż energii podobnej wielkości asteroidy. NEC mogą stanowić dodatkowe zagrożenie ze względu na fragmentację: strumienie meteoroidów wytwarzające deszcze meteorów mogą zawierać duże nieaktywne fragmenty, w rzeczywistości NEA. Chociaż nie potwierdzono jednoznacznie wpływu komety na historię Ziemi, wydarzenie tunguskie mogło być spowodowane fragmentem Komety Encke. Komety są zwykle dzielone na komety krótko- i długoterminowe. Krótkoterminowe komety, których okres obiegu księżycy wynosi mniej niż 200 lat, powstają w pasie Kuipera, poza orbitą Neptuna; podczas gdy komety długookresowe powstają w Obłoku Oorta, w zewnętrznych obszarach Układu Słonecznego. Rozróżnienie okresu orbitalnego ma istotne znaczenie w ocenie ryzyka związanego z kometami w pobliżu Ziemi, ponieważ NEC krótkookresowe można zaobserwować podczas wielu objawień, a zatem ich orbity można wyznaczyć z pewną precyzją, podczas gdy długi okres Można założyć, że NEC były widziane po raz pierwszy i ostatni, kiedy pojawiły się w Erze Nauki, dlatego ich podejścia nie można przewidzieć z dużym wyprzedzeniem. Ponieważ szacuje się, że zagrożenie ze strony NEC o długim okresie stanowi najwyżej 1% zagrożenia ze strony NEA, a komety o długim okresie są bardzo słabe, a zatem trudne do wykrycia w dużych

odległościach od Słońca, wysiłki Spaceguard konsekwentnie koncentrowały się na asteroidy i komety krótkotrwałe. CNEOS ogranicza nawet definicję NEC do krótkotrwałych komet – w dniu 10 maja 2018 r. odkryto 107 takich obiektów.

Skutkiem uderzenia asteroidy w oceany (prawdopodobieństwo ok. 70%-75%) są ogromne fale tsunami, sięgające nawet kilkudziesięciu metrów, które mogą zniszczyć miejsca znajdujące się daleko od miejsca jego powstania. Przypuszczam też, że uderzenie to, jeśli do niego doszło na trasie jakiegoś prądu morskiego lub lądolodu, mogłoby spowodować jego miejscowe ocieplenie, co mogłoby skutkować nagrzaniem wody na trasie prądów oceanicznych, w konsekwencji wpłynąć na gwałtowne topnienie lodowców, później zaś wzrost poziomu wód oceanów, ich nacisk na skorupę ziemską i wreszcie wybuchy wulkanów, których skutkiem były krótkotrwałe lub dłuższe zmiany klimatu (ochłodzenia) i ponowny wzrost zlodowacenia. To jednak tylko hipoteza i skala tego zjawiska (ich zakres i czas kolejnych etapów) jest praktycznie nie do wyliczenia. Kiedy asteroida wchodzi w atmosferę naszej planety, wytwarza mnóstwo energii, która rozprzestrzenia się pod postacią potężnej fali uderzeniowej, czyli wiatru o sile tornada oraz podmuchów gorąca. Inny wpływ na klimat ma zapewne ich uderzenie (zwłaszcza tych o znacznej masie) w kontynenty. Uderzenie asteroid może powodować wyrzucenie do atmosfery ogromnych mas pyłów, a ich obecność w stratosferze powodowała to, że został ograniczony dostęp promieniowania słonecznego, co niewątpliwie musiało wpłynąć na ochłodzenie klimatu. Nie potrafimy dziś dokładnie określić jego zasięgu i czas trwania. Na zmiany klimatyczne wpływ ma również czas uderzenia (pora roku), jego miejsce i panujący wcześniej klimat. Wynik Hamachera w tym wypadku, zależy m.in. od gęstości, wielkości, kąta upadku oraz prędkości uderzenia impaktora. Jak wspominałem poniżej, często nie były to jednostkowe uderzenia, lecz na Ziemię spadało w jednocześnie wiele obiektów (o różnej wielkości). Wpływ ten był niewątpliwie znaczny. Szerzej omawiam te kataklizmy w kolejnych rozdziałach.

Moim zdaniem, to wielkie uderzenia asteroid były przyczyną przesuwania się kontynentów, a co za tym idzie i orogenezy. Pewną, choć mniejszą rolę odgrywały w tym procesie zmiany klimatyczne, w wyniku, których powstawały lodowce, a później ich topnienie przyczyniało się do zmiany poziomu oceanów i nacisku ich wód na płyty tektoniczne. Ziemia jest swego rodzaju wielkim organizmem i wszelkie wpływy na jej skorupę w jednym miejscu mają wpływ na całą jej powierzchnię. W wyniku wielkiej fali uderzeń asteroid trafiła na Ziemię woda. To one też przyniosły na naszą planetę wiele minerałów: m. in. złoto, miedź, platynę, a być może (choć to bardzo ryzykowna hipoteza) również ropę i gaz ziemny. To w wyniku upadków meteoroidów dochodziło do powstawania diamentów.

Znacznie łatwiejsze jest odkrycie śladów kolejnych erupcji wulkanicznych lub innych klęsk żywiołowych (np. połączenie się wielkich jezior z oceanami oraz powstawanie mórz), choć i w tym wypadku, zwłaszcza dla okresów sprzed milionów, a tym bardziej miliardów lat, jest to bardzo trudne. Katastrofy związane z powstawaniem mórz, zmian ich linii brzegowych miały też znaczne wpływy lokalne. Zmiana ekosystemu zmuszała różne żywe organizmy, a później i wielkie społeczności ludzkie to zmiany trybu życia, poszukiwania innych źródeł

żywności, a w pierwszych latach po tych kataklizmach dochodziło również zapewne do znacznej depopulacji, której przyczyną było gwałtowne ograniczenie dostępu do żywności, konieczność walki z innymi społeczeństwami, które wcześniej zajęły inne nisze ekologiczne.

Wulkany i ich rozmieszczenie

Nie potrafimy dziś precyzyjnie określić, kiedy na Ziemi doszło do wybuchu pierwszego wulkanu, mało tego, nie potrafimy jeszcze wyjaśnić bez wątpliwości, w jaki sposób doszło do powstania magmy (sądzę, że nie powinniśmy odrzucać hipotezy, że tak jak woda oceanów, również i magma wulkaniczna powstała w wyniku zderzeń asteroid i z tzw. pasa asteroid później trafiła na Ziemię, a być może powstała dopiero na Ziemi w wyniku upadku asteroidy, która dopiero w zderzeniu z atmosferą, a później z Ziemią pod wpływem ogromnego ciśnienia i ogromnych temperatur stała się magmą. Być może magmą stała się pierwotnie powstała w wyniku zderzenia Ziemi z Theą lava, która w wyniku bombardowania komet i asteroid, które „przyniosły” na ziemię wodę, zgromadziła się u granic płyt tektonicznych – stąd tzw. „pierścień ognia” i tu przykryta innymi pozostałościami tych asteroid zachowuje swą temperaturę). W ostatnich latach geologom udało się odkryć w centrum Amazonii, między rzekami Tapajos i Jamanxin w stanie Para, na północy Brazylii, wygasły wulkan, którego wiek oceniają na 1,9 miliarda lat. Przypuszcza się, że jest to najstarszy znany wulkan na Świecie. Większość dawnych wulkanów ma około 60 milionów lat, zaś najstarsze ze znanych dotychczas liczą sobie 500 milionów lat. Znajdowanie tak dobrze zachowanych struktur jak wspomniany wulkan z Amazonii należy do rzadkości, bowiem zwykle w ciągu kilku milionów lat powstałe w tak odległej przeszłości wulkany ulegają zniszczeniu. Wiemy też, że ogromna ilość wulkanów znajduje się pod wodami oceanów i mórz, a dotarcie do nich i przeprowadzenie ich badań jest bardzo trudne, często wręcz niemożliwe.

Mechanizmy powstawania gigantycznych erupcji wulkanicznych (powodowanych przez stratowulkany) pozostają niejasne. Naukowcy z uniwersytetu stanowego w Oregonie (USA) znaleźli jednak możliwą przyczynę tych katastrofalnych wybuchów. Według badaczy odpowiedzialność ponoszą naprężenia gromadzące się przez tysiące lat wokół komór magmowych zasilających wulkany. Po długim czasie doprowadzają one do powstania pęknięć, a następnie do zawalenia się komory i utworzenia tzw. kaldery. Wiąże się z tym gigantyczna eksplozja. Używając określenia „naprężenia” wspomniani naukowcy powinni jednak wyjaśnić ich istotę, a przynajmniej przyczynę ich powstawania. Moim zdaniem, na naprężenia te mają również wpływ okresy ocieplenia, w wyniku, których topnieją lodowce, a masy wyzwolonej w tym procesie wody zasilają oceany. Te z kolei naciskają na skorupę ziemską powodując przesuwanie się płyt tektonicznych. Być może wpływały na nie również uderzenia wielkich meteorytów, które powodowały przesuwanie się płyt tektonicznych i właśnie powstawanie „naprężeń”. Trudno w tym wypadku mówić o tysiącletnim okresie powstawania owych *naprężeń*, według mojej hipotezy dochodzi do nich w okresie znacznie krótszym (setek, a może nawet tylko

dziesiątek lat). Można też założyć, że powolne stygnięcie magmy oraz zachodzące w niej zmiany chemiczne, prowadzą do powstania gazów, które również mają znaczący wpływ na erupcje.

Rozmieszczenie wulkanów na kuli ziemskiej związane jest przede wszystkim z granicami płyt litosferycznych. Wulkany koncentrują się zarówno w dolinach ryftowych (na dnie oceanów), jak i na obszarach lądowych. Powstawały i powstają także w obrębie płyt nad tzw. *plamami gorącymi*. Miejscach, w których magma, pod wpływem docierającego najprawdopodobniej z jądra Ziemi strumienia ciepła przebiła skorupę ziemską i wydostała się na powierzchnię tworząc wulkan. Tego typu zjawiska mają charakter miejscowy, a najsłynniejsze tego typu wulkany powstały na Hawajach.

W ciągu ostatnich 100 tysięcy lat uaktywniło się ponad 1500 wulkanów. Drugie tyle wulkanów jest uśpionych, takich, które „drzemia” już wiele tysięcy lat. Najwięcej wulkanów znajduje się wzdłuż wybrzeży Oceanu Spokojnego. Obszar ten nosi nazwę „Ognisty pierścień”. Jest to obszar krawędzi wielkich płyt litosfery, gdzie procesy wywołujące kolizję płyt są szczególnie aktywne, dlatego też zjawiska wulkaniczne i towarzyszące im trzęsienia ziemi są tu bardzo częste. Na kuli ziemskiej jest obecnie czynnych około 450 wulkanów. Większość z nich znajduje się na lądach. Znaczna część wulkanów znajduje się na wyspach wulkanicznych, powstałych na skutek podwodnych erupcji. Dokładne określenie liczby czynnych wulkanów jest niemożliwe, gdyż wulkanizm podwodny jest bardzo aktywny, ale nie zawsze zauważalny. Zdarza się jednak obserwować zjawiska współczesnego podwodnego wulkanizmu tam, gdzie pojawiają się i znikają nowe wysepki wulkaniczne. Są to tereny Aleutów, okolice Islandii i Azorów. Wulkany podwodne stanowią prawdopodobnie większość wulkanów na kuli ziemskiej.



Wulkany na kuli ziemskiej

(<https://procesylitosfery.wordpress.com/procesy-endogeniczne/wulkanizm/>)

Nie sposób w tak krótkiej pracy wymienić wszystkie czynne dziś wulkany, trudno nawet wskazać na największe ich skupiska. Oto kilka z nich: Indonezja znajduje się w pobliżu kolizji aż trzech płyt tektonicznych, które ścierają się ze sobą pod ogromnym ciśnieniem, a naprężenia te są uwalniane w postaci

silnych trzęsień ziemi oraz erupcji wulkanów. Na archipelagu tym znajduje się ponad 400 wulkanów (około 130 uważa się za czynne). Określany jest on jako „Pacyficzny Pierścień Ognia” – łuk intensywnej aktywności sejsmicznej i wulkanicznej rozciągającej się od podatnych na trzęsienia ziemi Japonii przez Azję Południowo – Wschodnią i Pacyfik. W Chile znajduje się ponad 1300 wulkanów! Dwa szczególnie znane to: Cerro Azul (nazywany też *Quizapú*) i Villarrica. W Europie najwięcej czynnych wulkanów znajduje się we Włoszech (Stromboli, Vulcano, Etna, Wezuwiusz) i na Islandii (Askja i Hekla). Na Islandii jest około 130 wulkanów (aktywnych i nieaktywnych). Około 30 aktywnych systemów wulkanicznych można znaleźć pod wyspą, we wszystkich częściach kraju poza Fiordami Zachodnimi.

Na Ziemi znajduje się kilka miejsc, o których możemy powiedzieć, że są mega wulkanami (stratowulkanami lub superwulkanami). Tylko w ciągu ostatnich 36 milionów lat na Ziemi doszło aż do 42 ich ogromnych erupcji. Ich skutki były katastrofalne. Obecnie istnieje siedem takich obiektów, a jeden z nich znajduje się w Europie. Są to: Yellowstone (USA), Aira i Aso na Kiusiu (Japonia), Toba na Sumatrze (Indonezja), ale również Campi Flegrei we Włoszech. Część wulkanologów uważa, że eksplozje tych wulkanów, których skalę w przeszłości ocenia się na VEI-8, zdarzają się co kilkadziesiąt tysięcy lat. Moim zdaniem, teoria ta jest bardzo dyskusyjna. Cykli takich nie sposób wyliczyć, uważam też, że teoria taka musi zakładać, że w komorach tych byłych stratowulkanów wciąż „wytwarzana” jest magma, że jej ilość nieustannie wzrasta. Nie istnieje jednak, jak dotąd, jedna powszechnie przyjęta teoria powstawania magmy.

Wulkan Yellowstone wybuchał z ogromną siłą 2,2 mln lat temu, 1,3 mln lat temu (moc VEI-7) i 64 tys. lat temu. Niestety, niewiele możemy powiedzieć o erupcjach wulkanów w głębi oceanów, a przecież ich wpływ na rozwój naszej planety i panujący na niej klimat również był niewątpliwy.

Wybuchy wulkanów o skali VEI-7 występują nieco częściej, znów zdaniem wulkanologów, co kilka tysięcy lat, natomiast VEI-6 co kilkaset lat (choć i tu nie jesteśmy w stanie określić, żadnej cykliczności, bywało, że nawet do wybuchów o skali VEI-8 dochodziło w krótszych odstępach czasu). Ilość zmiennych czynników, w których wyniku dochodziło do tych wybuchów, była zbyt duża, wszystkich nie znamy i stąd wyliczenie takiego cyklu jest niemożliwe. Nie możemy na przykład przewidzieć czy, a jeśli tak to, kiedy, gdzie i o jakiej masie spadnie na Ziemię kolejny asteroida, czy kometa?

W Europie zidentyfikowano dwa stratowulkany: wspomniany wyżej Campi Flegrei pod Neapolem oraz Laacher See w pobliżu Bonu i Ko-blencji. Campi Flegrei ostatni raz dał o sobie znać 37 tysięcy lat temu, wybuchł wtedy z siłą VEI-7. Natomiast Laacher See wybuchł niecałe 13 tys. lat temu z mocą VEI-6 (podobnie z mocą VEI-6 wybuchł Krakatau w 1883 roku). W XIX wieku doszło do wybuchu aż trzech wulkanów o skali 6 VEI (Santa Maria – 1902, Novarupta – 1912 i Mount Pinatubo – 1991) i 9 wulkanów, których erupcja wynosiła 5 VEI, zaś po roku 2000 wybuchło już kilkanaście wulkanów o skali 4 VEI: w tym Eyjafjallajökull (2010) i Puyehue-Cordón Caulle (2011). Ta druga erupcja w Europie przeszła właściwie bez echa, lecz na południowej półkuli (od Chile po

Nową Zelandię) zablokowała loty na kilkanaście dni.

Wpływ wulkanów na klimat

Na wpływ wulkanów na klimat Świata jako jeden z pierwszych, zwrócił uwagę już Benjamin Franklin w XVIII wieku. Castleden Rodney, od którego zaczerpnąłem tę informację, pisząc o wybuchach wulkanów tylko kilka razy zwraca uwagę na ich wpływ na klimat; Za każdym razem wspomina jednak, że emisja pyłów wulkanicznych (w tym ogromnych mas dwutlenku węgla) powoduje ochłodzenie klimatu.

Wulkany w trakcie erupcji wyrzucają lawę, popioły wulkaniczne, a także gazy. Kiedy na przykład w 1991 roku doszło do erupcji wulkanu Pinatubo na Filipinach, do stratosfery zostało wpompowane około 15 milionów ton dwutlenku siarki, który w reakcji z wodą stworzył mglistą powłokę rozciągającą się wokół globu. Za sprawą rozproszenia i absorpcji promieni słonecznych, mgła obniżyła temperaturę powierzchni Ziemi na dwa lata. W tym czasie wzrosła zapewne powierzchnia lodowców, zarówno tych w górach jak i na Antarktydzie i w Arktyce. Warto tu od razu zauważyć, że również powstawanie tych lodowców ma ogromny wpływ na klimat. Po pierwsze absorbują ogromne masy wody, co ma wpływ na opady na innych obszarach Świata, po drugie te, które znajdują się na drodze prądów wodnych przyczyniają się do ich ochłodzenia, a te, które rozbudowały się wokół szczytów gór wpływają na ochłodzenie przepływających tam mas powietrza. Może wpływ ten jest niewielki, moim zdaniem jednak jest on jednak niewątpliwy. Powstanie, a później czas istnienia lodowców przedłuża okresy ochłodzenia. Im większa katastrofa i im większe zanieczyszczenie stratosfery w wyniku, którego doszło do obniżenia temperatury na Ziemi, tym większy zasięg osiągają lodowce i tym dłużej trwają okresy ochłodzenia. Tu należy też wspomnieć o tym, że nie powinniśmy skupiać się tylko na największych erupcjach wulkanicznych, ważne jest również to, w jakim następstwie po nich miały kolejne erupcje (wulkanów o mniejszej sile erupcji). Ich zasięg był mniejszy, ale niewątpliwie przedłużały czas powstawania lodowców. Śledząc kolejne kataklizmy dostrzegłem, że ważne jest również miejsce ich zaistnienia. Miejsce katastrofy kosmicznej, czy erupcji wulkanu ma związek z ochłodzeniem klimatu. Przypuszczalnie wynika to z tego, że na przykład wulkan znajdujący się bezpośrednio w pobliżu konkretnego prądu oceanicznego zanieczyszcza stratosferę najbardziej w strefie wybuchu, przez co woda oceaniczna właśnie w tym miejscu otrzymuje mniejsze ilości ciepła. Pyły wulkaniczne rozpraszają się wprawdzie w całej stratosferze, ale największe ich masy znajdują się nad wulkanem do erupcji, którego właśnie doszło. Schłodzenie prądu oceanicznego wpływa na ochłodzenie na lądach.

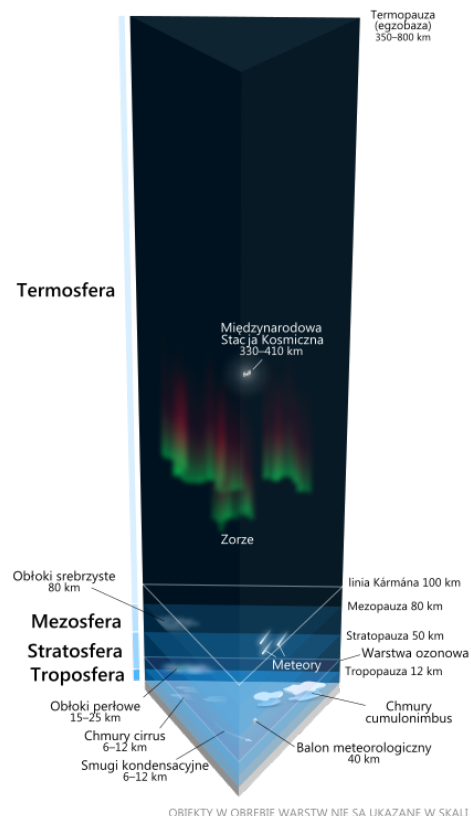
Wspomniałem powyżej o stratosferze. To bardzo ważna uwaga, tym bardziej, że w ostatnich latach toczy się żarliwa dyskusja na temat wpływu na klimat działań człowieka. Badacze zauważyli, że w wyniku aktywności ludzkiej do atmosfery dociera znacznie więcej dwutlenku węgla niż w czasie erupcji wulkanicznych. Badacze ci nie chcą jednak zauważyć, że produkowany (będący ubocznym efektem produkcji przemysłowej, produkcji potrzebnego dla

naszego bytowania ciepła oraz transportu), przez ludzi dwutlenek węgla nie dociera do stratosfery. Zanieczyszcza tylko tereny w pobliżu jego powstania, później absorbowany jest przez rośliny i w zasadzie dla klimatu i ludzi jest nieszkodliwy. Również inne substancje emitowane przez nas w powietrze nie mają zasadniczego wpływu na klimat. Metale ciężkie zanieczyszczają tylko najbliższą okolicę (tak było kiedyś z ołowiem, który znajdował się w benzynie i dlatego rośliny rosnące w pobliżu dróg zawierały jego szkodliwe dla zdrowia ilości). Szkodliwość zanieczyszczeń produkowanych przez ludzi dla naszego zdrowia jest oczywista i nie podlega dyskusji, ich wpływ jednak na klimat jest, co najmniej dyskusyjny, w każdym razie niewielki.

Z drugiej strony erupcje wulkaniczne są na tyle silne, że są w stanie wprowadzić ogromne masy pyłów wulkanicznych do stratosfery, zanieczyszczając ją na ogromnych obszarach i wpływają na to, że znaczna część promieniowania słonecznego nie dociera na Ziemię, więc to one przyczyniają się do powstania okresów gwałtownego ochłodzenia klimatu.

Wybuchy wulkanów są też przyczyną znacznych zniszczeń o charakterze lokalnym. Ich powodem są: fale uderzeniowe, tsunami (jeśli stratowulkan położony jest blisko morza lub pod jego dnem), spływ piroklastyczny, gorejące popioły, skały i pumeks rozrzucone na odległość wielu kilometrów, wreszcie gazy.

Wynikiem tych erupcji bywa śmierć okolicznych mieszkańców, czasami nawet zniszczenie całych miast i wielu okolicznych osad, czasowe zniszczenie środowiska przyrodniczego, pożary itp. Bywa, że uwalniane w wyniku erupcji wulkanu do atmosfery tlenki siarki tworzą nad nim powłokę kwasu siarkowego. Skutkiem są zabójcze dla roślin i zwierząt kwaśne deszcze.



Atmosfera Ziemi (https://pl.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_Ziemi)

Erupcje te (zwłaszcza wulkanów o większej sile VEI, a także tych znajdujących się w pobliżu prądów oceanicznych) mają również wpływ globalny. Ogromne masy popiołu o wadze miliardów ton wyrzucane są przez wulkany w górne warstwy atmosfery, a następnie rozpraszane przez prądy powietrzne po ogromnej powierzchni kuli ziemskiej, przez co znacząco wpływają na zmiany klimatyczne na naszym globie. Czasami zmiany te bywały wręcz ogromne.

Badanie współczesnej i dawnej działalności wulkanicznej pozwoliło niektórym wulkanologom powiązać ochładzanie i powstawanie zlodowaceń z okresami zwiększonej aktywności wulkanicznej. W 1956 r., w kilka dni po wybuchu Bezimiennego, pochodzący z niego popiół pojawił się w górnych warstwach troposfery nad Londynem. Popiół wyrzucony w roku 1963 przez wulkan Agung na wyspie Bali (Indonezja) odnaleziono na wysokości około 20 km nad Ameryką Północną i Australią. Zapylenie atmosfery popiołem wulkanicznym powoduje znaczne zmniejszenie jej przezroczystości, a w konsekwencji zmniejszenie radiacji słonecznej o 10 – 20%. Dziwi więc, że rola zjawisk wulkanicznych w procesie powstawania zlodowaceń jest do dzisiaj bagatelizowana przez wielu uczonych. I w tym przypadku, podobnie jak i w przypadku asteroid, zawiniła przede wszystkim zasada aktualizmu geologicznego. W czasach współczesnych wielkie erupcje w trakcie, których wyrzucone były ogromne ilości popiołów, zdarzały się wielokrotnie: Tambora (1815) – 186 km³, Cosiguina (1835) 10 km³, Krakatau (1883) – 18 km³, Ksudacz (1907) 3 km³, Katamai (1912) – 28 km³, Bezimienny (1965) – 3 km³. Erupcje te następowały co kilkadziesiąt lat, w ciągu których wyrzucony przez jeden wulkan popiół zdążył osiąść na Ziemi na długo przed następnym wybuchem, dlatego też sumaryczny wpływ tych erupcji na zmiany klimatu w tym okresie był niewielki mimo znacznego efektu klimatycznego każdego z nich. Zmiany klimatyczne należy wiązać nie tylko z jakimiś szczególnymi wybuchami wulkanów, ale z okresowym wzrostem aktywności wielu z nich. Powinniśmy tu też postawić pytanie: jaka byłaby globalna temperatura Ziemi, gdyby do takich wybuchów nie dochodziło? Być może brak tych erupcji wpłynąłby na wcześniejsze znaczne ocieplenie klimatu, może to właśnie dzięki tym erupcjom warunki klimatyczne Ziemi umożliwiają nasze bytowanie?

Badania osadów dna Oceanu Spokojnego i Oceanu Atlantyckiego wykazały, że intensywność zjawisk wulkanicznych w czwartorzędzie zmieniała się stosunkowo często. Takie wahania mogły przypuszczalnie dotyczyć ogromnych obszarów, ponieważ nawet oddalone znacznie od siebie osady dennie tych oceanów cechują się podobną zmiennością. Interesujące jest to, że okresy najobfitszej sedymentacji popiołów wulkanicznych pokrywają się z poszczególnymi stadiami zlodowaceń. Współczesna aktywność wulkaniczna nie powoduje dostrzegalnej koncentracji popiołów w osadach oceanicznych. Stąd też można przypuszczać, że w okresie powstawania „chłodnych” horyzontów osadów dennych, intensywność wulkanizmu była znacznie większa.

Na zakończenie podrozdziału o klimacie, należy wspomnieć również o kataklizmach o nieco mniejszej skali, np. erupcje mniejszych wulkanów, czy upadki mniejszych asteroid. Zniszczenia lokalne i zmiany klimatyczne nimi spowodowane dotyczyły zaledwie roku, lub kilku kolejnych lat i mniejszych

obszarów. Były często jednak wystarczająco znaczące, by spowodować klęskę nieurodzaju, wymarcie zwierzyny i spadek populacji ludzkiej na wielu terytoriach. Wpływały także na zmiany polityczne, np. wędrówki ludów, której jednym z istotnych źródeł mogła być właśnie nawet krótkotrwała zmiana klimatu!

Praca ta jest próbą ukazania głównych kierunków zmian Klimatycznych w dziejach Ziemi od czasów jej powstania aż po XXI wiek. Próbuję wykazać tu pewne związki między tymi zmianami, a pojawiającymi się mniej więcej w tym samym okresie kataklizmami naturalnymi, próbuję też ukazać wpływ tych kataklizmów i zmian klimatycznych na środowisko, a zwłaszcza na rozwój naszego gatunku, na przykład na wielkość populacji ludzkiej i zachodzące w niej zmiany kulturowe, a także genetyczne.

Rozdział III

Najstarsze ślady kataklizmów w historii Ziemi i ich skutki

Zacznę od cytatu, być może z niezbyt ważnego artykułu, ale przecież z dość poważnego pisma, zresztą podobne teorie pojawiają się dość często. Piszcie jeden z autorów: *Pączkujący Układ Słoneczny był miejscem chaotycznym i pełnym przemocy. Słońce powstało z masywnej, wirującej mgławicy gazu i pyłu około 4,6 miliarda lat temu. A około 4,5 miliarda lat temu, kiedy Ziemia była jeszcze w powijakach, protoplaneta mniej więcej wielkości Marsa zderzyła się z naszą planetą, prawie ją niszcząc*⁹. Dziś już wiemy, że wyrażone w tym artykule poglądy są błędne. Oczywiście istnienie masywnej, wirującej mgławicy gazu i pyłu w wyniku Wielkiego Wybuchu było niemożliwe. Tak wielkie ciśnienie i wielka temperatura w owym okresie musiały spowodować, że materia znajdowała się wówczas w stanie plazmy. Ten stan materii odkryto jednak dopiero niedawno i minie z kolei sporo czasu zanim wynikające z tego faktu wnioski zaczniemy odnosić do wielu innych faktów w przyrodzie. W jakim stanie była materia i jakie w niej zachodziły zmiany w wyniku innych kataklizmów (np. zderzeń asteroid, ich uderzeń w planety) to temat, który wciąż oczekuje na badania.

Czas powstania pierwszej skorupy Ziemi oblicza się dziś na około 4,6 miliarda lat. Jej powstanie wiąże się z ogromnym kataklizmem. Ostatnie badania wskazują, że u zarania powstania naszej planety doszło do kolizji z inną, nieco mniejszą, poruszającą się na tej samej orbicie (wielkości Marsa – zwaną Theą lub Orfeuszem). To w wyniku tej kolizji doszło do powstania Księżyca o masie ponad 80 razy mniejszej od naszej planety. Część skał oderwanych w wyniku tego kataklizmu od ziemi zamieniło się w roje meteorytów. Ubocznym efektem tego kataklizmu było też powstanie skorupy ziemskiej.

Ostatnie zdanie, to oczywiście cytaty za jakimś źródłem. Nie warto go podawać, informacja ta powielana jest w wielu materiałach, a przecież powinna budzić wątpliwości. O jakich to „skałach” wspominają ci autorzy? Czy Ziemia, jej nawet powierzchnia była rzeczywiście w stanie stałym a nie gazowym, może nawet plazmy? To pytanie, na które musimy odpowiedzieć. Myślę, że hipoteza skały jest bardzo wątpliwa, tym bardziej że temperatura zderzenia musiała wprowadzić zmiany.

[Kształt Ziemi zmienił się dość dramatycznie od czasu jej powstania. Początkowo Ziemia była małą protoplanetą bez księżyca około 4,5 miliarda lat

⁹ Raymond Shubinski, *Największe katastrofy Ziemi: historia uderzeń asteroid*, <https://www.astronomy.com/science/earths-greatest-hits-a-history-of-asteroid-impacts/> | Opublikowano: 14 września 2022 | Ostatnia aktualizacja: 18 maja 2023 r.

temu. Ta proto-Ziemia (zwana Gają) poważnie zderzyła się z inną wczesną planetą, Theią, podczas śledzenia jej orbity wokół Słońca. Ze względu na duże rozmiary Gaia zdominowała zderzenie i zaczęła formować kształt Ziemi, jaką znamy dzisiaj. W międzyczasie większość pozostałości po zderzeniu skonsolidowała się i utworzyła Księżyc.]

Hipoteza uderzenia giganta, czasami nazywana Wielkim Pluskiem lub Uderzeniem Thei, jest hipotezą astrogeologiczną dotyczącą powstania księżyca dotyczącą powstania Księżycy. Została zaproponowana po raz pierwszy w 1946 roku przez kanadyjskiego geologa Reginalda Daly'ego. Hipoteza ta sugeruje, że wczesna Ziemia zderzyła się z planetą karłowatą wielkości Marsa, znajdującą się na tej samej orbicie, około 4,5 miliarda lat temu, we wczesnym eonie Hadeanu (około 20 do 100 milionów lat po połączeniu Układu Słonecznego), a wyrzut w wyniku zderzenia później akumulował, tworząc Księżyc. Planeta impaktorowa jest czasami nazywana Thei, na cześć mitycznego greckiego Tytana, który był matką Selene, bogini Księżycy. Analiza skał księżycowych opublikowana w raporcie z 2016 r. sugeruje, że uderzenie mogło być bezpośrednim uderzeniem, powodując fragmentację i dokładne wymieszanie obu ciał macierzystych. [...] Przewiduje się, że energia takiego gigantycznego uderzenia ogrzała Ziemię, tworząc globalny ocean magmy, a dowody na wynikające z tego zróżnicowanie planetarne cięższego materiału zatapiającego się w płaszczu Ziemi zostały udokumentowane¹⁰.

Powinniśmy jednak pamiętać, że mówimy wciąż tylko o hipotezie. Pojawiają się i takie, które zakładają, że Księżyc jest asteroidą przejętym około 4,5 mld lat temu przez Ziemię. Moim zdaniem, autorzy tych hipotez niesłusznie pomijają zderzenia Księżycy z asteroidami. Tych było prawdopodobnie bardzo wiele. Powierzchnia Księżycy zmieniała się przez miliardy lat podobnie jak powierzchnia Ziemi. Oczywiście z uwzględnieniem ich wielkości i wynikających z tego powodu sił grawitacji.

Ostatnio hipoteza Thei uzyskuje kolejne potwierdzenia. Przez dziesięciolecia naukowców intrygowały dwa główne tajemnicze miejsca w skorupie ziemskiej. Te formacje skalne mają tysiące kilometrów długości i są nieco gęstsze niż ich otoczenie, co sugeruje, że są zbudowane z innych materiałów niż reszta płaszczu. Nowe modele komputerowe potwierdzają dramatyczną historię pochodzenia tych dziwnych plam: są to artefakty gigantycznej kolizji, która miała miejsce 4,5 miliarda lat temu pomiędzy wczesną Ziemią a inną planetą. Modelowanie pokazuje, że to gwałtowne spotkanie spowodowało, że materiał ze zderzającego się świata, znanego jako Theia, został osadzony w dolnej połowie płaszczu Ziemi. Zderzenie spowodowało również wysłanie niektórych szczątków Thei na orbitę; ostatecznie połączyły się one, tworząc Księżyc¹¹. To ciekawe i ważne odkrycia, choć niektóre z

¹⁰ Hipoteza uderzenia giganta, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Giant_impact_hypothesis.

¹¹ Dziwne plamy w skorupie ziemskiej są pozostałością po potężnej kolizji, <https://www.mesonstars.com/space/strange-spots-in-the-earths-crust-are-remnants-of-a-massive-collision/doi:https://doi.org/10.1038/d41586-023-03385-9> Autorzy ogłosili te wyniki podczas spotkania planetarnego w 2021 roku. Badanie ukazało się w czasopiśmie Nature.

wysuwanych na ich podstawie hipotez wydają się dyskusyjne. W jednym z ostatnich zdań cytowanego artykułu czytamy, że: badanie to sugeruje, że „to gigantyczne uderzenie spowodowało niejednorodność na Ziemi, która może utrzymywać się przez miliardy lat” – powiedział¹². Uważam, że do niejednorodności skorupy ziemskiej przyczyniały się również kolejne kataklizmy (upadki asteroid, komet, czy wulkanizm).

Tym bardziej dyskusyjna jest hipoteza wyrażona w *Nature Astronomy* przez planetologów z Uniwersytetu w Münster w Niemczech, którzy stwierdzili, że zderzenie Gai i Thei zapoczątkowało powstanie życia na Gai. Zakłada, że w wyniku niewyobrażalnie gwałtownego zderzenia z Thei na Gaję przeniosły się duże ilości wody, gdyż na Teii znajdowały się ogromne złoża lodu wodnego, ponieważ powstał on w bardziej mroźnym zewnętrznym Układzie Słonecznym, a nie w znacznie gorętszym i suchym wewnętrznym Układzie Słonecznym. Ten ogromny potop wody wyrzucony z Thei do Gai utworzył oceany, w których żyje dziś wiele stworzeń¹³.

W wyniku uderzenia Thei doszło do korzystnej, z punktu późniejszego rozwoju życia na naszej planecie, zmiany osi kuli ziemskiej, która odąd krąży wokół słońca z nachyleniem od 22 do 24,5 stopnia. Tyleż stopni liczy też promień każdego z pól podbiegunowych oraz odległość zwrotników od równika. Dzięki temu zmieniają się na Ziemi pory roku.

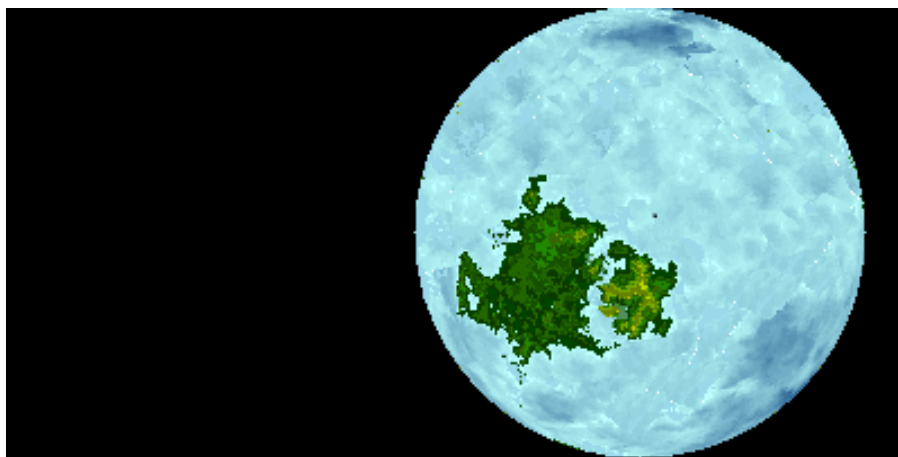
Osobiście uważam tę hipotezę za bardzo niewiarygodną, jest oczywiście sprzeczna z tą, która głosi, że woda została sprowadzona na Ziemię w wyniku kolejnych katastrof, tzw. „wielkiego bombardowania” o czym poniżej. Hipoteza ta jest tym bardziej niewiarygodna, że zdaniem zwolenników pierwszej z przedstawianych tu hipotez i Gaja i Thea znajdowały się na tej samej orbicie. Jak też wspomniałem, nie wiemy również dokładnie o tym w jakim stanie materii były w czasie zderzenia te dwie planety? Sądzę, że to właśnie zderzenie z Theą lub jakąś inną wielką planetoidą doprowadziło do powstania pierwszej warstwy skorupy Ziemi. Na początku prekambriu skorupa ziemska była jeszcze bardzo cienka, liczyła zaledwie kilka kilometrów i zbudowana była ze skał zasadowych i ultrazasadowych¹⁴. Była bardzo niestabilna, na jej powierzchni tworzyły się obszary gorącej lawy. Być może cała była magmą?

¹² Dziwne plamy w skorupie ziemskiej są pozostałością po potężnej kolizji <https://www.mesonstars.com/space/strange-spots-in-the-earths-crust-are-remnants-of-a-massive-collision/> doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-023-03385-9>

¹³ Johny, Vatican, *Zderzenie Teii z Ziemią sprowadziło wodę na naszą planetę*, <https://www.medicaldaily.com/collision-between-theia-and-earth-brought-water-our-planet-435570>, 27 maja 2019 03:24

¹⁴ Obecnie grubość skorupy ziemskiej wynosi od ok. 10 do 70 km.

Okres w dziejach Ziemi przed i w trakcie formowania się skorupy ziemskiej określany jest w geologii mianem Hadeiku (od słowa Hades). Ocenia się, że trwał około 0,6 miliarda lat, czyli do ok. 4 miliardów lat temu. Na ten czas datowane są kryształy cyrkonu (w złożach zachodniej Kanady i zachodniej Australii), do których powstania niezbędna była woda w stanie płynnym, oraz wstęgowe rudy żelaziste na Grenlandii, zawierające węgiel organiczny, co może świadczyć o jakiejś formie fotosyntezy. Pojawiają się też teorie, że już w tym czasie mogło formować się już życie na Ziemi. Moim zdaniem, są to teorie bardzo dyskusyjne. Aby do tego doszło musiałaby już wtedy na Ziemi pojawić woda i tlen (choć wcześniej zaczęły rozwijać się organizmy beztlenowe).



Vaalbra (Eoarchean) 3,6-2,7 Ga. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów.

Powyższy diagram przedstawia (domniemany) starożytny kontynent Vaalbara, który jest przypuszczalnie wczesnym superkontynentem Ziemi. Składał się z Kratonu Kaapvaal (obecnie we wschodniej Afryce Południowej) i Kratonu Pilbara (obecnie w północno-zachodniej Australii Zachodniej). Obydwa kratony składają się ze skorupy kontynentalnej o grubości od 2,7 do 3,6 Ga, co czyni Vaalbarę jednym z najwcześniejszych superkontynentów na Ziemi. Vaalbara składa się z części południowej Afryki (pokazanej na ciemnozielono) i regionu Pilbarar w Australii Zachodniej. Geologia tych dwóch regionów wskazuje, że w momencie ich powstania połączyły się w jeden kontynent, choć dziś są zupełnie od siebie odrębne. Regiony te zawierają jedne z najstarszych skał na Ziemi. Pomimo tego, że była przedstawiona na zielono, Vaalbara istniała przed przypuszczalnym pojawieniem się roślin lądowych i zakłada się, że była całkiem jałowa. To zdjęcie przedstawia Vaalbarę jako jedyny kontynent w tamtym czasie, jednak mogło tak być, ale nie musi, możliwe jest, że w tym czasie istniał inny ląd (obecnie dawno już nieistniejący z powodu recyklingu geologicznego).

Tak mapa, jak i w ogóle wizja istnienia Vaalbary jest tylko hipotezą. Odbyla się nawet debata na temat tego, kiedy i w ogóle czy istniała Vaalbara. Powiązanie archaiczno - paleoproterozoiczne (2,8–2,1 Ga) między Afryką

Południową a Australią Zachodnią zostało po raz pierwszy zaproponowane przez A. Buttona w 1976 r. Znalazł on szeroki zakres podobieństw między Basenem Transwalu w Afryce Południowej a Basenem Hamersley w Australii. Button umieścił jednak Madagaskar pomiędzy Afryką a Australią i doszedł do wniosku, że Gondwana musiała mieć długą, stabilną historię tektoniczną. Podobnie w rekonstrukcji Rogersa 1993, 1996 najstarszym kontynentem jest Ur. Jednak w rekonstrukcjach Rogersa Kaapvaal i Pilbara są umieszczone daleko od siebie już w swojej konfiguracji Gondwany, co zaprzecza późniejszym wydarzeniom górotwórczym i jest niezgodne z hipotezą Vaalbary. Niemniej jednak Cheney 1996 odkrył potrójne podobieństwo stratygraficzne i zaproponował, że oba kratony utworzyły kiedyś kontynent, który nazwał Vaalbara. Model ten potwierdzają dane paleomagnetyczne Zegersa, de Wita i Whire'a 1998. Rekonstrukcje paleolatitudes dwóch kratonów na poziomie 2,78–2,77 Ga są jednak niejednoznaczne. W rekonstrukcji Wingate'a 1998 nie pokrywają się one, ale w nowszych rekonstrukcjach tak, na przykład Strik i in. 2003. Inni naukowcy kwestionują istnienie Vaalbary i wyjaśniają podobieństwa między dwoma kratonami jako produkt procesów globalnych. Wskazują na przykład na grube osady wulkaniczne w innych kratonach, takich jak Amazonia, São Francisco i Karnataka.

Na spowitą chmurami trujących gazów Ziemię spadał deszcz meteorytów, zderzały się asteroidy, które po uderzeniu w powierzchnię planety tworzyły kratery wielkości Belgii. Apogeum tego kosmicznego bombardowania przypadło na okres około 3,9 miliarda lat temu i zostało nazwane przez naukowców okresem Late Heavy Bombardment (LHB). Naukowcy obliczyli, że w chwili uderzenia każdy z meteorytów oddawał 6 proc. swojej masy w postaci dwutlenku węgla i 12 proc. w postaci pary wodnej. Pierwsza substancja szybko wypełniła powietrze wilgocią, druga ociepliła planetę.

Odnosnie pojawienia się na naszej planecie wody w nauce istnieje kilka hipotez, wśród których dwie znajdują większe grono zwolenników. Pierwsza mówi o tym, że woda pochodzi z dysku protoplanetarnego, z którego potem ukształtowały się planety Układu Słonecznego. Pod wpływem aktywności wulkanicznej tzw. pierwotna woda uwięziona we wnętrzu Ziemi zaczęła przedostawać się na powierzchnię i tworzyć pierwsze zbiorniki. Ponadto, gdy istniała już gęsta atmosfera i wysoka temperatura oraz tlen, z połączenia dwóch pierwiastków, wodoru i tlenu właśnie, tworzyła się para wodna. Następnie skraplała się w wyższych, zimniejszych warstwach atmosfery. I tak powstał praocean. Druga teoria – obecnie przyjmowana za bardziej wiarygodną – mówi o tym, że woda trafiła do nas wraz z kometami i asteroidami w okresie „wielkiego bombardowania”, wywołanego gwałtownymi zmianami orbit planet Układu Słonecznego, w początkach historii naszej planety (między 3,8 a 4,1 mld lat temu). Z tamtego okresu pochodzi większość uderzeniowych kraterów na Księżycu. Ziemia też była wówczas areną ciągłego bombardowania kometami i innymi okruchami kosmicznymi.

Teoria ta miała dotąd jeden słaby punkt: komety, chociaż zwykle zawierają bardzo dużo lodu wodnego, to jednak są ciałami małymi i pojawiającymi się rzadko. Pochodzą też najczęściej z daleka (a więc z Pasa Kuipera, leżącego za Plutonem, lub jeszcze bardziej odległego Obłoku Oorta). Wodę więc musiały

„dowieść” na Ziemię inne obiekty kosmiczne – np. znacznie bliższe i znacznie większe asteroidy. Od dawna podejrzewano, że niektóre z nich mogą zawierać wodę, ale dopiero niedawno udało się to potwierdzić. W połowie 2010 r. dwa niezależne zespoły astronomów z Florida State University oraz John Hopkins University po raz pierwszy wykryły wyraźne spektograficzne ślady wody na asteroidzie. Chodzi o bryłę materii o średnicy około 200 km, zwaną 24 Themis. Okrąża ona Słońce w tzw. głównym pasie planetoid rozciągającym się między orbitami Marsa i Jowisza. Czyli dość blisko Ziemi. 24 Themis przewodzi całej rodzinie podobnych do niej asteroid, które nazywa się też asteroidami dynamicznymi, a czasem kometopodobnymi, ponieważ ciągną one za sobą ogony podobne do kometarnych. Podejrzewano, że zjawisko to spowodowane jest właśnie uwalnianiem drobin wody z ich powierzchni. Teraz wiadomo już, że tak jest.

Zdaniem autorów odkrycia, woda jest o wiele bardziej rozpowszechniona na asteroidach pasa głównego niż wcześniej sądzono. W przypadku 24 Themis znajduje się ona – w postaci lodu – nie tylko na powierzchni obiektu, lecz także w jego wnętrzu. Uwiarygodnia to hipotezę, że nasze oceany mają pozaziemskie pochodzenie. Przy czym w hipotezie tej nie neguje się źródła pierwotnego, a więc powstania części zasobów wodnych Ziemi z materii protoplanetarnej. Jakaś część ziemskiej wody z pewnością pochodzi z tego źródła, jednak znacznie więcej wody przybyło do nas z kosmosu i to przede wszystkim ta kosmiczna woda utworzyła dzisiejsze oceany. Ostatnie lata przyniosły wysyp odkryć dowodzących istnienia wody na wielu planetach i księżycach Układu Słonecznego, często na takich, których wcześniej nawet nie podejrzewano o jej obecność. Uważam, że założenie mówiące o tym, że woda na Ziemię dostała się za pośrednictwem asteroid, wcale nie wyklucza tego, że część jej mogła tu trafić w wyniku upadku komet. Na pozaziemskie pochodzenie wody wskazuje też podobieństwo wody zawartej w niektórych kometach i tej, która znajduje się w oceanach i morzach. Międzynarodowy zespół naukowców, (w którym uczestniczyła także Polska Akademia Nauk) wykazał, że proporcje dwóch izotopów wodoru (deuteru oraz zwykłej postaci tego pierwiastka) są w obu przypadkach podobne.

To więc kolejny wielki kataklizm (cała ich seria) przyczynił się w sposób znaczący do zmiany obrazu naszej planety. Wyżej przedstawiłem teorię, że do powstania oceanów, doszło w wyniku „wielkiego bombardowania”, które trwało ok. 300 milionów lat. Myślę jednak, że proces ten trwał znacznie dłużej, i tylko jego intensywność uległa zmianie. Wiele późniejszych upadków komet i asteroid mogło następować w już istniejące oceany, które jak wiemy dziś zajmują prawie 75% powierzchni Ziemi. Ich śladów oczywiście dziś znaleźć nie sposób. Być może udowodni je dalsza analiza chemiczna wód istniejących na Ziemi i w istniejących dziś kometach. Poniżej w tekście wspominam właśnie o jednym z takich „mokrych impaktów”.

Najnowsze badania wskazują jednak na to, że Late Heavy Bombardment był nie tylko kataklizmem, za jaki dotychczas go uważano, ale miał istotny udział w rozwoju życia na naszej planecie. Na podstawie symulacji komputerowych badacze ustalili, że nawet uderzenie w Ziemię ogromnej asteroidy, w wyniku, którego wyparowałyby oceany, nie wysterylizowałoby

całkowicie naszej planety. Wciąż istniałyby na niej miejsca o temperaturze 80 – 110 °C, w których z powodzeniem przetrwałyby i miały znakomite warunki do rozmnażania bakterie hipertermofilne. Deszcz meteorytów mógł też korzystnie zmienić atmosferę i stworzyć sprzyjające warunki do dalszego rozwoju pierwotnych form życia – uważają uczeni z Imperial College w Londynie pod kierownictwem dr. Richarda Courta. Ponadto potężne uderzenia kosmicznych skał rzeźbiły w skorupie ziemskiej ogromne kratery, które dla istniejących już pierwszych form życia mogły być przyjaznym środowiskiem do rozwoju. Naukowcy odkryli, że na Devonie efektem uderzeń meteorytów było m.in. powstanie systemu źródeł geotermalnych, w których temperatura dochodziła do 250 °C. Ich okolice stanowiły naturalną cieplarnię wspomagającą rozwój pierwszych organizmów. W granitowych skałach utworzyły się też wolne przestrzenie, w których mikroby znajdowały zasobne w składniki mineralne schronienie. Dziś badacze znajdują pierwsze argumenty na potwierdzenie tezy, że życie rzeczywiście spadło na naszą planetę z nieba – zapewne w postaci aminokwasów, czyli cegiełek budujących żywe organizmy, które zostały dostarczone przez meteoryty. Związki te mogą przybierać dwie formy: lewo- albo prawoskrętną (atomy w cząsteczce układają się w jedną lub w drugą stronę). W żywych organizmach występują jedynie lewoskrętne (prawoskrętne istnieją tylko w świecie nieożywionym). Dr Daniel Glavin, szef projektu prowadzonego w NASA Goddard Space Flight Center, badał pył meteorytów węglowych (próbki liczą aż 4,5 miliarda lat, czyli mniej więcej tyle co nasza planeta). Odnalazł w nim aminokwas o nazwie izowalina – niemal wyłącznie w lewoskrętnej wersji. Naukowcy uważają, że ten sam proces, który gdzieś w kosmosie utworzył przewagę lewoskrętnej izowaliny, w podobny sposób ukształtował również aminokwasy na Ziemi. Również inne poszlaki wskazują na to, że życie mogło przywędrować na Ziemię z przestrzeni kosmicznej. Rok temu zespół naukowców badający znaleziony w 1969 roku w Australii meteoryt Murchison odkrył, że zawiera on cząsteczki uracylu i ksantyny, zasad azotowych wchodzących w skład DNA i RNA. Ustalono przy tym ponad wszelką wątpliwość, że substancje te przybyły na Ziemię z kosmosu, a nie dostały się do meteorytu już po jego upadku. Świadczy o tym obecność w badanych związkach tzw. ciężkiej odmiany węgla, która mogła powstać jedynie w przestrzeni kosmicznej.

W wyniku zniszczenia skał pierwotnej skorupy oraz pojawienia się atmosfery i hydrosfery powstały pierwsze osadowe skały okruczowe, które podobnie jak skały magmowe ulegały przetapianiu i przeobrażaniu. Z czasem, w wyniku różnicowania się magmy, zaczęły powstawać pierwsze magmowe skały obojętne, a później kwaśne, tworząc w skorupie pierwsze segmenty sialiczne (mikrokontnenty).

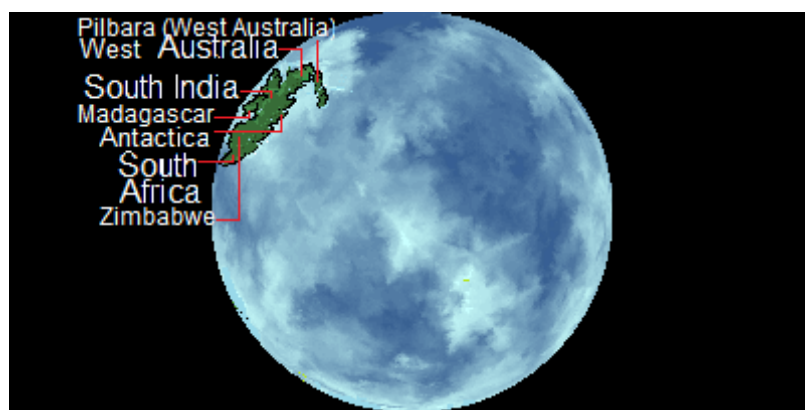
Powyższe informacje wymagają wyjaśnienia. Słowa pojawienie się, powstanie, czy *zniszczenie skał pierwotnej skorupy*, są bardzo nieprecyzyjne. Nie mówią niczego o przyczynach takich zmian. Mówimy o „wielkim bombardowaniu” w wyniku, którego trafiła na Ziemię woda. Pierwsze wyraźne ślady upadku asteroid datowane są na około 2,5 mld lat, a przecież upadki asteroid miały miejsce już od ponad 4 mld lat. Przypuszczam, że w początkach istnienia naszej planety były one nawet często znacznie większe od późniejszych. To z nimi przybyła na ziemię nie tylko woda, ale i magma, ropa

oraz wiele minerałów, do których utworzenia doszło już w pasie asteroid. Nie wiemy, w jakiej postaci trafiły na Ziemię i jak przebiegały kolejne spowodowane następnymi upadkami asteroid reakcje, ale uważam, że aż do około 1 mld – 500 mln lat temu powierzchnia ziemi ona swego rodzaju wielkim laboratorium, w którym ważną rolę odgrywały upadki asteroid. W miarę jednorodna skorupa ziemska powstała wskutek z jej zderzenia z Theą różnicowała się.

Pracując nad tą książką, wciąż pozyskiwałem nowe informacje. Często zmuszały mnie one do przeredagowania pewnych jej fragmentów. Powinienem również poprawić poprzedni akapit. Postanowiłem jednak go pozostawić i tylko uzupełnić o kolejną informację. W ten sposób możemy dostrzec jak szybko zmienia się obecnie nasza wiedza. Napisałem, że pierwsze wyraźne ślady upadku asteroid są datowane na 2,5 mld lat, tymczasem okazuje się, że dziś musimy przesunąć tę datę o całe pół miliarda lat.

Grupa naukowców z Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) wraz z badaczami z Walii, Szwecji i Rosji zidentyfikowała najstarszy ślad kosmicznej kolizji na Ziemi. Jest nim 100-kilometrowej średnicy krater, leżący u zachodniego wybrzeża Grenlandii w rejonie Maniitsoq, który powstał w wyniku uderzenia potężnej asteroidy lub komety, do którego doszło 3 miliardy lat temu. Poszukiwania nie były łatwe, bowiem struktura ta nie przetrwała do naszych czasów w charakterystycznym kształcie. Po zderzeniu pozostały tylko ślady zapisane głęboko pod powierzchnią. Te ślady to sposób ułożenia skał granitowych, które można wyjaśnić tylko uderzeniem asteroidy, bo żadne znane procesy ich nie tłumaczą. To także charakterystyczne pęknięcia pokładów kwarcu, które obserwowano już w innych kraterach uderzeniowych. Ich odczytanie zajęło badaczom trzy lata, a ich interpretacja nie od razu spotkała się z akceptacją środowiska naukowego.

Warto tu przypomnieć również i to, że na Księżycu zaobserwowano liczne kratery uderzeniowe sprzed 3 do 4 miliardów lat. Młoda Ziemia ze swą znacznie większą masą musiała doświadczyć w tym okresie jeszcze silniejszego bombardowania. Znalezienie jego śladów nie jest jednak łatwe, bo woda i atmosfera przyczyniły się do ich ukrycia. Wiele z nich znalazło się też pod warstwami młodszych skał.



Ur (Paleoarcheizm) 3,1 gal. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimedialnych.

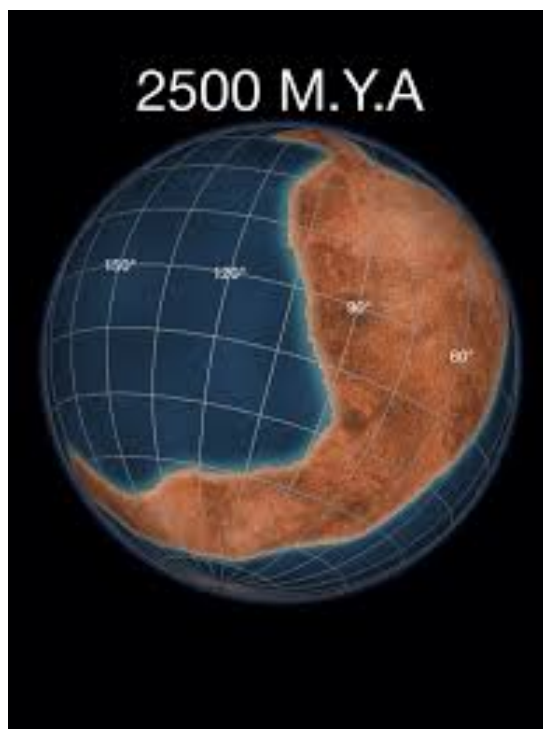
To jest diagram (domniemanego) starożytnego kontynentu Ur, który powstał w eonie Archaiku, około 3,1 miliarda lat temu (Ga). Ur jest przypuszczalnie wczesnym superkontynentem Ziemi. Jest to wizja kształtu kolejnego z najstarszych przypuszczalnych lądów w historii geologicznej Ziemi. Kaapvaal składa się z części stanowiących dziś obszar południowej Afryki, Madagaskaru, Antaktyki i regionu Pilbara w Australii Zachodniej. W rekonstrukcji Rogersa Ur jest o pół miliarda lat starsze od Arktyki i we wczesnym okresie swojego istnienia prawdopodobnie jedyny kontynent na Ziemi, co czyni go superkontynentem, mimo że prawdopodobnie jest mniejszy od dzisiejszej Australii. Geologia tych regionów wskazuje, że w momencie ich powstania połączyły się w jeden kontynent, choć dziś są zupełnie od siebie odrębne. Regiony te zawierają jedne z najstarszych skał na Ziemi. Pomimo tego, że Ur było przedstawione na zielono, istniało przed przypuszczalnym pojawieniem się roślin lądowych i zakłada się, że było całkiem jałowe. To zdjęcie przedstawia kontynent jako jedyny w tamtym czasie, jednak mogło tak być, ale nie musi, możliwe jest, że w tym czasie istniały inne lądy (obecnie dawno już nieistniejące z powodu recyklingu geologicznego).

W nowszych pracach geolodzy często nazywają Ur i inne proponowane zbiorowiska kontynentalne Archaean superkratonami. Niemniej jednak Ur może być pół miliarda lat młodsze od Vaalbary, ale koncepcje tych dwóch wczesnych skupisk kratonicznych są nie do pogodzenia. Około 1,3–1,1 Ga Ur dołączył do kontynentów Nena i Atlantyka, tworząc superkontynent Rodinia. Podczas rekonstrukcji Rogersa w 1996 r. Ur pozostało załącznikiem wschodniej Gondwany aż do rozpadu Gondwany. Jednak w przypadku innych rekonstrukcji Indie i Antarktyda Wschodnia nie zderzyły się, dopóki Rodinia nie utworzyła 1,1 Ga. Co więcej, we wczesnym Archaean płaszcz Ziemi był o 200 ° C cieplejszy niż obecnie, a wiele cech współczesnej tektoniki, takich jak ofiolity, blueschiści, eklogity zawierające lawsonit i skały pod ultrawysokim ciśnieniem nie istniały lub były rzadkie. To sprawia, że większość proponowanych superkontynentów Archaean jest kontrowersyjna, w tym superkontynent 3 Ga Rogersa.

Z eoarchaiku pochodzą też skały osadowe pochodzenia organicznego – wapienie stromatolitowe, które powstały w środowisku morskim w wyniku działalności życiowej sinic. Tylko nieco młodsze od nich są wstęgowe kwarcyty żelaziste, znane z wielu kontynentów. Dalsze powiększanie się skorupy sialicznej (kontynentalnej) przypada na okres 3,5 – 2,7 mld lat temu.

W tym też czasie doszło do jej pierwszego podziału na części oceaniczne i kontynentalne. Powiększanie się obszarów kontynentalnych następowało w wyniku przyrastania do jąder kontynentów nowych, młodszych fragmentów, składających się z mikrokontynentów gnejsowych i łańcuchów zieleńcowych. Zastanawiając się nad ruchami tych prakontynentów uważam, że mogą za nie odpowiadać kolejne kataklizmy kosmiczne. Ich skala była często ogromna. Dr Andrew Glikson z Australian National University udało się znaleźć wśród osadów geologicznych obecnej Australii niewielkie formacje będące fragmentami asteroidy sprzed 3,45 mld lat. Jego zdaniem miała ona średnicę od 20 do 30 kilometrów. Jej uderzenie wywołało trzęsienia ziemi znacznie większe od tych, jakie pojawiają się obecnie, a na oceanie mogła wytworzyć się

ogromna fala tsunami, która swoją siłą zniszczyła wybrzeża. W wyniku impaktu do stratosfery dotarły zapewne ogromne ilości pyłów, czego konsekwencją było kilkuletnie ochłodzenie. To tylko przypuszczenia, ale skutki tego impaktu możemy porównać z wieloma innymi, których skutki możemy dziś rozpoznać dokładniej. Dokładne miejsce uderzenia tej asteroidy jest dziś niemożliwe do ustalenia, gdyż od tego czasu kontynenty wielokrotnie zmieniały swe położenie.



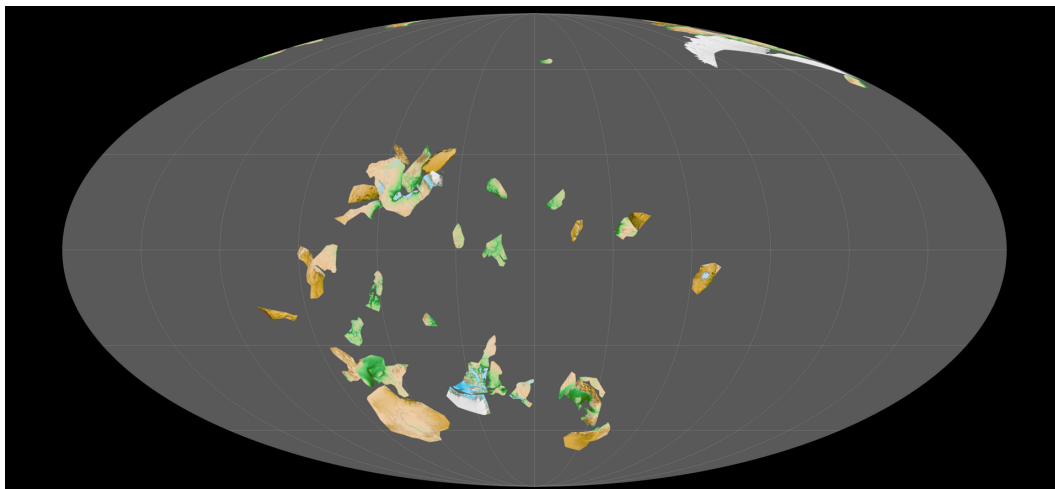
Kenorland (Neoarcheński) 2,7 gali. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimedialnych.

Powyższy diagram jest kolejną wizją, próbą rekonstrukcji. Kenorland to hipotetyczny superkontynent neoarcheński. Gdyby istniał, byłby jednym z najwcześniej znanych superkontynentów na Ziemi. Uważa się, że powstał w epoce neoarchaicznej ok. 2,72 miliarda lat temu (2,72 Ga) w wyniku akrecji kratonów neoarchajskich i powstania nowej skorupy kontynentalnej. Obejmował to, co później stało się Laurentią (rdzeń dzisiejszej Ameryki Północnej i Grenlandii), Baltiką (dzisiejsza Skandynawia i Bałtyk), Australią Zachodnią i Kalaharią.

Na tę rekonstrukcję pozwalają roje wałów wulkanicznych i ich orientacja paleomagnetyczna, a także istnienie podobnych ciągów stratygraficznych. Jądro Kenorlandu, Tarcza Bałtycko-Fennoskandyjska, ma swoje korzenie w ponad 3,1 Ga. Kraton Yilgarn (dzisiejsza Australia Zachodnia) zawiera w swojej skorupie kryształy cyrkonu, których wiek sięga 4,4 Ga. Kenorland został nazwany na cześć orogenezy Kenoran (zwanej także orogenezą Algoman), która z kolei została nazwana na cześć miasta Kenora w Ontario.

Uważa się, że Kenorland powstał na skutek połączenia się kilku mniejszych kratonów: Baltiki, Laurencji, zachodniej Australii i Kalahari. Kontynent ten rozpadł się już na początku paleoproterozoiku. Być może właśnie na skutek

kolejnych kataklizmów, upadku wielkich meteorytów właśnie w tym czasie, o których wspominam poniżej. Po upływie pół miliarda lat uformował się superkontynent Kolumbia (zwany też kontynentem Hudsona lub Nuna), którego trzon stanowiły Laurencja, Baltika i Angara, a w części brzeżnej znajdowały się kratony Pilbara, Kalahari, Dekanu i wschodniej Antarktydy.



Arktyka (Neoarcheński) 2,565 gali. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów. [Rekonstrukcja kontynentów ziemskich w okresie środkowego Siderianu, około 2400 mln lat temu.]

Arctica, czyli **Arctida** to hipotetyczny starożytny kontynent, który powstał około 2,565 miliarda lat temu w epoce neoarcheanu. Powstał w wyniku połączenia kratonów archajskich, w tym kratonu syberyjskiego, z jego tarczami Anabar / Aldan na Syberii, oraz kratonów Slave, Wyoming, Superior i północnoatlantyckich w Ameryce Północnej. Arctica została nazwana przez Rogersa w 1996 r., ponieważ Ocean Arktyczny powstał w wyniku oddzielenia się kratonów północnoamerykańskich i syberyjskich. Rosyjscy geolodzy piszący po angielsku nazywają kontynent „Arctida”, ponieważ nadano mu tę nazwę w 1987 r., alternatywnie **Kraton Hiperborejski**, w nawiązaniu do Hiperborejów w mitologii greckiej.

Pierwszym, który założył, że skorupa w regionie Arktyki ma pochodzenie kontynentalne był Nikolay Shatsky (Shatsky 1935). Szacki był jednak „fixistą” i błędnie wyjaśniał obecność prekambryjskich i paleozoicznych skał metamorficznych na Wyspach Nowosyberyjskich, Wrangla i De Longa za pomocą subdukcji. Z drugiej strony „mobiliści”, również błędnie, sugerowali, że Ameryka Północna oddzieliła się od Eurazji i że za cofającą się Alaską otworzyły się baseny arktyczne.

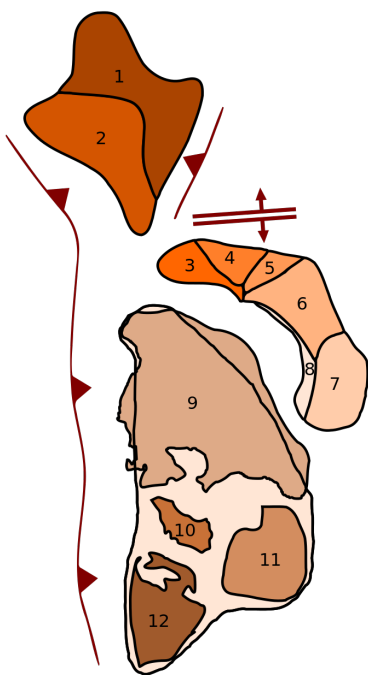
Kolumbia (Nuna) to najstarszy znany superkontynent, łączący ponad 75% lądów Ziemi. Istniał pomiędzy 1,9 a 1,5 miliarda lat temu, w paleo- i mezoproterozoiku i był opisywany przez geologów kilkakrotnie pod różnymi nazwami; nazwa „Kolumbia” jest najstarszym z terminów odpowiadających współczesnemu rozumieniu tego kontynentu. Wcześniej opublikowane prace używały nazw „Nuna” i „Nena”, jednak autorzy opisywali w nich ląd złożony z kratonów: północnoamerykańskiego, Bałtyki i Syberii, ewentualnie także Antarktydy Wschodniej, który współcześnie jest rozumiany jako część

składowa większego superkontynentu. Mimo tego terminy „Kolumbia” i „Nuna” bywają używane synonimicznie.

Superkontynent Kolumbia uformował się w paleoproterozoiku, pomiędzy 2,0 a 1,75 miliarda lat temu. Jego dokładna konfiguracja nie jest znana, choć wiadomo, że jego trzon stanowił kraton północnoamerykański, połączony z Bałtyką (kratonem wschodnioeuropejskim) i Syberią (Angarą), tzw. „Arktyka”. Z tym lądem połączyły się inne paleokontynenty: Ur (łączyły kratony: Pilbara, Kalahari, fragmenty dzisiejszych Indii i Antarktydę Wschodnią) oraz Atlantyka (kraton Konga, zachodnia Afryka i fragmenty Ameryki Południowej). To, jak były połączone te trzy masy lądowe, pozostaje przedmiotem dyskusji geologów.

Powstaniu superkontynentu towarzyszyło wypiętrzanie gór. Zwiększone tempo wietrzenia spowodowało dostarczenie do oceanów znacznych ilości siarczanów powodując ich zakwaszenie i stratyfikację. Z tego okresu pochodzą wielkie złoża siarczanów odłożonych na dnie mórz.

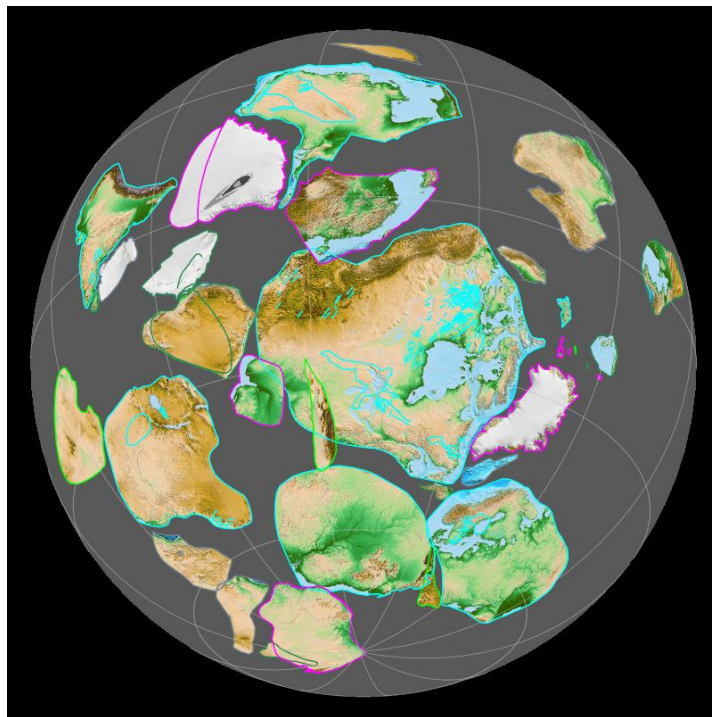
Superkontynent Kolumbia reprezentuje najwcześniejszy znany element cyklu superkontynentalnego. Nie jest wykluczone, że w późnym archaiku istniał jeszcze jeden wcześniejszy superkontynent (tzw. Kenorland), ale rekonstrukcja układu kratonów w tak odległej przeszłości jest bardzo skomplikowana i współczesny stan wiedzy nie pozwala stwierdzić, czy ówczesne masy lądowe były połączone, czy nie. Rozpad Kolumbii, rozpoczęty 1,6 miliarda lat temu, zakończył się 200 milionów lat później. Po kolejnych 300 milionach lat dryf kontynentów sprawił, że połączyły się one ponownie w innej konfiguracji, tworząc superkontynent Rodinia.



Względne położenia kratonów około 1,5 miliarda lat temu wg pracy: Rogers i Santosh, 2002. Kratony: Atlantyka 1-pn.-zach. Afryka 2-pn.-wsch. Ameryka Południowa Ur 3-Kalahari 4-Zimbabwe 5-Madagaskar 6-Indie 7-Australia 8-wsch. Antarktyda Nena 9-Ameryka Północna 10-Grenlandia

11-Syberia 12-Bałtyka. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimedialnych.

Na początku mezoproterozoiku zaczął się rozpad Kolumbii, jednak już po kolejnej połowie miliarda lat kontynenty połączyły się w innej konfiguracji, tworząc superkontynent Rodinę.



Superkontynent Rodina (<https://es.wikipedia.org/wiki/Rodinia>)

Rodinia przy 900 mA. Rekonstrukcja „konsensusowa” Li i in. 2008.

Rodinia (od rosyjskiego *родина*, *rodina*, co oznacza „ojczyzna, miejsce urodzenia”) był superkontynentem mezoproterozoicznym i neoproterozoicznym, który powstał 1,26–0,90 miliarda lat temu (Ga) i rozpadł się 750–633 miliony lat temu (Ma). Valentine i Moores 1970 byli prawdopodobnie pierwszymi, którzy rozpoznali superkontynent prekambryjski, który nazwali „Pangea I”. Został przemianowany na „Rodinia” przez McMenamin i McMenamin w 1990 r., którzy również jako pierwsi dokonali rekonstrukcji i zaproponowali ramy czasowe dla superkontynentu. Rodinia powstała ok. 1,23 Ga w wyniku akrecji i zderzenia fragmentów powstałych w wyniku rozpadu starszego superkontynentu, Kolumbii, zebranych w wyniku zdarzeń kolizyjnych 2,0–1,8 Ga na skalę globalną. Rodinia rozpadła się w neoproterozoiku, a jej fragmenty kontynentalne połączyły się, tworząc Pannotia 633–573 mA. W przeciwieństwie do Pannotii niewiele wiadomo na temat konfiguracji i historii geodynamicznej Rodinii. Dowody paleomagnetyczne dostarczają pewnych wskazówek co do paleolatyzmu poszczególnych kawałków skorupy ziemskiej, ale nie do ich długości geograficznej, którą geolodzy zebrali w całość, porównując podobne cechy geologiczne, często obecnie szeroko rozproszone.

Uważa się, że ekstremalne ochłodzenie globalnego klimatu wokół 717–635 mA (tzw. Ziemia w kształcie kuli śnieżnej w okresie kriogenicznym) i szybka

ewolucja prymitywnego życia w kolejnych okresach ediakaru i kambru zostały spowodowane rozpadem Rodinii lub do spowolnienia procesów tektonicznych.

Kontynent ten było otoczony oceanem zwanym Mirowia. W mezo- i neoprotezoiku w obniżeniach kratonów utworzyły się baseny, w których zarówno w warunkach morskich, jak i lądowych powstawały różnorodne skały osadowe, głównie okruchowe, zlepieńce, piaskowce. W zbiornikach morskich w wyniku działalności sinic tworzyły się wapień i dolomity. W wyniku ruchu płyt litosfery powiększające się bloki kontynentalne przemieszczały się, a pod koniec neoprotezoiku połączyły się na krótko w jeden superkontynent, zwany Pannoceją.

Cytowani tu przeze mnie autorzy „Geologii historycznej” nie podają niestety przyczyny ruchu płyt litosfery. To ważne pytanie. Wspominałem już o upadkach wielkich asteroid, w kolejnych epokach dostrzeżemy, że na Ziemię wciąż wielokrotnie upadały kolejne planetoidy i wielkie asteroidy, możemy też zauważyć, że zmieniała się intensywność i wielkość tych impaktów, choć nie sposób wskazać jakiegokolwiek ich regularności.

Moim zdaniem, za wspomniane ruchy płyt litosfery odpowiadają właśnie upadki asteroid, to one też były jedną z przyczyn erupcji wulkanicznych, a także dalszego wzrostu skorupy ziemskiej. Z ruchami płyt litosfery wiąże się zjawisko orogenezy. W dziejach Ziemi można wyróżnić 4 główne orogenezy. Każda z nich składa się z wielu faz górotwórczych. Podczas nich na niektórych obszarach ziemi ruchy górotwórcze się nasilały. Najstarsze z nich to tzw. orogenezy prekambryjskie, niestety ze względu na odległość czasową trudno dokładnie ustalić ich zasięg i przebieg. Dokonując analizy tych ruchów powinniśmy brać pod uwagę i ten fakt, że w pierwszym okresie kształtowania się skorupy ziemskiej była ona – jak wspominałem – znacznie cieńsza od dzisiejszej.

Tworzenie się kontynentów, ich podziały i przesunięcia, a także ruchy górotwórcze możemy połączyć z kolejnymi kataklizmami. Tym razem mamy już ich wyraźne ślady. Są nimi np. kratery Suawjarwi (ros. Суавъярви, fin. Suavjärvi) na terenie dzisiejszej Rosji i krater Vredefort. Dziś w centrum krateru Suavjärvi o średnicy 16 km znajduje się jezioro meteorytowe Suawjarwi o długości ok. 3 km, otaczają je podobnych rozmiarów jeziora (zgodnie z ruchem wskazówek zegara): Sukoziro, Pulwiasjarwi i Eningilambi. Od północnego wschodu z kraterem sąsiaduje duże jezioro Siegoziro. Krater ten powstał ok. 2,4 miliarda lat temu, w siedrze, która to epoka trwała od 2,5 do 2,3 mld lat temu.

Zdaniem Włodzimierza Mizerskiego i Stanisława Orłowskiego, pierwotnie atmosfera ziemska nie przepuszczała promieni słonecznych, gdyż ciśnienie atmosferyczne było znacznie większe niż dzisiaj. Teza ta – moim zadaniem – jest dyskusyjna, możemy, co najwyżej, mówić o ograniczaniu (być może nawet znacznym) w tym okresie tego dostępu. To głównie od dostępności promieniowania słonecznego na Ziemi zależał jej klimat w kolejnych okresach. Jak wskazałem powyżej to katastrofy kosmiczne były pierwszymi czynnikami, które przyczyniały się do takiego ograniczania dostępu promieniowania

słonecznego, że dochodziło do ochłodzenia aż tak wielkiego, że następowała po nich długa epoka lodowcowa. Katakлизmy te wiązały się zapewne od początku ze wzmożeniem erupcji wulkanów. Te emitując ogromne masy gazów i zanieczyszczeń do stratosfery przedłużały czas ograniczania dostępu promieni słonecznych, a przez to przyczyniały się do zwiększenia (wydłużenia czasu) ochłodzenia i powstawania lodowców (nie możemy wykluczyć jednak tego, że pierwotna temperatura skorupy ziemskiej – po zderzeniu z Theą – przez długi okres była na tyle wysoka, że mimo zanieczyszczeń atmosfery nie dochodziło jeszcze do zlodowaceń).

Dokładny skład pierwotnej atmosfery jest trudny do oszacowania, wydaje się, że był to przede wszystkim dwutlenek węgla, azot oraz para wodna, którym towarzyszył tlenek węgla i wodór. Starsze modele pierwotnej atmosfery ziemskiej zakładały duży udział metanu i amoniaku, a także wodoru, ale jedno jest pewne – w powietrzu prawie w ogóle nie było tlenu. Przypuszcza się, że w okresie pomiędzy 2,7 mld lat temu a 2,3 mld lat temu doszło do zmiany składu atmosfery, lub mówiąc bardziej precyzyjnie pojawienia się wśród jej składników również tlenu. Data początkowa tego procesu jest ostatnio przesuwana o kilkaset lat wcześniej. Naukowcy z Massachusetts Institute of Technology (MIT) przeprowadzali badania na drożdżach, które potrzebują tlenu do produkcji steroli będących składnikiem ich błony komórkowej. Wyniki tych badań wykazały, że drożdże wyewoluowały zdolność produkcji sterolu przy nanomolowych ilościach dostępnego tlenu, znacznie mniejszych, niż do tej pory sądzono. Wyniki sugerują, że ewolucyjni przodkowie drożdży mogli posiadać taką samą umiejętność i wykorzystywać w swoich procesach życiowych cząsteczki tlenu obecne w niskim stężeniu w oceanach. Naukowcy z MIT uważają za najbardziej prawdopodobne, że organizmy żyjące na powierzchni oceanów (np. cyjanobakterie, algi) mogły wytwarzać niewielkie ilości tlenu w procesie fotosyntezy oksygenicznej (proces fotosyntezy zachodzący w obecności światła słonecznego, wykorzystujący wodę i powodujący wydzielanie tlenu). Te niewielkie ilości tlenu, uwalniane do oceanów, tworzyły „oazy tlenu” wykorzystywane przez drobne organizmy tlenowe, a pozostały w wodzie tlen był wiązany przez związki wydobywające się z podwodnych wulkanów.

W nauce istnieje teoria tzw. katastrofy tlenowej (wielkiego zdarzenia oksydacyjnego), która spowodowała zniknięcie 99,5 proc. ówczesnie żyjących organizmów. Były nimi bakterie beztlenowe, dla których tlen okazał się trucizną. Jednakże zarazem pojawiły się wtedy możliwości dla zupełnie nowego rodzaju organizmów żywych korzystających z możliwości energetycznych zawartych coraz powszechniej w materii organicznej, tj. wykorzystujących oddychanie tlenowe. Moim zdaniem, teoria tzw. „katastrofy tlenowej” jest bardzo dyskusyjna. Jak wykażę poniżej, po pierwsze, zgodnie z wynikami najnowszych badań ilość tlenu do stanu obecnego wzrastała w atmosferze w bardzo długim okresie, po drugie zaś, nie możemy wykluczyć, że wyginiecie wielu organizmów, które powstały w atmosferze beztlenowej, może mieć związek z kolejnym kataklizmem (kolejnymi kataklizmami).

Powszechnie uważa się, że do pojawienia się tlenu w atmosferze doszło w efekcie fotosyntezy. Za pojawieniem się tlenu stoją zatem organizmy żywe. Ich

stały rozwój systematycznie zwiększał procentową zawartość życiodajnego pierwiastka, najpierw w wodach oceanicznych – gdzie powstało życie – a następnie w powietrzu. Część badaczy uważa, że tymi organizmami były sinice (zwane też cyjanobakteriami), które stały się załążkiem dzisiejszych chloroplastów. Prawdopodobnie pojawiły się one na Ziemi już 3 mld lat temu. To z tego okresu pochodzą bowiem pierwsze, delikatne jeszcze ślady wolnego tlenu krążącego w środowisku oceanicznym. Przyjmuje się, że od około 2,4 mld temu ilość cząsteczek O_2 w powietrzu zaczęła drastycznie rosnać, by w ciągu ledwie 200 mln lat zwiększyć się aż 10 tys. razy. Naukowcy nazywają ten proces katastrofą tlenową. Katastrofą, bo dla większości ówczesnych organizmów, które uzyskiwały energię za pomocą oddychania beztlenowego, tlen był trujący. Należy podkreślić jednak, że ów dziesięciokrotny wzrost w ciągu około 200 lat, to wzrost zaledwie do 1 procenta składu ówczesnej atmosfery. Dziś tlen stanowi aż 21 procent składu atmosfery. Do takiego stanu doszło dopiero około 500 mln lat temu.

Niektórzy badacze zakładają, że poziom tlenu, produkowanego przez fotosyntetyzujące sinice, około 2,3 mld lat temu przekroczył 1/10000 dzisiejszej zawartości. Wzrost zawartości tlenu przed wystąpieniem pierwszego zlodowacenia spowodował spadek zawartości metanu. Część badaczy przypuszcza, że to spadek zawartości metanu spowodował wystąpienie serii rozległych zlodowaceń. Jednocześnie autorzy wskazują, że to duży zasięg lodowców wywołał spadek produkcji pierwotnej, a poziom zarówno metanu, jak i tlenu w czasie zlodowacenia był bardzo niski. Jednocześnie wulkanizm, choć relatywnie słaby, stale wprowadzał do atmosfery dwutlenek węgla, który także jest gazem cieplarnianym, aż jego zawartość przekroczyła krytyczny poziom i spowodowała szybką deglację. W okresie między zlodowaceniami wietrzenie chemiczne i aktywność biologiczna przyczyniły się do ponownego spadku zawartości CO_2 . Biologiczna produkcja metanu osłabła w związku ze spadkiem temperatur lub zmniejszeniem tempa dostarczania składników odżywczych do oceanu; rozważane jest także powstanie mgły węglowodorowej, takiej jak w atmosferze Tytana, które mogło zintensyfikować ochładzanie na wysokich szerokościach geograficznych. I znów część badaczy sądzi, że to kombinacja tych czynników mogła przyczynić się do nawrotu zlodowaceń i zwiększyć czas ich trwania. Uważam wszystkie te teorie za bardzo dyskusyjne, tym bardziej, że badacze ci nie wspominają o zanieczyszczeniach stratosfery, do których przecież musiało i wówczas dochodzić w wyniku choćby już powyżej wskazanych impaktów asteroid i przypuszczalnych erupcji wulkanów.

Gdy około 2,7 mld lat temu pojawiły się pierwsze formy posiadające zdolność fotosyntezy tlenowej, zaczęły one wytwarzać znaczne ilości tlenu, jednak wzrost jego ilości w atmosferze wystąpił ponad 300 mln lat później. Tłumaczy się to tym, że pierwsze cząsteczki tlenu wydzielane były do wody, tlen ten reagował z żelazem i z węglem. W owym czasie organizmy fotosyntetyzujące produkowały także metan. Przy silnym promieniowaniu UV tlen reagował z metanem już przy ilości 0,0002% w atmosferze. Dopiero uwięzienie większych ilości węgla w organizmach żywych i ich szczątkach spowodowało znaczący wzrost ilości tlenu w atmosferze, co wywołało powstanie warstwy ozonowej ograniczającej proces reakcji tlenu z metanem umożliwiając osiągnięcie stabilnego stanu o zawartości większej niż 0,2% tlenu w atmosferze.

Badacze międzynarodowego zespołu naukowców z Hudson Bay w Kanadzie podali weryfikacji skały, które prawdopodobnie powstały kilka miliardów lat temu. Próbkę skał uwzględnione w badaniu składały się z barytu, minerału zaliczanego do gromady siarczanów zawierających informacje o ilości tlenu w atmosferze w danym momencie. Konkluzja ich badań sprowadzała się do tego, że około 2,05 mld lat temu nastąpił nagły spadek ilości organizmów żyjących na Ziemi. W okresie od 100 do 200 mln lat przed zdarzeniem masowego wymierania, istniała duża ilość życia na Ziemi, ale później ogromna część zginęła. Jednak zamiast odrodzić się, jak w przypadku niektórych innych masowych wyginięć, ilość życia na naszej planecie pozostawała nieduża przez kolejne miliardy lat.

„Katastrofa tlenowa” jest zbieżna w czasie z gwałtownym wzrostem różnorodności minerałów na Ziemi. Szacuje się, że zdarzenie to spowodowało powstanie ponad 2,5 tysiąca nowych minerałów spośród około 4,5 tysiąca minerałów stwierdzonych na Ziemi. Większość z tych nowych minerałów powstała w procesach hydratacji i redoks minerałów tworzonych w wyniku dynamiki płaszcza i skorupy ziemskiej. Moim zdaniem, powodem owej „dynamiki” były również upadki asteroid, meteorytów czy komet. To nie *dynamika płaszcza i skorupy ziemskiej* spowodowała powstanie nowych minerałów, lecz upadki asteroid. To w wyniku spowodowanego ich upadkami ciśnienia i temperatur następowaly zmiany wśród minerałów, niektóre to pozostałości tych asteroid.

Warto też zastanowić się nad hipotezą, że to spadek zawartości metanu spowodował wystąpienie serii rozległych zlodowaceń. Moim zdaniem, już wtedy za zmiany klimatu i gwałtowne ochłodzenia odpowiadał wulkanizm i upadki asteroid i komet, których efektem było zanieczyszczenie stratosfery (ograniczenie dostępu promieni słonecznych do Ziemi). Warto zauważyć również, że zmniejszenie ilości metanu w atmosferze nie było procesem nagłym i efekty klimatyczne tego procesu nie mogły być zauważalne w perspektywie tysięcy, a nawet setek tysięcy lat.

Ariel Anbar, biogeochemik na Arizona State University i prowadzący uniwersytecki program astrobiologiczny (ASU Astrobiology Program) odkrył sposób na dokładne zmierzenie stężenia tlenu w ziemskiej prehistorii. Kluczem okazały się czarne łupki, skały osadowe powstałe z osadów na dnie dawnych oceanów. Są one bogate w molibden. Pierwiastek ten występuje w siedmiu stabilnych izotopach, których proporcje można łatwo i dokładnie zmierzyć. Izotopy molibdenu układają się w skałach frakcjami, a stopień ich frakcjonowania zależy od obecności tlenu. W ten sposób, wiążąc frakcje izotopów molibdenu z wiekiem osadów określono stężenie tlenu w różnych momentach historii. Okazało się, że zawartość tlenu w atmosferze porównywalna do obecnej pojawiła się niedawno, bo dopiero około 500 milionów lat temu. Naukowcy powiązali ten fakt z pojawieniem się na ziemi roślin naczyniowych, których najstarsze skamieniałości datowane są na około 400 milionów lat temu. Tkanka roślin naczyniowych jest, w porównaniu z tkanką wcześniejszych form roślinnych, dość odporna na rozkład. Organiczny węgiel pochodzący z roślin naczyniowych zatem jest bardziej skłonny do pozostawiania

w osadach niż wiązania się z tlenem. Dominacja roślin naczyniowych spowodowała, zatem wzrost stężenia tlenu w atmosferze. Większy poziom tlenu uitorował drogę do ewolucji wyższych form zwierzęcych, rozpoczynając współczesny eon fanerozoiczny.

I znów pojawia się wątpliwość. Zdaniem wspomnianego badacza, czarne łupki to *skały osadowe powstałe z osadów na dnie dawnych oceanów*. Dziś o innych skałach łupkowych jest głośno w związku z pozyskiwanym z nich gazem. Przypuszcza się, że znajdujący się w nich gaz jest pochodzenia pozaziemskiego, to pozostałości asteroid. Nie może pochodzić z istniejących na ziemi organizmów żywych, gdyż te nie mogłyby znaleźć się wewnątrz skały.

Najstarszy, znany nam dziś, krater (Yarrabubba) został po raz pierwszy opisany w 2003 r. Ma on średnicę aż 70 km. Istnieją dowody geologiczne, że Ziemia znajdowała się wówczas w fazie oblodzenia. Ale nie jest jasne, czy ilość lodu była podobna do dzisiejszej, czy też pokryła cały świat. Niemniej jednak uderzenie w lądolód mogło mieć znaczny wpływ na klimat. Chociaż związek przyczynowy nie jest dowiedziony, symulacje numeryczne ukazują, że uderzenie tej asteroidy np. w lądolód mogłoby wyzwolić do atmosfery wystarczającą ilość pary wodnej, aby wywołać regionalne lub nawet globalne zmiany klimatyczne, potencjalnie przyczyniając się do końca okresu zlodowaceń

Struktura uderzeniowa Yarrabubba jest zerodowaną pozostałością krateru uderzeniowego, usytuowaną w północnym kratonie Yilgarn w pobliżu stacji Yarrabubba , pomiędzy miastami Sandstone i Meekatharra w środkowo-zachodniej Australii. Licząca 2,229 miliarda lat jest najstarszą znaną strukturą uderzeniową na Ziemi.

Chociaż krawędź pierwotnego krateru została całkowicie zniszczona i nie jest dobrze widoczna na zdjęciach lotniczych ani satelitarnych, jego środek znajduje się w miejscu zwanym Skałą Barlangi. Dowody potwierdzające zasięg uderzenia pochodzą z obecności wstrząsanego kwarcu i stożków odłamkowych w wychodniach granitu, które zinterpretowano jako znajdujące się w pobliżu środka pierwotnego krateru, oraz z danych geofizycznych. Średnica pierwotnego krateru jest niepewna, ale szacuje się, że wynosi od 30 do 70 km (19 do 43 mil). Symulacje komputerowe impaktora o średnicy 7 km (4,3 mil) zderzającego się z pokrywą lodową o grubości 2 km (1,2 mil) pokrywającą granitowe podłoże spowodowały powstanie krateru o ostatecznej średnicy zgodnej z kraterem Yarrabubba.

Uderzenie datowano na 2229 ± 5 milionów lat temu, co czyni go najstarszą potwierdzoną strukturą uderzeniową na świecie. Data ta umieszcza uderzenie we wczesnym paleoproterozoiku, pod koniec zlodowacenia huronskiego. Ustalenie wieku przeprowadzono na podstawie analizy starożytnych kryształów minerałów cyrkonu i monacytu znalezionych w kraterze. Do analizy próbek i określenia wieku krateru uderzeniowego naukowcy wykorzystali datowanie

Kiedy szeroka na 7 km asteroida Yarrabubba uderzyła, Ziemia właśnie uwalniała się z uścisku globalnej epoki lodowcowej, więc asteroida Yarrabubba musiała zderzyć się z lodem o grubości kilku mil. Symulacje komputerowe pokazują, że uderzenie wyzwoliło od 100 miliardów do 5,5 biliona ton pary wodnej, która następnie rozprzestrzeniła się po ziemskiej atmosferze. Ta atmosferyczna para wodna mogła wywołać efekt cieplarniany, ocieplając Ziemię, przyspieszając wielką odwilż i zapoczątkowując nową erę życia¹⁶.

Krater uderzeniowy Dhala odkryto w stanie Madhya Pradesh w Indiach. Skały tego krateru są widoczne na powierzchni ziemi. Pierwotnie miał średnicę co najmniej 11 km, jego wiek nie jest dobrze znany: powstał pomiędzy 2,1 a 1,7 miliarda lat temu [według Wikipedii brytyjskiej: 2,44 a 2, zachowany²⁴ Ga/ lub około 2,5 miliarda lat temu]. Skały podłoża to głównie granitoidy kratonu Bundelkhand, powstałe 2,5 miliarda lat temu, w które wcinają się intruzje o wieku do 2,15 miliarda lat – to daje dolne oszacowanie czasu powstania struktury. Krater jest silnie zerodowany, w terenie wyróżnia się tylko płaskowzgórze (stoliwo) pokrywające pozostałości wzniesienia centralnego krateru, o średnicy 2,5 km, wznoszące się 426 m ponad otaczający nizinny obszar.

Czas wspomnianych powyżej impaktów łączy się z tzw. zlodowaceniem hurońskim. To najstarsze rozległe zlodowacenie w historii Ziemi, które miało miejsce w paleoproterozoiku, około 2450–2220 mln lat temu. Pozostawiło sekwencje osadów lodowcowych o dużej miąższości. Wiązało się ono silnie z wielkim zdarzeniem oksydacyjnym (wzrostem zawartości tlenu w atmosferze) i miało prawie globalny zasięg. Dowody na wystąpienie zlodowacenia (m.in. tillity) znane były już w 1908 roku, a uczeni oceniali, że jego zasięg w Ameryce Północnej był porównywalny do zlodowaceń plejstocenских; znane były także wczesnoproterozoiczne osady lodowcowe z innych kontynentów, ale brakowało oceny ich wieku. Na obszarach tworzących tereny obecnej Ameryki Północnej wystąpiły w tym okresie trzy zlodowacenia. Obecnie wiadomo, że skały glacyogeniczne z tego okresu występują także w południowej RPA, Australii, Finlandii i Indiach, co wskazuje na szeroki zasięg zlodowaceń, które sięgnęły prawdopodobnie także niskich szerokości geograficznych. W przyszłości planowana jest rewizja geologicznej skali czasu prekambriu, w oparciu o zapis skalny, a nie absolutną chronometrię. Zlodowacenie hurońskie wyznacza przełom w historii Ziemi: przejście od ciepłej, redukującej atmosfery niemal pozbawionej tlenu do chłodniejszej atmosfery zawierającej tlen. Początek zlodowacenia może stanowić podstawę określenia granicy archaiku i proterozoiku.

15 Struktura uderzeniowa Yarrabubba, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Yarrabubba_impact_structure

16 Raymond Shubiski, *Największe hity Ziemi: historia uderzeń asteroid* | Opublikowano: 14 września 2022 | Ostatnia aktualizacja: 18 maja 2023 r <https://www.astronomy.com/science/earths-greatest-hits-a-history-of-asteroid-impacts/>

Orosir trwał od 2,05 do 1,8 miliarda lat temu. W tym czasie dochodziło do intensywnych ruchów górotwórczych na praktycznie całej powierzchni Ziemi. Przypuszczalnie u zarania tych ruchów były właśnie wspomniane kataklizmy, a być może było ich więcej. Mogły być ich bezpośrednim następstwem, a później mogły na nie mieć wpływ zmiany klimatyczne. Przypuszcza się, że w orosirze (ok. 2023 mln lat temu) w Ziemię uderzyła wielka planetoida, tworząc krater Vredefort¹⁷ (znajdujący się dziś na terytorium Południowej Afryki). Jest to największy potwierdzony krater uderzeniowy na Ziemi. Uderzenie planetoidy musiało wprowadzić do stratosfery ogromne masy zanieczyszczeń, w wyniku czego ograniczone zostało promieniowanie słoneczne. Nastąpiło znaczne ochłodzenie, doszło do powstania lodowców, które związały masy wody przy biegunach, później po oczyszczeniu stratosfery (opadzie zanieczyszczeń) znów nastąpiło ocieplenie. Zmieniał się, więc nacisk oceanów na płyty tektoniczne powodując ich przesuwanie. Proces taki wydaje się bardzo logicznym, tym bardziej, że – jak już wspominałem – skorupa ziemska była wówczas jeszcze bardzo cienka, choć zapewne już dużo grubsza niż w czasie jej powstania. Pojawia się tu pytanie, jaka była przyczyna tego wzrostu? Oczywiście część jej składu, w tym woda, przybyło tu w postaci asteroid.

Dodajmy, że w kraterze Vredefort w RPA znajdują się największe złoża progenetyczne. W odsłoniętych i wyniesopnych przez kolizję skałach występują m.in. Żoła uranu (45% znanych złóż światowych) i żoła (40-50%) światowego wydobycia. Uran znajduje się także w kraterze Carsvell w Kanadzie¹⁸.

Około 2 miliardy lat temu (we wczesnym proterozoiku) doszło do powstania krateru Yarrabubba w stanie Australia Zachodnia. Widoczna obecnie na powierzchni pozostałość krateru jest silnie zerodowana, co wiąże się z jej wiekiem. Utworzył się on w skałach krystalicznych w północnej części kratonu Yilgarn, jednej z najstarszych mas lądowych, których pozostałości przetrwały na Ziemi. Pierwotnie krater miał średnicę 30 km. Możemy, więc przypuszczać, że jego skutkiem była zagłada większości organizmów żyjących na tym kratonie, a także znaczne ochłodzenie klimatu na całej Ziemi.

Jednym z kolejnych wielkich kataklizmów był upadek meteorytu Sudbury ok. 1,8 miliarda lat temu¹⁹. Pozostały po tym impakcie krater znajduje się w okolicy miasta Sudbury w prowincji Ontario w Kanadzie. Jest to trzeci, co do wielkości, potwierdzony krater pochodzenia meteorytowego na Ziemi. Naukowcy uważają, że krater ten powstał, gdy gigantyczna skała kosmiczna uderzyła w Ziemię około 1,8 miliarda lat temu. Impaktor miał szacunkową

¹⁷ *Dane techniczne:* Krater Vredefort, znany również jako Kopuła Vredeforta, ma szacunkowy promień 190 kilometrów, co czyni go największą znaną strukturą uderzeniową na świecie. Krater ten został wpisany na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO w 2005 roku.

¹⁸ Małgorzata Telecka, Znaczenie ekonomiczne kraterów meteorytowych, Przegląd Geologiczny, vol. 62, nr 5, 2014, s. 242.

¹⁹ *Specyfikacje:* Basen Sudbury jest uważany za jedną z największych struktur uderzeniowych na Ziemi, a jego szacowana średnica wynosi 130 kilometrów. Pochodząca sprzed 1,8 miliarda lat, jest także jedną z najstarszych znanych struktur uderzeniowych na świecie.

średnicę od 6 do 10 mil (10 do 16 km) i poruszał się z prędkością około 45 000 mil na godzinę (72 000 km/h). Po uderzeniu naszą planetę spowiła chmura gruzu, a wyrzucone skały zostały wyrzucone aż do dzisiejszej Minnesoty.

Istniejąca obecnie struktura ma obecnie kształt owalny i wymiary około 62 km długości, 30 km szerokości i 15 km głębokości (jest on zasypany osadami, powierzchnia gruntu znajduje się znacznie wyżej). Uważa się, że obecna struktura jest pozostałością oryginalnego, kolistego krateru o średnicy około 130 km i zewnętrznym pierścieniem o średnicy ok. 260 km, który uległ znacznej modyfikacji w wyniku procesów geologicznych. Ocenia się, że krater ten powstał na skutek uderzenia meteoroidu o średnicy około 10 km, w przybliżeniu 1,85 miliarda lat temu (w orosirze, w paleoproterozoiku). Struktura krateru Sudbury związana jest ze znaczącymi ekonomicznie pokładami mineralnymi: niklu, miedzi, platyny, palladu, złota i innych metali. Uderzenie skały większej od Mt Everestu wydrążyło krater głębszy od Wielkiego Kanionu Kolorado (30 km) i choć niedługo potem ściany krateru zapadły się, to na skutek olbrzymiej energii uderzeniowej temperatura w kraterze spowodowała stopienie okolicznych skał. Tak powstała magma, która podobnie jak w komorze magmowej pod wulkanem, stygnie setki tysięcy lat. W takim stygnącym jeziorze magmowym zachodzą procesy bardzo zbliżone do tych w komorze magmowej, przede wszystkim dyferencjacja magmy objawiająca się opadaniem ciężkich elementów wysyconych z roztworu na dno krateru, a wypływanie lekkich na jego powierzchnię. Tym sposobem przez tysiąclecia obecne w skałach pierwiastki ciężkie grupowały się tworząc skupiska o dużo wyższym stężeniu niż ich średnie stężenie w skałach skorupy ziemskiej. Choć sam olbrzymi meteoryt praktycznie wyparował na skutek olbrzymiej energii uderzenia w Ziemię, a jego jedyne pozostałości rozleciały się w postaci odłamków na setki kilometrów, to w kraterze uderzeniowym powstały z czasem bogate złoża niklu i miedzi. Pod koniec XIX wieku otwarto kopalnie, w których wydobywano te metale szlachetne.

W latach 1999–2006 naukowcy prowadzili własne poszukiwania w kopalni Creighton Mine, prawie 7000 stóp (2100 m) poniżej krateru Sudbury. Jednakże naukowcy ci nie poszukiwali metali do zebrania ani nawet dowodów na starożytne oddziaływanie. Zamiast tego, osłonięte przed promieniowaniem kosmicznym, detektory Obserwatorium Neutrino w Sudbury spokojnie czekały, aż neutrino słoneczne przejdą przez ziemię i wejdą w interakcję z ogromnym zbiornikiem wypełnionym ciężką wodą. Projekt Sudbury, wraz z pomocą zespołu Super-Kamiokande z Japonii, udowodnił, że neutrino zmieniają formę po opuszczeniu Słońca – jest to proces wymagający od nich masy. To odkrycie umożliwiające uderzenie ostatecznie przyniosło Takaaki Kajita z Uniwersytetu Tokijskiego i Arthurowi McDonaldowi z Queen's University w Kingston w Kanadzie Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w 2015 roku²⁰.

Tak silne uderzenie w powierzchnię planety może wywoływać również inne wydarzenia geologiczne, udokumentowane jest na przykład uderzenie

²⁰ Raymond Shubinski, *Największe hity Ziemi: historia uderzeń asteroid*, <https://www.astronomy.com/science/earths-greatest-hits-a-history-of-asteroid-impacts/> | Opublikowano: 14 września 2022 | Ostatnia aktualizacja: 18 maja 2023 r.

meteorytu, które wywołało pęknięcia w skorupie ziemskiej, przez które w okolicy powierzchni dostała się ropa naftowa. Związek bogatych złóż złota w Republice Południowej Afryki przypisuje się również między innymi uderzeniu meteorytu. Moim zdaniem, powstanie złóż ropy i gazu ziemnego jakiś sposób też łączy się z impaktami asteroid. W każdym razie często zauważamy, że złoża te mają związek z kraterami powstałymi w wyniku takich zderzeń. Być może było to wynikiem upadku asteroid w znajdujące się w tym miejscu wcześniejsze złoża węgla lub węgla brunatnego²¹.

Obecnie środowisko naukowe wyraża przekonanie, że ropa naftowa jest substancją pochodzenia organicznego. Zgodnie z fundamentalnymi założeniami teorii biogenicznej, substancja ta jest niczym innym, jak przekształconymi szczątkami martwych od tysięcy lat organizmów. Zdaniem naukowców, ropa powstaje w następstwie przeobrażeń sapropelowych, humusowych i mieszanych substancji organicznych, zawartych w skale macierzystej, która jest osadzona w basenie sedymentacyjnym. W środowisku redukującym lub utleniającym dochodzi do przeobrażenia materii organicznej do postaci węglowodorów. Kluczowe znaczenie mają tu warunki termodynamiczne oddziałujące na skałę macierzystą. Materia organiczna ulega przeobrażeniu w węglowodory w temperaturze od 600 do 135 stopni Celsjusza. Produktem tych procesów jest kerogen. nierozpuszczalne skupienia ulegają procesom metamorfizmu i diagenezy, w następstwie których powstaje ropa naftowa.

Teoria ta została stworzona m.in. przez Bronisława Radziszewskiego, Karla Englera i Helmuta Hofera i jest rozwijana do dziś. Należy jednak podkreślić, że w 1757 roku Michaił Łomonosow założył, że ropa może być produktem nieorganicznym. Jego twierdzenie rozwijali m.in. Dmitrij Mendelejew i Henri Moissan.

Autorzy drugiej teorii założyli, że ropa powstaje w sposób ciągły. Obecna w głębi planety para wodna ma oddziaływać na karbidy metali i tworzyć węglowodory serii naftowej. Te mają ulegać dalszym przemianom, finalnie dając ropę naftową. Teoria ta została zarzucona, jednak należy podkreślić, że rosyjscy naukowcy zdołali odnaleźć dowody, które zdają się ją potwierdzać.

Mowa o bogatych złożach w północnej części Wietnamu, które zostały odnalezione spękanych granitach. Kierując się teorią organiczną, należy przyjąć, że nie powinno ich tam być. Ponadto uczeni zaobserwowali, że po silniejszych wstrząsach sejsmicznych, niektóre złoża w obszarze Morza Kaspijskiego odnawiają się.

Teoria nieorganiczna zaczęła być szerzej analizowana w 1999 roku, kiedy Thomas Gold opublikował książkę „Gorąca podziemna biosfera”. Autor wskazał, że ropa nie może być produktem nieorganicznym, skoro występują w niej

²¹ W wyniku badań nad węglem brunatnym z Turowa ustalono, że przedziałem temperaturowym prowadzenia procesu, dającym maksymalny uzysk ciekłej frakcji węglowodorowej, jest przedział pomiędzy 340 a 360 °C. Uzysk głównego produktu ciekłego w tych warunkach wynosił ok. 23 % wag.

substancje właściwe dla organizmów żywych. Swoją teorię oparł na występowaniu biosfery głęboko pod skorupą ziemską, która czerpie energię nie z fotosyntezy, a z chemosyntezy. Takie niezwykle miejsca rzeczywiście istnieją, czego przykładem jest „różany ogród”, odkryty w 1977 roku na głębokości 2,5 km pod powierzchnią Pacyfiku. Batyskaf Alvin natknął się tam na ekosystem, który ukształtował się wokół gorących źródeł.

Dziś wiemy, że takich obszarów jest więcej. Największy odkryty to tzw. „zaginione miasto”, zlokalizowane na dnie Atlantyku, na głębokości 2400 m. Naukowcy poddali analizie węglowodory, które wypływają z tamtejszych kominów skalnych. Wyniki nie pozostawiają wątpliwości – nie są to substancje pochodzenia organicznego.

Nie jest to jednoznaczny dowód, że ropa naftowa to produkt reakcji chemicznych zachodzących wewnątrz naszej planety. Nie można więc jednoznacznie stwierdzić, że jedna lub druga teoria o genezie ropy naftowej jest błędna. Należy jednak podkreślić, że większość środowisk naukowych przyjmuje, że ropa jest produktem organicznym²².

Natomiast epigenetyczne złoża węglowodorów, które utworzyły się w zagłębieniach pokolizyjnych, należałyby do złóż strukturalnych. Ich przykładem mogą być złoża znajdujące się m.in. w ukraińskich kraterach Bołysz, Oboloń i Rotmistrowka. Są to złoża niedojrzałej ropy naftowej powstałej w izolowanych basenach. Ich zasoby szacowane są na 90 mln baryłek (Westbroek & Stewart, 1996). Złoża węglowodorów, które zgromadziły się w zagłębieniach tektonicznych utworzonych w strukturach impaktowych, również należałyby do drugiej podgrupy złóż epigenetycznych. Znajdują się one m.in. w amerykańskich kraterach Red Wing (ok. 130 mln baryłek ropy i $2,8 \times 10^9$ m³ gazu ziemnego; Barton i in., 2010) i Avak (Westbroek & Stewart, 1996). Oprócz tego istnieją kratery, które łączą w sobie pułapkę dla węglowodorów (węglowodory migrują i gromadzą się w spękanym dnie krateru i wypełniającej krater brekcji) i ich pierwotne źródło – np. zlokalizowane w USA kratery Ames (szacowane zasoby wynoszą tam 25 mln baryłek ropy i $2,8 \times 10^9$ m³ gazu ziemnego; Barton i in., 2010) i Newporte (Westbroek & Stewart, 1996; Reimold i in., 2005). Krater Newporte jest jednym z wyjątków od reguły mówiącej, że ekonomiczne złoża znajdują się w strukturach o średnicy powyżej 5 km. Jego średnica wynosi jedynie 3,2 km (Earth Impact Database, 2013)²³.

Nieco później doszło do powstania jednego z 5 największych kraterów na terenie dzisiejszej Europy, krateru Keurusselkä o średnicy 30 kilometrów. Dokładny wiek jego utworzenia nie jest znany, ale datowanie przeobrażonych skał krystalicznych wskazuje, że powstał on nie wcześniej niż 1,8 miliarda lat temu.

²² Artur Białek, *Jak powstała ropa naftowa – skąd się bierze i jak się ją wydobywa?* https://www.national-geographic.pl/artukul/jak-powstala-ropa-naftowa-skad-sie-bierze-i-jak-sie-ja-wydobywa#google_vignette

²³ Małgorzata Telecka, *Znaczenie ekonomiczne kraterów meteorytowych*, Przegląd Geologiczny, vol. 62, nr 5, 2014, s. 243.

Skały krateru Amelia Creek na Terytorium Północnym w Australii odsłaniają się na powierzchni ziemi, jednak jego pierwotny kształt został zniszczony przez uskoki i sfałdowanie skał. Miał on około 20 km średnicy. Wiek krateru jest trudny do określenia, można go szacować na podstawie wieku otaczających skał. Powstał on w proterozoiku, pomiędzy 1640 a 600 milionów lat temu. Utworzył się on w skałach krystalicznych pokrytych warstwą skał osadowych.

Na okres ok. 1,6 – 1,8 mld lat temu datowane jest również uderzenie ogromnej asteroidy na kontynent, którego tereny stały się w przyszłości Europą, a dziś ślady tego impaktu znajdujemy na obszarze dzisiejszej Polski, w okolicach Grudziądza. Meteoryt, który spadł w rejonie Grudziądza, mógł mieć nawet 10 km średnicy. Zdaniem prof. Marka Narkiewicza teoria na temat dużego impaktu meteorytowego w Polsce, którą razem z dr. Zdzisławem Peteckim przedstawił na łamach czasopisma naukowego "Geological Quarterly", bazuje na wykrytej anomalii grawimetrycznej²⁴.

Mniej więcej w tym samym okresie powstał krater uderzeniowy Shoemaker (dawniej: Teague Ring) w stanie Australia Zachodnia. Datę jego powstania szacuje się na lata ok. 1,63 miliarda lat temu, koniec paleoproterozoiku. Utworzył się on w skałach krystalicznych pokrytych warstwą skał osadowych, na granicy archaicznego kratonu Yilgarn, jednej z najstarszych mas lądowych, których pozostałości przetrwały na Ziemi. Pomimo jego wieku, krawędź krateru jest dobrze widoczna w terenie. W jego wnętrzu znajdują się niewielkie, okresowo wysychające jeziora słone; największym z nich jest Lake Teague.

W 2008 roku około 15 – 20 km na zachód od wybrzeża Szkocji zlokalizowany został kolejny krater, tym razem ukryty pod wodą i skałami. Oszacowano, że meteoryt o średnicy ok. 1 km uderzył w Ziemię około 1,2 miliarda lat temu, kiedy teren dzisiejszej Szkocji był półpustynny i usytuowany blisko równika. Upadł na ląd, „rozrzucając pył i fragmenty skał na dużym obszarze”. Zdaniem ekspertów krater zachował się dzięki temu, że meteoryt „wylądował” w dolinie ryftowej i w niedługim czasie został przykryty świeżymi osadami.

Wspomniane kataklizmy miały znaczny wpływ nie tylko na klimat i przemieszczanie się kratonów (prakontynentów), ale również na powstające na Ziemi życie biologiczne. Najstarsza znana ziemska materia pochodzenia biogenicznego datowana jest na 3,7 mld lat (grafit w przeobrażonych skałach osadowych z zachodniej Grenlandii, 2014) i 3,48 mld lat (piaskowiec znaleziony w Australii Zachodniej, 2013). W 2014 roku odkryto także cyrkon mający 4,1 mld lat, w którym znajduje się grafit. Według niektórych badaczy jest on pozostałością po organizmach żywych z tamtego okresu. Jako że podstawowymi źródłami informacji na temat rozwoju życia w tym okresie były współczesne organizmy oraz skamieniałości organizmów dawnych, dość szybko zarysowany został obraz zależności między głównymi grupami zwierząt

²⁴ Karolina Modzelewska, *Ogromny ślad po meteorycie w Polsce? Geolog wyjaśnia, skąd pochodzi*, <https://tech.wp.pl/w-polsce-mamy-ogromny-slاد-po-uderzeniu-meteorytu-geolog-wyjasnia-skad-pochodzi,7024233431305152a> 05.05.20244.

i roślin. Przedstawiony obraz został zbudowany w dużej mierze na opartej jedynie na morfologii organizmów spekulacji, i choć poprawnie przedstawiał pewne zależności zawierał też wiele poważnych błędów. Nasza wiedza o historii życia została zweryfikowana i znacznie pogłębiona dzięki odkryciom genetyki oraz eksperymentowi Stanleya Millera, w którym wykazał, że substancje organiczne mogły samoistnie tworzyć się na wczesnej Ziemi. Przełomowe okazało się również rozpowszechnienie się komputerów, dzięki którym możliwe stały się obliczenia niedostępne dla XIX-wiecznych badaczy, takie jak analizowanie funkcji białek przeszłych organizmów, których strukturę znamy dzięki genom ich współczesnych potomków.

Przez ponad 3 miliardy lat życie rozwijało się wyłącznie w wodzie. Wprawdzie istnieją dowody kopalne, że sinice i inne fotosyntetyzujące bakterie pokrywały wilgotne powierzchnie lądów już ponad miliard lat temu, ale prekambryjskie skamieniałości zwierząt, tzw. fauna ediakarańska, czyli najstarsze organizmy wielokomórkowe pojawiły się dopiero wkrótce po „odwilży” epoki lodowej okresu kriogeńskiego, i w większości zniknęły tuż przed gwałtownym wzrostem bioróżnorodności. Organizmy ediakarańskie po raz pierwszy pojawiły się około 610 milionów lat temu i pozostawały w rozkwicie do początku kambru. Większe formy, takie jak grzyby, rośliny i zwierzęta, pojawiły się na lądzie dopiero około 500 milionów lat temu. Dziś nie sposób odtworzyć, jaki był dokładny przebieg tej ewolucji, nie potrafimy też wskazać, jaki był na nią wpływ zmian klimatycznych i katastrof kosmicznych. Te miały miejsce nieustannie.

Wielki kataklizm sprzed 800 mln lat

Większość informacji odnoszących się do upadków asteroid to wynik badań i prac naukowych prowadzonych dopiero w XXI wieku. Japońscy uczeni na bazie badań z sondy Kaguya, znanej również pod nazwą Selene, która służyła do obserwacji Księżyca od 2007 do 2009 zbierając m.in. dane dotyczące księżycowych kraterów, odkryli ślady kolizji, która miała miejsce ok. 800 mln lat temu. Zdaniem badaczy z Uniwersytetu w Osace to pozostałość po bombardowaniu przez asteroidy, które trafiły także w Ziemię. Ich łączna masa była niewyobrażalna – rzędu 50 bilionów kilogramów. To kilkadziesiąt razy więcej niż ważyła asteroida, która 66 mln lat temu uderzyła w półwysep Jukatan. Ziemskie ślady tej kolizji zostały wymazane przez procesy geologiczne, zachowały się na Księżycu, gdyż jest on pozbawiony atmosfery i aktywności sejsmicznej.

Gdy w powierzchnię planety uderzy asteroida o rozmiarach większych niż 50 m (mniejsze to meteoroidy), skutki takiej katastrofy mogą mieć globalny zasięg. 800 mln lat temu takich kolizji musiało być wiele. Naukowcy podejrzewają, że doszło do nich wskutek zaburzenia orbity wielkiej asteroidy o średnicy ok. 100 km, złożonej z wielu luźno związanych odłamów.

Uderzając w powierzchnię Księżyca, zostawiły one co najmniej kilkanaście kraterów, z których każdy ma dziś średnicę kilkudziesięciu kilometrów. Dane z sondy Kaguya wykazały, że powstały one właśnie przed 800 mln lat. Uczeni

sądzą, że podobnemu bombardowaniu została poddana Ziemia. Mogło ono zmienić skład chemiczny powierzchni naszej planety, ponieważ asteroidy te były bogate m.in. w fosfor.

Skutki uderzenia jednej asteroidy mogą wahać się od globalnej zimy do globalnego upału – zależnie od proporcji zanieczyszczeń, jakie są uwalniane wówczas do atmosfery. Seria kolizji sprzed 800 mln lat prawdopodobnie doprowadziła do głębokiego ochłodzenia. Wskazuje na to fakt, że 720 mln lat temu rozpoczął się okres zwany kriogenem. W jego trakcie zlodowacenia pokryły prawdopodobnie całą Ziemię. Duże ochłodzenia pojawiły się już 750 mln lat temu, więc mogły być one następstwem deszczu asteroid. Zlodowacenia ustąpiły dopiero 635 mln lat temu. Wtedy też nastąpił rozkwit organizmów żywych, zwanych fauną ediakarańską.

Jednak uderzenia asteroid mogą też ocieplić klimat. Tak mogło być 2,2 mld lat temu. Akurat wtedy na naszej planecie zaczęło się ocieplenie, wskutek którego lądolody stopniały. Możliwe, że zapoczątkowało to właśnie uderzenie asteroidy²⁵.

Pisząc o powyższych upadkach asteroid warto zauważyć, że posługujemy się datami podawanymi w milionach, a nawet miliardach lat. Warto jednak wziąć pod uwagę fakt, że zmiany klimatyczne (znaczne ocieplenia i ochłodzenia) mogły następować i zapewne następowały w znacznie krótszych odstępach. W odstępie stu milionów lat mogło być ich bardzo wiele.

Kolejne upadki asteroid

Krater uderzeniowy Janisjarwi (Karelia, Rosja) o średnicy 14 km, powstał ok. 700 milionów lat temu, w kriogenie. Przed II wojną światową sądzono, że jest to druga, co do wielkości, kaldera wulkaniczna w Finlandii (w 1940 roku Karelia została zagarnięta przez ZSRR), po Lappajävi. Obecnie wiadomo, że oba jeziora są pochodzenia meteorytowego.

646 miliony lat temu, pod koniec kriogenu na Terytorium Północnym w Australii powstał krater uderzeniowy Strangways. Utworzył się on w skałach krystalicznych pokrytych warstwą skał osadowych, na skutek upadku małego ciała niebieskiego o składzie achondrytowym. Pomimo erozji, pierścień otaczający krater zaznacza się w otaczającym terenie. Dowody na meteorytowe pochodzenie tego utworu znaleziono w 1971 roku, były to stożki zderzeniowe i kwarce szokowy.

W Montanie, w Stanach Zjednoczonych (Idaho i Montana), w 1990 roku został zidentyfikowany krater uderzeniowy Beaverhead. Ma on średnicę 60 km i jest jednym z 10 największych potwierdzonych kraterów uderzeniowych na Ziemi. Ocenia się, że powstał ok. 600 milionów lat temu (pod koniec

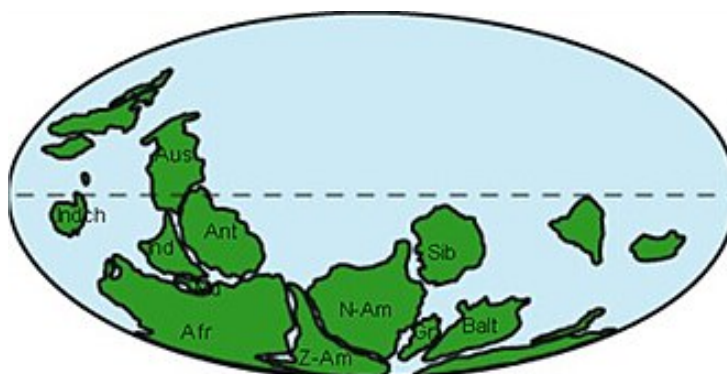
²⁵ Jan Stradowski, *800 mln lat temu Ziemia została zbombardowana. Asteroidy zmieniły skład i klimat całej planety. Badania zostały opublikowane na łamach pisma „Nature Communications”*

neoproterozoiku).

Ślady kolejnego kataklizmu, o którym chcę tu wspomnieć to duży krater uderzeniowy Acraman w stanie Australia Południowa. Ta struktura uderzeniowa ma szacunkową średnicę 56 mil (90 kilometrów). W centrum tej struktury znajduje się koliste sezonowe jezioro o średnicy ok. 20 km. Krater ten miał pierwotnie średnicę ok. 90 km, do chwili obecnej w znacznym stopniu uległ erozji. Powstał on ok. 590 lub 580 milionów lat temu w ediakarze, w skałach krystalicznych. Publikacje o rozpoznaniu tej struktury jako miejsca uderzenia meteorytu ukazały się po raz pierwszy w 1986 roku. Uderzenie planetoidy, które utworzyło ten krater, spowodowało duże zmiany w środowisku. Akritarchy występujące w skałach powstałych po uderzeniu są liczniejsze, większe i bardziej różnorodne niż przed nim, co wskazuje na radiację tych organizmów po spustoszeniu wywołanym przez impakt; niewykluczony jest także związek jego skutków z późniejszym rozwojem fauny ediakarańskiej.

Inny krater w postaci skalnej formacji o kształcie pająka po raz pierwszy rozpoznał na zdjęciach lotniczych J. E. Harms, w latach 50. XX wieku. W 1977 roku została ona poddana bezpośrednim badaniom. To krater uderzeniowy Spider w stanie Australia Zachodnia, w regionie Kimberley. Stwierdzono występowanie stożków zderzeniowych, będących charakterystyczną cechą struktur o genezie impaktowej, jednak Harms nie zdecydował się na jednoznaczne stwierdzenie, że jest to krater meteorytowy, uznając za niewykluczoną hipotezę o pochodzeniu wulkanicznym. W latach 80. XX wieku Eugene Shoemaker i Carolyn Shoemaker badali tę strukturę, wykonując szczegółowe mapy terenu. Dalsze informacje przyniosły zdjęcia satelitarne. Krater Spider ma współcześnie wymiary 13 × 11 km; mogły one ulec zmniejszeniu w stosunku do pierwotnych na skutek erozji. Deformacje skał związane z impaktem rozciągają się na obszarze o wymiarach 15 × 11,5 km. Krater ten powstał w proterozoiku, w skałach osadowych (piaskowcach), co najmniej 570 milionów lat temu. Powstał on w synklinie Mt Barnett, którą utworzyły ruchy górotwórcze Yampi, mające miejsce 900 milionów lat temu, co pozwala nałożyć także górne ograniczenie na jego wiek. Charakterystyczne wzniesienie centralne powstało wskutek zerodowania nasuniętych łusek skalnych, w wyniku, czego utworzył się system „pajęcznych nóg”.

Warto przy okazji zauważyć, że do identyfikacji tych kraterów doszło dopiero stosunkowo niedawno, pod koniec XX wieku. Nie mogły być, więc, brane przez naukowców jako przyczyny opisywanych tu zmian. Powodowane uderzeniem tych planetoid, kataklizmy musiał niewątpliwie wpłynąć na ruchy skorupy ziemskiej, wpłynąć na wulkanizm i łącznie z nim spowodować zmiany klimatyczne, które miały niewątpliwie wpływ na przebieg ewolucji życia na Ziemi, a zwłaszcza ówczesnego prakontynentu lub kratonów, na których miały miejsce. Dla porównania, mniejszy impakt w Ameryce Północnej ok. 12,8 tys. lat temu spowodował wyginięcie wielu gatunków zwierząt tego kontynentu. Wspomniane odkrycia (identyfikacje) śladów tych kataklizmów i świadomość ich znacznego wpływu na zmiany na naszej planecie zmuszają nas do weryfikacji wielu wcześniejszych hipotez dotyczących ruchu kontynentów, zmian klimatu i rozwoju życia w tych odległych epokach.

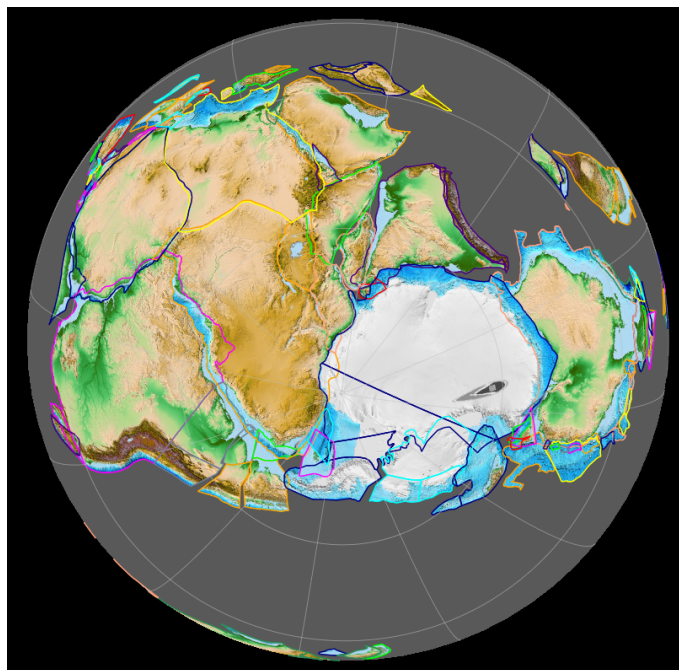


Pannotia. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów.

Pannotia (z greckiego: pan- „wszystko”, -nótos „południe”; co oznacza „cała kraina południowa”), znana również jako superkontynent Vendian, Wielka Gondwana i superkontynent panafrykański, była stosunkowo krótkotrwała. Ten neoproterozoiczny superkontynent powstał pod koniec prekambriu podczas orogenezy panafrykańskiej (650–500 mln lat temu), w okresie kriogenicznym i rozpadł się 560 mln lat temu wraz z otwarciem Oceanu Japetus, w późnym ediakarze i wczesnym kambrze. Pannotia powstała, gdy Laurentia znajdowała się w sąsiedztwie dwóch głównych kratonów Ameryki Południowej, Amazonii i Río de la Plata. Otwarcie Oceanu Japetus oddzieliło Laurentię od Baltica, Amazonii i Río de la Plata. Artykuł z 2022 roku dowodzi, że Pannotia nigdy w pełni nie istniała, co dowodzi reinterpretacji dowodów geochronologicznych: „rzekomy ląd zaczął się rozpadać na długo przed jego całkowitym złożeniem”. Jednakże montaż kolejnego superkontynentu Pangei jest dobrze ugruntowany.

Dziś, ze względu na dostępne skamieniałości, historię życia na Ziemi dzielimy na 2 okresy – okres od kambru, który zaczął się ok. 542 milionów lat temu, do współczesności, oraz okres prekambryjski, skamieniałości, z którego są bardzo rzadkie. Niemal od początku badań ewolucji zagadkę stanowił moment przełomowy pomiędzy tymi okresami, tzw. eksplozja kambryjska, z czasem doszło do wyodrębnienia kolejnych okresów tzw. wielkich wymierań. Okazało się też, że procesy wymierania gatunków trwały dłużej niż wcześniej przypuszczano. Kambry datowany jest na okres pomiędzy 541 a 485,4 mln lat temu. Dzieli się go na cztery oddziały: ternem, oddział 2, oddział 3 i furgon.

Poprzedza go tzw. orogeneza kadomska (kadomijska), ruchy górotwórcze rozpoczęte w środkowym neoproterozoiku, trwające od późnego tonu (~750 mln lat temu) po wczesny kambry (540-530 mln lat temu). Termin „orogeneza awalońsko-kadomska” odnosi się do faktu, że podobne i zbieżne w czasie procesy miały miejsce w obrębie terranu Awalonii. Podłoże kadomskie obecne dziś w środkowej Europie ukształtowało się pierwotnie na obrzeżu kratonu zachodnioafrykańskiego. Fałdowania kadomskie miały miejsce równolegle z rozpadem superkontynentu Rodinii. Subdukcja dna mniejszych prekambryjskich oceanów doprowadziła do zderzenia bloków kontynentalnych, które utworzyły wschodnią i zachodnią część Gondwany.



Gondwana na 420 mln lat. Widok skupiony na biegunie południowym. z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów.

Gondwana była dużym lądem, czasami nazywanym superkontynentem. Pozostałości Gondwany stanowią około dwóch trzecich dzisiejszego obszaru kontynentalnego, w tym Amerykę Południową, Afrykę, Antarktydę, Australię, Zelandię, Arabię i Subkontynent Indyjski.

Gondwana powstała w wyniku akrecji kilku kratonów (dużych stabilnych bloków skorupy ziemskiej), począwszy od ok. 800 do 650 mA z orogenezą w Afryce Wschodniej, zderzeniem Indii i Madagaskaru z Afryką Wschodnią, a kulminacją było ok. 600 do 530 mA z nakładającymi się orogenezami Brasiliano i Kuunga, zderzeniem Ameryki Południowej z Afryką oraz dodaniem odpowiednio Australii i Antarktydy. Ostatecznie Gondwana stała się największym fragmentem skorupy kontynentalnej ery Paleozoiku, zajmując obszar około 100 000 000 km² (39 000 000 mil kwadratowych), około jednej piątej powierzchni Ziemi. W karbonie połączył się z Eurameryką, tworząc Pangeę. Zaczął oddzielać się od północnej Pangei (Laurazji) w okresie triasu i zaczął się fragmentować we wczesnej jurze (około 180 milionów lat temu). Końcowe etapy rozpadu, obejmujące oddzielenie Antarktydy od Ameryki Południowej (tworząc Przełęcz Drake'a) i Australii, miały miejsce w okresie paleogenu (od około 66 do 23 milionów lat temu). Gondwana nie była uważana za superkontynent według najwcześniejszej definicji, ponieważ oddzielono od niej lądy Baltica, Laurentia i Syberia. Aby odróżnić go od indyjskiego regionu o tej samej nazwie, powszechnie nazywany jest także Gondwaną. Regiony będące częścią Gondwany miały wspólne elementy kwiatowe i zoologiczne, które przetrwały do dnia dzisiejszego.

Wspomnianym wyżej wydarzeniom tym towarzyszyło wypiętrzanie gór,

utworzyły się orogeny: panafrykański, bajkalski i brasiliano. Te zdarzenia prawdopodobnie tymczasowo scalili fragmenty Rodinii, tworząc superkontynent zwany Pannocja. W trakcie jego tworzenia i istnienia, wzdłuż aktywnych krawędzi Gondwany była subdukowana litosfera oceaniczna, wskutek czego powstały orogeny peryferyjne, podobnie jak ma to obecnie miejsce np. w Andach; jednym z nich był kadomski (lub awaloński) pas fałdowy. Dowody występowania w neoproterozoiku magmatyzmu związanego z subdukcją występują m.in. w Sudetach, w metamorfiku kłodzkim. Na przełomie proterozoiku i kambru superkontynent Pannocja rozpadł się na kilka bloków kontynentalnych – największymi z nich były Gondwana, Laurencja i Baltika.

W ediakarze, później niż ok. 570 milionów lat temu, w orogenie kadomskim w Saksoturyngii (Masyw Czeski) wystąpiło lokalne zlodowacenie. Odpowiada to zrekonstruowanej pozycji terranu w tym czasie, na wysokiej południowej szerokości geograficznej. W podłożu kaledońskim i waryscyjskim w zachodniej i środkowej Europie zachowały się bloki skorupy ukształtowanej w orogenezie kadomskiej. Należą do nich zrab Morza Irlandzkiego, podłoże Basenu Londyńskiego (Platforma Londyńska), blok górnośląski, Masyw Armorykański, Masyw Czeski i blok małopolski. Fragmenty kadomskie występują także w alpejskim pasie fałdowym. Podłoże kadomskie cechuje duża gęstość, większa niż skał sfałdowanych w orogenezie waryscyjskiej, co sprawia, że nad blokami kadomskimi mierzalna jest dodatnia anomalia siły ciężkości.

Wystąpienie lokalnego zlodowacenia obserwowanego dziś na terenie Masywu Czeskiego, (a przecież nie możemy wykluczyć, że takich zlodowaceń nie było więcej) dowodzi, że i w tym czasie dochodziło do znacznych zmian klimatycznych. Ochłodzenia te wiązały się z takimi kataklizmami jak uderzenia asteroid (planetoid) oraz erupcjami wulkanicznymi. Zlodowacenia powodowały magazynowanie ogromnych mas wód w okolicach biegunów, przez co obniżał się poziom wód w oceanach. To zmiana nacisku wody na płyty litosfery mogła być tym czynnikiem, który powodował ich przemieszczanie się, czasami wzajemne nachodzenie na siebie. Powodem przemieszczeń mogły też być uderzenia wielkich asteroid.

Jeszcze w najwyższym prekambrze doszło do rozpadu superkontynentu Pannocja na stopniowo zmieniające swe położenie geograficzne bloki. Największym z nich była Gondwana, obejmująca dzisiejsze kontynenty półkuli południowej oraz tereny dzisiejszej Azji. Pomiędzy kontynentem Baltika (dzisiejszy kraton wschodnioeuropejski) a kontynentem Laurencja (dzisiejszy kraton północnoamerykańsko-grenlandzki) znajdował się powiększający się ocean Iapetus. Na bloki kontynentalne wkraczały w wielu miejscach płytkie morza. Mikrokontynenty wchodzące dzisiaj w skład Syberii były oddzielone od Baltiki Oceanem Uralskim. Oddalone od siebie były też inne bloki kontynentalne, będące dzisiaj fragmentami kontynentu azjatyckiego. Kontynenty otaczał szeroki ocean – Panthalassa. Wzdłuż północnego wybrzeża Gondwany, nim oderwała się w późnym karbonie, znajdowała się Kimmeria, która stanowiła szeroki pas lądu. Następnie, w postaci jednolitego mikrokontynentu czy też łańcucha wielkich wysp, podryfowała na północ. Pod sunącą na północ płytą kimmerijską ulegała subdukcji oceaniczna płyta oceanu Paleotetydy, natomiast na południe od niej tworzyła się nowa skorupa oceanu

Tetydy.

Florę tego okresu reprezentowały tylko grzyby, glony (np. *Callenia*) i porosty. Wśród glonów wyróżniała się przede wszystkim rodzina *Collenia*. Regionalne znaczenie stratygraficzne mają akritarchy, uważane za cysty jednokomórkowych organizmów morskich lub morskich glonów. Pojawiły się wówczas wszystkie znane współcześnie typy zwierząt bezkręgowych. Zwierzęta te posiadały już zdolność wytwarzania pancerzy, szkieletów, skorupek, muszli i innych elementów twardych.

W 2012 roku podczas wykopalisk w złożu Burgess Shale w kanadyjskich Górach Skalistych odkryto skamieliny wyginiętych stawonogów *Cambroraster falcatus*. Stworzenie to liczy sobie 506 milionów lat! Miało nie tylko przerażającą prezencję, ale było też niezwykle dobrze chronione, ponieważ jego plecy chronił gruby pancerz, a czubki jego muszli były zakończone ostrymi kolcami. W 2018 r. naukowcom udało znaleźć miejsce pełne tych stworzeń, co jest dowodem na to, że te dziwne stworzenia mieszkaly w dużych grupach, a nie były tylko samotnymi drapieżnikami. Przypuszczalnie większość dorosłych osobników *Cambroraster falcatus* była mniej więcej wielkości ludzkiej dłoni. Jednak największy mierzył prawie 30 centymetrów długości.

W środkowej części kambru pojawiły się stawonogi (trybolity). Ze zwierząt jednokomórkowych tego okresu znane są żyjące na dnach mórz otwornice zlepieńcowate, zaczęły pojawiać się gąbki (*Protospongia*, *Allonia*). Rozwijały się archeocyty, zarówno osobnicze jak i kolonijne. Jamochłony reprezentowane są przez korale denkowe (*Cambrotrypa*), spotyka się też ślady żerowania pierścienic (*sabellidites*). Licznie występują ramienionogi, głównie bezzawiasowe, o skorupkach fosforanowych czy chitynowych (*Lingulella*, *Obolella*, *Acrothele*), rzadziej (w młodszym kambrze) zawiasowe (*Orusia*, *Eorthis*, *Archeorthis*). Z mięczaków występują jednotarczowce (*Stenotheca*, *Helcionella*), hiolity i ślimaki (*Aldanella*). Do głowonogów zaliczana jest też niekiedy *Vorborthella*. Największe znaczenie jako skamieniałości, mają stawonogi, a wśród nich trybolity, które pojawiły się w epoce 2 kambru. Podrzedną rolę odgrywały szkarłupnie, spotyka się przedstawicieli Cystoidów (*Eocystoides*) oraz liliowców (*Cambrocrinus*). Pod koniec okresu pojawiły się kondonty. W skałach kambru stwierdzono też obecność bakterii i rodzajów *Micrococcus* i *Chlamydothrix*. Liczne też są sinice (*Maropalia*, *Morania* i in.).

Już w tym czasie doszło do kilku masowych wymierań, których przyczyny nie są jasne. Z tego, co dziś wiemy, eksplozja kambryjska nie była jednak aż tak radykalnym wydarzeniem, jak pierwotnie przy-puszczano, była bardziej rozłożona w czasie i na różnych obszarach przebiegała odmiennie. I znów warto wspomnieć o kilku ogromnych kataklizmach, których pozostałością są kratery poimpaktowe. Myślę, że to właśnie one odpowiadają, za wspomniane „wymierania”.

Krater uderzeniowy Lawn Hill w północno-zachodnim Queenslandzie, w Australii powstał ponad 515 milionów lat temu (w proterozoiku lub najpóźniej w kambrze). Jego pozostałość jest odsłonięta na powierzchni Ziemi, jest silnie zerodowana i ma mniejsze rozmiary niż oryginalny krater, którego średnica jest

oceniana na 18 km. Wnętrze krateru wypełniają osady węglanowe, uwidaczniające historię środowiska krateru po jego powstaniu. Krater ten objęła środkowokambryjska transgresja morza, przez co wypełniła go gruba sekwencja osadów płytkomorskich. Glikson to krater uderzeniowy zidentyfikowany na Małej Pustyni Piaszczystej, w stanie Australia Zachodnia. Wiek tego krateru nie jest dobrze znany, szacuje się, że powstał on około 508 milionów lat temu (w fanerozoiku). Utworzył się on w skałach krystalicznych pokrytych warstwą skał osadowych. Podobnie nie został jeszcze dokładnie określony wiek powstania krateru uderzeniowego Presu'ile w prowincji Quebec w Kanadzie. Przypuszcza się, że powstał on w ciągu ostatnich 500 milionów lat (w fanerozoiku). Utworzył się on w skałach krystalicznych Tarczy Kanadyjskiej. Skały krateru są widoczne na powierzchni Ziemi. Jezioro powstałe w miejscu tego krateru ma kształt niekompletnego pierścienia o średnicy ok. 5 km. Data powstania kolejnego krateru na obszarze dzisiejszej Kanady, Clearwater East, szacowana jest na lata około 460 – 470 milionów lat temu. Krater uderzeniowy, Ames, zidentyfikowano w pobliżu miejscowości Ames w stanie Oklahoma, w USA. Nie jest widoczny na powierzchni ziemi. Ma średnicę 16 km, powstał w ordowiku (470 ± 30 lat temu). Skały obrzeża i wyniesienia centralnego krateru stanowią naturalną pułapkę na węglowodory (ropę i gaz ziemny). Mniej więcej w tym samym czasie powstały inne kratery na obszarze dzisiejszego USA, a położone na północny wschód od niego: Slate Islands, Rock Elm i przypuszczalny krater Decorah. Zasugerowano, że te kratery mogły powstać w wyniku upadku łańcuskowego. Wyspy Slate Islands stanowią pozostałość wyniesienia centralnego dużego krateru uderzeniowego. Jego wiek oceniany jest na ok. 450 milionów lat (ordowik). Większa część krateru została zniszczona przez erozję. Powstał on prawdopodobnie w wyniku uderzenia małej planetoidy w prekambryjskie skały krystaliczne. Na wyspie zachowały się skały przeobrażone w wyniku impaktu, w tym jeden z największych stożków zderzeniowych na Ziemi (9 m wysokości). Krater uderzeniowy Rock Elm zidentyfikowano w stanie Wisconsin w USA. Skały krateru są widoczne na powierzchni ziemi. Krater ma 6 km średnicy, powstał nie dawniej niż 505 mln lat temu (kambr), zapewne 420 – 440 mln lat temu. Powstał w wyniku upadku małej planetoidy, która uderzyła w skały osadowe. Z kraterem wiąże się anomalia siły ciężkości o natężeniu 5 mgal, o jego pochodzeniu świadczą struktury deformacyjne i minerały związane z szokmetamorfizmem.

Wymieranie ordowickie

Ordowik trwał około 42 miliony lat (od $485,4 \pm 1,9$ do $443,4 \pm 1,5$ milionów lat temu). Dzieli się go na trzy epoki: ordowik wczesny, ordowik środkowy i ordowik późny. Rozmieszczenie kontynentów w ordowiku nie odbiegało od ich układu kambryjskiego, z tym, że rozległy kontynent Gondwany rozciągał się od równika po biegun południowy, a Baltica ze swego kambryjskiego położenia w strefach umiarkowanych półkuli południowej przemieszczała się w ordowiku ku równikowi. We wczesnym ordowiku ocean Japetus, który wcześniej osiągnął maksymalną szerokość, 5 tysięcy km, zaczął się zwężać wraz z przesuwaniem się Baltiki oraz środkowej i południowej części Wielkiej Brytanii ku Laurencji, ulegając likwidacji na początku dewonu.

Zwężaniu się oceanu Japetus towarzyszyło powstawanie stref subdukcji wzdłuż krawędzi Laurencji i Baltiki oraz środkowej i południowej części Wysp Brytyjskich. Aktywność stref subdukcji i kolizje z powstałymi łukami magmowymi (wulkanicznymi) spowodowały na przełomie kambru i ordowiku fałdowania i wypiętrzenie starszych utworów w kilku fazach orogenezy kaledońskiej. Z aktywnością stref subdukcji są związane również powstałe w ordowiku na terenie obecnej środkowej Wielkiej Brytanii pokrywy skał wulkanicznych o dużej miąższości.

Powyższe procesy wiązały się z ruchami tektonicznymi na pograniczu ordowiku i syluru (faza takońska orogenezy kaledońskiej), które doprowadziły do sfałdowania fragmentu Appalachów. Na ordowik przypada najwyższy poziom oceanu światowego w całym paleozoiku. W rozległych płytkich morzach szelfowych wykształciły się różnorodne skały okruchowe (piaskowce i mułowce) i węglanowe (wapienie i dolomity, które od połowy ordowiku miały często postać budowli węglanowych podobnych do raf). W cieplejszych strefach klimatycznych ustąpiły one miejsca skałom węglanowym – wapieniom i dolomitom, które od połowy ordowiku miały często postać budowli węglanowych podobnych do raf. W środowiskach otwartego szelfu dominowały skały ilaste (najpowszechniejsze — łupki graptolitowe), w głębokich strefach oceanów gromadziły się skały okruchowe o barwach ciemnych, zwykle iłowce i mułowce. Z ordowiku znane są również magmowe skały wulkaniczne, głównie andezyty, których powstanie przypisuje się aktywności stref subdukcji wokół oceanu Japetus.

W ordowiku, podobnie jak w kambrze, powstawało dużo mniej niż w proterozoiku stromatolitów, głównie na skutek pojawienia się znacznej ilości organizmów żerujących na rozległych matach glonowych na dnie płytkich mórz. Prawdopodobnie w późnym ordowiku w wilgotnych środowiskach lądowych pojawiły się pierwsze rośliny wielokomórkowe. Duży udział w ekosystemach ówczesnych mórz zajmowały trylobity, choć ich liczebność i stopień zróżnicowania nigdy nie były tak znaczne, jak w kambrze. Szczególnie ważne znaczenie stratygraficzne zyskały, żyjące już od kambru, ramienionogi zawiasowe, graptolity i konodonty (należące do wymarłej grupy strunowców); graptolity były najliczniejszymi organizmami w morzach ordowickich i sylurskich; ich szczątki stanowią powszechnie występujące skamieniałości w skałach ilastych, zwanych łupkami graptolitowymi; zarówno skamieniałości graptolitów, jak i konodontów, ze względu na szybko postępującą ewolucję tych organizmów i ich znaczne rozprzestrzenienie należą do dobrych skamieniałości przewodnich ordowiku i syluru. Ważnymi organizmami żyjącymi na dnie ówczesnych płytkich mórz były koralowce czteropromienne oraz spokrewnione z nimi tabulaty; wraz ze stromatoporami tworzyły konstrukcje pojawiających się w ordowiku, a powszechnych w sylurze i dewonie, budowli węglanowych zbliżonych do raf. Nastąpił też intensywny rozwój przedstawicieli szkarłupni, np. liliowców. Znaczną rolę jako drapieżniki, odgrywały łodziki o prostych muszlach, osiągające niekiedy ogromne rozmiary (długość do 9 m).

Oprócz morskich glonów pojawiały się glony słodkowodne. Prawdopodobnie w tym okresie powstały też pierwsze grzyby i rośliny lądowe, określane nieformalną nazwą psylofity. Najstarszą znaną rośliną telomową jest

ryniofitkuksonia (*Cooksonia*). Wśród bezkręgowców najliczniejsze były trylobity, nastąpił również wielki rozwój graptolitów, zarówno bentonicznych dendroidów jak i nowo powstałych we wczesnym ordowiku planktonicznych graptolitów właściwych. Równie duży rozwój przechodziły zwierzęta konodontonośne. Bardzo liczne były ramienionogi, zarówno bezzawiasowe, jak i zawiasowe (zwłaszcza rząd Orthida) ze skorupkami zbudowanymi z węglanu wapnia. Nastąpiła bardzo szybka radiacja oraz wielki wzrost liczebności łodzikowatych. Wielki rozwój nastąpił u cystoidów, wówczas głównych przedstawicieli szkarłupni. Dość często spotykane są gąbki, zwłaszcza o szkielecie krzemionkowym oraz ślimaki i małżoraczk. Również hiolity i jednotarczowce były dość pospolite, choć obserwuje się spadek ich liczebności w porównaniu do kambru. Pojawiło się wiele nowych grup fauny bezkręgowej, choć nie osiągnęły one wówczas znaczącej liczebności: mszywioly, liliowce, jeżowce, wężowidła, rozgwiazdy i wielkoraki. Liliowce miały pewne znaczenie skałotwórcze, tworząc wapienie krynoidowe. W tym okresie powstały pierwsze niewątpliwe koralowce, w tym pierwsi przedstawiciele rzędów: Rugosa i Tabulata, bardzo istotnych w późniejszych okresach. Rugozy (zwane koralowcami czteropromiennymi), a zwłaszcza tabulaty szybko stały się pospolite już w ordowiku środkowym i zaczęły budować pierwsze rafy koralowe, choć niedużych rozmiarów. Inną nowo powstałą w ordowiku grupą zwierząt były stromatoporoidy, zazwyczaj zaliczane do gąbek wapiennych. Stały się one dość liczne już w tym okresie i razem z koralowcami budowały rafy. Rozwijały się również grupy, których zasadniczy rozwój nastąpi w kambrze i które nie osiągnęły jeszcze znacznej różnorodności czy liczebności, należały do nich przede wszystkim małże, ale także pierwotniaki reprezentowane przez otwornice aglutynujące oraz krzemionkowe radiolarie. W ordowiku rozwijały się różne grupy beżżuchwoców, zwłaszcza formy opancerzone, określane jako ostrakodermy. Zasiedlały one zarówno przybrzeżne wody morskie, jak i akweny słodkowodne. Istnieją również doniesienia o bardzo niekompletnych szczątkach ryb, jednak jak dotychczas przynależność tych znalezisk do ryb nie została powszechnie zaakceptowana.

Wcześniej zakładano, że pierwszego z wielkich masowych wymierań doszło pod koniec ordowiku. Miało ono mieć miejsce około 438 milionów lat temu, a w jego trakcie wymarło około 85% gatunków (ponad 100 rodzin). Część badaczy przypuszczało, że prawdopodobnymi przyczynami wymierania był wybuch supernowej znajdującej się niedaleko naszego układu słonecznego lub rozbłysk gamma, który mógł trafić w Ziemię, przez co nasza planeta jak i wszystko co na niej żyło przyjęło sporą dawkę promieniowania. Następstwem lub tylko wynikiem biegunowego dryftu kontynentów mogło być zlodowacenie Gondwany i orogeneza takońska. W stratygrafii z tego okresu obserwowane jest większe stężenie tlenu¹⁸O². Izotop ¹⁸O powstaje z ¹⁴N i cząstek alfa...

Moim zdaniem, podobnie jak w kolejnych epokach przyczyną tego wymierania (lub wielu wyginięć różnych gatunków w tym okresie) mógł być również (a może tylko) cykl kataklizmów, uderzeń asteroid (lub planetoidy) i wybuchów wulkanicznych. Wskazywałyby na to takie przesłanki jak: pokrywy skał wulkanicznych na obszarze dzisiejszej Wielkiej Brytanii, zlodowacenie i inne zmiany geologiczne. W końcu ordowiku nastąpiły znaczne zmiany klimatyczne. Doszło do powstania lądolodu na półkuli południowej, globalnego

obniżenia poziomu morza, obniżenia temperatury oceanu światowego i zmiany w świecie organicznym. Zlodowacenie na obszarze Gondwany u schyłku ordowiku i uwięzienie znacznych ilości wód oceanu światowego w lądolodzie spowodowało ochłodzenie wód na dużym obszarze kuli ziemskiej i związany z tym zanik sedymentacji węglanowej oraz wyraźne spłycenie środowisk sedymentacji; powstałe wówczas skały to przede wszystkim piaskowce i mułowce, ze specyficznym zespołem skamieniałości zimnolubnych ramienionogów i trylobitów, zwanymi zespołem Hirnantia (nazwa pochodzi od nazwy jednego z ramienionogów występujących w tym zespole).

Dziś przyczyn wspomnianego wyżej ochłodzenia upatruje się w skutkach katastrofy, do której doszło poza Ziemią, w pasie asteroid między Marsem a Jowiszem. Pisałem już o upadkach wielu asteroid na Ziemię. Przybywały tu z tzw. pasa asteroid między Marsem a Jowiszem. Z jakiego jednak powodu dochodziło do tych upadków? I na to pytanie znajdujemy, przynajmniej część odpowiedzi. Jak się okazuje, od czasu powstania układu słonecznego dochodziło do rozpadu niektórych asteroid. Nie wiemy, jak wiele ich było i jakie były tego zjawiska przyczyny? Wiemy jednak, że około 470 milionów lat temu doszło do rozpadu jednej z asteroid między Marsem a Jowiszem [Nie znamy jednak przyczyny tego rozpadu]. Do dzisiaj rozpad tej asteroidy (typu chondrytu grupy L) o średnicy 150 km jest odpowiedzialny za jedną trzecią wszystkich meteorytów spadających na Ziemię. Rozpad ten spowodował wtedy wzrost o setki albo nawet tysiące razy obecności skalnego materiału pozaziemskiego w stratosferze. Pył zbliżał się do Ziemi przez ok. dwa miliony lat, stopniowo ochładzając planetę i umożliwiając pojawienie się na niej nowych gatunków. Dodatkowy pył w całym wewnętrznym Układzie Słonecznym spowodował powstanie efektu "lodowej ziemi" (z ang. icehouse Earth) – spadła średnia temperatura powietrza, obniżył się poziom oceanów i zwiększyła różnorodność fauny.

Dowody na zwiększoną częstotliwość upadków meteorytów podczas wielkiego wzrostu bioróżnorodności w okresie ordowiku były gromadzone przez ostatnią dekadę, ale do tej pory brakowało danych pozwalających związać rozpad dużej asteroidy ze zmianami klimatu i rozwojem różnorodności gatunków w oceanach.

Aby policzyć dokładną zawartość materiału z rozpadu asteroidy prawie pół miliarda lat temu, naukowcy wykonali analizy izotopowe zawartości helu w chromitach (rodzaj minerału) w skałach wapiennych w południowej Szwecji oraz w okolicach Petersburga w Rosji. Pył skalny pochodzący z asteroid, w drodze na Ziemię był bombardowany przez wiatr słoneczny, który wzbogacił te minerały o hel. Następnie zawartości te porównali z wartościami mierzonymi tym samym sposobem dla meteorytów chondrytowych grupy L. Zgodność tych pomiarów wskazuje na pozaziemskie pochodzenie tych minerałów w badanych skałach osadowych z okresu środkowego ordowiku.

Powyżej przytoczyłem informacje o kilku kataklizmach, które miały miejsce prawdopodobnie w tym okresie. Przypuszczalnie w tym czasie podobnych kataklizmów (o różnej skali) mogło być więcej i dopiero suma ich efektów składa się na tzw. „wymieranie ordowickie”. Mówimy przecież o milionach lat.

Zajmujący się tym okresem badacze „spłaszczają” postrzeganie tej trwającej ponad czterdzieści milionów lat epoki, stąd teoria o „wymieraniu”. Moim zdaniem, powinniśmy raczej mówić o wielu „wyginięciach”, do jakich dochodziło w wyniku kolejnych kataklizmów na różnych ówczesnych kontynentach. Warto też zwrócić uwagę na brak łączności między ówczesnymi kontynentami. Zmiany ewolucyjne żyjących na nich organizmów musiały przebiegać odmiennie. Brak kontaktu i różnice środowiskowe wpływały na powstawanie różnorodności gatunkowej. Prześledzenie tych zmian i zależności wymaga wielu badań. Przedstawiony powyżej za źródłami encyklopedycznymi opisy fauny i flory są bardzo ogólne, uproszczone.

Wymieranie ordowickie objęło przede wszystkim graptolity, ramienionogi, trylobity, mszywioly, konodonty. Łącznie wyginęło około 57% ówczesnych morskich rodzajów. Wyginięcie rodzajów morskich mogło być wynikiem „impaktu morskiego”, którego ślady dziś trudno odkryć. Hipoteza takiego kataklizmu jest jednak bardzo prawdopodobna. Przy takiej skali „impaktów lądowych” uderzenia w oceany zajmujące przecież znacznie większą powierzchnię są nawet więcej niż prawdopodobne. Chciałbym tu od razu zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt, otóż wśród wielu badaczy trwa niepotrzebny – moim zdaniem – spór o to, czy za tzw. wielkie wymierania odpowiadają impakty kosmiczne, czy też erupcje wulkanów. Uważam, że oba te czynniki, ich wpływ bezpośredni, ale też i długoterminowy, w tym zwłaszcza zmiany klimatyczne.

Sylur

Czas tego okresu został wyznaczony na lata od ok. 440 do ok. 408 mln lat temu. System sylurski dzieli się na 4 oddziały: landower, wenlok, ludlow i przydol, w kategorii jednostek geochronologicznych odpowiadają im 4 epoki o tych samych nazwach. W landowerze rozróżnia się trzy piętra, w wenloku i ludlowie po dwa; przydol nie dzieli się na jednostki stratygraficzne o niższej randze.

W wyniku ocieplenia we wczesnym sylurze, po stopnieniu lądolodu pokrywającego znaczny obszar Gondwany, w światowym oceanie po-dniósł się poziom wód. Być może nastąpiło to w wyniku ocieplenia, do którego doszło po kilku falach zlodowaceń powstałych w efekcie kataklizmów z ordowiku. Nie można wykluczyć, że na podnoszenie się poziomu wód miały też wpływ kolejne impakty asteroid i komet. Paleokontynent Gondwany, który wówczas znajdował się na półkuli południowej pomiędzy biegunem a równikiem, stopniowo przemieszczał się na północ, a wchodzący w jej skład obszar dzisiejszej Afryki południowo-zachodniej znalazł się w okolicach bieguna południowego, co powodowało, że w wyniku kolejnych fal ochłodzeń na tym obszarze dochodziło do kolejnych zlodowaceń. Między Gondwaną a paleokontynentami półkuli północnej, tj. Laurencji (Ameryka Północna i Grenlandia), Baltiki (platforma wschodnioeuropejska), kontynentu syberyjskiego oraz kilku mniejszych mikrokontynentów, rozciągał się ocean Paleotetyda. Według teorii tektoniki płyt, w sylurze hipotetyczny ocean Japet (Japetus) uległ wyraźnemu zmniejszeniu. Masywy lądowe Europy, Ameryki Północnej i Grenlandii (Baltika i Laurencja),

które zbliżyły się do siebie już w ordowiku, a w sylurze połączyły się w jeden ląd – Euroamerykę (Laurazję). Istniejące poza Gondwaną kontynenty (lub ich części) znajdowały się w strefie równikowej, bądź zwrotnikowej, dlatego w wielu płytkich i ciepłych zbiornikach epikontynentalnych Mogły rozwijać się rafy (znane np. z Gotlandii), a na lądach tworzyły się skały o barwie czerwonej, świadczące o gorącym klimacie.

Poniżej ukazuję, za podanymi w przypisach źródłami, dwie wizje układu lądów w sylurze. Moim zdaniem, są one bardzo dyskusyjne, gdyż ukazana przestrzeń lądów, ich stosunek do mórz i oceanów nie uwzględnia tego, że w wyniku procesów górotwórczych z czasem powierzchnia lądów w stosunku do wód ulegała zmniejszeniu, ponadto np. w czasach zlodowaceń, gdy ogromne masy wód wiązały lodowce przy biegunach, były odsłaniane znaczne powierzchnie lądów. Zwężanie i zamykanie oceanu Japetus w sylurze odbywało się dwufazowo: najpierw zamknięciu uległ jego odcinek między Baltiką a Laurencją, następnym etapem była likwidacja odcinka oceanu między Awalonią a Laurencją. Ostateczne zamknięcie oceanu Japetus nastąpiło w środkowym dewonie w orogenezie zwanej akadyjską. Postępujące zmniejszanie się tego oceanu spowodowało w końcu kolizję laurencji i Baltiki, w wyniku, której powstały łańcuchy Kaledonidów Europy północnej, Ameryki Północnej, Grenlandii i Spitsbergenu. Wschodnia Europa (Baltika) wraz z Ameryką Północną i Grenlandią (Laurencja) utworzyły po tym wydarzeniu jeden ląd, Euroamerykę.

W wyniku kolizji mniejszych płyt: syberyjskiej, mongolskiej i dzun-garskiej powiększył się kontynent syberyjski i utworzyły się kaledońskie pasma dzisiejszej środkowej Azji, zaś w wyniku zbliżania się tego kontynentu i kontynentu kazachskiego do Baltiki, Ocean Uralski stopniowo zawężał się. W południowo-wschodniej części kontynentu australijskiego także powstało z końcem syluru pasmo fałdowe.

Likwidacja oceanu uralskiego spowodowała powstanie potężnego łańcucha Kaledonidów i połączenie Baltiki z Laurencją²⁶. Ruchom tym towarzyszył metamorfizm i magmatyzm. Ruchy kaledońskie pod koniec syluru zachodziły również w niektórych rejonach południowo-wschodniej odnogi oceanu Japetus (Pomorze, południowa część Gór Świętokrzyskich, Górny Śląsk). Ich skutkiem było wypiętrzenie niemal całego obszaru Europy północnej i wschodniej oraz utworzenie rozległego lądu, na którym powstawały osady lądowe. Przemieszczeniom płyt tektonicznych towarzyszył wzmożony wulkanizm i ruchy górotwórcze tzw. orogeneza kaledońska, których skutkiem było powstanie łańcuchów górskich. Wspomniane wyżej przemieszczania kontynentów i orogeneza mogły mieć związek z ociepleniem. W wyniku topnienia lodowców doszło do znacznego podniesienia się poziomu wód oceanów. Nie można wykluczyć również i tego, że przyczyną tych zjawisk były kolejne kataklizmy. Choć w tym wypadku ich działanie raczej opóźniało proces ocieplania. Powodowało nawrót ochłodzenia i ponowny wzrost lodowców, które ponownie

²⁶ Więcej na ten temat: J. Salminen, S.-Å. Elming, P. Layer, *Określanie czasu rozpadu połączenia Baltica i Laurentia w Nuna – szybkie oscylacje ruchu płyt i tektonika płyt w mezoproterozoiku*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301926822003679>

więzały ogromne ilości wód.

Pod koniec syluru, w następstwie orogenezy oraz postępującej erozji wypiętrzanych łańcuchów górskich, nastąpiła zmiana charakteru sedymentacji. Facje głębokowodne zostały zastąpione okrucowymi facjami płytkomorskimi (piaskowce, mułowce, szarogłazy, łupki ilaste o barwach pstrych, często czerwonych, niekiedy też wapienie). Skały pstre i czerwone uważa się za osady lagun i delt. W brzeźnych częściach Oceanu Uralskiego powstawały wapienie (w tym wapienie rafowe), dolomity, margle z licznymi skamieniałościami, o miąższościach dochodzących do 1500 m, a w częściach głębszych — łupki graptolitowe, wśród których spotyka się pokrywy skał wulkanicznych znacznej grubości. Na obszarze Paleotetydy, gdzie nie zachodziły ruchy górotwórcze, przeważała sedymentacja ilasto-węglanowa i piaskowcowa. Skały systemu sylurskiego powstałe w tym oceanie występują na powierzchni na Półwyspie Iberyjskim i Półwyspie Bałkańskim, ale najczęściej są one przykryte pokrywą skał młodszych. W dolnej części syluru przeważała sedymentacja łupków graptolitowych, w górnej zaś — wapieni i margli z licznymi skamieniałościami trylobitów, ramienionogów, małżów i głowonogów.

Płytkie, ciepłe wody przybrzeżne były w sylurze obszarami tworzenia się struktur węglanowych. Przy nieco obniżonym poziomie morza dochodziło do spływania obszarów platform węglanowych, co przy jednoczesnym intensywnym parowaniu, prowadziło do powstawania ewaporatów (gipsów i soli). Z kolei strefy otwartego szelfu były miejscem sedymentacji łupków graptolitowych, zawierających bardzo liczne szczątki graptolitów. W warunkach intensywnej dostawy materiału z lądu i działania prądów zawieszinowych gromadziły się naprzemianległe piaskowce, mułowce i iłowce (flisz). W schyłkowej fazie istnienia oceanu Japetus, w skrajnie płytkich morskich oraz słodkowodnych środowiskach lądowych gromadziły się zlepieńce, piaskowce i mułowce, często o barwach czerwonych, zawierające specyficzny zespół fauny obejmujący wielkoraki, małżoraczki, ostrakodermę i ryby. W Europie klasyczne profile skał syluru znajdują się m.in. na Gotlandii (stąd nazwa sylur — gotland), skąd opisano trzy zespoły budowy węglanowych; najważniejsze znaczenie dla stratygrafii mają skały pochodzenia morskiego odsłaniające się w okolicach Pragi, należące do najmłodszego syluru (nieznane gdzie indziej) i najstarszego dewonu, pozwalające na wyznaczenie wzorcowego przejścia (stratotypu) między sylurem i dewonem.

W sylurze szeroki zasięg miały również obszary głębokich szelfów, na których odbywała się sedymentacja typowych dla ordowiku i syluru skał ilastych, zwanych łupkami graptolitowymi, a także naprzemianległych piaskowców, mułowców i iłowców o charakterze fliszu, których powstanie jest związane z niepokojem tektonicznym na brzegach oceanu Japetus i intensywnym dopływem do zbiorników morskich materiału pochodzącego z lądów (materiału terygenicznego). Końcowe fazy istnienia oceanu Japetus zaznaczyły się pojawieniem na stosunkowo dużych obszarach środowisk skrajnie płytkowodnych, czasami wręcz słodkowodnych, w których dominowała sedymentacja materiału terygenicznego i specyficzny zespół fauny.

Klimat syluru był prawdopodobnie stosunkowo ciepły, czego dowodem jest

szerokie rozprzestrzenienie znanych już od ordowiku struktur węglanowych zbliżonych do raf. Oczywiście, jeśli weźmiemy pod uwagę panujący wówczas wulkanizm, musimy założyć, że i w trakcie syluru dochodziło do okresowych zmian klimatycznych, należy też założyć, że zmiany te miały różny przebieg na różnych obszarach.

Wzmógł się wulkanizm, brak gleby i silne wiatry sprawiały, że lądy nie były zbyt gościnnym środowiskiem. Na lądzie około 438 mln lat temu rosły już widlaki i psylofity. Rośliny naczyniowe (ryniofity, zaliczane dawniej do większej grupy określanej mianem psylofitów), znane od późnego ordowiku, zaczęły z wolna zasiedlać bardziej przyjazne środowiska, zaczęły oddalać się od swego pierwotnego środowiska – przybrzeżnych bagien – i przesuwać w głąb lądu. Początkowo były one pozbawione właściwych korzeni, liści i tkanki przewodzącej, cieniutkie chwytники zakotwiczały pierwsze z nich w cienkiej warstwie gleby. Później, pod koniec syluru, pojawiły się korzenie, drewno, łodygi, liście.

Część roślin zaczęła wytwarzać osłonięte zarodniki zdolne przenosić się na duże odległości. W wyniku ewolucji część z nich to już właściwe rośliny naczyniowe (ryniofity) z tkanką przewodzącą; największe z tych roślin, np. *Baragwanathia*, mogły osiągać wysokość do 1 m.

W morzach ubogość fauny sprzyjała rozwojowi zielenic, krasnorostów i sinic. Stanowiły one obfite źródło pożywienia, dlatego po krótkim regresie nastąpił ponowny rozkwit zwierząt wodnych. Do odrodzenia ekosystemów morskich po wielkim wymieraniu ordowickim doszło już w najpóźniejszym ordowiku – hirnancie – tuż przed granicą z sylurem, ale z początkiem syluru bioróżnorodność zwierząt morskich była znacznie mniejsza niż w ordowiku. W efekcie wielkiego wymierania (lub wielu wyginięć gatunków na różnych obszarach), poprzedniej epoki oraz zanikiem wielu gatunków endemicznych, spowodowanym z początkiem syluru łączeniem się odległych wcześniej kontynentów, w początkach syluru bioróżnorodność zwierząt morskich była znacznie mniejsza niż w ordowiku. Z czasem nastąpił rozkwit wielu morskich grup bezkręgowców; nie dotyczyło to jedynie trylobitów. Organizmami o ogromnym znaczeniu stratygraficznym były, należące do półstrunowców, graptolity; ich szczątki są powszechnie spotykane w skałach ilastych i mułowcowych ordowiku i syluru, zwane łupkami graptolitowymi; pod koniec syluru, wskutek zwięzania się oceanu Japetus i zaniku pełnomorskich środowisk szelfowych doszło do wymierania wielu grup graptolitów; jedynie na nielicznych obszarach, np. dzisiejszej północno-wschodniej Polski i Czech, ich ewolucja trwała jeszcze do najniższego dewonu. Duże znaczenie stratygraficzne mają też konodonty (należące do wymarłej grupy strunowców). Płytkie, ciepłe środowiska morskie, podobnie jak w ordowiku, były w sylurze kolonizowane przez koralowce czteropromienne, denkowce (tabulaty) oraz stromatopory (wymarłe gąbki); struktury węglanowe o charakterze raf, powstałe przy ich udziale, których bujny rozkwit nastąpił w dewonie, osiągały w sylurze znacznie większe rozmiary niż w ordowiku. W wodach morskich powszechnie występowały kręgowce z grupy bezszczękowców (inaczej ostrakodermi); w późnym sylurze pojawiły się także morskie i słodkowodne ryby z grupy akantodów, charakterystycznej ze względu na liczne, wzmocnione kolcami

płetwy. Fałdopłetwe, drapieżne ryby o płetwach wzmocnionych potężnymi kolcami, o szczękach uzbrojonych w zęby i bardzo szerokich. Były też bezzębne fałdopłetwe; te żywiły się morskim planktonem lub detrytusem. Ciało fałdopłetwych pokryte było zachodzącymi na siebie dachówkowato łuskami.

Ważnym elementem sylurskich ekosystemów morskich były drapieżniki; najistotniejsze znaczenie miały wśród nich proste łodziki, z których z początkiem dewonu wyewoluowały głowonogi o zwiniętej muszli, zaliczane do amonitów. Również do drapieżników należały wielkoraki (np. *Pterygotus*), których szczątki są najlepiej zachowane w skrajnie płytkowodnych i słodkowodnych osadach, powstałych w schyłkowej fazie istnienia oceanu Japetus. Od końca syluru znane są również wszystkie gromady ryb szczękowych; towarzyszyli im przedstawiciele morskich kręgowców bezszczękowych (ostrakodermi). Pierwsze ryby szczękowe chrzęstnoszkieletowe (przodkowie rekinów), kostnoszkieletowe oraz ryby pancerne (plakodermi, które żyły od późnego syluru do końca dewonu) i fałdopłetwe (akantody), które wymarły w dolnym permie. Ryby te były przystosowane do życia w środowisku morskim, jak i słodkowodnym. Kolejną grupę drapieżców stanowiły wielkoraki wyposażone w kleszcze i zamieszkujące środowiska brakiczne (słabo zasolone) i słodkowodne. Po dnie wędrowały trylobity i drapieżne staroraki, na które polowały łodziki – przodkowie współczesnych głowonogów, o prostych muszlach, gigantycznych rozmiarach (do 9 m) i twardych „dziobach”, którymi mogły skruszyć pancerze trylobitów. Pojawiły się pierwsze ryby słodkowodne i pierwsze skorpiony (*Palaeophonus*). Do planktonu należały, między innymi, tentakulity i małżoraczki.

Na pustyni Wielki Nefud w Arabii Saudyjskiej zidentyfikowano ślady krateru. Czas jego powstania nie jest jeszcze dokładnie rozpoznany; został oceniony na od 410 do 70 milionów lat. Krater utworzyło uderzenie niewielkiej planetoidy w skały osadowe. Jest on niewidoczny na powierzchni Ziemi, ale dobrze rozpoznany dzięki sejsmice refleksyjnej i sześciu odwiertom. Znajduje się w skałach silikoklastycznych o wieku od kambru po dewon, które niezgodnie nakrywają osady kredowe i paleogeńskie. W okresie pomiędzy dewonem a mastrychem około 1 – 2 km skał pokrywających krater uległo erozji. Krater ma wzniesienie centralne wznoszące się na 2 km, otoczone synkliną o kształcie pierścienia. Strukturom tym towarzyszy odpowiednio dodatnia i ujemna anomalia siły ciężkości. Krawędź krateru wyznaczają uskoki normalne. Nawiercone skały wzniesienia centralnego zawierają planarne struktury deformacyjne świadczące o uderzeniowym pochodzeniu struktury oraz inne ślady szok-metamorfizmu w ciśnieniu sięgającym od 5 do 15 GPa.

Na okres dewonu datuje się przypuszczalny impakt meteorytu Tai Hu w prowincji Jiangsu we wschodniej części Chińskiej Republiki Ludowej. Obecnie w miejscu tego impaktu znajduje się trzecie pod względem wielkości jezioro słodkowodne Chin. Jego powierzchnia to 2,42 tys. km², objętość ok. 5 km³, a maksymalna głębokość to niecałe 5 m. Położone jest na wysokości 3 m n.p.m. Prawdopodobnie z tego też okresu pochodzi krater uderzeniowy Tunnunik – na Wyspie Wiktorii, w Terytoriach Północno-Zachodnich w Kanadzie. Ma ok. 25 km średnicy, jest kolisty, silnie zerodowany. Jego wiek nie jest dobrze znany: powstał pomiędzy późnym dewonem a wczesną kredą. Został odkryty przez

badaczy z Uniwersytetu Saskatchewan i Służby Geologicznej Kanady, którzy podejrzewali jego istnienie na podstawie badań geologicznych wykonanych w latach 60. i 70. XX wieku w ramach poszukiwań złóż w Arktyce. Początkowo krater nosił nazwę *Prince Albert*, od półwyspu Księcia Alberta, na którym się znajduje. Liczne stożki zderzeniowe znalezione w centralnej części krateru dowodzą jego meteorytowego pochodzenia.

Wymieranie dewońskie

Kolejne z tzw. wielkich wymierań miało miejsce w dewonie, który trwał około 60 – 70 milionów lat. Dewon datowany jest na okres pomiędzy około 415 mln lat, a około 360 mil lat temu. Dzieli się go na trzy epoki: dewon wczesny, dewon środkowy i dewon późny. Trzecią epokę dewonu, trwającą około 26 milionów lat (od $385,3 \pm 2,6$ do $359,2 \pm 2,5$ mln lat temu) dzieli się na dwa wieki: fran i famen. Ruchy kontynentów i zmiany w zakresie fauny i flory przebiegały w okresach liczących miliony lat raczej etapami (stosunkowo wolno), niemniej jednak obraz Ziemi w tym czasie zmieniał się na tyle znacznie, że przyjęte podziały uznajemy za uzasadnione. Powinniśmy jednak pamiętać o rozłożeniu tych procesów w czasie, mówimy o milionach, nawet dziesiątkach milionów lat.

Większość kontynentów znajdujących się wówczas na Ziemi zbliżała się wówczas do siebie. We wczesnym dewonie (pod koniec syluru) wskutek zderzenia dwóch kontynentów: Laurencji i Bałtyki doszło do ostatecznego zamknięcia się oceanu Japetus. W wyniku tego zderzenia powstał jeden duży kontynent – Laurosja – znajdujący się w położeniu równikowym, z pasmem górskim kaledonidów. Południową półkulę zajmował olbrzymi kontynent Gondwana, która leżała w wysokich szerokościach geograficznych na południowej półkuli (w pobliżu bieguna). Część Gondwany leżała w strefie bieguna południowego, gdzie rozwijały się zlodowacenia kontynentalne i lodowce górskie. Była oddzielona od Laurosji oceanem Reik, a od Chin i Syberii oceanem Paleotetydą. Wszystkie kontynenty otaczał ocean Panthalassa. Pod koniec tego procesu doszło do powstania Pangei (od karbonu do triasu). Nowopowstała Laurusja obejmowała teren dzisiejszej platformy północnoamerykańskiej wraz z częścią Appalachów, platformę wschodnioeuropejską, a także teren dzisiejszej Wielkiej Brytanii, krajów Beneluksu, północnej Francji oraz Niemiec. W kierunku Laurusji zbliżał się zespół mikrokontynentów określanych wspólną nazwą Armoryki, (lub A.T.A; ang. *Armorican Terrane Assemblage*); w początkach dewonu znajdował się on w bezpośrednim sąsiedztwie Laurusji, od której jednak oddzielał ją zbiornik morski o skorupie oceanicznej. Laurusja (w skład, której wchodziła dzisiejsza Ameryka Północna oraz Europa bez części centralnej i południowej) była położona w rejonie równika. Grupa kontynentów północnych, wraz z Laurosją, znajdowała się w strefie międzyzwrotnikowej, gdzie temperatura powierzchni morza wynosiła 30°C, podobne warunki panowały i na lądzie, dlatego też morskie osady dewonu na obszarze Europy i Ameryki Północnej to w dużej mierze wapienie powstające w płytkich zbiornikach morskich strefy tropikalnej. Poza Gondwaną i Laurusją nadal istniały samodzielne kontynenty Syberia oraz Kazachstania (na półkuli północnej), a także fragmenty skorupy kontynentalnej

budujące dzisiaj podłoże wschodnich Chin.

W morzach szelfowych zalewających oraz otaczających Laurusję tworzyły się budowle organiczne przypominające trochę współczesne rafy; były one budowane między innymi przez koralowce (grupy *Rugosa* oraz *Tabulata*) i gąbki z grupy stromatoporoidów. W efekcie orogenezy kaledońskiej duża część Laurusji została wypiętrzona; w strefie, gdzie doszło do kolizji pomiędzy dawnymi Laurencją i Baltiką powstawały lądowe, czerwone skały klastyczne – głównie zlepieńce i piaskowce; skały te są określane mianem *Old Red Sandstone*, skąd pochodzi używana niekiedy dawna nazwa Laurusji: kontynent oldredowy.

Z końcem dewonu atmosfera była już zbliżona do współczesnej; zawierała około 16 procent tlenu. Przez większość dewonu panował ciepły klimat z ochłodzeniem pod koniec tego okresu. Dla regionu europejskiego charakterystycznymi osadami dolnego dewonu są skały terygeniczne facji oldredowej (głównie zlepieńce, piaskowce). W dewonie środkowym i górnym występują najczęściej osady węglanowe facji płytkowodnej i rafowej (różne typy wapieni, czasami zdolomityzowane, także margle i łupki margliste). Formacje dewońskie zawierają złoża pirytu, rud miedzi, rud cynku i ołowiu oraz surowce węglanowe (wapienie, margle, dolomity) i okruchowe (piaskowce kwarcytowe, łupki fylitowe).

W morzach rozwijały się glony. Prócz chryzofitów i zielenic występowały w większej liczbie brunatnice, ramienice i krasnorosty. Spotyka się również więcej grzybów. Na florę lądową dewonu wczesnego i środkowego składały się pierwotne rośliny naczyniowe: psylofity (ryniofity, trymerofity i zosterofilofity). Pojawiają się pierwsze mszaki, skrzypy, paprocie zarodnikowe, widłaki jednozarodnikowe. W późnym dewonie pojawiają się widłaki różnozarodnikowe, klinolisty i pierwsze rośliny nasienne (paprocie nasienne). Roślinność ta z czasem wytworzyła pierwszą glebę. Po raz pierwszy pojawia się również drzewiasty pokrój roślin naczyniowych. Rozwijały się znacznie ramienionogi (w tym rząd *Spiriferida*) i liliowce. Mniejsze znaczenie mają trybolity, pośród których w późnym dewonie wymierają *Lichida*, *Odontopleurida* i *Phacopida*. Pod koniec dewonu wymierają psylofity.

Wczesny dewon to ostatnia epoka życia planktonicznych graptolitów właściwych. Plankton tworzą tentakulity i małżoraczki o dużym znaczeniu biostratygraficznym. W ciepłych dewońskich morzach strefy okołorównikowej bujnie rozwijały się budowle organiczne przypominające współczesne rafy, tworzone przede wszystkim przez koralowce z grupy *Rugosa* oraz gąbki z grupy stromatoporoidów. Rozwijają się ramienionogi (w tym rząd *Spiriferida*) i liliowce. Mniejsze znaczenie mają trybolity, pośród których w późnym dewonie wymierają *Lichida*, *Odontopleurida* i *Phacopida*. W ciemnych, głębokomorskich łupkach syluru powszechnie występowały skamieniałości graptolitów właściwych (organizmy należące do półstrunowców), które wymarły we wczesnym dewonie. Pojawiają się pierwsze amonity (agoniatyty, goniatyty, wywodzące się z baktrytów, a w famenie – klymenie, które z końcem dewonu wymierają). Rozwijają się w dalszym ciągu konodonty, które razem z amonitami dostarczają najważniejszych skamieniałości przewodnich. Wśród stawonogów

pojawiają się przodkowie kikutnic (Palaeopantopodida) i muszloraczk (Conchostraca). Pod koniec dewonu wymierają tentakulity i pęcherzowce (Cystoidea).

W dewonie nastąpił silny rozwój ryb. Prócz istniejących już w sylurze bezszczękowców (Agnatha), pierwszych szczękowych ryb fałdopłetw (Acanthodii) i pierwszych ryb kostnochrzęstnych (Chondrostei) pojawiły się inne ryby chrzęstnoszkieletowe (prażarłacze Cladoseiachii, przodkowie dzisiejszych rekinów) oraz zrosłogłowe (Holocephali), groźne drapieżniki morskie oraz słodkowodne ryby pancerne (tarczowce; Placodermi), które mogły one osiągać kilka metrów długości. Zaczęły wymierać pod koniec dewonu. Zaczęły występować również pierwsze ryby mięśniopłetwe (Sarcopterygii): trzonopłetwe (Crossopterygii) i dwudyszne (Dipnoi), przystosowane do życia w środowiskach słodkowodnych. Bardzo charakterystyczne były żyjące do dziś (choć reprezentowane tylko przez pojedyncze rodzaje) ryby dwudyszne, posiadające zarówno skrzela, jak i płuca; pozwala to im na oddychanie również powietrzem atmosferycznym. Powszechnie występowały wielkie zwierzęta drapieżne, należące do łodzikowatych (mięczaki) oraz wielkoraków (dalecy krewni skorpionów). W późnym dewonie pojawiły się formy przejściowe pomiędzy rybami a płazami (Ichthyostega), pochodzące od ryb trzonopłetw, na przykład Tiktaalika. Później (w środkowym dewonie) pojawiły się pierwsze płazy; pojawiły się pierwsze kręgowce lądowe, m.in. pierwsi przedstawiciele kręgowców czworonożnych – tetrapodów. We wczesnym dewonie pojawiły się pierwsze lądowe owady (skoczogonki, na przykład *Rhyniella*), wiję i pajęczaki (między innymi roztocze i zaleszczotki).

W środkowym dewonie, w efekcie stale podwyższającego się poziomu morza, doszło do upodobnienia się faun organizmów morskich na dużych obszarach i zaniku wielu gatunków endemicznych; Natomiast w późnym dewonie pojawiają się formy przejściowe pomiędzy rybami a płazami (Ichthyostega), pochodzące od ryb trzonopłetw, na przykład Tiktaalika.

Przyjmuje się, że wyodrębniony przez geologów okres dewonu trwał około 55 milionów lat. To czas niezwykle długi. Dlatego też informacje jakoby w tym okresie panował ciepły klimat i dopiero pod koniec tego okresu doszło do ochłodzenia i zlodowacenia Gondawy, jest – moim zdaniem – nieścisłe. Zapewne i w tym okresie dochodziło do okresowych zmian klimatycznych i zmian poziomu morza, którego poziom przez większość okresu był wysoki. Istnieje hipoteza, że do globalnego ochłodzenia klimatu i rozwoju lądolodów na Gondwanie przyczynił się rozwój pierwszych lasów, który doprowadził do spadku zawartości dwutlenku węgla w atmosferze. Moim zdaniem, jest to hipoteza błędna, nie uwzględnia wagi dwutlenku węgla i tlenu. Przeciwnie, to pojawienie się znacznych ilości dwutlenku węgla umożliwiło rozwój lasów.

Podobnie jak i dla poprzednich okresów i w dewonie doszło do tzw. wielkiego wymierania (głównie organizmów morskich) wcześniej łączonego z końcem tego okresu (w pobliżu granicy franu i famenu – dwóch pięter późnego dewonu; około 375 mln lat temu). Z tego powodu jest ono określane mianem wymierania późno dewońskiego lub wymierania fran/famen (F/F).

Wcześniej powszechnie uważano, że wymieranie to było spowodowane szeregiem szybkich, ale nie natychmiastowych, zmian w ekosystemie ocean-atmosfera-ocean, zapoczątkowanych przez upadek ciała niebieskiego około 367 milionów lat temu. Był to tzw. „mokry impakt”, czyli uderzenie w powierzchnię oceanu. W skutek uderzenia, nastąpiła zmiana równowagi płyt tektonicznych Ziemi oraz ochłodzenie się klimatu.

Wymarło wówczas około 57% rodzajów i 80% wszystkich gatunków. Kryzys dotknął szczególnie organizmy rafotwórcze (koralowce, stromatoporoidy), a także wiele rodzin trylobitów, ramienionogów, konodontów i amonitowatych. Zupełnie wyginęły m.in. atrypidy, tentakulity, pęcherzowce.

Najnowsze badania wskazują, że i w tym wypadku proces wymierania przebiegał znacznie dłużej i był bardziej złożony. Pierwszym, który zasugerował impakt meteorytowy, jako przyczynę tego wymierania był McLaren w 1970 r. Późniejsze badania doprowadziły do udokumentowania wielu śladów impaktów późno dewońskich. W środkowej części obecnej Szwecji w regionie Dalarna (wówczas na kontynencie Baltica) zidentyfikowano największy znany dotąd w Europie (poza Rosją) krater uderzeniowy, Siljan, który powstał około 377 mln lat temu. Przypuszczalnie początkowo miał średnicę około 55 km. Na obrzeżu tego obecnie znacznie zerodowanego krateru powstało jezioro. Krater ten, czas jego powstania, wskazuje, że proces ginięcia niektórych gatunków mógł i tym razem rozpocząć się wcześniej. Kolejne odkrycia (identyfikacje) wskazują też, że kataklizmów takich mogło być w tym okresie znacznie więcej. Śladem po uderzeniu jest krater Alamo w stanie Nevada w USA o średnicy od 44 do 65 kilometrów. Woodleigh to duży krater uderzeniowy w Australii Zachodniej. Krater ma średnicę co najmniej 40 km i jest trzecim co do wielkości na kontynencie australijskim. Istnieją różne oszacowania jego średnicy; część naukowców sugeruje, że jest to krater wielopierścieniowy o średnicy nawet 120 km, co czyniłoby go czwartą co do wielkości strukturą impaktową na Ziemi. Początkowo sądzono, że powstał w triasie, być może na granicy permu i triasu, ale obecnie za bardziej prawdopodobne uznaje się, że utworzył się 364 miliony lat temu, w późnym dewonie. To wskazuje na zbieżność czasową tego impaktu z wymieraniem dewońskim. Kotlina East Warburton w stanie Australia Południowa prawdopodobnie zawiera krater uderzeniowy o średnicy co najmniej 200 km pochodzący z okresu karbońskiego (około 360–300 milionów lat temu). Struktura podziemna leży na głębokości ~ 4 km i ma średnicę co najmniej 200 km. Dla porównania, krater Chicxulub ma około 180 km średnicy. Naukowcy zaproponowali formowanie uderzenia przez analizę zszokowanych ziaren kwarcu z obszaru po pojawieniu się anomalii kołowej w badaniach tomografii sejsmicznej w tym regionie. W 1965 roku, w prowincji Quebec w Kanadzie został rozpoznany krater Charlevoix. Tylko część krateru jest odsłonięta na powierzchni, reszta zakryta jest przez rzekę Świętego Wawrzyńca. Oficjalna ocena oryginalnej średnicy krateru to 54 km, ale istnieją hipotezy, że mógł być większy. Wiek krateru oceniany jest na 342 ± 15 milionów lat. Powstał prawdopodobnie w wyniku uderzenia meteorytu kamiennego o średnicę co najmniej 2 km. Krater ma strukturę wielopierścieniową z centralnym wypiętrzeniem. W środku znajduje się góra *Mont des Éboulements* (770 m n.p.m.). Uważam, że impaktów o podobnej skali mogło być w tej epoce więcej. Ich ślady, obok wyżej wspomnianych, odkryto w Chinach (anomalie irydowe,

mikrosferule), Belgii (mikrotektyty) i USA (krater Flynn Creek o średnicy 4 km). Jedynie niektóre ślady z Chin korelują się z granicą frańsko-fameńską, pozostałe świadczą o wielokrotnym upadku meteorytów przed i po kryzysie. To one odpowiadały za owo „wymieranie”. Również bardzo prawdopodobna jest hipoteza, według której to one mogłyby odpowiadać za ówczesne przesuwanie się kontynentów.

Bardzo charakterystyczne dla granicy franu i famenu jest wystąpienie czarnych łupków. Bogate w materię organiczną warstwy Kellwasser, o miąższości od 0,5 do 2 m tworzyły się w warunkach wysokiego poziomu mórz. W osadach pojawia się także anomalia irydowa związana najprawdopodobniej z uderzeniem wielkiego meteorytu. Zmniejszona zawartość tlenu w morzach nie mogła być główną przyczyną wymierania, ponieważ dotknęło ono także organizmy płytkowodne, w tym zespoły raf tabulatowo-stromatoporoidowych, które wymarły w okresie dzielącym oba kryzysy Kellwasser. Myślę, że wspomniane impakty tego okresu należy połączyć z istniejącym w tym czasie wulkanizmem, którego skala w tym okresie była bardzo znaczna.

Wymieranie dewońskie dotknęło przede wszystkim organizmy żyjące w tropikach; organizmy zamieszkujące basen Parany, znajdujący się wówczas w pobliżu bieguna południowego, nie doświadczyły silnego epizodu wymierania. Wskazuje to, że ważną przyczyną wymierania było również ochłodzenie wód oceanów. Być może podział taki wynikał z ówczesnego rozmieszczenia kontynentów. W sposób naturalny do wyginięcia różnych gatunków dochodziło głównie na kontynentach, na których doszło do impaktu. Po każdym z epizodów Kellwasser następowało eustatyczne obniżanie poziomu wód oceanu światowego, prawdopodobnie związane z ekspansją lądolodów na południowym kontynencie Gondwany. I w tej epoce na różnych kontynentach, choćby z przyczyn klimatycznych, ale również w związku z wieloma innymi różnicami środowiska, ewolucja gatunkowa przebiegała odmiennie.

Pod sam koniec famenu (młodszy wiek dewonu późnego) miał miejsce tzw. kryzys Hangenberg, mniejszy epizod wymierania, który doprowadził do niemal zupełnego wyginięcia m.in. akritarchyd i ryb pancernych. W ciągu dewonu zwierzęta morskie stopniowo zwiększały rozmiary ciała, zgodnie z regułą Cope'a; trend ten utrzymywał się aż do wymierania. Na skutek zaburzenia ekosystemu wyginęły duże gatunki zwierząt, podczas gdy przetrwały mniejsze, potrafiące rozmnożyć się szybciej. Analizy ekosystemu ukazały, że przez 40 milionów lat po wymieraniu utrzymywał się odwrotny trend: średni rozmiar ciała malał, zanim sytuacja powróciła do normy.

W 2015 roku ukazały się informacje o tym, że Australijscy naukowcy zlokalizowali na terytorium Australii Południowej (wchodzącej wówczas w skład Gondwany) ślady dwóch kraterów poimpaktowych, które wspólnie tworzą największą tego typu strukturę na Ziemi. Odkryte ślady kraterów po asteroidzie mają łącznie średnicę 400 km. Ich powstanie datowane jest na około 300 mln lat temu. Erozja zupełnie zamazała istnienie tych kraterów, co czyniło ich odkrycie bardzo trudnym. Dodatkowe badania wykazały, że mamy do czynienia raczej z dwoma odrębnymi kraterami o szerokości około 200 kilometrów każdy. Przypuszczalnie asteroida rozpadła się na dwie części na kilka sekund przed

tym, zanim uderzyła w powierzchnię ziemi. Ma o tym świadczyć identyczny skład śladów w obu kraterach. Szacowana średnica tej asteroidy to więcej niż 10 kilometrów. Nie jest jasne, w jaki sposób to wydarzenie wpłynęło na biosferę Ziemi. Przy takiej kolizji powinno dojść do masowego wyginięcia gatunków zwierząt, a także znacznych zmian klimatycznych. Ogromnego ochłodzenia, a później znów ocieplenia. Tak jak i wcześniej, wiązanie znacznych mas wód przez lodowce oraz późniejsze ich uwolnienie (w wyniku ocieplenia) powodowało zmiany nacisku wód oceanów na płyty tektoniczne i przesuwanie się kontynentów. Obraz świata ulegał znacznym przeobrażeniom.

Asteroidy

Na zachodzące w tym okresie zmiany miały wpływ również upadki asteroid. Świadectwem takich impaktów jest krater Woodleigha, który powstał w wyniku *uderzenia asteroidy około 364 miliony lat temu* w Zachodnią Australię. Ten krater nie jest odsłonięty na powierzchni, co doprowadziło do wielu rozbieżności co do jego rzeczywistego rozmiaru. Raporty na temat jego średnicy wahają się od 25 do 75 mil (40 do 120 kilometrów).

Wymieranie permskie

Szósty okres (jednostka geochronologiczna) ery paleozoicznej, Perm, trwający około 47 milionów lat (od $298,9 \pm 0,15$ do $252,17 \pm 0,06$ mln lat temu), dzieli się na trzy epoki: cisural, gwadalup i loping. System permu dzieli się na 2 oddziały: perm dolny i perm górny; w kategorii jednostek geochronologicznych odpowiadają im dwie epoki: perm wczesny i perm późny. Specyficzne wykształcenie facjalne permu powoduje, że istnieje wiele jego lokalnych podziałów na mniejsze jednostki stratygraficzne. W Europie, ze względu na ubóstwo skamieniałości w profilach i dominację facji lądowych, perm dzieli się na jednostki litostratygraficzne: czerwony spągowiec i cechsztyń; cechsztyń, zgodnie z nowymi danymi biostratygraficznymi, odpowiada ostatnim ok. 5 mln lat trwania permu. Moim zdaniem, wspomniane podziały, uwzględniające zapis zmian litosfery i środowiska biologicznego dowodzą szeregu różnych kataklizmów i zmian klimatycznych w tym okresie. Niewątpliwie wciąż trwała silna działalność wulkaniczna, miały też miejsce kolejne upadki asteroid, komet i meteorytów, w efekcie, których to wydarzeń mogło dochodzić do okresowych zlodowaceń. W permie zaznaczyły się wyraźne kontrasty klimatyczne. Wczesno permskie ochłodzenie wiązało się ze zlodowaceniem trwającym już od schyłku karbonu na półkuli południowej; zlodowacenie to objęło wielkie obszary Gondwany, aż po 50°S , powodując pogłębianie się surowości klimatu oraz ochładzanie się atmosfery i oceanu. Stopniowo jednak okres późno paleozoicznych zlodowaceń kończył się i w późnym permie dominował klimat gorący i suchy; środowiska bagniste karbonu w permie były zastępowane przez środowiska pustynne, wskazując na osuszenie klimatu. To, moim zdaniem, z tego powodu w drugiej połowie permu nastąpiła transgresja morza, później kilka następujących po sobie regresji i transgresji.

Ruch zbieżny kontynentu południowego, zwanego Gondwaną, z kontynentem północnym, czyli Euroameryką (połączona Baltica i Laurentja), rozpoczęty w karbonie, w permie doprowadził do całkowitego połączenia tych mas kontynentalnych w ogromny kontynent Pangeę, rozciągającą się południkowo między biegunami Ziemi. Osobno pozostał jedynie obszar dzisiejszych Chin. Pangea była otoczona przez ogromny ocean — Panthalassę. Odnogą tego oceanu była Paleotetyda (Tetyda), wnikała od wschodu w Pangeę, w strefie równikowej. W permie ostatecznemu uformowaniu się Pangei towarzyszyły deformacje tektoniczne w Appalachach (orogeneza allegeńska), miejscami w Europie (faza saalska orogenezy hercyńskiej) oraz nastąpiło połączenie Euroameryki z Syberią i Kazachstanem, co doprowadziło do fałdowania i wypiętrzenia m.in. Uralu. Z kolizjami kontynentów związane były silne zjawiska magmowe i wulkaniczne. Kolizja Syberii z Laurusją oraz podgrzanie skorupy kontynentalnej przez pióropusz płaszcza doprowadziły do powstania ogromnych pokryw wulkanicznych (syberyjskie trapy bazaltowe). O znacznej aktywności orogenicznej na obszarze obecnej Europy świadczą dolnopermskie skały wulkaniczne. Procesy górotwórcze, związane z orogenezą hercyńską, przyczyniły się już u schyłku karbonu do wycofywania się mórz z wnętrza kontynentów; we wczesnym permie wynurzone obszary lądów podlegały erozji, dostarczając materiału okruchowego do zbiorników śródlądowych i morskich. Aktywność tektoniczna na obszarach Europy ustała (osłabła?) u schyłku permu wraz z wlaniem się na obszar Europy płytkiego morza cechsztyńskiego. Na półkuli południowej, na kontynencie Gondwana, w środkowym permie kończyło się długotrwałe zlodowacenie obejmujące Antarktydę oraz przylegające fragmenty Afryki południowej i środkowej, Ameryki Południowej, Australii oraz Indii. Nastąpiło znaczne ocieplenie klimatu i zwiększyła się tam powierzchnia lasów klimatu umiarkowanego, które dały początek złożom węgla kamiennego znanym np. z RPA i Australii. Pod koniec permu Pangea zaczęła dryfować na północ. Według teorii tektoniki płyt Azja zderzyła się z Europą.

Ostatnie etapy tworzenia się superkontynentu Pangea; po orogenezie waryscyjskiej, która osiągnęła swoje apogeum w karbonie (połączenie Laurusji z Armoryką i znajdującą się dalej na południe Gondwaną), w permie do wschodnich krańców dzisiejszej Europy dołączył kontynent Syberia, połączony z Kazachstanem; ruchy górotwórcze objęły wówczas rejon Uralu, w którym powstawały bogate złoża ewaporatów (skał osadowych pochodzenia chemicznego, wytrącających się z wody morskiej podczas parowania).



Mapa paleogeograficzna: perm, 260 mln lat temu. <https://zywaplaneta.pl/poznan/przewodnik/mapa-perm-260-mln-lat-600px/>

Przez większość permu na znacznym obszarze Pangei panował klimat suchy i gorący, zwłaszcza w strefie międzyzwrotnikowej. Płytkie epikontynentalne zbiorniki morskie szybko wyparowywały i przeistaczały się w pokłady soli kamiennej i potasowej. We wczesnym i środkowym permie na półkuli północnej w warunkach gorącego i suchego, zwrotnikowego klimatu (rejon dzisiejszej Europy znajdował się w permie w pobliżu równika), powały czerwone osady pustynne oraz utwory wulkaniczne. Na obszarze dzisiejszej Europy Środkowej we wczesnym permie panowały (tak jak w późnym karbonie) warunki lądowe; w późnym permie (tradycyjnie stosowana nazwa to cechsztyń) na tereny te wkroczyło morze; ciągłemu zrównywaniu (denudacji) ulegały obszary górskie, wypiętrzone w trakcie orogenezy waryscyjskiej; pierwsze skały osadowe odłożone po orogenezie waryscyjskiej stanowiły zarazem pierwsze osady pokrywy platformowej świeżo skonsolidowanej platformy zachodnioeuropejskiej. W bardzo płytkim morzu i w jego zatokach, w ciepłym klimacie, powstawały grube warstwy ewaporatów; powszechne między innymi na terenie Polski; w osadach tak zwanych cechsztyńskich cyklotemów solnych znajdują się złoża: rud miedzi oraz srebra; są one zlokalizowane w łupku miedzionośnym pierwszego (najstarszego) cyklowemu cechsztyńskiego, skał węglanowych – dolomitów oraz wapieni, anhydrytu oraz gipsu (siarczan wapnia), soli kamiennej (minerał halit) oraz soli potasowo-magnezowych. W cechsztyńnie doszło do globalnej regresji mórz, wiele zbiorników uległo bardzo znacznemu zasoleniu. Duże obszary dawnej Laurazji zamieniały się w pustynię. W permie powoli kończą się ruchy orogenezy waryscyjskiej w czasie, której doszło do wypiętrzenia gór Uralu. Na obszarze dzisiejszej Ameryki Północnej powstały Appalachy. Na południu doszło do stopniowego stopienia lądolodu, który przykrywał Gondwanę. Łądy położone w pobliżu południowego bieguna (rejon dzisiejszej Afryki Południowej) pokryte były lądolodem; późno paleozoiczny megaglacjał spowodował obniżenie się wód oceanów do poziomu zbliżonego do współczesnego; jednocześnie występujące naprzemiennie okresy powiększania się i zmniejszania pokrywy lodowej były jedną z przyczyn powstawania charakterystycznych, cyklicznych osadów (na terenie dzisiejszej Polski są to cechsztyńskie cyklotemy solne).

Ogromne dostawy materiału okrucowego z niszczonych łańcuchów hercyńskich oraz dominacja środowisk pustynnych i półpustynnych na znacznych obszarach Pangei, spowodowały z początkiem permu pojawienie się okrucowych kontynentalnych utworów o barwach czerwonych; sporadycznie pojawiały się wśród nich wkładki węgla, wskazujące na jeszcze stosunkowo wilgotny klimat, oraz wapieni, dolomitów i ewaporatów wówczas, gdy klimat już był wyraźnie bardziej suchy. W środkowej i zachodniej Europie utwory te, wyłącznie lądowe, noszą nazwę czerwonego spągowca; towarzyszą im skały wylewne i piroklastyczne. Leżące powyżej utwory płytkiego morza cechsztyńskiego tworzą serie, złożone z węglanów, siarczanów i chlorków

(anhydryty oraz sól kamienna i sole potasowe), pojawiających się w kolejności wytrącania się osadów chemicznych z wody morskiej; skały węglanowe to płytkowodne wapienie i dolomity, sporadycznie występują mszywiolowo-glonowe budowle węglanowe; charakterystycznymi skałami permu są szeroko rozprzestrzenione łupki miedzionośne. W Polsce skały permu są znane z odsłoneń w Górach Świętokrzyskich, w rejonie krakowskim, w Sudetach oraz z wierceń na Przedgórzu Sudeckim i na Niżu Polskim. Niżu Polskim charakterystyczne są płytkomorskie utwory cechsztynu, do których należą złoża (diapiry) soli kamiennej w środkowej i północno-zachodniej części kraju (Inowrocław, Wapno, Kłodawa), na Przedgórzu Sudeckim — łupki miedzionośne, eksploatowane na wielką skalę w okolicach Lubina.

Zmiana klimatu z gorącego i wilgotnego w karbonie na gorący, ale suchy, w permie spowodowała zmiany w składzie flory (we wczesnym permie w znacznym stopniu przypominała jeszcze florę z późnego karbonu), zwłaszcza na półkuli północnej. W ciepłych wodach stref tropikalnej oraz zwrotnikowej powstawały budowle rafopodobne, tworzone głównie przez gąbki, mszywioly oraz glony. Stopniowo znikła większość skrzypów drzewiastych i niektóre rodziny paproci; z roślin iglastych przed schyłkiem permu wymarły kordaity. Szybko ewoluowały rośliny nagonasienne drobnolistne, zwłaszcza wzrosła liczba roślin iglastych, które przypuszczalnie wyodrębniły się one z powszechnych w karbonie kordaitów; ale powstają też pierwsze liściaste: miłorzębowe i sagowce. W późnym permie rośliny nagonasienne zaczęły dominować na lądach; zastąpiły one charakterystyczne dla karbonu zespoły roślinne złożone z widłakowatych, skrzypowych oraz paproci. Specyficzną grupę flory permskiej tworzyły drzewiaste rośliny nagozalążkowe (glosopterydy), przeważające w permie na kontynencie Gondwany i uważane za rośliny klimatu chłodniejszego. Bardzo pospolite początkowo były paprocie nasienne, które z czasem jednak mocno podupadły. Jedynie na południowych kontynentach (Gondwana) lasy paproci nasiennych były powszechne przez cały perm (flora glossopterysowa). W trakcie permu całkowicie wymarły kordaity. We wczesnym permie (cisuralu) liczne były jeszcze rośliny zarodnikowe, jednak później dość szybko podupadały, zwłaszcza drzewiaste skrzypy i widłaki oraz część drzewiastych paproci. Natomiast zielne rośliny zarodnikowe nadal były pospolite i ograniczane tylko w strefach pustynnych.

W permie doszło do zmniejszenia się powierzchni żyznych obszarów szelfów, jednocześnie wiele akwenów było mocno zasolonych, toteż generalnie spadała bioróżnorodność i liczebność fauny wodnej w tym okresie. Wiele grup bezkręgowców było reprezentowanych przez te same rodziny, co w karbonie. Wśród otwornic występowały fuzuliny, mające znacznie większe rozmiary niż w karbonie (średnica do 14 cm). Korallowce czteropromienne (wraz z denkowcami) oraz mszywioly i glony liściaste tworzyły budowle węglanowe. Płytkie zasolone morza były zasiedlone przez przedstawicieli ramienionogów, małży i ślimaków. Strefy przybrzeżne basenów oceanicznych i morskich były zdominowane przez goniatyty (paleozoiczne amonity), pod koniec wczesnego permu pojawiły się powstałe z goniatytów ceratyty. Permskie szkarłupnie były znacznie mniej zróżnicowane niż w karbonie; najliczniejsze w tej grupie były liliowce. W permskich morzach powszechnie występowały amonitowate, należące do goniatytów oraz ceratytów; charakterystyczne były także duże

otwornice, zaliczane do grupy fuzulinidów. Dość wyraźny wzrost obserwuje się u małży zarówno morskich, jak i słodkowodnych. Duży rozwój notują mszywioly, które wraz z glonami są dominującą grupą budującą ówczesne rafy. Dość pospolite są ciągle ślimaki i ramienionogi (zwłaszcza z rzędu Strophomenida), małżoraczki, a także pierwotniaki z gromady otwornic. Bardzo znaczny regres obserwuje się u głowonogów, w tym amonitów, szkarłupni, rzadkie są trylobity, koralowce. Z ryb najpospolitsze są ryby kostnochrzęstne, zwłaszcza paleoniskidy oraz rekiny. Charakterystycznym dla permu jest wielki rozwój tylko w tym okresie rekinów słodkowodnych. Ryby dwudyszne i trzonopłetwe przeżywały okres swojego rozwoju, ale znacznie ustępowały liczebnością wyżej wymienionym grupom. Pojawiły się pierwsze przejściowce.

W związku z postępującą suchością klimatu, a co z tym idzie pustynnieniem, mocno podupadały w permie płazy (dość liczne w początkach tego okresu) z grupy labiryntodontów, z których kilka pokrewnych im rzędów wymarło u schyłku tego okresu. Nisze ekologiczne wcześniej zajęte przez płazy lądowe stały się siedliskami gadów lądowych (głównie środowiska stepowe i półpustynne). Szczególnie rozwijały się gady ssakokształtne (terapsydy), wśród których w późnym permie pojawili się najwięksi lądowi (3 – 4 metry długości) drapieżcy, np. *Inostrancevia* i *Dimetrodon* (należące do grupy dicynodontów). Dominowały one na lądach aż do pojawienia się dinozaurów. Jednocześnie wiele grup prymitywnych kotylozaurów oraz pierwsze wodne gady – mezozauiry – wymierały. Większość gadów była roślinożerna; wśród drapieżników występowały pelikozauiry (gady ssakokształtne), w późnym permie ustąpiły miejsca m.in. terapsydom; z nich wywodzą się bezpośredni przodkowie ssaków.

Na przełomie permu i triasu miał miejsce kolejny wielki kryzys rozwoju świata organicznego w historii Ziemi (*Wielkie wymieranie*; wymieranie szczepów. Przyjmuje się, że miał on miejsce pod koniec permu, 251 milionów lat temu, lub ok. 245–250 mln lat temu). Uważa się go też za największą zagładę w historii Ziemi. Przyjmuje się, że kryzys ten przebiegał dwuetapowo, pierwszy etap zaznaczył się w najwyższym permie, etap drugi miał miejsce w końcu permu. Moim zdaniem dowodzi to tego, że w tym okresie doszło do dwóch fal impaktów. Wymarły organizmy rafotwórcze i fuzuliny, trylobity, niektórzy przedstawiciele szkarłupni, koralowce czteropromienne, denkowce i goniatyty; znaczne zubożenie nastąpiło wśród przedstawicieli mszywiolów, liliowców, ramienionogów i ceratytów. Kryzys rozwoju świata organicznego spowodował wyginiecie ok. 80% gatunków bytujących w morzach późnego permu, a jego ostatni etap wyznacza granicę między dwiema erami: paleozoikiem i mezozoikiem. Bardzo ważnym dowodem wymierania późnopermskiego jest luka biokrzemionkowa przedzielona czarnymi łupkami. Głównym źródłem informacji na temat wymierania są skały osadowe i skamieliny, jednakże skały osadowe z przełomu paleozoiku i mezozoiku są trudno dostępne z powodu długotrwałej regresji mórz w okresie permu. Na podstawie dostępnych materiałów niektórzy badacze uważali, że wymieranie trwało stosunkowo krótko (nawet mniej niż 200 tysięcy lat), inni sugerowali dłuższy okres (5–10 mln). Nowsze badania wskazały, że główny impuls wymierania rozegrał się szybciej niż poprzednio oceniano, w czasie 60 do ± 48 tysięcy lat.

Wymieranie permskie jest związane z różnymi przyczynami; najnowsze hipotezy wskazują na jego katastroficzny charakter, np. uderzenie w Ziemię ciała kosmicznego lub bardzo silny wulkanizm (rozległe wylewy law bazaltowych na Syberii) związany z powstawaniem ryftów kontynentalnych. Dzisiejsza wiedza o innych ogromnych impaktach w tym okresie wskazuje ponadto, że nie mieliśmy do czynienia z jednym „wymieraniem”, ale że i w tym okresie dochodziło do wielu ogromnych kataklizmów na różnych obszarach, których skutkiem było częściowe, a nawet masowe wyniszczenie wielu gatunków. Kataklizmy te nie obejmowały całego globu i dlatego w ciągu kolejnych milionów lat na zniszczone tereny wracało życie. Na terenach, które w karbonie objęte były orogenezą waryscyjską, powszechnie występowały zjawiska wulkaniczne; ślady tego postorogenicznego, ekstensyjnego wulkanizmu można znaleźć między innymi na obszarze Polski, na terenie Sudetów i w okolicach Krakowa.

W przeciwieństwie do wymierania kredowego, długo sądzono, że przyczyną zagłady permskiej nie była katastrofa kosmiczna, jednak geofizycy analizując ziemskie pole magnetyczne odkryli pod lodami Arktyki anomalię, mogącą być kraterem uderzeniowym o średnicy prawie 500 km. To krater Wilkes Land, który mógł on powstać w wyniku uderzenia w Ziemię planetoidy o średnicy około 40 – 50 km. Skutki tego upadku musiały być ogromne. Być może zapoczątkowały tworzenie się ryftu między kontynentem australijskim a Antarktyką. W roku 2004 u północno-zachodnich wybrzeży Australii w dorzeczach Roebuck i puszczu wykryto pod powierzchnią wód oceanicznych następny możliwy krater, tzw. krater Bedout, o średnicy 195 km, którego wiek szacuje się również na ok. 251 milionów lat i został utworzony przez ciało niebieskie o średnicy około 10 km. Upadek tak dużych ciał kosmicznych, o ile miał miejsce, nie pozostał bez wpływu na środowisko, łącząc się ze skutkami wulkanizmu. Dowodem impaktu Bedout są specyficzne izotopy helu i argonu uwięzione wewnątrz fullerenu – podobnych do klatek konstrukcji z atomów węgla. Podczas ostatnich badań na Arktyce znaleziono także fragmenty meteoru w cieniutkiej warstwie permskich osadów. Nowy dowód pochodził częściowo z dwóch rdzeni wywierconych z pod-wodnej formacji nazywanej Wyżyną Bedout, którą badacze proponowali, jako prawdopodobne miejsce permskiego wybuchu już w 1995 roku. Rdzenie, wywiercone przez kompanie naftowe w latach 70. i 80., datowane na koniec okresu permskiego, wcześniej zostały zidentyfikowane, jako zawierające skałę wulkaniczną. Hipoteza wpływu Bedouta nie była szeroko wspierana przez specjalistów od kraterów uderzeniowych. Krater o zakładanej wielkości wytworzyłby rozległą warstwę wyrzutu, ale żaden taki wyrzut nie jest widoczny w najbliższych permsko-triasowych miejscach granicznych w Australii. Warto jednak zauważyć, że nie wszystkie upadki meteorytów wytwarzały warstwy wyrzutu. Wiele zależało od kąta upadku. Kolejnym dowodem pozaziemskiej przyczyny tej zagłady jest odkrycie fullerenu zawierające uwięzione gazy szlachetne, których proporcje wskazują na pozaziemskie pochodzenie. Piszą o tym w numerze Science z 23 lutego 2001 r. Luann Becker i jej koledzy, którzy dokonali tego odkrycia.

Hipotezę impaktu potwierdzają badania ostatnich lat prowadzone w Arktyce i Chinach. Przyniosły one wiele dowodów potwierdzających, m.in. obecność metalicznych ziaren pochodzenia kosmicznego, kwarcu szokowego, fullerenu

z pozaziemskimi gazami oraz krateru w Wilkes Land (Arktyka) o średnicy prawie 500 km. Wspomniane Impakty mogły też zapoczątkować rozpad superkontynentu Gondwana, tworząc w miejscu uderzenia ryft, który odepchnął między innymi Australię w kierunku północnym.

Na późny perm lub wczesny trias datowany jest duży krater uderzeniowy Araguainha położony w środkowej Brazylii. Krater ma średnicę 40 km, jest odsłonięty na powierzchni i wyraźnie zerodowany. Został utworzony przez upadek małej planetoidy, która uderzyła w płytkie morze, wybijając krater w osadach i położonym pod nimi podłożu krystalicznym. Krater Araguainha ma złożoną strukturę, z wzniesioną częścią centralną o szerokości 6,5 km. W centrum znajduje się mały eliptyczny basen zawierający ordowickie granity, otacza go pierścień wzniesień z granitów poddanych metamorfizmowi szokowemu i brekcji. Jest on otoczony przez następny koncentryczny pierścień średnicy 6,5 – 8 km utworzony przez sfałdowane i silnie pochylone wapienie dewońskie, sięgające nawet 150 m wysokości. Ten pierścień otaczają depresje o pofalowanym dnie, z pojedynczymi wzgórzami. Zewnętrzną krawędź krateru tworzą koncentryczne uskoki, odsłaniające silnie zdeformowane osady permskie i karbońskie. Całość obejmuje obszar ok. 1300 km².

Do niektórych upadków asteroid, jak się okazuje, dochodziło już w początkach permu. Krater Cleawater West w Kanadzie powstał około 286 milionów lat temu, krater Ternowka o średnicy 11 km na obszarze dzisiejszego obwodu dniotropetrowskiego na Ukrainie doszło około 280 milionów lat temu, a do powstania krateru Serra da Cangalha w stanie Tocantins w Brazylii o średnicy 12 km doszło około 300 milionów lat temu. Ma on średnicę 12 km, utworzył się w skałach osadowych. Pierścień wzgórz o średnicy 7 km otacza obniżenie, koncentrycznie okalające centralne wzniesienie krateru, sięgające 420 m ponad dno krateru. W skałach wzniesienia występują stożki zderzeniowe oraz skamieniałe drewno, co wskazuje, że uderzenie to miało miejsce na stałym lądzie. Krater był poddany badaniom grawimetrycznym i magnetometrycznym; analizy wskazują, że utworzył go upadek małej planetoidy o średnicy 1,4 km, lecącej z prędkością 12 km/s.

Pośrednim dowodem, że i w tym okresie dochodziło do wielkich kataklizmów (uderzeń planetoid i meteorytów oraz erupcji wulkanów) są też udokumentowane dla tego okresu gwałtowne zmiany klimatyczne, które możemy jednak wiązać również z wulkanizmem. Obie przyczyny mogły się uzupełniać.

Wulkanizm

Na przełomie permu i triasu powstały trapy syberyjskie, największe fanerozoiczne pokrywy lawowe. Doszło wówczas do, co najmniej, 45 wylewów lawy na terenach dzisiejszej Syberii, a ich minimalną objętość szacuje się na co najmniej 1.5 mln km³. Dla porównania średniej wielkości wulkan wyrzuca z siebie zaledwie kilkaset m³ lawy. W dyskusji nad genezą trapów syberyjskich często pojawiał się pogląd, że utworzyły się one ponad pióropuszem płaszcza, z czym kłóci się brak świadectw izostatycznego wyniesienia terenu. Za bardziej

prawdopodobną przyjmowana jest hipoteza, według której do ich powstania doszło wskutek częściowego, konwekcyjnego stopienia materii płaszcza, która została wyzwolona na skutek ekstensji i sił ścinających w litosferze na styku paleozoicznych kontynentów Bałtyki i Syberii, wówczas już połączonych w obręb Pangei. Brzmi to bardzo skomplikowanie i nie wiem, czy ktokolwiek potrafi to zrozumieć? *Ekstensja, siły ścinające*. Zwłaszcza to drugie pojęcie brzmi, jak znane z pseudonauki określenie *vis plastica*. Moim zdaniem, nie można wykluczyć hipotezy, że trapy syberyjskie powstały w wyniku upadku wielkiej asteroidy. Tu możemy też przyjąć dwa rozwiązania.

Pierwsze zakłada, że w skorupę ziemską wbił się duży asteroid, wielkości 50 kilometrów. W miejscu uderzenia wszystko natychmiast wyparowało, uderzenie termiczne, deszcz wyrzuconych w górę skał i trzęsienie ziemi zdewastowały kontynent. Do atmosfery uniósł się pył, który na lata przyćmił światło Słońca. Cały kontynent został praktycznie wymieciony przez uderzenie. Z miejsca uderzenia rozchodziły się fale sejsmiczne skupiając się po przeciwnej stronie globu. Skorupa ziemska pękła, a z wnętrza Ziemi wylała się magma tworząc na obszarze 200 tysięcy kilometrów kwadratowych potężne trapy syberyjskie – pola wulkanów, które będą istnieć setki tysięcy lat. W sumie w wyniku ich działania do atmosfery trafiło 2000 – 20000 miliardów ton węgla.

Za bardziej prawdopodobne wyjaśnienie powstania trapów syberyjskich uważam to, że magma ta przybyła właśnie z ogromnym asteroidem – jakąś planetoidą, która upadła na Ziemię (do dyferencjacji magmy doszło np. na planetoidzie Westa). Asteroida ta była w stanie magmy albo przekształciła się w stan magmy w zderzeniu z atmosferą lub skorupą ziemską.

Erupcje (lub inaczej mówiąc, powstanie) trapów syberyjskich są prawdopodobnie również odpowiedzialne za bezpośrednio poprzedzający wymieranie skok zawartości dwutlenku węgla w atmosferze i oceanie. Datowanie skał wulkanicznych Syberii wykazało, że powstały na przełomie permu i triasu, w czasie nieprzekraczającym ok. 1 mln lat. W wyniku wzmożonego wulkanizmu mogło wówczas dojść do drastycznych i długotrwałych, choć przejściowych zmian w składzie atmosfery, a zatem także zmian klimatycznych: ochłodzenia wskutek zanieczyszczenia powietrza wyrzuconymi popiołami wulkanicznymi i związkami siarki, kwaśnych deszczy, pożarów czy zniszczenia warstwy ozonowej. Zmiany klimatyczne i to jak możemy przypuszczać bardzo znaczne wpływały również na zmiany poziomu wód ówczesnych oceanów, a co za tym idzie zmianą ich nacisku na płyty tektoniczne i ich przesunięcia.

Skutki wymierania permskiego

Granica permu i triasu (PT) oznacza punkt zwrotny w historii naszej planety. Skutkiem tak zwanego wymierania permskiego była zagłada 90-95% gatunków, organizmów morskich, w tym znanych powszechnie trylobitów i czteropromiennych koralowców. Ponadto zginęło także przeszło 60% rodzin gadów i płazów i 30% rzędów owadów. Warto zaznaczyć jednak, że trylobity traciły na znaczeniu już od końca ordowiku, a w karbonie i permie żyły ich tylko

pojedyncze rodzaje; ostateczne wyginiecie nastąpiło jednak wraz ze schyłkiem permu, koralowce paleozoiczne, należące do grup *Rugosa* oraz *Tabulata*; począwszy od triasu zostały zastąpione przez koralowce należące do istniejącej do dzisiaj grupy *Scleractinia*, goniatyty; była to powszechna w karbonie i permie grupa amonitowatych – przodków mezozoicznych amonitów, zniknęły wieloraki (eurypteridy) – charakterystyczne stawo-nogi paleozoiczne, wyginęły też niektóre grupy mszywiolów, powszechnych w paleozoiku.

Życie na Ziemi jednak nie wyginęło całkowicie. Około 230 milionów lat temu, od gadów odłączyły się dinozaury. Części z nich udało się nawet przeżyć zagładę mającą miejsce między triasem a jurą 200 milionów lat temu, a późniejszy okres doprowadził nawet do ich dominacji wśród kręgowców.

Wymieranie późnotriasowe

Trias [gr.], najstarszy okres (jednostka geochronologiczna) ery mezozoicznej, trwający od ok. 252 do ok. 201 mln lat temu; także system (jednostka chronostratygraficzna), obejmujący powstałe w tym czasie skały. Dziś trias dzielimy na: trias górny/późny, trias środkowy i trias dolny/wczesny.

W tym czasie rozległość kontynentu Gondwany, istnienie licznych obszarów suchych i brak wielkoskalowych procesów górotwórczych spowodowały, że szczególnie częstym typem skał w triasie są czerwone piaskowce, mułowce i iłowce. W marginalnych strefach kontynentu zalewanych przez morza powstawały różne typy wapieni i dolomitów. Ciepły klimat i płytkość stref morskich sprzyjały ewaporacji, stąd też w osadach triasu często występują wkładki soli. Nakładanie się na pierwotne osady późniejszych procesów mineralizacyjnych spowodowało okruszczenie wielu warstw skalnych (np. dolomity kruszczone na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej). W późnym triasie Kimmeria od południa uderzyła w kontynent proto-azjatycki – Kazachstan i platformę chińską. Zderzenie wywołało potężne ruchy górotwórcze – orogenezę kimmeryjską, w której powstały góry nieustępujące wysokością dzisiejszym Himalajom. Płyta kimmeryjska, na której posadowiony był kontynent Kimmerii, została następnie częściowo subdukowana pod płytę eurazjatycką. Następnie Kimmeria podczas zderzenia płyty eurazjatyckiej z płytami indyjską i arabską została zgnieciona i wyniesiona w postaci szeregu płaskowyżów, które dziś są jej pozostałościami – Wyżyna Anatolijska, Wyżyna Armeńska, Wyżyna Irańska, Wyżyna Tybetańska i wewnętrzne górskie tereny Półwyspu Indochińskiego.

W 2019 roku odkryto, że ok. 240 milionów lat doszło do oderwania się od superkontynentu – Gondwany Wielkiej Adrii, która około 140 milionów lat temu była kontynentem o wielkości Grenlandii. Częściowo była przykryta morzem tropikalnym, z którego osadu później utworzyły się skały. Prawdopodobnie była ogromnym skupiskiem wysp i archipelagów. Pasy górskie, które dziś składają się na kontynent Wielkiej Adrii obejmują około 30 dzisiejszych krajów od Alp aż po Iran.

W triasie rozpoczęła się czwarta orogeneza, zwana orogenezą alpejską. Największe jej nasilenie przypadło na trzeciorzęd. Utworzyły się Alpy, Karpaty, Pireneje, Himalaje, Kordyliery, Andy.

W Polsce skały triasowe odsłaniają się na powierzchni w pasie wyżyn na południu kraju (Góry Świętokrzyskie, rejon śląsko-krakowski, Sudety) oraz w Tatrach. W obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich profil triasu rozpoczynają czerwone piaskowce pochodzenia rzeczno i wydnowego (tzw. piaskowce tumlińskie), trias środkowy wykształcony jest głównie w postaci wapieni i margli, a trias górny — czerwonych iłów z wkładkami piaskowców, rzadziej gipsu. W regionie olkuskim znaczna część skał wapiennych uległa dolomityzacji i okruszczowaniu minerałami cynku i ołowiu (dolomity kruszconośne). W Sudetach utwory triasu reprezentowane są głównie przez dolnotriasowe piaskowce. W Tatrach sedymentacja triasu rozpoczęła się utworami piaszczystymi, ale zasadnicza część utworów triasu to wapienie i dolomity, z których są zbudowane główne partie Tatr Zachodnich (np. masywy Czerwonych Wierchów i Kominów Tylkowych); miąższość sukcesji węglanowej dochodzi tu do 1000 m.



Mapa przedstawiająca ułożenie lądów sprzed około 230 mln lat (Wikipedia – Trias) <http://encyklopedia.naukowy.pl/Trias>

Zasadniczym elementem paleogeografii triasu był ostatecznie uformowany w późnym permie kontynent Pangea. Podczas triasu kontynent ten stopniowo był rozdzielany na część północną i południową (Gondwana) poprzez klinowo rozszerzający się ocean Tetyda. Ogromne rozmiary kontynentu sprawiały, że wpływy oceaniczne nie docierały do jego centralnych obszarów, na których panował suchy, lądowy klimat. W Afryce centralnej, w dorzeczu Kongo zaznaczyła się orogeneza katangijska.

W środkowej Europie, gdzie epoka ta została najwcześniej opisana, dominowały osady lądowe i śródlądowe. Pierwotnie wyróżniono w triasie trzy jednostki: pstry piaskowiec, wapień muszlowy i kajper, które w dzisiejszym rozumieniu odpowiadają jednostkom litostratygraficznym lub facjalnym. Pod koniec wczesnego triasu doszło do transgresji morskiej i powstania krótkotrwałych płytkich mórz epikontynentalnych, z sedymentacją węglanową (facja wapienia muszlowego). W najmłodszej części triasu morza wycofały się z większości poprzednio zajętych terenów, a ty-powymi osadami były ciemne iłowce z przeławiczeniami ewaporatów –gipsów i soli (facja kajpru).

W najmłodszej części triasu (retyk) ponownie zwiększył się zasięg sedymentacji morskiej. Na obszarze medytarańskim, po początkowej krótkotrwałej sedymentacji piaskowców, pojawiły się morskie utwory węglanowe, których osadzanie się trwało aż do końca triasu i które osiągnęły miąższość przekraczającą 1000 m; występowanie wielu specyficznych odmian powstałych wtedy wapieni (np. wapienie z Dachsteinu, wapienie z Hallstatt) prześledzić można wzdłuż prawie całego łuku Alp i Karpat.

Trias charakteryzował wyjątkowy spokój tektoniczny; jedynie na pograniczu z jurą słabo zaznaczyły się ruchy starokimeryjskie (kimeryjskie fazy orogeniczne). Klimat triasu był ogólnie ciepły, czemu sprzyjało istnienie, rozciągającego się między biegunami, jednego wielkiego bloku lądowego.

Po wielkim wymieraniu permskim we wczesnym triasie nastąpiły istotne zmiany fauny i flory. Po przebytym kryzysie wiele grup powoli odradzało się. We florze lądowej pospolite były rośliny nagonasienne, głównie szpilkowe oraz paprocie nasienne. Paprociowe (*Clathrolepis*, *Maratiopsis*, *Psaronius*) występują zarówno jako rośliny zielone jak i drzewiaste. Widłakowe (*Pleuromeia*, *Lycopodites*, *Selaginellites*) tracą na znaczeniu, a skrzypowe (*Equisetites*, *Neocalamites*, *Phyllothea*, *Schizoneura*) osiągają niekiedy wysokość do 15 m. Powstają pierwsze benetyty (*Pterophyllum*, *Williamsonia*, *Otozamites*, *Podozamites*, *Zamites*), występowały, choć rzadko, miłorzęby (*Ginkgoites*, *Baiera*, *Czekanowskia*, *Sphenobaiera*) i sagowce. Równie pospolite były także rośliny zarodnikowe, w tym drzewiaste skrzypy, widłaki i paprocie. Te ostatnie, wraz z widłakami, stanowią główną grupę roślin zielnych. Wśród form drzewiastych istotną rolę odgrywały nagozależkowe: benetyty, sagowce, miłorzęby i szpilkowe. Pod koniec środkowego triasu zaczyna się stopniowy upadek widłaków i skrzypów, szczególnie drzewiastych.

W triasie zaznacza się drugi okres prosperity płazów tarczogłowych, niektóre z nich osiągały wówczas do 5 m długości i 0,5 tony. We wczesnym triasie powstały pierwsze płazy bezogonowe. Olbrzymie zmiany zaszły w świecie gadów. Pojawiły się pierwsze krokodyle (w tym okresie wyłącznie lądowe), jaszczurki i żółwie żyjące tak w wodach słodkowodnych jak i słonych. We wczesnym i środkowym triasie główną grupą gadów były gady ssakokształtne, które jednak od triasu środkowego (drapieżcy) i triasu późnego (roślinożercy) są wypierane przez tekodonty i zanikają wraz z końcem triasu. W późnym triasie pojawiają się pierwsze dinozaury i szybko się różnicują na trzy podstawowe grupy: dinozaury gadziomiedniczne (zauropody i teropody) oraz dinozaury ptasiomiedniczne. W morzach panowały ichtiozaury.

W późnym triasie pojawiły się gady latające, które latały przy pomocy błony lotnej rozpiętej między czwartym palcem kończyny przedniej a bokiem ciała (*Eudimmorphodon*). Granicy permu i triasu nie przeżyła większość gadów ssakokształtnych (terapsydy), ale te, które przetrwały, prawie odbudowały w triasie swą wysoką pozycję w ekosystemach lądowych i pod koniec okresu dały początek ssakom. Prawie wszystkie rzędy bezkręgowców morskich były nowe w stosunku do form paleozoicznych. Doszło do szybkiego rozwoju małży, choć ramienionogi w dalszym ciągu były pospolite. Szybko rozwijały się liliowce łodygowe, stanowiąc jedną z najczęstszych skamieniałości triasu. Powszechne

były także ślimaki. Bardzo ważną i liczną grupą były amonity. Dopiero z triasu środkowego znani są pierwsi przedstawiciele koralowców. Były to Scleractinia, które jednak w tym okresie występowały dość nielicznie, zarówno formy osobnicze jak i rafotwórcze. W Polsce, na Śląsku Opolskim, występowały jedne z najstarszych na świecie raf skleraktiniowych. Relatywnie rzadkie były gąbki i mszywioly, choć gąbki były ważnym składnikiem pierwszych, nielicznych raf triasowych (koralowcowo – gąbkowych) triasu środkowego. Wśród niezbyt rozpowszechnionych jeżowców spotyka się tylko formy regularne. Wśród ryb szczególnie pospolite były drobne rekiny o płaskich koronach zębów, miażdżące muszle bezkręgowców. Pod koniec okresu powstawały pierwsze rekiny współczesne Neoselachi. Pospolite były także ryby kostnochrzęstne i przejściowce. Zaczęły pojawiać się pierwsze Teleostei. W obrębie dwóch ostatnich grup, zaliczanych do Neopterygii, zaznaczały się tendencje w budowie charakterystyczne dla większości dzisiejszych promieniopłetwych (np. symetria płetwy ogonowej). W całym triasie istniały jeszcze zwierzęta konodontonośne, które jednak z końcem okresu wymarły. W triasie pojawiły się liczne wielkie grupy gadów morskich, z których notozaury i plakodonty wymarły pod koniec okresu. Dominującą grupą gadów morskich w triasie były ziemnowodne notozaury. Z początkiem okresu pojawiły się plezjozaury, a wkrótce potem także ichtiozaury. Te ostatnie pod koniec triasu były już bardzo liczne i osiągały duże rozmiary.

We wczesnym triasie pojawiły się gady morskie: żółwio podobne plakodonty i notozaury, nieco później plezjozaury, ichtiozaury i żółwie oraz królujące w powietrzu pterozaurowe. Z triasu znane są też najstarsze żaby i krokodyle, które początkowo żyły tylko na lądach, a później przystosowały się do środowiska morskiego. Morska fauna bezkręgowców wczesnego triasu była zdominowana przez mięczaki, zwłaszcza amonity, które na początku okresu gwałtownie się rozwinęły; szczególnie zróżnicowana wśród amonitów była grupa ceratytów, stanowiąca podstawę biostratygrafii triasu. W środkowym triasie niezwykle liczne i zróżnicowane gatunkowo były małże i ramienionogi. Wśród koralowców pojawiły się koral sześcioramienne, które w późnym triasie budowały duże struktury rafowe. Najbardziej charakterystycznymi reprezentantami mikrofauny były małe otwornice bentoniczne i konodonty (wymarła gromada strunowców); dla stratygrafii triasu obydwie grupy mają podstawowe znaczenie. Trias był okresem szczególnie bujnego rozwoju glonów morskich; w późnym triasie pojawiły się należące do wiciowców kokkolity i bruzdnice, które w późniejszych epokach stanowiły jeden z głównych elementów skałotwórczych w środowiskach pelagicznych.

Podczas triasu pierwotnie nierzucająca się w oczy grupa archozaurów rozwinęła się w dominujące na świecie zwierzęta, jedna z ich grup, dinozaury, dominowały przez resztę ery mezozoicznej. W związku z tym ssakokształtne zostały wyparte, zajmując głównie nisze nocne, mogło mieć to wielki związek z tak charakterystycznymi cechami ssaków, jak stałocieplność, włosy, czy duży mózg. Później mezozoiczne ssaki rozprzestrzeniły się na inne nisze ekologiczne – powstały stworzenia wodne (*Castorocauda*), szybujące (*Volaticotherium*), a nawet drapieżcy zdolni do polowań na niewielkie dinozaury (*Repenomamus*). Większość dowodów stanowią skamieniałości. Przez wiele lat szczątki ssaków mezozoiku i ich bezpośrednich przodków były rzadkie i

fragmentaryczne, ale od połowy lat dziewięćdziesiątych pojawiły się nowe ważne odkrycia, głównie na obszarze Chin. Relatywnie nowe techniki (filogenetyka molekularna) dały pewne interesujące hipotezy, ale dla wielu tradycyjnych paleontologów „łowców skamielein” są one sporne.

W końcu triasu około 201 milionów lat temu doszło do procesu kolejnego wymierania gatunków zwanego – wymieraniem późnotriasowym. Jako prawdopodobny powód tego wymierania uznawano nagłe zmiany klimatyczne, a dokładniej efekt cieplarniany wywołany wzmożoną aktywnością wulkanów, a także rozwój warunków beztlenowych. Z czasem i w tym wypadku pojawiła się również hipoteza kosmicznego impaktu, a dziś możemy mówić nawet o wielu takich wydarzeniach. Dotychczas odkryto ślady kilku takich kataklizmów, niestety nie jesteśmy w stanie rozpoznać „impaktów morskich”, a tych (biorąc pod uwagę choćby statystykę) musiało być znacznie więcej niż lądowych.

Duży krater uderzeniowy Araguainha położony w środkowej Brazylii, na granicy stanów Mato Grosso i Goiás ma średnicę 40 km, jest odsłonięty na powierzchni i wyraźnie zerodowany. Rzeka Araguaia przepływa przez jego obszar. Został utworzony przez upadek małej planetoidy, która uderzyła w płytkie morze, wybijając krater w osadach i położonym pod nimi podłożu krystalicznym. Miało to miejsce około 244 miliony lat temu. Krater Araguainha ma złożoną strukturę, z wzniesioną częścią centralną o szerokości 6,5 km. W centrum znajduje się mały eliptyczny basen zawierający ordowickie granity, otacza go pierścień wzniesień z granitów poddanych metamorfizmowi szokowemu i brekcji. Jest on otoczony przez następny koncentryczny pierścień średnicy 6,5–8 km utworzony przez sfałdowane i silnie pochylone wapienie dewońskie, sięgające nawet 150 m wysokości. Ten pierścień otaczają depresje o pofalowanym dnie, z pojedynczymi wzgórzami. Zewnętrzną krawędź krateru tworzą koncentryczne uskoki, odsłaniające silnie zdeformowane osady permskie i karbońskie. Całość obejmuje obszar ok. 1300 km².

Okolo 214 mln lat temu doszło do uderzenia około pięciokilometrowego bolidu Manicouagan (Quebec, Kanada). Powstały w wyniku tego impaktu krater miał początkowo średnicę 85 km, jednak w wyniku erozji, widoczna obecnie struktura ma średnicę ok. 72 km. Krater ten może być związany z wymieraniem triasowym; jednakże najnowsze datowanie wydaje się temu przeczyć: krater jest datowany na 12 ± 2 mln lat przed początkiem tego masowego triasowo-jurajskiego wymierania, co skłania niektórych badaczy, że impakt ten nie mógł jego przyczyną. Moim zdaniem, był po prostu częścią długiego procesu, który dziś niektórzy uczeni są skłonni wiązać tylko z jednym wydarzeniem.

Krater Manicouagan powstał w podobnym czasie, co kilka innych dużych kraterów uderzeniowych na Ziemi: Saint Martin o średnicy 40 km, również w Kanadzie, Rochechouart we Francji (201 ± 2 milionów lat temu) o średnicy 23 km, krater Oboln ok. 169 milionów lat temu) o średnicy 20 km na Ukrainie (duża zawartość chloru w tych skałach sugeruje, że w czasie uderzenia obszar ten pokrywało płytkie morze) i krater Red Wing o średnicy 9 km w Dakocie w Stanach Zjednoczonych. Oba kratery w Kanadzie i krater Rochechouart leżały w tym czasie na tej samej szerokości geograficznej, 22°8' N, zatem mogły powstać w jednej serii uderzeń. Dwa pozostałe kratery leżą wraz z kraterami

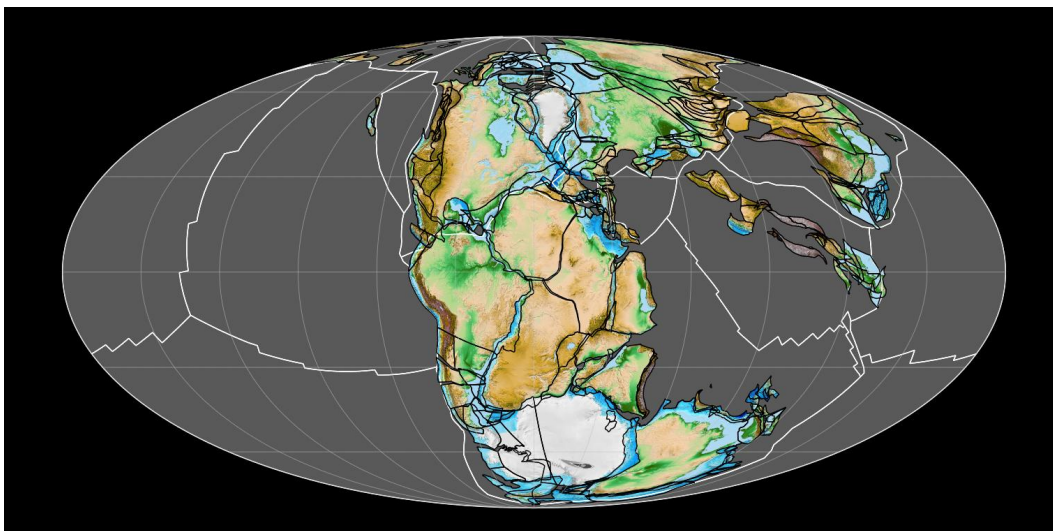
Saint Martin i Rochechouart na kołach wielkich o tej samej deklinacji. Powstała hipoteza, że wszystkie te kratery utworzył upadek łańcuszkowy, uderzenie w Ziemię fragmentów rozbitego ciała niebieskiego (komety lub planetoidy), w ciągu kilku godzin. Impakt Paasselkä miał miejsce około 231 milionów lat temu i wpłynął na krystaliczne skały paleoproterozoiczne i niektóre leżące powyżej piaskowce tarczy bałtyckiej. Istnienie krateru zostało potwierdzone po głębokich wierceniach w 1999 roku.

Biorąc pod uwagę cały szereg upadków meteorytów, panujący i w tym okresie wulkanizm i zmiany klimatyczne należy przyjąć, że do wymierania (wyginięcia) różnych gatunków, na poszczególnych obszarach, dochodziło przez cały ten okres. Poszukiwanie, jakiegoś jednego, choćby dominującego czynnika nie może przynieść żadnego efektu. Niestety, wielu badaczy wciąż nie potrafi wyzwolić się z wcześniej przyjętych schematów.

W wyniku wymierania późnotriasowego (lub w trakcie tego okresu) wyginęło około 53% rodzajów i 78% ówczesnych gatunków, w tym wszystkie konodonty i wiele gadów. Zniknęło około 80% gatunków morskich (zwłaszcza mięczaki, ramienionogi, fauna rafowa, amonity-ceratyty, konodonty) oraz wiele gatunków lądowych, m.in. większość przedstawicieli kladu Crurotarsi (aetozaurowe, fitozaurowe, rauizuchy). Wymarły niemal zupełnie terapsydy, a w ich niszy ekologicznej bezpiecznie rozwijały się dinozaury; wymarły również plakodonty, wiele gatunków plezjozaurów i ichtiozaurów, kotylozaury i płazy tarczogłowe.

Asteroidy

Krater Manicouagan powstał ok 215 milionów lat temu, w wyniku *uderzenia* w Ziemię *asteroidy*. Znajduje się na terenie Quebecu (Kanada) w miejscu, które obecnie nazywa się Jeziorem Manicouagan. Struktura ta powstała 214 (± 1) milionów lat temu, w późnym triasie, w wyniku uderzenia meteorytu o średnicy 5 km (3 mil). Jezioro i wyspa są wyraźnie widoczne z kosmosu i są czasami nazywane „okiem Quebecu”. Jezioro ma objętość 137,9 km³ (33,1 mil sześciennych). Nawet po erozji krater ten jest uważany za jeden z największych i najlepiej zachowanych kraterów na Ziemi, a jego średnica jest szacowana na 100 kilometrów.



Superkontynent Pangea we wczesnym mezozoiku (przy 200 mA).
Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów

Pangea lub Pangea (/ p ɔ n ˈ dʒ iː ə /) był superkontynentem istniejącym w późnym paleozoiku i wczesnym mezozoiku . Powstał z wcześniejszych jednostek kontynentalnych Gondwany , Eurameryki i Syberii w okresie karbonu około 335 milionów lat temu i zaczął się rozpadać około 200 milionów lat temu, pod koniec triasu i na początku jury. W przeciwieństwie do obecnej Ziemi i jej rozkładu masy kontynentalnej, Pangea miała kształt litery C, a większość jej masy rozciągała się pomiędzy północnymi i południowymi regionami polarnymi Ziemi i była otoczona superoceanem Panthalassa oraz Paleo -Tetydą i późniejszą Tetydą. Oceany . Pangea to najnowszy superkontynent, jaki istniał i pierwszy, który został zrekonstruowany przez geologów.

Jura

Jurę datuje się na czas pomiędzy 201 a 152 mln lat temu, już w XIX wieku podzielono ją na: jurę dolną, środkową i górną. Na początku tego okresu (ok. 180 mln lat temu) Pangea rozpadła się na Laurazję i Gondwanę, pod koniec również Gondwana zaczęła ulegać podziałowi.

Ameryka Południowa zaczęła odrywać się od Afryki, dając początek południowej części Oceanu Atlantyckiego. Doszło do całkowitego oderwania się bloku australijsko-antarktycznego, czego wynikiem było poszerzenie się Oceanu Indyjskiego. Od Europy zaczęła się stopniowo odrywać Ameryka Północna i powoli rozszerzał się północny Atlantyk. Rozszerzał się Ocean Tetyda. Do Azji dobijały bloki kontynentalne, zwane lądem kimeryjskim, odrywane od gondwańskich wybrzeży.

W tym okresie często zmieniała się biegunowość magnetyczna. Potrafimy dziś udowodnić te zmiany, nie potrafimy jednak wskazać ich przyczyn. Na początku jury nastąpiła transgresja morza. Duże obszary współczesnej Europy pokrywało morze epikontynentalne; pod koniec jury morza zaczęły się wycofywać.

W jurze dolnej tworzyły się czarne ily, wapienie i margle, w środkowej piaszczyste i oolitowe rudy żelaza, a w górnej wapienie, np. oolitowe i rafowe, oraz margle. Na obszarze obecnej Europy tworzą się złoża boksytów – rudy glinu powstającej w tropikalnym klimacie z wietrzenia skał.

Podobnie jak w triasie, żaden ląd nie leżał na tyle blisko któregoś z biegunów, aby powstała polarna czapa lodowa. Zastanawiam się jednak, czy nie mogły powstać lodowce w rodzaju Arktyki, w tym wypadku po prostu ślady takowych nie zachowały się. W środkowej jurze zaczęła się jedna z największych transgresji morskich w dziejach Ziemi, mająca maksimum w Oksfordzie, co wpłynęło na wielki rozwój płytkich mórz na zalanych kontynentach. Nastąpiło stopniowe złagodzenie gorącego, ale suchego klimatu

triasu na ciepły i wilgotny. Należy tu postawić pytanie: co było powodem owej transgresji oraz ochłodzenia? Myślę, że kolejne upadki asteroid, ale też znaczne zmiany poziomu wód oceanów w wyniku zmian klimatycznych. Etapów ochłodzenia i wzrostu lodowców, które *wiązały* ogromne masy wody, później ocieplenia w wyniku, którego dochodziło do ich topnienia.

Na obszarze dzisiejszej Polski najbardziej znanym utworem jurajskim jest Wyżyna Krakowsko-Częstochowska, zbudowana z górnajurajskich wapieni. Klimat jury był wówczas ciepły, w osadach nie znaleziono dowodów żadnego zlodowacenia, choć zapewne i w tym okresie następowały zmiany klimatyczne; choćby z powodu erupcji wulkanicznych, które i wówczas, choć mniej częste, miały miejsce. Pod koniec jury środkowej w rejonie bieguna północnego zaczął się tworzyć chłodny zbiornik borealny, w którym osadzały się ciemne ropy i brunatne piaskowce ze szczątkami zimnolubnych amonitów i małż.

Wśród pierwotniaków znaczenie skałotwórcze miały otwornice, kalpionelle i radiolarie. Nastąpił rozwój gąbek o szkielecie krzemionkowym (Craticularia, Cypelia), mniejsze znaczenie miały gąbki wapienne (np. Corynella). Wśród jamochłonów dominowały koralowce (Isastera, Thamnostrea). Wśród pierścienic pospolity był, należący do wieloszczetów, rodzaj Serpula. Stosunkowo liczne były mszywoły, liczne były także ramienionogi. Największe znaczenie stratygraficzne dla utworów jury mają mięczaki. Bardzo liczne małże. Większość z występujących wówczas ślimaków należy do przodoskrzelnych. Skamieniałości o największym dla jury znaczeniu to amonity. Wśród stawonogów największe znaczenie miały skorupiaki: liścionogi (Esthera) i małżoraczki (Cypridea), powszechne w wodach słodkich i brakicznych. Na uwagę zasługują pancerzowce (Prosopon) i bardzo zróżnicowane owady (Blatulla, Protodiplatys), a wśród nich motyle, które jednak rzadko zachowały się w stanie kopalnym. Duże znaczenie skałotwórcze i stratygraficzne mają także liliowce i jeżowce należące do szkarłupni. Rzadziej jako skamieniałości występują rozwiazdy i wężowidła (Palaeconoma, Ophiopinna). W środowisku morskim powszechne były glony, znane są też skamieniałości grzybów. Licznie występowały sinice budujące struktury biosedymencyjne.

Klimat jury sprzyjał pojawianiu się dżungli i to nawet w wyższych szerokościach geograficznych, ale istniało geograficzne zróżnicowanie flory na dwie prowincje. Indoeuropejską, o klimacie wilgotnym tropikalnym i subtropikalnym, która charakteryzowała się dużym udziałem miłorzębowych sagowców oraz paproci, a niewielką liczbą roślin szpilkowych i syberyjską, w której przeważały rośliny miłorzębowe i szpilkowe, a udział paproci był niewielki. Nie było jednak jeszcze roślin okrytonasiennych, dominowały nagonasienne (liczne paprocie nasienne, sagowce, bennetyty i miłorzębowe). Podstawową grupę drzewostanów stanowiły drzewa iglaste. Nastąpił bujny rozwój różnych gatunków araukariowatych, rodzin głowocisowatych, sosnowatych, zastralinowatych, cisowatych, ale dużo też było liściastych drzew nagonasiennych: sagowcowych i miłorzębów oraz wymarłych dziś: paproci nasiennych (rząd *Caytoniales*) i przeżywających optimum w jurze benetytów. W lasach rosły też zarodnikowe paprocie drzewiaste z rzędu olbrzymkowców *Cyatheales*, jednak udział drzewiastych paproci, zarówno zarodnikowych jak i nasiennych, był znacznie mniejszy niż w poprzednich

okresach. Głównymi roślinami zielnymi były paprocie, natomiast począwszy od końca wczesnej jury inne paprotniki (widłaki, skrzypy) są wyraźnie rzadsze niż w triasie czy późnym paleozoiku. Na lądzie utrzymywały się i rozwijały grupy roślin znanych już z Triasu: widłakowate, wśród których jednak formy drzewiaste oraz skrzypowe były dość rzadkie.

Pojawiają się pierwsze belemnity, które wraz z amonitami, przeżywającymi wówczas bardzo znaczny rozwój (wydzielono opartych na nich ponad 100 poziomów stratygraficznych), były głównym elementem fauny bezkręgowców mórz otwartych. Pojawiły się pierwsze planktoniczne otwornice, które żyły w przypowierzchniowych wodach mórz otwartych. Na obszarach płytszych bardzo intensywnie rozwijały się gąbki przechodzące wtedy optimum rozwoju. Razem z masowo występującymi sinicami oraz glonami budowały bardzo liczne wielkie rafopodobne struktury. Igły gąbek krzemionkowych oraz krzemionka z rozpuszczonych gąbek tworzyły masowo występujące w wapieniach jury krzemienie. Pospolitym składnikiem faun jurajskich były coraz liczniejsze małże i ramienionogi. Wśród liliowców w jurze dokonuje się znaczna zmiana – liliowce bezłodygowe zaczynają przeważać nad łodygowymi. Wśród tych ostatnich notuje się gigantyzm, np. okazy rodzaju *Seiocrinus* ma 20 m długości. Zaczyna się bujny rozwój współczesnych grup rekinów, pojawiają się pierwsze płaszczy, mniej liczne były ryby kostnoszkieletowe (m.in. drapieżny *Leedisichthys*). Szczyt rozwoju przechodziły przejściowce, a wśród ryb ościstych Teleostei, u których zaznaczają się tendencje w budowie charakterystyczne dla większości dzisiejszych form (np. symetria płetwy ogonowej). We wczesnej jurze następuje szybki upadek płazów labiryntodontów, pojawiają się natomiast nieliczne jeszcze płazy ogoniaste oraz płazy bezogonowe należące do rodziny żab. Doszło do znacznego rozwoju gadów, które przystosowały się do różnorodnych środowisk. Wśród gadów morskich, zwłaszcza ichtiozaury i plezjozaury, wśród tych ostatnich pojawiają się największe plezjozaury w dziejach (np. pliozaur *Liopleurodon*). Liczne występowały morskie krokodyle i żółwie. Wśród latających gadów stopniowo podupadały słabo latające ramforynchy, a szybko rozwijały się pterodaktyle. Obie grupy były rybożerne i koncentrowały się głównie na wybrzeżach. Na lądach dominowały dinozaury, przede wszystkim zauropody, które w tym okresie osiągały maksymalizację wymiarów. Największe rozmiary osiągały gadziomiednicze, które były formami głównie roślinożernymi i silnie uzależnionymi od środowiska, ale również drapieżne dinozaury w trakcie jury miały tendencję do uzyskiwania coraz większych rozmiarów, co było odpowiedzią na gigantyzm ich ofiar. Pod koniec jury żył największy drapieżny dinozaur tego okresu – allozaur. Jednocześnie duża grupa 2drapieżnych dinozaurów była niewielka. Wśród ptasiomiedniczych występowały formy zarówno roślinożerne (*Stegosaurus*, *Triceraptos*), jak i drapieżne (*Allosaurus* dwunożny, *Dillophosaurus*). Jurajskimi gadami latającymi, o budowie zbliżonej do budowy współczesnych nietoperzy, były *Ramphorhynchus* i *Pterodactylus*. Pod sam koniec jury pojawił się archeopteryks – praptak wywodzący się z małych drapieżnych dinozaurów. Przy całej kontrowersyjności jego pozycji systematycznej większość badaczy uznaje ten moment za początek istnienia ptaków. Podział między dinozaury latające i prowadzące naziemny tryb życia nie jest jednak jednoznaczny.

W osadach górnojurajskich Bawarii, znaleziono szczątki ptaków

(Archaeopteryx), które żyły około 150 milionów lat temu. Miały one wielkość dzisiejszych gołębi. Wśród ssaków najliczniejsze były roślinożerne wieloguzkowce i drapieżne trykonodonty, w jurze pojawiają się też pierwsze stekowce. Jednak ssaki jurajskie były jeszcze grupą słabo rozwiniętą, były małe, przypominając dzisiejsze ryjówkowate.

I w tej epoce dochodziło do upadków asteroid, których skala mogła spowodować ogromne kataklizmy lokalne, a także mieć wpływ na globalne zmiany klimatyczne. Około 167 milionów lat (środkowa jura) temu doszło do powstania krateru Puczeż-Katunski w obwodzie niżnonowogrodzkim, Rosja. Krater ma 40 km średnicy, a cała struktura uderzeniowa ma średnicę ok. 80 km. Krater nie jest widoczny na powierzchni, ale wyróżnia się szatą roślinną.

Około $145,0 \pm 0,8$ miliona lat temu doszło do uderzenia w Ziemię meteorytu z grupy chondrytów oliwinowo-hiperstenowych, prawdopodobnie o średnicy od 5 – 10 km. Powstały w wyniku tego impaktu krater uderzeniowy Morokweng zidentyfikowany pod powierzchnią pustyni Kalahari, w pobliżu miejscowości Morokweng, Prowincja Północno-Zachodnia, Południowa Afryka, niedaleko granicy z Botswaną, został odkryty w roku 1994. Ma co najmniej 160 km średnicy, (być może nawet 240 km). W wyniku odwiertu w maju 2006 odkryto odłamek tego meteorytu na głębokości 770 m. Być może to ten kataklizm mógł być główną przyczyną zmiany środowiska między jurą i kredą. Nie możemy też wykluczyć, że i on łączył się z wulkanizmem i długotrwałym ochłodzeniem. Z drugiej strony musimy mieć świadomość, że dziś znane nam są ślady tylko niewielkiej części upadków asteroid. Znaczną część z nich skrywają głębiny oceanów.

Rozdział IV

Ostatnie z wielkich wymierań – wymieranie kredowe

Kreda

Kredę szacuje się na lata 145 – 66 mln lat temu. Dzieli się ją w oparciu o rozwój amonitów na dwa oddziały: kredę górną/późną i kredę dolnowczesną. Tak jak i w czasie poprzednich okresów, tak i w kredzie dochodziło do zmian układu kontynentów. Mniej więcej 100 – 120 milionów lat temu Wielka Adria uderzyła w dzisiejszą Europę i rozpadła się na kawałki. Kontynent zaczął zapadać się pod Europę, ale nie w całości. Część skał pozostała na powierzchni i to właśnie dzięki nim naukowcom udało się ustalić, jak duża mogła być Wielka Adria.

Zderzenie doprowadziło także do powiększenia wielu łańcuchów górskich, w tym Alp. Zespół badaczy, pod kierunkiem prof. Douwe van Hinsbergen, z Uniwersytetu w Utrechcie w Holandii staranną pracą zdołał zidentyfikować, kiedy oraz gdzie powstawały badane skały. Odkryto, że Wielka Adria nagle zamiast poruszać się na północ, obróciła się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, przepychając się wówczas między płytami tektonicznymi.

Nie wiemy, jakie były przyczyny ruchu tego kontynentu. Być może doszło do tego wskutek uderzenia wielkiego meteorytu, a może z powodu znacznej zmiany poziomu mórz. Ta druga hipoteza jest jednak mniej prawdopodobna, gdyż badacze wskazują na „nagłość” tych zmian, a także na zmianę kierunku ruchu Adrii.

W końcu wczesnej kredy doszło do wielkiej transgresji morza z oceanu Tetyda, która spowodowała zalanie obszarów będących do tej pory lądem. Zbiornik środkowoeuropejski połączył się z morzem rosyjskim na wschodzie kontynentu. Początkowo powstawały w nim piaski kwarcowe, piaskowce i zlepieńce z glaukonitem i fosforytami. W późnej kredzie transgresja rozszerzyła się i morze pokrywało niemal cały obszar Europy.

Wprowadzony już po wyodrębnieniu okresu kredy podział wskazuje, że już w czasie jego istnienia doszło do wyraźnych zmian w istniejącym wówczas świecie organicznym. Nie były one gwałtowne (choć zapewne dochodziło do wielkich zniszczeń wielu gatunków w wyniku kataklizmów na niektórych obszarach) i zapewne miały różny przebieg na różnych obszarach. Dokładne ich prześledzenie i opisanie wymagają jeszcze wielu badań.

Świat organiczny kredy był zróżnicowany zarówno w środowisku morskim, jak i lądowym. We wczesnym okresie kredowym wciąż obfita była flora podobna jeszcze do jurajskiej. Pojawiało się coraz więcej roślin okrytonasiennych (m.in. buk, brzoza, grab, wierzba, topola, orzech, eukaliptus, platan, bluszcz), lecz

dalej ilościowo przeważały rośliny nagozalążkowe. Występowały widłakowe (reprezentowane przez *Licopodites*, *Isoetites*, *Nuthorstiana*), skrzypowe (*Equiaetites*), paprocie (*Gleichenia*, *Onychiopsis*, *Cladophlebis*, *Rufforida*). Liczne były także rośliny nagonasienne, a wśród nich paprocie nasienne (*Sagenopteris*), miłorzębowe (*Ginkgo*, *Arctobaiera*, *Czekanowskia*, *Sphenobaiera*), sagowce (*Nillsonia*, *Zamites*), bennetyty (*Bennetites*, *Cucadeoidea*, *Otozamites*, *Williamsonia*). Jednak największe znaczenia miały rośliny szpilkowe, głównie araukariowate, cyprysowate, sosnowate i cisowate. W pełnej kredzie w świecie roślin przewagę osiągnęły okrytonasienne. Najdawniejsze okrytonasienne wytwarzające kwiaty pojawiły się w kredzie, 20 milionów lat później (132 miliony lat temu).

Z pierwotniaków tego okresu ważne są wymoczki (*Calpionella*) oraz otwornice *Orbitolina*, *Globigerina*, *Globotruncana*, *Rotalipora*, *Lenticulina*. Szczyt rozwoju osiągnęły wtedy gąbki o szkielecie krzemionkowym (*Siphonia*, *Craticularia*, *Plocoscyphia*). Wśród jamochłonów istotne znaczenie miały koralowce kolonijne. Wśród pierścienic licznie występował rodzaj *Serpula*, często spotyka się też mszywioly (*Membrianipora*, *Retepora*) mające znaczenie skałotwórcze. Kontynuowały linię rozwojową z po-przedniego okresu ramienionogi. Najistotniejszą rolę odgrywały mięczaki, liczne małże, ślimaki i amonity o bogato ornamentowanych muszlach. Duże znaczenie miały również belemnity. Liczne były w kredzie szkarłupnie, ale największe znaczenie odgrywały jeżowce (*Echinocorys*, *Toxaster* i *Micraster*), mniej licznie występowały liliowce (*Marsupites*, *Unitacrinus*, *Antenodon*). W środowiskach wodnych stawonogi reprezentowane były przede wszystkim przez skorupiaki (m.in. *Eryon*, *Pagurus*). Na lądzie powszechne były owady, wśród których pojawiły się modliszki i mrówki.

W świecie ryb przeważały promieniopłetwe i rekiny. Rzadziej występowały płazy. Na lądzie wciąż panowały dinozaury (*Triceratops*, *Iguanodon*, *Tyrannosaurus*, *Tarbosaurus*). W morzach żyły ichtiozaury, mosasaury i plezjozaury (osiągały długość ponad 10 m). Liczne były także krokodyle i żółwie oraz gady latające (*Pteranodon*) i uzębione ptaki (*Ichthyornis*, *Hesperornis*). Występujące wówczas saki były niewielkie: głównie owadożerne, a także drapieżne torbacze i prymitywne łżyskowce. Jednym z takich ssaków był *Purgatorius*, który należał do grupy uważanej za przodków współczesnych naczelnych.

Pod koniec kredy osadzały się wapienie, margle, opoki i kreda pizząca. Wśród roślin zaczynały przeważać okrytonasienne. Zaczęły występować prymitywne ptaki. Z tego okresu pochodzą znalezione w Chinach najstarsze szczątki ssaka łżyskowego – *Eomaia*. *Eomaia*, *eomaja* (†*Eomaia scan-soria*) – wymarły ssak uważany za potencjalnego przodka ssaków łżyskowych. Żył ok. 125 mln lat temu (dolna kreda). Długość ciała 14 cm, masa ciała 25 g. Posiadał długi ogon i potrafił sprawnie poruszać się po gałęziach. Skamieniałość odkryto w prowincji Liaoning w Chinach.

Zmiany w środowisku przyrodniczym w okresie kredy były przypuszczalnie spowodowane kolejnymi kataklizmami. Warto jednak podkreślić, że i tym razem dzisiejsza wiedza każe nam zweryfikować wiele poprzednio przyjętych hipotez,

a nawet teorii. Do powszechnej niemal świadomości trafiła wiedza o tzw. „wymieraniu kredowym” i niemal powszechnie wiąże się ją albo z impaktem około 65 milionów lat temu lub z Trapami Dekanu, tymczasem kataklizmy towarzyszyły tej epoce już od jej zarania, i ich skutkiem było wielokrotnie giniecie wielu gatunków fauny i flory i dziś bardzo trudnym jest ustalenie, który to konkretnie kataklizm jest za to odpowiedzialny. W epoce tej odnotowujemy wiele ogromnych impaktów asteroid.

Asteroidy

Opisywany wyżej, ostatni okres ery mezozoicznej trwał około 80 milionów lat. To czas bardzo długi z zapewne dochodziło w nim do bardzo wielu kataklizmów, z których do dziś udało się odkryć ślady stosunkowo niewiele. Już na początku Kredy doszło do upadku asteroidy w pobliżu dzisiejszej pustyni Kalahari w Republice Południowej Afryki, niedaleko granicy z Bostwaną. Pozostałością tego upadku jest krater Merokweng²⁷, który ma co najmniej 160 km średnicy, być może nawet 240 km. Powstał $145,0 \pm 0,8$ miliona lat temu w wyniku uderzenia meteorytu z grupy chondrytów oliwinowo-hiperstenowych, prawdopodobnie 5-10 km średnicy. W wyniku odwiertu w maju 2006 odkryto odłamek tego meteorytu na głębokości 770 m.

Kolejny krater uderzeniowy Gosse'a zidentyfikowano w Australii na Terytorium Północnym. Jego najlepiej zachowaną częścią jest Urwisko Gosse'a, położone 160 km na zachód od Alice Springs i na północ od Gór Macdonnells, w Dolinie Misjonarzy. Krater powstał około 142,5 miliona lat temu we wczesnej kredzie, w wyniku uderzenia komety lub planetoidy. Średnica tego ciała wynosiła ok. 600 metrów, a w chwili zderzenia z Ziemią utworzyła krater o średnicy ok. 22 km i głębokości ok. 800 metrów. Wyrzucony materiał skalny pokrył obszar ponad 400 km². Obecnie widoczna pozostałość krateru mierzy ok. 4 km średnicy i wznosi się 180 m ponad powierzchnię równiny. Występują w niej liczne stożki zderzeniowe i brekcja monomiktyczna. Późniejsze badania naukowe doprowadziły do stwierdzenia, że formacja ta powstała w skutek uderzenia z dużą prędkością obiektu o małej gęstości, co może sugerować, że mogła to być kometa, a nie skalny lub żelazny meteoroid.

Położony na dnie Morza Barentsa, na północ od wybrzeży Norwegii krater uderzeniowy Mjølnir ma 40 km średnicy i powstał około 142,0 miliona lat temu we wczesnej kredzie na skutek upadku planetoidy o średnicy ok. 2 km. Przyjęta datacja budzi wątpliwości, gdyż w 2006 roku szwedzcy geolodzy znaleźli dowody na to, że około 145 milionów lat temu w ówczesne południowe wybrzeże Szwecji uderzyło tsunami. Niezależnie od tego w 2000 roku odnaleziono ślady tsunami z tego samego okresu na wybrzeżu Francji. Podejrzewa się, że przyczyną powstania tych fal był impakt, który utworzył krater Mjølnir. Fale mogły dotrzeć w te miejsca dzięki innemu niż obecny układowi lądów – między Grenlandią a Skandynawią istniała wąska cieśnina, a wyższy poziom mórz umożliwiał istnienie drogi morskiej także od wschodniej strony Fennoskandii. Być może jednak wspomniane tsunami miało inne źródło

²⁷ Został odkryty w roku 1994.

(np. zapadnięcie się jakiegoś wulkanu). Wspomniane imapakty mogły doprowadzić do znacznego pogłębienia się w tym okresie epoki lodowcowej i ruchów górotwórczych. Tym bardziej, że należy je łączyć ze wzrostem wulkanizmu.

W 1989 roku, dzięki badaniom sejsmicznym przy poszukiwaniu złóż ropy naftowej, zidentyfikowano krater uderzeniowy Tookoonooka w południowo-wschodnim Queenslandzie, w Australii. Ocenia się, że powstał ok. 128 milionów lat temu (we wczesnej kredzie). Ma średnicę 55 km i jest dziesiątym największym potwierdzonym kraterem uderzeniowym na Ziemi. Został zidentyfikowany w 1989 roku dzięki badaniom sejsmicznym przy poszukiwaniu złóż ropy naftowej. Jest pogrzebany w mezozoicznych osadach basenu sedimentacyjnego Eromanga i żaden jego fragment nie jest widoczny na powierzchni. Impaktowe pochodzenie struktury zostało dowiedzione dzięki znalezieniu kwarcu szokowego w rdzeniach z odwiertów. Dane sejsmiczne ukazują w pobliżu inną podobną strukturę o tym samym wieku, nazwaną Talundilly, która również może być kraterem uderzeniowym, jednak ze względu na brak wierceń w jej obszarze nie jest to potwierdzone. Warto tu zwrócić uwagę na powiązanie tych kraterów ze złożami ropy. To jedna z ważnych przesłanek dowodzących, że do powstania ropy naftowej i gazu ziemnego doszło w wyniku ich uderzenia asteroid²⁸.

Krater uderzeniowy Vargeão położony w stanie Santa Catarina w Brazylii, w obrębie Basenu Parany. Jest odsłonięty na powierzchni ziemi. Krater powstał 123 miliony lat temu, we wczesnej kredzie. Ma średnicę 12 km, utworzył się w skałach osadowych pokrywających podłoże krystaliczne. Strukturę rozpoznano dzięki zdjęciom lotniczym i satelitarnym w 1971 roku. Tworzą ją koncentryczne wzgórza położone w rozległym obniżeniu terenu, z centralnie położonym wzniesieniem. Początkowo interpretowano tę strukturę jako wytwór wulkanizmu; w 1993 roku znalezione zostały dowody na uderzenie obiektu pozaziemskiego.

Wiek położonego na Pustyni Libijskiej krateru uderzeniowego Oasis został oceniony na mniej niż 120 milionów lat. Został utworzony przez uderzenie małej planetoidy w skały osadowe. Wyróżniający się w topografii pierścień tworzy wyniesienie centralne krateru, sam krater w znacznym stopniu został zerodowany; jego pierwotna średnica jest oceniana na 18 km.

Pod koniec drugiej dekady XXI wieku w Australii w pobliżu górniczego miasta Ora Banda Goldfields, na północny zachód od Kalgoorlie-Boulder, odkryto krater uderzeniowy Ora Banda. Jego średnica wynosi 5 km i uważa się, że powstał on w wyniku upadku asteroidy o średnicy 100-200 m. Jest datowany na ponad 100 mln lat.

Krater uderzeniowy Steen River został zidentyfikowany w prowincji Alberta w Kanadzie. Powstał 91 milionów lat temu, we późnej kredzie do jego utworzenia doszło w skałach krystalicznych pokrytych warstwą skał osadowych. Obecnie jest pogrzebany pod młodszymi osadami.

²⁸ Należy podkreślić, że złoża ropy naftowej występują w utworach wszystkich okresów geologicznych. Jednak najwięcej, bo ok. 50 proc., pochodzi z mezozoiku i trzeciorzędu.

Przypuszczalnie ok. 90 mln lat temu doszło do powstania krateru Avak znajdującego się około 12 km (7,5 mil) na południowy wschód od Utqiagvik na Alasce w Stanach Zjednoczonych²⁹.

Avak to podkolista konstrukcja o średnicy około 12 km (7,5 mil) i głębokości 1 km (0,62 mil). Uderzenie miało miejsce pomiędzy 3 a 95 milionami lat temu. Dane palinologiczne dotyczące jego wyrzutu sugerują, że uderzenie miało miejsce w okresie środkowo-późnego turonu (około 90 milionów lat temu). Struktura Avak stanowi pułapkę strukturalną dla gazu ziemnego na sąsiednich polach gazowych South Barrow i East Barrow. Pola te zgromadziły około 37 bcf gazu ziemnego w piaskowcach jurajskich.

Dellen to jezioro meteorytowe w Szwecji, niedaleko jej wybrzeża bałtyckiego. Ma powierzchnię 131 km². Tworzą je dwa akweny, północny (Norrdellen, o powierzchni 81 km²) i południowy (Sördellen, o powierzchni 50 km²), połączone cieśniną Norrboån, przez którą wody z północnego zbiornika wlewają się do południowego. Leży w środkowo-wschodniej części kraju, w historycznej prowincji Hälsingland. Jest osiemnastym pod względem powierzchni jeziorem Szwecji. Jezioro to wypełnia drugi co do wielkości krater uderzeniowy w Szwecji, o średnicy 19 kilometrów. Powstał on 89 milionów lat temu, w późnej kredzie, w wyniku upadku małej planetoidy, przypuszczalnie kamiennej, która uderzyła w skały granitowe. Od tego jeziora pochodzi nazwa planetoidy Dellen (niemającej nic wspólnego z uderzeniem, które utworzyło krater).

Około 74 miliony lat temu, prawdopodobnie w wyniku uderzenia meteorytu kamiennego (chondrytu) o średnicy ok. 2 km, doszło do powstania krateru uderzeniowego w pobliżu miejscowości Manson, w stanie Iowa w USA. Krater ten jest zupełnie niewidoczny na powierzchni: przykryty jest gliną zwałową z okresu zlodowacenia, a powierzchnia jest obecnie w tym miejscu płaska. Obecnie rozpoznawalna struktura krateru ma średnicę ok. 35 km. Anomalię geologiczną pod miastem Manson wykryto już w 1912 roku, stwierdzając, że woda wydobywana spod ziemi jest w tym rejonie nietypowo miękka jak na stan Iowa, a skały krystaliczne leżą tu zaledwie 380 m pod powierzchnią ziemi (wiercono w obszarze wyniesienia centralnego).

Krater uderzeniowy Kara (Karskij) na Półwyspie Jugorskim (Nieniecki Okręg Autonomiczny, Rosja) powstał $70,3 \pm 2,2$ miliona lat temu (datowanie izotopowe

²⁹ Struktura Avak została po raz pierwszy rozpoznana na podstawie badań sejsmicznych w Narodowym Rezerwacie Ropy Naftowej nr 4 (NPR4) przez Marynarkę Wojenną Stanów Zjednoczonych w latach 1943–1953. Marynarka wojenna wykonała odwiert Avak 1 w latach 1951–1952 i napotkała zdeformowane skały w pobliżu powierzchni do całkowitej głębokości 1225 m (4019 stóp). Znalezione stożki stłuczone i inne dowody pochodzenia uderzeniowego. W 1995 roku geolodzy z Kanadyjskiej Służby Geologicznej i amerykańskiej Służby Geologicznej odkryli kolejną grupę cech mineralogicznych wskazujących, że Avak jest strukturą powstałą po uderzeniu meteorytu: płaskie cechy deformacji.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$). Obecna jego znacznie zerodowana struktura ma średnicę około 65 km, ale oryginalny krater, obecnie pomniejszony z powodu erozji, miał prawdopodobnie około 120 km średnicy, obecnie jest niewidoczny na powierzchni. Rozpoznany został w latach 70. XX wieku. Początkowo przypuszczano istnienie dwóch kraterów blisko siebie: pierwszy (Kara) położony u ujścia rzeki Kary do Zatoki Bajdarckiej, oraz drugi (Kara-Ust) położony w większości w morzu. Później wykonana grawimetria terenu wskazuje na istnienie jednego, większego krateru. Biorąc uwagę skalę tego impaktu musimy założyć, że proces wymierania (przynajmniej na niektórych obszarach) miał miejsce już miliony lat wcześniej niż dotychczas przypuszczano.

Z czasem doszło do odkrycia śladów kolejnych impaktów (na Ukrainie, Morzu Północnym, w Kanadzie i Brazylii), które miały miejsce pod koniec kredy, na przestrzeni kilkuset lat. Są datowane na początek paleocenu, podczas gdy wspomniane dwa największe związać można bezpośrednio z granicą er.

Krater Bołtysz na Ukrainie, datowany na 65,59 milionów lat temu z niepewnością rzędu 0,5 miliona lat w każdym kierunku powstał w wyniku impaktu mniejszej asteroidy. Wydaje się, że poza otoczeniem miejsca uderzenia asteroida ta wyrządziła relatywnie niewielkie szkody, a skamieniałości z krateru wskazują na to, że uderzenie w Bołtysz miało miejsce kilka tysięcy lat przed końcem kredy (Spicer i Collinson, 2014). Możemy jednak na podstawie analizy innych podobnych w skali impaktów założyć, że i ten kataklizm mógł przyczynić się do przedłużenia okresu ochłodzenia klimatu i zlodowacenia. Krater Silverpit na dnie Morza Północnego, został odkryty w czasie poszukiwania złóż ropy naftowej, w roku 2002. Badania pozwoliły oszacować jego wiek na od 45 do 74 milionów lat (późna kreda, paleocen, eocen), ma średnicę około 2,4 km. Otaczają go pierścienie sięgające 10 km od jego środka. Podobna struktura jest charakterystyczna dla sporej części kraterów uderzeniowych. Czynnikiem, który utrudnia właściwą interpretację struktury krateru, jest mała ilość znanych podmorskich kraterów. Możliwe, że na dnie morza procesy fizyczne związane z kolizją prowadzą do powstania pierścieni dla dużo mniejszych kraterów, niż w przypadku upadku bolidu na lądzie.

Uderzenia te i następne, np. w Brazylii (Vista Alegre w stanie Parana) i Kanadzie (Eagle Butte w prowincji Alberta) prawdopodobnie następowały na przestrzeni kilkuset tysięcy lat. Mając już taką wiedzę, możemy uznać teorię wielokrotnego uderzenia za bardzo prawdopodobną (bo wiek kraterów uderzeniowych jest znany z dokładnością rzędu milionów lat). Zamiast jednej podzielonej na fragmenty komety na Ziemię mogło spaść kilka bolidów w odstępie kilku milionów lat.

Wulkanizm

Za alternatywę dla pozaziemskiego czynnika wymierania z przełomu K/T uznawano wzmożony wulkanizm. W prowincji Parana-Etendeka rozpoznano największe ignimbryty, produkty wielkich erupcji eksplozyjnych (DRE do 8587

km³, M do 9.3) o wieku 132 mln lat. Erupcje o takiej skali zbliżają się zapewne do największych możliwych na naszej planecie, co uwarunkowane jest możliwością rozwoju odpowiednio dużych zbiorników magmy w skorupie Ziemi.

Moim zdaniem, nie powinniśmy mówić o alternatywie, lecz raczej o uzupełnianiu się różnych czynników. Początki wielkich erupcji wulkanicznych tego okresu można np. wiązać z uderzeniem Shiwy. Odnośnie do wulkanizmu, ze względu na zbieżność czasową, za najaktywniejszy paleoobszar przyjęto płw. Dekanu, będący dziś częścią Półwyspu Indyjskiego. Naukowcy przypuszczają, że kiedy doszło do erupcji w miejscu, gdzie obecnie znajdują się Trapy Dekanu – Indie były wtedy jeszcze samodzielnym kontynentem pchanym przez tektonikę płyt na spotkanie Azji. Zdaniem badaczy, to właśnie ta kolizja była przyczyną aż takiego wulkanizmu. Trapy Dekanu wybuchały czterokrotnie, za każdym razem przez około 100 lat. Co ciekawe, ich erupcja miała nastąpić dziesiątki tysięcy lat przed upadkiem planetoidy, która wybiła krater Chicxulub na wybrzeżu półwyspu Jukatan. Okazuje się też, że przeszło 75 proc. lawy wylało się z Trapów Dekanu blisko 600 tys. lat po wielkim wymieraniu u schyłku kredy. Największe wylewy lawy stwierdzono (DRE=9300km³, M=9.4) na okres 64.8 mln lat. Erupcja, która doprowadziła do powstania płaskowyżu Dekan wygenerowała rzeki gorącej lawy rozlewające się na powierzchni trzykrotnie większej od Francji. Pokłady lawy z tego okresu zajmują 500.000 km² i sięgają grubości 2 km. Badania wykazały, że niektóre pojedyncze erupcje trwały 30000 lat, emitując do atmosfery ponad 1,5 biliona ton siarki i tworząc pokłady lawy grube na 600 m. Najdłuższy zmierzony strumień lawy miał ponad 1500 km i zatrzymał się, dlatego że dotarł do oceanu. Warstwa lawy o grubości około 3 km narastała epizodycznie w okresie 750.000 lat, ale w okresie masowego wymierania aktywność wulkaniczna była szczególnie duża – w krótkim czasie (kilku tysiącleci) pokrywającym się z masowym wymieraniem miały miejsce 4 szczególnie potężne mega-erupcje. Wylewy law skutkowały ponadto kwaśnymi deszczami, zmianami klimatu i chemizmu wód, ponieważ materiał wyrzucony do atmosfery w wyniku erupcji wulkanicznych mógł w taki sam sposób, jak efekt upadku meteorytu przyczynić się do ochładzania klimatu poprzez dostarczanie do atmosfery związków siarki. Emisje gazów w okresie formowania się trapów Dekanu były tak potężne i gwałtowne, że przekroczyły zdolność oceanów do absorpcji CO₂, przez co jego stężenie atmosferyczne przez kilka tysiącleci gwałtownie rosło. Gdy krótkotrwała zima wulkaniczna osłabła, objawił się drugi skutek erupcji: globalne ocieplenie i zakwaszenie oceanów. Temperatura powierzchni Ziemi wzrosła o 8 °C na lądach i 4 °C na obszarze oceanów, a równocześnie wielkie ilości CO₂ rozpuszczały się stopniowo w wodach oceanów, powodując wzrost ich kwasowości. Aeroszol siarkowy stopniowo zanikał, opadając jako kwaśny deszcz, zakwaszający dodatkowo lądy i oceany. W końcu pH oceanów obniżył się na tyle, że wapienne skorupki organizmów morskich rozpuściły się, a nowe nie mogły powstać.

Podobnie jak w przypadku trapów Syberii nie można wykluczyć, że i trapy Dekanu powstały wskutek impaktów ogromnych asteroid. W obu wypadkach nie dostrzegamy typowych dla wulkanizmu kalder powulkanicznych, trudno też wskazać miejsce wypływu lawy. Przypuszczam, że magma stanowiąca zasoby wulkanów również powstała w wyniku impaktów asteroid. W tym wypadku do jej powstania doszło już w głębi skorupy ziemskiej i dopiero z

czasem pod wpływem ruchu płyt tektonicznych wydobywa się ona na powierzchnię ziemi.

Zespół naukowców opierając się na badaniach zawartości izotopów tlenu znalezionych w rybach zębach odkrytych w osadach w Tunezji pochodzących z czasów po upadku Shiva, doszedł do wniosku, że po spowodowanym upadkiem tej planetoidy ochłodzeniu przyszło globalne ocieplenie trwające 100 tys. lat. Znaczne ochłodzenie, które było wynikiem upadku wspomnianej planetoidy musiało wpłynąć na znaczny wzrost lodowców, a co za tym idzie obniżenie poziomu oceanów, kolejne ocieplenie spowodowało znów wzrost poziomu wód. Wpłynęło to zapewne na przemieszczanie się kontynentów i związaną z tym orogenezę oraz wulkanizm. Zmiany poziomu oceanów w późnej kredzie (wahania poziomu sięgały nawet 200 metrów) powodowały zmiany chemizmu wód. Podniesienia się poziomu mórz nawet o 200 m wiązało się z szybkim powiększeniem się strefy dennej oceanu, w której panują szkodliwe dla większości organizmów żywych warunki niedoboru tlenu. Powyższe wyjaśnienie dotyczące zmiany chemizmu wód uważam za niewystarczające. Moim zdaniem, doszło do niego wskutek upadków asteroid.

Wymieranie kredowe

Prawie powszechnie w nauce przyjmuje się, że około 66 milionów lat temu, doszło do ostatniego z wielkich wymierań – wymierania kredowego. Nie ma jednoznacznej teorii mówiącej o powodach tak nagłego wymierania. Najpopularniejszą z nich jest uderzenie planetoidy, czego dowodem są pozostałości po kraterze Chicxulub znajdujące się na półwyspie Jukatan w Ameryce Środkowej. Inni badacze jako przyczynę sugerują wulkanizm. Według jeszcze innych teorii – które wydają mi się najwłaściwsze – wymieranie mogło być spowodowane kilkoma czynnikami takimi jak, wielokrotne kolizje planetoid z naszą planetą oraz wzmożonym wulkanizmem w okolicach dzisiejszych Indii, w trakcie którego powstały trapy Dekanu oraz zmiany klimatyczne spowodowane tymi wydarzeniami. Warto też zwrócić uwagę i na to, że to tzw. *wielkie wymieranie* trwało dziesiątki, a może nawet setki tysięcy lat, niektóre gatunki zapewne ginęły nieco wcześniej lub później. Teoria tzw. „wielkiego wymierania” wynika w znacznej mierze z natury naszego postrzegania, dążenia do pewnych uproszczeń i „spłaszczania” czasu w historii. Nawet tysiąc lat w rozwoju Ziemi to okres bardzo długi i jak zauważymy w kolejnych rozdziałach, mogło się w takim okresie wydarzyć bardzo wiele. Kataklizmów, które wpływały na środowisko, oraz zmiany klimatyczne w każdym tysiącleciu było zapewne znacznie więcej niż te, które przytaczam w mojej pracy. Niektóre były zapewne nieco lub znacznie mniejsze, śladów wielu jeszcze nie poznaliśmy.

Szukając przyczyn tzw. „wymierania kredowego” badacze już dość dawno zaczęli wiązać je z impaktem meteorytu. Pod koniec XX wieku na pograniczu osadów kredy i paleogenu w wielu miejscach na kuli ziemskiej odnotowano wyjątkowo wysoką koncentrację irydu, który wykazuje duże zawartości w ciałach kosmicznych. Zaczęto przypuszczać, że anomalia taka może świadczyć o upadku wielkiego meteorytu, o średnicy około 10 km. Dodatkowymi dowodami były mikrotektyty, mikrokrystyty i kwarce szokowe. W 1991 r. w osadach górnej

kredy w rejonie Chicxulub (półwysep Jukatan) odkryto krater meteorytowy o średnicy ok. 170 km. To właśnie upadek tego meteorytu początkowo uznawano za przyczynę późno kredowego kryzysu biotycznego. Szacuje się, że jej uderzenie w płytkie morze, w którego miejscu dzisiaj znajdują się Zatoka Meksykańska i półwysep Jukatan, wyzwoliło dwa miliony razy więcej energii niż najpotężniejsza bomba wodorowa w dziejach ludzkości zwana „Carem”, którą Związek Radziecki zdetonował w 1961 roku. Najnowsze datowania wskazują jednak, iż poprzedził on wymieranie późnokredowe o około 300 tys. lat.

Krater Chicxulub, który powstał *na skutek upadku* komety lub dużej planetoidy, z którym to uderzeniem wiązano tzw. wymieranie kredowe, w tym wyginięcie dinozaurów. Do upadku asteroidy doszło na półwyspie Jukatan w Meksyku, w pobliżu miejscowości Chicxulub, od której został nazwany. Szacunki dotyczące średnicy krateru wahają się od 106 do 186 mil (170 do 300 kilometrów) i około 1 km głębokości. Jego początkowa głębokość wynosiła około 30 km. Struktura uderzeniowa pochodzi z przełomu kredy i paleogenu, sprzed 66,038 mln lat (według niektórych jest około 300 tysięcy lat starsza).

Uderzenie wyzwoliło energię ok. 4×10^{23} J, równoważną eksplozji ok. 100 teraton TNT). Taki efekt mogło mieć uderzenie planetoidy o średnicy 10 km i masie biliona ton, przy prędkości 20 km/s, bądź uderzenie komety o mniejszej masie, lecz poruszającej się ze znacznie większą prędkością. Symulacje komputerowe przeprowadzane przez zespół z Imperial College London w 2020 roku jako najprawdopodobniejsze wskazały uderzenie z kierunku północno-wschodniego pod kątem około 60° . Eksplozja spowodowała emisję związków siarki, które w postaci aerozoli zablokowały promienie słoneczne, zatrzymując fotosyntezę i gwałtownie ochładzając klimat. Wywołana upadkiem fala tsunami spustoszyła wybrzeża Zatoki Meksykańskiej i Morza Karaibskiego. Wyrzucony w powietrze materiał mógł unosić się w atmosferze przez kilka lat, doprowadzając do zmian klimatycznych podobnych do zimy nuklearnej.

Powstanie krateru Chicxulub zbiegło się w czasie z wielkim wymieraniem kończącym okres kredowy, w którym wyginęło wiele grup zwierząt, m.in. dinozaury, pterozaurowe, amonity, belemnity i większość gatunków otwornic. Teorię tłumaczącą wymieranie kredowe upadkiem ciała niebieskiego o średnicy około 10 km przedstawili w 1980 roku Luis i Walter Alvarezowie oraz Frank Asara i Helen Michel. Dowodem ma być obecność irydu w warstwach geologicznych z przełomu kredy i paleogenu. Odkrycie krateru Chicxulub potwierdziło, że pod koniec kredy doszło do zderzenia planetoidy lub komety z Ziemią. Towarzyszyć mu mogą inne struktury uderzeniowe z tego okresu, jak krater Bołysz czy (dotąd niepotwierdzone) krater Silverpit i Śiwa.

Naukowcy w większości są zgodni, że zderzenie odegrało rolę w wymieraniu kredowym, choć możliwa jest także rola wzmożonego wulkanizmu, który utworzył trapy Dekanu. W 2010 Peter Schulte i współpracownicy zasugerowali, że uderzenie planetoidy w Chicxulub całkowicie tłumaczy zmiany środowiska i towarzyszące im wymieranie. Inni paleontolodzy i geolodzy nie zgadzają się, wskazując nieuwzględnienie danych paleontologicznych, które wymieranie każą tłumaczyć wieloma czynnikami.

Po odkryciu śladów kolejnych impaktów, których wstępne datowania wykazały, że są one mniej więcej równowiekowe z astroblemą na Jukatanie stworzono teorię wielu impaktów. Teoria ta zakładała, że olbrzymia asteroida rozpadła się na kilka fragmentów, z których każdy spadł w tym samym czasie, ale w innej części świata. Późniejsze badania wykazały jednak, że teoria mówiąca o „jednoczesności” okazała się wątpliwa. Paleontolog dr Sankar Chatterjee badał olbrzymi 500 km krater znajdujący się w Indiach, któremu nadał nazwę Shiva, od imienia hinduskiej bogini zniszczenia. Badania wieku struktury wskazywały jednak na to, że do tego impaktu doszło mniej więcej w tym samym czasie, na który datowano „wymieranie kredowe”. Teorię o rozpadzie musimy odrzucić, jeśli jednak weźmiemy pod uwagę wielkość krateru Chicxulub to należy przyjąć, że i on znacząco wpłynął na wymieranie gatunków już 300 tys. lat wcześniej. W takim razie być może powinniśmy przyjąć, że do tzw. „wymierania kredowego” dochodziło w dłuższym okresie.

Krater Shiva, który uznano za kolejną główną przyczynę „wymierania kredowego”, został utworzony w dnie morskim (na Morzu Arabskim, na zachód od wybrzeża Indii), na skutek spreadingu (rozciągania dna morskiego) i przybrał postać łzy o wymiarach 600×400 km. Przypuszczalnie utworzyła go asteroida o średnicy nawet 40 km. Uderzenie w Ziemię ciała o takiej wielkości uwolniłoby $1,45 \times 10^{25}$ dżuli energii kinetycznej i doprowadziło do kilku anomalii geodynamicznych. Eksplozja takiego impaktu byłaby 100 razy silniejsza od tej na Jukatanie. W indyjskich stanowiskach z osadami granicy K/T odnotowano wystąpienia wysokich stężeń irydu oraz kwarców zszokowanych powstałych w bardzo wysokich ciśnieniach pod pokrywą dawnych wylewów magmowych. Tym razem, więc skutki impaktu musiały być znacznie większe. Być może to w jego wyniku doszło do powstania ryftu, wzdłuż którego Seszele oderwały się od Dekanu oraz intensywny wulkanizm Dekanu? Według rekonstrukcji dryfu kontynentów w czasie impaktu Indie stanowiły dużą wyspę, po odłączeniu się Madagaskaru, znajdującą się mniej więcej w połowie drogi pomiędzy Afryką a Azją. Część badaczy nie zgadza się jednak z hipotezą pozaziemskiego pochodzenia tej struktury, sugerując, że kwarc szokowy może pochodzić z impaktu na Jukatanie i zwracając uwagę na rzadko spotykany wydłużony kształt domniemanego krateru. Badania krateru Śiwa są bardzo utrudnione, gdyż obszar, na którym się on znajduje jest pod kontrolą kompanii naftowych i rządu Indii, które ograniczają wstęp geologom. Istniejące na tym obszarze złoża ropy są warte odnotowania. Znajdujemy takie w miejscach wielu impaktów, co może sugerować, że istnieje tu jakiś związek, a jednocześnie potwierdzać i ten impakt.

Wbrew powszechnie przyjętym pod koniec XX wieku teoriom, jakoby sam Chicxulub lub później Shiwa miały wyeliminować większość zwierząt na Ziemi, rozpoczęły się badania nad kilkoma innymi strukturami poimpaktowymi. Kolejne odkrycia wskazują, że proces „wymierania kredowego” rozpoczął się wcześniej i trwał znacznie dłużej niż wcześniej przypuszczano.

Ponieważ między wspomnianymi kataklizmami były znaczne odstępy w czasie, powinniśmy założyć, że następowały wówczas duże wahania temperatur. Bywały okresy, gdy średnia temperatura lądu mogła spaść aż o 28 °C, a oceanu – o 11 °C., ale przecież za każdym razem po jakimś czasie pyły

poinpaktowe opadały i temperatura ponownie wzrastała. Według obliczeń uczonych po ochłodzeniu sytuacja zaczęła wracać do normy po około pięciu latach. Dalsze podnoszenie temperatury opóźniały zapewne powstałe po katastrofie lodowce, a także wulkanizm, który wzrósł wraz z ociepleniem. Powstałe lodowce topniały, poziom wód ówczesnych oceanów bardzo się podnosił. Wszystkie te czynniki powodowały przemieszczanie się płyt tektonicznych, procesy orogenezy i wulkanizm.

Niezależnie od tego, czy – jak wskazywałyby ostatnie odkrycia – proces tzw. *wymierania kredowego* był skutkiem kataklizmów, które miały miejsce w całym tym okresie, czy też trwał on względnie krótko, od kilku do kilkaset tysięcy lat, w okresie kredy, lub tylko pod jego koniec wyginęło około 75% gatunków zwierząt i roślin. Wyginęła większość zwierząt prowadzących naziemny tryb życia, w tym dinozaury. Doszło do wymarcia amonitów i zdecydowanej większości belemnitów oraz wielkich gadów (dinozaurów), wielu grup makro- i mikrofauny oraz roślin lądowych; nastąpił koniec tzw. ery gadów.

Uważam, że zagłada gatunków tego okresu, jak i poprzednie tzw. „wielkie wymierania”, nie była procesem jednorazowym. Kiedy mówimy o globalnym wymieraniu problemem jest nie tyle określenie miejsca, co czasu? Datowania radiometryczne (oznaczanie czasu wystąpienia zdarzenia na podstawie rozpadu pierwiastków radioaktywnych) w skali milionów lat, którą operują geolodzy, prowadzą do wniosku, że globalne wymieranie, które przyniosło zagładę dinozaurów, dekańskie erupcje wulkaniczne i upadek asteroidy w Chicxulub wystąpiły prawie w tym samym okresie. Nie wiemy jednak, czy badacze poddali tym badaniom wszystkie ówczesne gatunki. Współczesne narzędzia datowania radiometrycznego nie pozwalają ponadto, niestety, na osiągnięcie niezbędnej precyzji. Aby zawęzić ramy czasowe naukowcy muszą uciekać się do metod detektywistycznych i badać dodatkowe poszlaki: skamieniałości, zachwiania orbity Ziemi czy fluktuacje pola magnetycznego. Ustalenie wyraźnych granic czasowych przypomina – ze względu na nieuniknione rozbieżności pomiędzy różnymi opracowaniami, lokalizacjami, skałami pochodzenia morskiego i lądowego – znalezienie momentu, w którym podskakujące w górę i w dół na pełnym fal morzu łódeczki znajdują się na tym samym poziomie. Pomocne jest ustalenie konkretnego punktu jako miejsca odniesienia. Oficjalna data końca kredy ustalona jest na podstawie warstwy „masowego wymierania”, występującej w skałach pochodzenia morskiego w północnej Tunezji. W skałach osadowych można wyróżnić poziomy tworzone przez skamieniałości małych morskich żyłatek zwanych otwornicami. Często ewoluują one w nowe gatunki o różnych kształtach skorupki, obecność konkretnego gatunku czy odmiany, pozwala więc wyznaczać granice czasowe, w których powstała dana warstwa (Biostratygrafia). W tunezyjskich skałach znacznikiem masowego wymierania pod koniec okresu kredowego jest przejście pomiędzy warstwami „CF1” i „P0”. Podobne przejścia można odnaleźć w skałach pochodzenia morskiego na całym świecie podobnie jak wyraźną warstwę ilastą z czerwoną warstwą o dużej zawartości irydu dołu. Występujący w tej warstwie skok stosunku izotopów węgla $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ pokazuje poważne załamanie globalnego cyklu węglowego w tamtym okresie (Keller 2015). Jednak najlepsze do tej pory datowanie końca kredy wyznaczono na

podstawie skał z Montany. Te skały, pochodzenia lądowego, ściśnięte są między warstwami, w których po raz ostatni pojawiają się pyłki roślin kredowych, a warstwami zawierającymi pierwsze pyłkowe skamieniałości pokredowe. Datowane są na 66,043 milionów lat temu (Renne i in., 2013) z niepewnością 43 000 lat w każdą stronę. Ta data jest (z dokładnością 5000 lat) właściwie identyczna jak datowanie dla tektytów – śladów kolizji – znalezionych na Haiti. Wskazywałoby to, że upadek asteroidy faktycznie miał miejsce w czasie masowego wymierania. Problem w tym, że znalezione wraz z haitańskimi tektytami morskie skamieniałości pochodzą z innego przedziału czasowego, co najmniej 100.000 lat młodszego. Wskazuje to, że tektyty mogły zostać przemieszczone podczas późniejszych procesów sedymentacyjnych, przez co nie mogą służyć do wskazania prawdziwej daty kolizji (Mateo i in., 2015).

Wymieranie prawie nie dotknęło owadów. Torbacze gorzej poradziły sobie z przejściem do paleogenu niż łożyskowce. Kryzys kredowy przetrwały ryby, krokodyle i żółwie, podczas gdy gady morskie, pterozaurowe i dinozaury wyginęły. Ponadto wyginiecień wielu grup nie można powiązać z czasem upadku konkretnego meteorytu. Według naukowców ekosystemy już przed impaktem były osłabione.

Rozdział V

Między kredą a plejstocenem – era kenozoiczna

W erze kenozoicznej w dalszym ciągu ulegało zmianom położenie kontynentów. Likwidacji uległ ocean Tetyda, a bezpośrednim tego wynikiem było powstanie śródziemnomorsko-himalajskiej alpejskiej strefy fałdowej. Uległ poszerzeniu Atlantyk i ocean Indyjski, a zmniejszył się Pacyfik. Na jego granicy z otaczającymi blokami kontynentalnymi powstały pasma fałdowe Kordylierów i Andów. Na kenozoik przypada maksimum górotwórczości alpejskiej. Złożony ruch płyt na południu Europy i Azji zapoczątkowany w mezozoiku doprowadził do powstania alpejskich łańcuchów fałdowych. Wśród alpejskich pasm fałdowych liczne są intruzje magmowe i skały wulkaniczne, a wulkany w wielu regionach są czynne do dziś. W strefie wokół pacyficznej ukształtował się łańcuch Andów i Kordylierów.

Fauna i flora kenozoiku była bardzo bogata i zróżnicowana. Szczególnie bujny rozwój przeżywały otwornice, małże i ślimaki oraz ssaki i ptaki. Z czasem fauna stawała się coraz bardziej podobna do współczesnej. Wielkie wymieranie, którego kulminacja miała miejsce około 65 mln lat temu, paradoksalnie okazało się szansą rozwoju dla ptaków i ssaków, które pozostawały w cieniu gadów przez ponad 150 mln lat. Wymarcie większości gadów spowodowało pojawienie się wielu wolnych siedlisk i źródeł pokarmu, które zostały wykorzystane przez szybko różnicujące się ssaki i ptaki. Sprzyjał temu świat zdominowany przez rośliny okrytonasienne o bujnych liściach, pożywnych kwiatach i owocach. Pierwsze ssaki, podobnie jak ich gadzi przodkowie, składały jaja. W wielu liniach rozwojowych ssaków powstał jednak nowy sposób rozmnażania – żyworodność. Nastąpiło u nich również zróżnicowanie uzębienia, które umożliwiało lepsze wykorzystanie pokarmu. Wraz z ekspansją roślin zielnych, a wśród nich traw, które pokryły rozległe równiny, następował rozwój ssaków roślinożernych. Pojawiły się ssaki kopytne, m.in. przodkowie współczesnych koni, antylop, bydła. Rozwój ssaków roślinożernych przyczynił się do rozwoju polujących na nie zwierząt drapieżnych. Pojawiły się zwierzęta z rodzin kotowatych i psowatych. 23 mln lat temu w bujnych lasach żyły na drzewach pierwsze naczelne, przodkowie współczesnych małp i małpiatek, z których wkrótce wydzieliły się linie wiodące do człowiekowatych. 23 mln lat temu na kontynentach żyło coraz więcej różnorodnych gatunków ssaków. Niektóre z nich, m.in. przodkowie waleni, zwierząt pochodzących od kopytnych, zaczęły zasiedlać ponownie wody mórz i oceanów. Ptaki rozwinęły się z gadów należących do jednej z grup dinozaurów. Ważnymi etapami w ewolucji ptaków było udoskonalenie wymiany gazowej, przekształcenie kończyn przednich w skrzydła i pokrycie ciała lekkimi i elastycznymi piórami. Wkrótce po wielkiej katastrofie, 65 mln lat temu, powstały nowe gatunki ptaków, przypominające te, które żyją obecnie. Pojawiły się ptaki blaszkodziobe (kaczki, gęsi, łabędzie), ptaki drapieżne, nurkujące i nietoty, takie jak strusie, nandu. Osiągały one zwykle imponujące rozmiary.

Paleogen (66 – 23,03 mln lat temu)

Paleogen dzieli się na: paleocen, eocen i oligocen. W tym okresie Australia oderwała się od Antarktydy, w dalszym ciągu rozszerzał się Atlantyk i Ocean Indyjski. Zawężała się Tetyda, która pod koniec okresu uległa niemal całkowitej likwidacji, oraz Pacyfik. Dekan i inne bloki kontynentalne, będące fragmentami dawnego kontynentu Gondwany, zderzały się z Eurazją, tworząc śródziemnomorsko-himalajską strefę fałdową. Na bloki kontynentalne wkraczały płytkie zbiorniki morskie, w których tworzyły się osady węglanowe i okruchowe.

Na przełomie paleocenu i eocenu rozpoczęło się ocieplenie trwające przez cały wczesny eocen. Nawet w obszarach podbiegunowych temperatura wód powierzchniowych i głębokomorskich wzrosła do 15 – 18 °C, co nastąpiło w okresie krótszym niż 3000 lat. Przyczyny tego ocieplenia nie są jasne. Moim zdaniem wpływało na to względne ograniczenie erupcji wulkanicznych i impaktów kosmicznych. Z końcem eocenu klimat ochłodził się i stał się bardziej suchy. W związku z tym wymarło wiele gatunków ssaków na obszarze Europy i Ameryki Północnej, zwłaszcza roślinożernych, m.in. brontoteria. Na lądzie wilgotnolubną roślinność zastąpiły suche lasy i obszary stepowe. Oziębiający wpływ wód oceanicznych nasilił się pod koniec paleogenu, kiedy wokół Antarktydy powstał zimny prąd morski, a na kontynencie tym rozwinęła się pokrywa lodowa.

Wśród flory bardzo duże znaczenie jako skamieniałości przewodnie miały kokolitowce żyjące w środowisku morskim. Doszło już do powstania flory lądowej zbliżonej do współczesnej. Łądy porastały zarówno mszaki, widłakowe, skrzypowe, paprociowe, sagowce, miłorzębowe, szpilkowe. Rozmieszczenie flory zmieniało się wraz ze zmianami klimatycznymi.

Grupą mającą największe znaczenie stratygraficzne, a często także górotwórcze były otwornice (m. in. Globigerina, Globorotalia, Hastigerina). Gąbki były reprezentowane przez rodzaje współcześnie żyjące. Mszywioly były bliskie formom kredowym, ale pojawiły się wśród nich nowe rodzaje (Cellaria, Repetora, Vincularia). Nie miały większego znaczenia Ramienionogi, swe znaczenie utraciły także mięczaki, z których liczne były tylko małże i ślimaki. Swe znaczenie stratygraficzne zupełnie straciły głowonogi. Żyły grupy znane współcześnie: łodziki, mątwy, kalmary i ośmiornice oraz znane współcześnie stawonogi. Licznie reprezentowane były szkarłupnie (głównie przez jeżowce), ale pojawiły się również nowe rodzaje. Część z nich przetrwała do dziś (np. Clypeaster), inne zaś (np. Scutella, Amphiope) wymarły w neogenie. Wśród ryb dominującą pozycję wśród chrzęstnoszkieletowych zdobyły rekiny. Wśród ryb kostnoszkieletowych pojawiły się karpłowate, w oceanie śledzie i węgorze, a w oligocenie – szczupaki.

Płazy nie odgrywały większej roli, choć pojawiły się nowe rodzaje wśród bezogonowych i ogoniastych. Gady nie odzyskały już roli jaką odgrywały przed kryzysem na granicy er. Pojawiły się nowe rodzaje żółwi (Emys) i jaszczurek

(Ophisaurus). Intensywny rozwój przeżywały ptaki. Nastąpiło zróżnicowanie wśród ptaków nielotnych, w tym pingwinów. Wśród grzebieniastych pojawiły się wszystkie rzędy znane współcześnie, ale większość gatunków reprezentowały formy brodzące.

Od początku paleogenu nastąpiło ożywienie ewolucji ssaków. Szybka ewolucja doprowadziła do powiększenia masy ciała i przystosowania się gatunków do różnych warunków środowiska. Szczególnie szybki był rozwój ssaków łożyskowych. W paleocenie pojawiły się gryzonie, a w eocenie małpiatki (Lemuria), przedstawiciele naczelných, które dzisiaj są grupą reliktową na Madagaskarze. Pojawiły się nieparzystokopytne (koniowate), a później parzystokopytne, w tym wielbłądy. Z eocenu znani są pierwsi przedstawiciele rzędu słoń. W oligocenie rozwinęły się, znane już z eocenu, koty, w tym koty szablozębne (Dinictis) i niedźwiedzie podobne psy. Ewolucji podlegały naczelné. Oligoceński ich przedstawiciel (Aegyptophitecus) był formą nadzwyczajnej wielkości kota i miał niezwykle duży, jak na rozmiary zwierzęcia, mózg. W oceanie pojawiły się syreny, które jako pierwsze przystosowały się do życia w morzu, oraz walenie. W płytkich wodach przybrzeżnych żyły krokodyle.

Paleocen (66-59,2 miliony lat temu)

W paleocenie Ameryka Północna, Europa i Azja nadal stanowiły jeden kontynent – Laurazję, zaczął się jednak proces oddzielania Ameryki Północnej; trwał podział Gondwany na Afrykę, Amerykę Południową, Antarktydę i Australię. Z terytorium Europy i Ameryki Północnej wycofywało się morze. Podaje się, że klimat tego okresu był ciepły. Pojawiły się kaktusy i palmy.

Pod koniec paleocenu nastąpiło paleoceńsko-eoceńskie maksimum termiczne, które spowodowało zwrot w rozwoju ssaków, których jeszcze prymitywne egzemplarze zaczęły wypełniać niszę pozostałą po wymarciu dinozaurów. Wraz ze wzrostem ssaków oraz uzyskaniem przez nie dominującej pozycji wśród kręgowców nastąpiło szybkie ich zróżnicowanie. Możliwe, że kilka milionów lat później (63 miliony lat temu), na Ziemi żył ostatni wspólny przodek naczelných.

Geolodzy badający skały wulkaniczne na szkockiej Wyspie Skye przypadkiem odnaleźli materiał skalny, pochodzący z nieznanego wcześniej uderzenia meteorytu. Prowadzący badania Simon Drake, pracownik Birkbeck University of London przyjrzał się metrowej grubości warstwie podłoża, o której myślano, że jest pochodzenia wulkanicznego. Kiedy jednak przeanalizowano próbki za pomocą sondy elektronowej okazało się, że zawierają one minerały bogate w pierwiastki rzadko występujące na Ziemi: wanad i niob. W takiej konfiguracji minerały te nie zostały jeszcze odnotowane na Ziemi. Znamy je jednak z misji NASA, kiedy to w ramach Stardust Comet Sample Return Mission zebrano je z warkocza komety Wild 2. Minerały te nie uległy stopieniu, co może sugerować, że pochodzą z wnętrza meteorytu. Naukowcy odkryli również niezwykle rzadką formę cyrkonu, która powstaje pod wpływem ogromnego ciśnienia i jest jednoznacznie kojarzona z uderzeniami meteorytów. Drugim stanowiskiem badawczym, oddalonym o 7 kilometrów, jest dwumetrowej grubości warstwa materiału wyrzuconego. Zawiera ona takie

same minerały, można zatem wnioskować, że warstwa ta powstała na skutek upadku meteorytu. Wiek odkrytych minerałów ocenia się na od 60 do 61,4 miliona lat. W tym miejscu pojawia się wiele pytań, które interesują naukowców. Czy podobne rzadkie pierwiastki można znaleźć na całym obszarze brytyjskiego płaszcza magmowego? Gdzie dokładnie nastąpiło uderzenie? Czy meteoryt mógł przyczynić się do wielkiego wypływu magmy na powierzchnię Ziemi, które również miało miejsce 60 milionów lat temu? Czy może był jakoś powiązany z ożywieniem wulkanizmu w rejonie Oceanu Atlantyckiego? A może i ów *płaszcz magmowy* to pozostałość kolejnej asteroidy?

Eocen (56 – 37,8 lub 34 miliony lat temu)

Epoka rozpoczęła się bardzo silnym ociepleniem klimatu (paleoceńsko-eoceńskie maksimum termiczne). Przez dalszą część epoki klimat był ciepły, łagodny (klimat tropikalny panował do 45 stopni szerokości geograficznej).

Około 47 mln lat temu miał miejsce początek kolizji mikrokontynentu Apulia (Adria) z Europą; było to jedno z najważniejszych zdarzeń orogenezy alpejskiej. Grenlandia oddzieliła się od Europy, doszło do związanego z ruchami orogenezy laramijskiej, wypiętrzenia zachodniej części Ameryki Północnej, a także zbliżenia się do Indii Półwyspu Indyjskiego; początek powstawania Himalajów (50 mln lat temu).

W tym czasie pojawia się wiele występujących do dziś rzędów i rodzin ssaków, takich jak nietoperze, walenie i brzegowce. Parzystokopytne reprezentowane są m.in. przez małego „jelenia” *Diacodexis*, a ku pojawieniu się nieparzystokopytnych zmierzała ewolucja koniowatych. Pod koniec eocenu, czyli 34 miliony lat temu niektóre gatunki lądowych ssaków powróciły do wód, przykładem są prawalenie (np. *Basilosaurus*), z których później wyewoluowały delfiny i wieloryby.

Odkryto już kilka kraterów uderzeniowych związanych z tą epoką, które rozmieszczone są na całej niemal Ziemi. U wybrzeży Nowej Szkocji w Kanadzie zidentyfikowano krater Montagnais. Znajduje się on na szelfie kontynentalnym i jest pokryty osadami. Wiek krateru oceniany jest na 50,5 miliona lat. Powstał on w skałach osadowych. W Rosji, nieopodal Kamieńska Szachtyńskiego w obwodzie rostowskim został zidentyfikowany krater uderzeniowy Kamieńsk. Krater ma 25 km średnicy i powstał około 49,0 miliona lat temu w eocenie; obecnie nie jest widoczny na powierzchni. Powstał prawdopodobnie równocześnie z innym ok. osiem razy mniejszym, położonym niedaleko kraterem nazwanym Gusiew. Przypuszczalnie ta para kraterów powstała na skutek upadku małej planetoidy i jej księżyca, podobnie jak kratery Nördlinger Ries i Steinheim w Niemczech. Krater Wanapitei, który odkryto bezpośrednio na wschód od krateru Sudbury powstał około 37,2 miliona lat temu. Jego misę wypełnia jezioro.

Około 35,7 miliona lat temu, w wyniku uderzenia bolidu o średnicy 5–8 km, powstał krater uderzeniowy Popigaj (ros. Попига́й), zidentyfikowany w

syberyjskiej części Rosji, w Kraju Krasnojarskim, na północ od miasta Norylsk, w delcie rzeki Popigaj. Ma on średnicę około 90 kilometrów. Skok ciśnienia, wywołany uderzeniem, przekształcił znajdujący się w ziemi grafit w diamenty. Szacuje się, że powstałe złoża zawiera biliony karatów diamentów i jest zdolne do zaspokojenia popytu świata na te kamienie przez 3 tysiące lat. Spośród odkrytych złóż, to jest dziesięciokrotnie większe niż suma pozostałych na świecie. Odmiany polimorficzne diamentu występujące w rejonie krateru Popigaj to lonsdaleit oraz nowy (w roku 2003), naturalny, supertwardy, przezroczysty polimorf węgla.

Krater uderzeniowy Ragozinka (ros. Рагозинка) położony jest na Uralu w obwodzie swierdłowskim w Rosji. Skały krateru nie są widoczne na powierzchni ziemi, ich próbki zostały uzyskane dzięki wierceniom. Krater ten o średnicy 9 kilometrów, powstał on około 46 milionów lat temu. Utworzył go upadek małego ciała niebieskiego na skały osadowe pokrywające podłoże krystaliczne. Miejsce uderzenia w jego czasie było pokryte płytkim morzem. Również w Rosji w Kraju Krasnojarskim położony jest krater uderzeniowy Łogancza. Ma on 20 km średnicy i powstał około 40 milionów lat temu, w skałach bazaltowych. Obecnie nie jest widoczny na powierzchni. Krater uderzeniowy Haughton, został zidentyfikowany na wyspie Devon, w Terytorium Nunavut w Kanadzie. Ma ok. 23 km średnicy, powstał ok. 39 milionów lat temu (późny eocen) w skałach osadowych. Krater w krater uderzeniowy w Zatoce Chesapeake znajdujący się u wschodnich wybrzeży Ameryki Północnej. Powstał w czasie kolizji bolidu z Ziemią ok. 35,5 mln lat temu w górnym eocenie. Jest jednym z najlepiej zachowanych kraterów uderzeniowych, które powstały na dnie morza, oraz drugim pod względem wielkości w USA. Jego średnica mierzona od krawędzi do krawędzi to 40 km, ale obszar bezpośrednich zniszczeń, ograniczony przez zewnętrzny pierścień ma średnicę 90 km. Osuwanie się osadów w kierunku środka krateru ukształtowało współczesny kształt Zatoki Chesapeake. W prowincji Nowa Fundlandia i Labrador, na półwyspie Labrador w Kanadzie zidentyfikowano krater uderzeniowy i jezioro meteorytowe Mistastin. Jezioro ma w przybliżeniu kolisty kształt i ok. 16 km średnicy, znajduje się w kolistej niecce o średnicy ok. 28 km. W środku jeziora znajduje się wyspa interpretowaną jako wzniesienie centralne krateru uderzeniowego. Krater powstał około 36,4 miliony lat temu. Powierzchnia jeziora wynosi ok. 145 km².

Kolejny krater uderzeniowy z tego okresu zlokalizowano w Stanach Zjednoczonych (Wirginia). Został odkryty na początku lat 80., a znajduje się w Zatoce Chesapeake około 201 kilometrów od Waszyngtonu. Powstał w wyniku uderzenia asteroidy (kometa lub asteroida) o szerokości około 1-3 mil w ocean u wschodniego krańca kontynentu północnoamerykańskiego ok. 35 milionów lat temu. Jego uderzenie utworzyło krater o średnicy 25 mil. Niektóre szacunki sugerują, że krater ten ma szerokość 53 mil (85 kilometrów). Pomimo jego rozmiaru, wskazówki dotyczące krateru nie zostały znalezione aż do 1983 roku, kiedy warstwa stopionych szklanych paciorków wskazująca na uderzenie została odzyskana jako część próbki rdzenia. Samo miejsce zostało odnalezione dopiero prawie dekadę później.

Skutki uderzenia asteroidy można zobaczyć do dziś, szczególnie w samej zatoce. Do 18 000 lat temu region zatoki był suchy. Następnie gigantyczna

Amerykę Północną pokryła pokrywa lodowa, a gdy 10 000 lat temu zaczęła topnieć, doliny zostały zalane, w tym depresja utworzona przez krater. Starożytne skutki nadal mają wpływ na ten region w postaci osiadania terenu, zmiany kierunku biegu rzek, zaburzenia przybrzeżnych warstw wodonośnych i niestabilności gruntu.

Wulkanizm

Oczywiście i w tym okresie wciąż czynne były wulkany. Ślady szczególnie silnego wulkanizmu odkryto na terenie zachodniej części Ameryki Północnej, między innymi w dzisiejszym Parku Narodowym Yellowstone. Na ten okres datowany jest też początek erupcji Apolaki na Filipinach.

Kaldera Apolaki to kaldera wulkaniczna o średnicy 150 kilometrów (93 mil), co czyni ją największą kalderą na świecie. Znajduje się w Benham Rise (Philippine Rise) i została odkryta dopiero w 2019 roku przez Jenny Anne Barretto, filipińską geofizyczkę morską i jej zespół. Nazwa „Apolaki” oznacza „olbrzymi władca” w języku filipińskim i jest również imieniem boga słońca i wojny w niektórych panteonach w filipińskiej mitologii i rdzennych filipińskich religiach ludowych. Wulkan jest nieaktywny od milionów lat. Analiza grawimetryczna wykazuje, że Philippine Rise, jak nazywa się podmorski masyw górski, składa się z dziewięciomilowej warstwy skał magmowych i wulkanicznych. Wiek próbek skał waha się od 47,9 do 26 milionów lat, kiedy to aktywność wulkaniczna ukształtowała masyw³⁰.

Oligocen (33,9 – 27,8 miliony lat temu)

Przez większość oligocenu panował ciepły klimat, który zaczął się powoli ochładzać dopiero pod jej koniec. Doszło do wypiętrzania się Alp. Pojawiają się pierwsze naczelne. Słowo powoli przejąłem za jakimś autorem, może za Wikipedią. Po zastanowieniu jednak uważam, że do ochłodzenia tego doszło raczej w sposób nagły. Tym bardziej, że łączy się ono z kolejną orogenezą. Uważam, że przyczyną tego ochłodzenia oraz wypiętrzenia się Alp był kolejny kataklizm. Mógł być nim tylko znaczny wulkanizm spowodowany naciskiem na płyty tektoniczne wód oceanów, których poziom wzrósł właśnie w wyniku wcześniejszego ocieplenia, może doszło też do niezidentyfikowanych dotąd upadków asteroid.

Ochłodzenie, do którego doszło około 27 milionów lat temu wiązane jest z erupcjami wulkanów. Największa z nich miała miejsce w górach San Juan w południowo-zachodnim Kolorado. W wyniku eksplozji doszło do utworzenia kaldery La Garita. Wybuch wyrzucił wtedy 4800 km³ magmy, wystarczającej, by obłożyć 40-metrową warstwą całą Kalifornię. Powstały krater ma średnicę 3600 kilometrów. Według USGS była to największa znana erupcja od ery ordowiku. Skala erupcji była tak duża, że w raporcie z 2004 roku w Biuletynie

³⁰ Kaldera Apolaki, https://en.wikipedia.org/wiki/Apolaki_Caldera

Wulkanologii naukowcy zalecili dodanie dziewiątego poziomu do skali VEI i ogłosili erupcję La Garita o wartości 9,2 VEI. Obecnie w masywnym pasie sejsmicznym "Ring of Fire" w rejonach Pacyfiku znajduje się ponad połowa aktywnych na całym świecie wulkanów nad poziomem morza. Dzieje się tak dlatego, że Pierścień Ognia to pas zbieżnych krawędzi płyt, czyli stref subdukcji, które otaczają płytę Pacyfiku. Obszary subdukcji płyt tektonicznych, gdzie jedna płyta jest zmuszana do wchodzenia pod inną, powodują potężne trzęsienia ziemi i aktywność wulkaniczną. Erupcja La Garity poskutkowała największym masowym wymieraniem gatunków w trzeciorzędzie i wywołała nagłe ochłodzenie klimatu.

Neogen (23,03 mln lat temu – 2,58 mln lat temu)

Obecny status neogenu jest wynikiem nowego podziału kenozoiku, dokonanego przez Międzynarodową Unię Nauk Geologicznych, skorygowanego w 2006 r. Według propozycji z 2004 roku neogen miał obejmować także czwartorzęd, czyli plejstocen i holocen, a zatem trwałby do dziś. Propozycja ta spotkała się z ostrą krytyką (m.in. Międzynarodowej Unii Badań Czwartorzędu). Neogen datowany jest na okres od 23,03 do 2,58 mln lat temu. Dzieli się na: miocen (od 23,03 mln do 5,333 mln lat temu) i pliocen (od 5,333 mln do 2,58 mln lat temu).

W tym czasie ruchy bloków kontynentalnych i całych płyt spowodowały ostateczną likwidację oceanu Tetydy, z którego pozostało tylko Morze Śródziemne, którego wody łączyły się jeszcze wówczas z Morzem Czarnym[?], Morzem Kaspijskim i Jeziorem Aralskim. Dopiero w końcu miocenu wody Atlantyku wlały się do Morza Śródziemnego przez Cieśninę Gibraltarską, dzięki czemu jego głębokość zwiększyła się do 2, – 3,5 km. Zdaniem badaczy w ciągu kilku pierwszych tysięcy lat do basenu śródziemnomorskiego wlało się tylko około 10 procent dzisiejszej objętości przyszłego morza. Czasem jednak doszło do całkowitego przerwania bariery i wody Atlantyku runęły na wschód. Podobno poziom morza podnosił się wówczas aż o 10 metrów w ciągu doby. Mniej więcej w tym też czasie doszło do powstania śródziemnomorsko-himalajskiej strefy fałdowej. Na przełomie paleogenu i neogenu rozkład kontynentów i oceanów był już bardzo zbliżony do współczesnego.

Klimat neogenu był zbliżony do współczesnego albo nawet nieco cieplejszy. Z końcem pliocenu następowało jednak stopniowe ochładzanie klimatu, które doprowadziło do zlodowacenia obszarów podbiegunowych na półkuli północnej. [Moim zdaniem ochłodzenia te nastąpiły gwałtownie. Ich przyczyną są erupcje wulkaniczne. Dowodem grube pokłady pyłów wulkanicznych na dnach oceanów].

Ruchy górotwórcze orogenezy alpejskiej wiązały się z rozpadem Pangei, likwidacją Tetydy oraz rozszerzaniem się Oceanu Indyjskiego i Atlantyku. Łańcuchy górskie powstałe w tym czasie są efektem kolizji płyt litosfery, których generalny układ zachował się od wczesnej jury do dziś. Procesom powstawania łańcuchów Górskich towarzyszył w wielu miejscach metamorfizm, plutonizm i wulkanizm.

Miocen (23,3 – 7,2 miliony lat temu)

Według teorii tektoniki płyt litosfery w miocenie Afryka zderzyła się z Europą – powstały Alpy. Indie zderzyły się z Azją – powstały Himalaje. Kolejne zderzenia płyt kontynentalnych doprowadziły do wypiętrzenia Gór Skalistych i Andów. Antarktydę pokrył lądolód. Wiązało się to z zamykaniem Oceanu Tetydy, które utworzyło połączenie lądowe między Afryką i Eurazją; pozostałością Tetydy jest m.in. Morze Śródziemne. Skurczyły się obszary mórz śródlądowych. W oceanach powstał nowy układ prądów morskich.

Ocean Tetydy został zamknięty połączeniem lądowym między Afryką i Eurazją, co doprowadziło do wypiętrzania się łańcucha alpejsko-himalajskiego; powstało Morze Śródziemne. Na skutek subdukcji dna wschodniego Pacyfiku wypiętrzyły się Andy. Antarktydę pokrywa lądolód. Kurczyły się obszary mórz śródlądowych. Zmiany układu kontynentów wymusiły powstanie nowych prądów morskich, które powodowały wymieszanie składników odżywczych.

Początek miocenu był najcieplejszym okresem w ciągu ostatnich 35 mln lat. Od połowy miocenu klimat zaczął się ochładzać. Wraz z ochłodzeniem klimatu postępowało stepowienie dużych obszarów. Wobec kurczenia obszarów leśnych nowego znaczenia nabrały trawy. Trawy były roślinami odpornymi na warunki klimatyczne, a do rozmnażania nie potrzebowały owadów. Trawiasta równina dostarczała pożywienia całej plejadzie przeżuwaczy. Ssaki wędrowały poprzez nowo utworzone mosty lądowe. Nastąpiła ewolucja kotów szablozębnych. W Australii trwała niezależna ewolucja torbaczy i stekowców. W Europie i Azji pojawiły się prymitywne jelenie i żyrafy, słonie i małpy człekokształtne (szczątki Ramapiteka sprzed 14 mln lat). Do Afryki dotarły króliki, koty i świny. W morzu żył największy rekin wszech czasów: Carcharodon megalodon, o długości ciała prawdopodobnie zbliżonej do 20 metrów. Zwiększenie zasobów pokarmowych morza "zachęciło" niektóre ssaki do powrotu do morza. Pojawiły się pierwsze fokowate. W Ameryce Północnej pojawiły się niedźwiedzie i mastodonty. W późnym miocenie umocniła się dominacja trawożerców. Zaczynały wymierać niektóre gatunki drapieżców. Nastąpiła gwałtowna radiacja hien. Do Australii dotarły (prawdopodobnie przez Malaje) gryzonie. W Ameryce Południowej pojawiły się szopy, a małe odmiany leniwców naziemnych przeszły do Ameryki Północnej. U przeżuwaczy, dla których mioceńskie stepy stały się bardzo sprzyjającym środowiskiem doszło do udoskonalenia żołądka, nastąpiła dynamiczna ewolucja trawożerców: Platybelodon, Deinotherium. Doszło do ewolucji koniowatych, u których nastąpiło zwiększenie wielkości i przystosowanie do biomu stepowego: Merychippus, Pliohippus. Pojawiły się papugi, pelikany, gołębie, kruki i sokoły. Nastąpił dynamiczny rozwój gryzoni. Doszło do powstania pliopiteków (naczelnych): rodzaje Pliopithecus i prokonsul. Pojawiły się pierwsze foki, nastąpiła ewolucja waleni.

I w tym okresie możemy po raz kolejny odnotować wielkie kataklizmy, zarówno uderzenia ogromnych asteroid, jak też i wzmożony, znaczny wulkanizm.

Asteroidy

Około 15 milionów lat temu na obszar znajdujący się na terytorium dzisiejszych Niemiec uderzył meteoryt, w wyniku którego doszło do powstania krateru uderzeniowego Nördlinger Ries. duże okrągłe zagłębienie w zachodniej Bawarii i wschodniej Badenii-Wirtembergii . Znajduje się na północ od Dunaju w powiecie Donau-Ries. To właśnie w tym kraterze uderzeniowym o szerokości 25 km (25 km) ponad tysiąc lat temu ludzie zbudowali miasto Nördlingen.

Najnowsze komputerowe modelowanie zdarzenia uderzeniowego wskazuje, że impaktor miał prawdopodobnie średnicę około 1,5 km (4900 stóp) (Ries) i 150 m (490 stóp) (Steinheim), był oddalony przed uderzeniem o kilkadziesiąt kilometrów i uderzył w obszar docelowy pod kątem około 30 do 50 stopni od powierzchni w kierunku z zachodu na południowy zachód do wschodu na północny wschód. Prędkość uderzenia wynosiła prawdopodobnie około 20 km/s (72 000 km/h; 45 000 mph). Powstała eksplozja miała moc 1,8 miliona bomb z Hiroszimy , czyli energię około $2,4 \times 10^{21}$ dżuli.

Uważa się, że uderzenie krateru Ries przyczyniło się do powstania tektytów moldawitowych znalezionych w południowych Czechach i na Morawach (Republika Czeska). Stop tektytów pochodził z bogatej w piasek warstwy powierzchniowej, która została wyrzucona na odległość do 450 km (280 mil) w dół krateru. Kształt pola rozrzutu sugeruje, że uderzenie nastąpiło z kierunku zachodnio-południowo-zachodniego.

Budynki kamienne w Nördlingen zawierają miliony maleńkich diamentów, wszystkie mniejsze niż 0,2 mm (0,008 cala) średnicy. Uderzenie, które spowodowało powstanie krateru Nördlinger Ries, wytworzyło szacunkowo 72 000 ton (72 000 000 kg) diamentów, gdy uderzyło w lokalne złożę grafitu. Kamień z tego obszaru był wydobywany i wykorzystywany do budowy lokalnych budynków.

Inny krater uderzeniowy, znacznie mniejszy (3,8 km (2,4 mil) średnicy) krater Steinheim, znajduje się około 42 km (26 mil) na zachód-południowy zachód od centrum Ries. Wcześniej sądzono, że oba kratery powstały jednocześnie w wyniku uderzenia podwójnej asteroidy 14,8 miliona lat temu, ale badanie opublikowane w 2020 roku sugeruje, że Steinheim może być w rzeczywistości około 500 000 lat młodszy od Nördlinger Ries.

Warto dodać, że początkowo sądzono, iż krater Ries ma pochodzenie wulkaniczne. Dopiero w 1960 roku Eugene Shoemaker i Edward CT Chao wykazali, że depresja została spowodowana uderzeniem meteorytu. Kluczowym dowodem była obecność koesytu, który w skałach nieprzeobrażonych może powstać jedynie pod wpływem ciśnienia uderzeniowego związanego z uderzeniem meteorytu³¹.

³¹ Północno-wschodni Ries, https://en.wikipedia.org/wiki/Nördlinger_Ries.

Wulkanizm

Dla tego okresu odkryto też grube warstwy wulkanicznego popiołu, których powstanie datowane jest na 7 milionów lat temu. Tak znaczne erupcje doprowadziły do ponownego ochłodzenia, w związku z czym na wielu obszarach doszło do stopowienia dużych obszarów lądów. Znacznie zwiększyły swój zakres lodowce. W tym okresie istniała już większość obecnych rodzin ptaków i ssaków. Będę pisać o tym później, w związku z ewolucją naszego gatunku, ale już tu warto zauważyć, że kolejne kataklizmy mogły powodować wyginięcie znacznej części populacji wielu wspomnianych rodzin ptaków i ssaków, doprowadzać do powstawania tzw. „wąskiego gardła” genetycznego i przyczyniać się do różnicowania gatunków.

Pliocen (od 5,33 do 2,58 mln lat temu)

Pliocen charakteryzował się dość surowym klimatem. Kontynenty zbliżają się do swego obecnego położenia. Klimat osusza się i oziębia. Duże obszary ulegają stepowieniu. Lądolód pokrywał Antarktydę, część Ameryki Południowej i częściowo kontynenty półkuli północnej. Morze Śródziemne, od dawna pozbawione połączenia z Atlantykiem, odzyskuje je: jego poziom się podnosi. Powstaje Przesmyk Panamski, do Ameryki Południowej napływają zwierzęta z Ameryki Północnej, wypierając częściowo faunę rodzimą. Przyczyną tego ochłodzenia był najprawdopodobniej trwający w tym liczącym około 2,7 miliona lat okresie dość znaczny wulkanizm. Badania osadów dna Północnego Pacyfiku, które przylega do linii aktywnych wulkanów doprowadziły do odkrycia tam wielu zaskakująco grubych warstw wulkanicznego popiołu. O jednej z nich wspomniałem już powyżej, inne datowane są na 6 milionów i 4,5 milionów lat temu.

Niestety, nie potrafimy dziś wskazać, jakie były przyczyny tych erupcji? Może uderzenie jakiegoś wielkiego meteorytu (komety lub planetoidy), a może „tylko” długi okres ocieplenia w wyniku, którego doszło do znacznego podniesienia się poziomu oceanów. Nie znaleziono dotychczas śladów uderzeń meteorytów, które mogłyby poprzedzać te erupcje. Być może zostaną odkryte w przyszłości, a być może (zgodnie z zasadą statystyki – lądy zajmują tylko ok. $\frac{3}{4}$ powierzchni globu), wpadały one w oceany, co znacznie utrudnia ich zidentyfikowanie. Jak wykażę poniżej, również późniejsze okresy gwałtownego ochłodzenia klimatu lub nieco mniejszych jego zmian również łączą się z podobnymi, choć o nieco mniejszej skali wydarzeniami. Wygląda więc na to, że kilka milionów lat przed plejstocenem i w jego początku doszło do wcześniejszych fal ogromnych zlodowaceń. Ich przyczyn ponownie upatrywać możemy w ogromnych kataklizmach.

Około 5 milionów lat temu w górach Pamir w Tadżykistanie powstał krater uderzeniowy Karakul o średnicy ok. 52 km. W miejscu tego krateru znajduje się obecnie największe jezioro Tadżykistanu, które zajmuje powierzchnię 380 km², przy głębokości ok. 250 m. Mniej więcej w tym samym czasie powstał

niedaleko, (bo w Tatarstanie w europejskiej części Rosji), krater uderzeniowy Karła (krater karliński) o średnicy 10 km. Nie wiemy, czy istnieje związek między tymi impaktami. Pod koniec pliocenu odnotowujemy kolejny impakt, Elgygytgyn, który upadł w azjatyckiej części Rosji, w Czukockim Okręgu Autonomicznym. W tym miejscu znajduje się obecnie jezioro nazywane przez Czukczów *białym jeziorem*. Leży w północnej części Płaskowyżu Anadyrskiego na wysokości 489 m n.p.m.; powierzchnia 119 km²; maksymalna głębokość 169 m; zasilanie głównie śniegowe. Średnica wynosi 18 km. Z jeziora Elgygytgyn wypływa rzeka Enmywaam, jedna z rzek tworzących Biełą.

Ochłodzeniu klimatu towarzyszyło jego osuszenie – powierzchnia lasów silnie zmniejszała się, duże połacie Ziemi pokrywały trawy. Rozprzestrzeniały się trawożerne kopytne. Stepy Eurazji przemierzały wielkie stada bydła, gazeli, jeleni i antylop. Ameryka Północna była zasiedlona przez bardzo licznych przedstawicieli jeleni, wielbłądów, koni, mastodontów i widłorogów. Rozwijały się hipopotamowate. Zwiększała się liczba gatunków mięsożernych. Pod koniec pliocenu drapieżnikiem szczytowym był *Smilodon* – tygrys szablozębny. W Ameryce Południowej żyły szczerbaki, w tym olbrzymie *Megatherium*, które – jak wiele innych rodzimych gatunków Ameryki Południowej – nie przetrwały postępującego ochłodzenia i inwazji gatunków z północy (tygrysy szablozębne wyginęły w wyniku kataklizmu 12,800 lat temu).

W okresie pomiędzy przedostatnim (4,5 miliona lat temu) a ostatnim plejstoceniowym zlodowaceniem doszło do drugiego etapu ewolucji człowiekowatych, która miała miejsce około 3.000.000 lat temu, gdy z drugiego odgałęzienia australopiteków wyodrębniły się gatunki już praludzkie, w nazwie, których używamy już członu „*Homo*”. Najstarszy ślad przedstawiciela rodzaju *Homo*, do którego należy także człowiek rozumny, to LD 350-1 (tak naukowcy nazwali skamieniały kawałek szczęki wykopany w rejonie Afar w Etiopii) liczy sobie około 2.800.000 lat. Kawałek żuchwy znaleziono w 2013 roku, ale oszacowanie wieku skamieniałych kości trwało kilka lat. Posłużono się w nim analizą warstw skalnych, w których je znaleziono. Były to osady skały wulkanicznej, bogatej w różne pierwiastki. Wartość znaleziska jest tym bardziej znacząca, że w LD 350-1 można zaobserwować charakterystyczne zmiany żuchwy świadczące o ewolucji gatunku. Szczęka odkrytej w nieodległej osadzie Hadar starszej o około 200.000 lat istoty AL 288-1, czyli przedstawiciela *Australopithecus afarensis* nazwanego przez naukowców Lucy takich cech nie posiada. Przez naukę Lucy nie jest traktowana jako przedstawiciel *Homo* (rodzaj ssaków naczelnych z rodziny człowiekowatych) tylko właśnie *Australopithecus*. Najnowsze odkrycie bez wątplenia należy do tego samego rodzaju, co *Homo erectus*.

Rozdział VI

Pierwsze znane kataklizmy od czasu powstania naszego gatunku i ich wpływ na jego ewolucję do końca pierwszego miliona lat temu

Opisywałem dotąd historię Ziemi liczoną na miliardy lat, podobnie (choć krótszą) i historię organizmów żywych. W tym czasie klimat naszej planety zmieniał się wielokrotnie, czasami nawet bardzo drastycznie. Wielokrotnie dochodziło do wielkich zlodowaceń, po których występowały okresy lodowcowe. Podobną sytuację obserwować będziemy również i w plejstocenie. Klimat tego okresu ulegał znacznym wahaniom, okresy ochłodzenia klimatu i zlodowaceń przeplatały się z okresami ocieplenia, bywało, że bardzo znacznego. Podobnie jak i poprzednio i tu pojawiające się okresy zlodowaceń poprzedzały impakty meteorytów i wulkanizm i to właśnie w skutkach tych kataklizmów szuka się dziś przyczyny zmian klimatycznych – ochłodzenia klimatu również tego okresu.

Plejstocen

Najmłodszym okresem ery kenozoicznej jest Czwartorzęd (Q), który zaczął się 2.588.000 lat temu z końcem neogenu i trwa do dziś. Dzieli się go na: plejstocen od 2588.000 do 11700 lat temu i holocen od 11700 lat temu do dziś. Plejstocen dzieli się na cztery wieki: gelas, kalabr (wczesny plejstocen), środkowy plejstocen („ionian”) i późny plejstocen (tarant).

Na Ziemi trwała „era wielkich ssaków”. Wśród głównych przedstawicieli plejstocenijskiej megafauny wymienia się: mamuty włochate (*Mamuthus primigenis*), nosorożce włochate (*Coelodonta antiquitatis*), piżmowoly (*Ovibos moschatus*), niedźwiedzie jaskiniowe (*Ursus spelaeus*) oraz jelenie olbrzymie (*Megaloceros giganteus*).

Koniec plejstocenu to również era wymierania megafauny i eksplozji demograficznej człowieka w późnym paleolicie. Kiedyś przypuszczano, że wymieranie megafauny w Ameryce Północnej mogło być spowodowane konkurencją między lokalnymi roślinożercami a bizonami przybyłymi z Eurazji, jednak jak wykażę poniżej jej przyczyną był kataklizm kosmiczny.

Plejstocen zaczął się od gwałtownego ochłodzenia, dlatego też określono go mianem epoki lodowcowej. Później zauważono, że w jego czasie dochodziło do dość częstych zmian klimatycznych, ociepleń, a następnie znów ochłodzeń klimatu. W związku z tym plejstocen podzielono na okresy zimne (glacjały) i cyklicznie pojawiające się ocieplenia (interglacjały). Najważniejsze glacjały i interglacjały europejskie tego okresu (w tysiącach lat) to: 115-11,7b2k – *Würm* (w Polsce zlodowacenie północnopolskie, Wisły, bałtyckie), 130-115 – *Riss*/

Würm (Eem) (interglacjał eemski), 300-130 – *Riss* (złodowacenie środkowopolskie (Odry), 430-300 – *Mindel/Riss (Holstein)* (interglacjał mazowiecki), 730-430 – *Mindel (Elster)* (złodowacenie południowopolskie (Sanu, krakowskie), 950-730 – *Günz/Mindel (Cromer)* (interglacjał podlaski (przasnyski), 1200-950 – *Günz* (złodowacenie podlaskie (złodowacenie północno-wschodniopolskie, Narwi). Takich wahań temperatur i zmian zasięgów lodowców w plejstocenie było znacznie więcej. Warto zauważyć ponadto, że złodowacenia nie zawsze miały charakter globalny. Dyskusyjna jest również przyjmowana przez wielu badaczy jakaś cykliczność tych przemian, dzisiejsza wiedza wskazywałaby raczej na to, by mówić tylko o przemienności. Często również w czasie epoki ochłodzenia dochodziło do jego pogłębienia i co się z tym wiąże również przedłużenia.

W początkach plejstocenu (w preplejstocenie) klimat na półkuli północnej był stosunkowo ciepły, z epizodami ochłodzeń. Do znacznej zmiany klimatu, szczególnie na półkuli północnej doszło ok. 2,6 mln lat temu. Wiąże się ona z ostatnią ze wspomnianej wyżej serii potężnych erupcji wulkanicznych, datowanych właśnie na ten okres. Nastąpiło wówczas silne globalne ochłodzenie. Okolice bieguna północnego przykryła czapa lodowcowa, powodując dramatyczne zmiany w zbiorowiskach roślinnych kuli ziemskiej. W wyższych szerokościach geograficznych, między innymi i na terenach obecnej Polski, rozprzestrzeniła się roślinność stepowa i tundrowa, co wskazuje na to, że średnie temperatury lata nie przekraczały wówczas 10°C.

Za główną przyczynę fluktuacji klimatu w plejstocenie długo uważano periodyczne zmiany nasłonecznienia Ziemi związane z cyklami Milankovicia, który wykazał (1941), że gwałtowne zmiany klimatu należy wiązać z trzema cyklami astronomicznymi. Najnowsze badania wykazują – o czym pisałem odnośnie do wcześniejszych okresów – że przyczyny tych zmian były bardziej złożone, a główne z nich to impakty kosmiczne i erupcje wulkanów.

Upadek planetoidy Eltanin

Dowodem na to, że jedną z istotnych przyczyn zmiany klimatu w początkach plejstocenu mógł być upadek ciała niebieskiego, są wyniki badań śladów takiego kataklizmu, które opublikowano w 1981 roku. Wydarzenie to zostało rozpoznane jako anomalia irydowa w rdzeniach osadowych wydobytych w 1965 r. przez okręt badawczy marynarki USA USNS Eltanin (stąd nazwa). Upadek meteorytu nastąpił w południowo-wschodnim rejonie Oceanu Spokojnego.

Datowanie palomagnetyczne i biostratygraficzne rdzeni osadowych pozwoliło określić, że upadek ten miał miejsce $2,511 \pm 0,07$ miliona lat temu. Jest to jedyny jak dotąd (2013) udokumentowany upadek na głębokim oceanie. Planetoida Eltanin miała od 1 do 4 km średnicy i gdyby uderzyła w kontynent, mogłaby utworzyć krater o średnicy od 15 do 40 km. Impakt miał jednak miejsce w głębokim na 5 km oceanie i nie pozostawił krateru uderzeniowego na dnie oceanu. Planetoida, która zderzyła się z Ziemią, uderzyła w ocean, wywołując potężne fale tsunami i (prawdopodobnie) zmiany klimatyczne na skalę globalną.

Dalsze badania wykazały występowanie meteorytów w rdzeniach odległych o 500 km, zostały one zaklasyfikowane jako mezosyderyty (meteoryty kamiennie-żelazne). W 1995 roku statek badawczy *FS Polarstern* przeprowadził badania w rejonie, w którym miał miejsce impakt, odnajdując dowody na przemieszanie osadów w wieku od eoceńskiego po plioceński na dużym obszarze wskutek uderzenia. Obraz komplikuje istnienie w tym obszarze gór podmorskich Freeden. Ocenia się, że dno morskie w pobliżu tych gór na obszarze o powierzchni ok. 20 tys. km² zawiera od 1 do 6 gramów materii meteorytowej na centymetr kwadratowy, więcej niż gdziekolwiek na Ziemi. Takie uderzenie musiało wywołać powstanie olbrzymich fal. Przy założeniu, że planetoida miała 4 km średnicy, w chwili impaktu w oceanie powstała wyrwa o średnicy 60 km, sięgająca do dna. Fale rozchodzące się w oceanie od miejsca uderzenia w 2,5 godziny przebyły 1750 km i dotarły do wybrzeży Ameryki Południowej i Antarktydy. Na szelfach kontynentalnych zmalała ich prędkość, lecz wzrosła amplituda, sprawiając, że kolejne nadchodzące grzbiety fal mogły osiągnąć wysokość 200 – 300 m. 2,5 godziny później fale dotarły m.in. do zamrożonego Morza Rossa, mając amplitudę od 65 do 150 m, zapewne wystarczającą, by zdestabilizować istniejące wówczas lodowce szelfowe. Po ponad 10 h od impaktu fale, mające na otwartym oceanie wysokość 35-40 m, uderzyły w wybrzeża Ameryki Środkowej i Australii. Jeżeli planetoida miałaby czterokrotnie mniejszą średnicę, fale miałyby ok. 5 razy mniejszą wysokość. Dla porównania, fale wywoływane przez duże trzęsienia ziemi mają zazwyczaj na otwartym oceanie amplitudę rzędu kilkudziesięciu centymetrów. Na wybrzeżach kontynentów bliskie miejsca impaktu odnalezione zostały pewne anomalie geologiczne, będące świadectwem tego wydarzenia. Na wybrzeżu Peru odkryto zgrupowanie pomieszanych, kompletnych szkieletów ssaków morskich i lądowych; na wybrzeżu Antarktydy cienka warstwa plejstocennych osadów morskich zawierających okrzemki znajduje się kilkadziesiąt metrów powyżej współczesnego poziomu morza. Prawdopodobnie zostały one tam przeniesione z szelfu przez uderzenie potężnej fali tsunami. W chwili upadku planetoidy wielkie ilości słonej wody zostały wyrzucone w atmosferę; takie zdarzenie mogło mieć dalekosiężne skutki dla klimatu, w tym zmniejszenie nasłonecznienia, ochłodzenie globu i powiększenia dziury ozonowej. W Górach Transantarktycznych odnaleziono osady morskie, okrzemki i promienice, które mogły trafić tam wraz z opadem materii wyrzuconej przez uderzenie planetoidy. Odkrycie to jest kolejnym dowodem potwierdzającym hipotezę wspomnianego impaktu.

Wulkanizm

Powyżej wspomniałem o erupcjach w rejonie Pacyfiku, które miały miejsce w początkach plejstocenu 2,6 mln lat temu. Kolejne wielkie erupcje miały miejsce około 2,2 lub 2,1 mln lat temu. Doszło wówczas do erupcji stratowulkanów Yellowstone i Galán. Siła obu tych erupcji szacowana jest na 8 VEI. W wyniku tych erupcji nastąpiło szybkie ochłodzenie klimatu, które zapoczątkowało glacjał na półkuli północnej.

Kaldera Yellowstone, czasami nazywana superwulkanem Yellowstone,

znajduje się w Parku Narodowym Yellowstone w zachodnich Stanach Zjednoczonych, w północno-zachodnim narożniku stanu Wyoming. Kaldera ma wymiary 43 na 28 mil (70 na 45 kilometrów), a lawa pokalderowa wylewa się na znaczną odległość poza właściwą kalderę.

Kaldera uformowała się podczas ostatniej z trzech supererupcji w ciągu ostatnich 2,1 miliona lat: erupcji Huckleberry Ridge 2,1 miliona lat temu (która spowodowała powstanie kaldery Island Park i tufu Huckleberry Ridge), erupcji Mesa Falls 1,3 miliona lat temu (która spowodowała powstanie kaldery Henry's Fork i tufu Mesa Falls) oraz erupcji Lava Creek około 640 000 lat temu (która spowodowała powstanie kaldery Yellowstone i tufu Lava Creek).

Yellowstone targnęły trzy supererupcje, dlatego też uchodzi za najgroźniejszy superwulkan na świecie. Do pierwszej z nich, Huckleberry Tuff Ridge doszło 2.1 miliona lat temu. Wyemitowała ona 2450 km sześciennych materiału wulkanicznego i uformowała kalderę o szerokości około 75 km oraz grube depozyty wulkaniczne. Kolejna mniejsza supererupcja Yellowstone miała miejsce 1.3 miliona lat temu i nazwana została Mesa Tuff Falls. Kulminacją supererupcji Yellowstone była erupcja Lava Creek Tuff około 640 000 lat temu, która uformowała obecną kalderę o wymiarach 45 x 75 km. Lawa pokryła wówczas obszar o powierzchni 4.4 tysiąca km kwadratowych, a opad popiołu miał miejsce m.in. w stanach Iowa, Luizjana i Kalifornia.

Wulkanizm w Yellowstone jest stosunkowo niedawny, kaldery powstały w wyniku dużych erupcji, które miały miejsce 2,1 miliona, 1,3 miliona i 640 000 lat temu. Kaldery leżą nad punktem zapalnym Yellowstone pod płaskowyżem Yellowstone , gdzie lekka i gorąca magma (stopiona skała) z płaszcza unosi się w kierunku powierzchni.

Cerro Galán to kaldera w prowincji Catamarca w Argentynie jest jedną z największych odsłoniętych kalder na świecie i stanowi część Centralnej Strefy Wulkanicznej Andów, jednego z trzech pasów wulkanicznych w Ameryce Południowej. Góra ta jest jednym z kilku głównych systemów kalder w Centralnej Strefie Wulkanicznej i należy do kompleksu wulkanicznego Altiplano–Puna. Aktywność wulkaniczna w Galán jest pośrednim skutkiem subdukcji płyty Nazca pod płytą południowoamerykańską i wiąże się z infiltracją stopionego materiału w głąb skorupy ziemskiej oraz powstawaniem wtórnych magm , które po zmagazynowaniu w skorupie dają początek skałom dacytowym i ryodacytowym, wyrzucanym przez wulkan. Galán był aktywny od 5,6 do 4,51 mln lat temu, kiedy wygenerował szereg ignimbrytów znanych jako grupa Toconquis, które pojawiają się głównie na zachód od kaldery. Największa erupcja Galán miała miejsce $2,08 \pm 0,02$ mln lat temu i była źródłem ignimbrytu Galán, który pokrył otoczenie kaldery materiałem wulkanicznym. Objętość tego ignimbrytu szacowana jest na około 650 kilometrów sześciennych (160 mil sześciennych); po tej erupcji miały miejsce znacznie mniejsze erupcje ignimbrytów, a obecnie w kalderze działają dwa gorące źródła.

Aktywność wulkaniczna w Galán przebiegała w dwóch odrębnych etapach, które rozdzielała erozyjna niezgodność, podczas której ignimbrytowy fartuch grupy Toconquis został przecięty głębokimi dolinami. Mechanistycznie

początek erupcji został wyjaśniony zdarzeniami delaminacji, podczas których części dolnej skorupy oderwały się, materiał astenosferyczny zastąpił skorupę utraconą w wyniku delaminacji, a magmy bazaltowe przeniknęły do pozostałej skorupy.

Etapy te pozostawiły płaskowyż ignimbrytowy otaczający kalderę z wyjątkiem jej południowej strony, który jest widoczny na zdjęciach satelitarnych. Zajmuje on powierzchnię około 3500 kilometrów kwadratowych (1400 mil kwadratowych) i jest największym systemem ignimbrytowym na płaskowyżu Puna.

Pierwszy etap miał miejsce między 5,60 a 4,51 mln lat temu i obejmował wybuch dużych ignimbrytów, takich jak Blanco, Cueva Negra, kilka ignimbrytów Merihuaca i ignimbryt Real Grande, a także kopuły lawowych, wszystkie z pęknięć biegnących w kierunku północ-południe, tworząc grupę Toconquis (dawniej nazywaną formacją Toconquis). Ignimbryty Real Grande i Cueva Negra uważano za homologiczne, podobnie jak wschodni Leon Muerto i kilka ignimbrytów Merihuaca, [86] ale później odkryto, że ignimbryty Leon Muerto i Merihuaca prawdopodobnie powstały z odrębnych systemów wentylacyjnych i mają odrębny skład, a ignimbryt Cueva Negra uważano później za odrębną formację od innych ignimbrytów grupy Toconquis. [88] Późniejsze klasyfikacje ustawiły ignimbryty Blanco/Merihuaca mające 6,5–5,5 miliona lat, Pitas mające 4,8 miliona lat, Real Grande mające 4,7 miliona lat, Vega mające 4,5 miliona lat i ignimbryt Cueva Negra mające 3,8 miliona lat.

Formacja jest dość niejednorodna, z niektórymi ignimbrytami oddzielonymi ostrymi stykami, a stopień spawania i zawartość kryształów pumeksu różni się w zależności od ignimbrytu. Ogólnie rzecz biorąc, ignimbryty są bogate w kryształy i pumeks, nie są spawane i zawierają niewiele struktur przepływu, z wyjątkiem spawanego ignimbrytu Cueva Negra. [88] Niektórym erupcjom ignimbrytów poprzedzało powstanie kolumn erupcyjnych Pliniusza, które generowały opad popiołu, a w ignimbrytach występują dowody na pulsujący przepływ.

Po północnej stronie kompleksu Galán ignimbryty rozciągają się na odległość do 80 kilometrów (50 mil) od kaldery i mogły dotrzeć jeszcze dalej przed erozją, i mają grubość 300 metrów (980 stóp). Ignimbryty mają całkowitą objętość około 650 kilometrów sześciennych (160 mil sześciennych), przy czym ignimbryt Real Grande stanowi ponad połowę jego objętości. Objętość poszczególnych ignimbrytów zwiększa się wraz z ich wiekiem, przy czym początkowe ignimbryty Blanco i Merihuaca mają objętość około 70 kilometrów sześciennych (17 mil sześciennych).

Ostatnia erupcja mogła wytworzyć kalderę, która później została zatarta. Emisja strumieni lawy miała miejsce również w fazie Toconquis, ogólnie rzecz biorąc, pomiędzy erupcjami, które utworzyły główne ignimbryty, miała miejsce silna aktywność wulkaniczna. Ignimbryt Cueva Negra został umieszczony po grupie Toconquis, a małe kopuły lawy i strumienie piroklastyczne nadal były erupowane aż do właściwego ignimbrytu

Galán. System magmowy spłynął się w tym czasie, co spowodowało zmiany w składzie wybuchających ignimbrytów i ogólny wzrost wysokości w regionie.

Ryodacytowy ignimbryt Galán właściwy został umieszczony $2,08 \pm 0,02$ mln lat temu. Oprócz facji, która pozostała wewnątrz kaldery i ma minimalnie 1,4 kilometra (0,87 mili) grubości, ignimbryty rozciągają się poza kalderę na odległość 80 kilometrów (50 mil), ale ze średnią odległością wylotu 40 kilometrów kwadratowych (15 mil kwadratowych) i mają grubość 200–10 metrów (656–33 stóp); bliżej kaldery został w dużej mierze zerodowany, a bardziej kompletne odsłonięcia występują dalej od Galán. Przeciwny pogląd jest taki, że ignimbryt Galán został w dużej mierze zerodowany tylko na swojej północnej stronie przez działanie wiatru, tworząc jardy. Odrodzona kopuła składa się z materiału ignimbrytowego Galán, wraz ze skałami podłoża. Wychodnia „Toba Dacitica” odległa o 270 kilometrów (170 mil) od wulkanu była kiedyś uważana za część erupcji Galán, ale później odkryto różnice w składzie.

Ignimbryt Galán jest dość jednorodny i ma wysoką zawartość kryształów; ogólnie rzecz biorąc wydaje się, że erupcja rozpoczęła się i osiągnęła duże rozmiary dość szybko, nie pozostawiając czasu na utworzenie kolumny erupcyjnej lub odrębnych jednostek przepływu, z wyjątkiem niektórych miejsc. Z drugiej strony, wytworzone przepływy były stosunkowo wolnymi przepływami, które miały niewielką zdolność do przechodzenia ponad przeszkodami topograficznymi lub przemieszczania skał. Niemniej jednak rozprzestrzenił się na duże odległości, ponieważ topografia regionu została spłaszczona przez poprzednie ignimbryty Toconquis, i był nadal gorący, gdy się zatrzymał. Pumeks jest rzadki i zwykle występuje tylko w małych fragmentach, a fragmenty skalne są również rzadkie, z wyjątkiem podstaw złoża. Z drugiej strony struktury fiamme są dość powszechne, szczególnie tam, gdzie ignimbryt przekraczał doliny rzeczne. Ignimbryt wykazuje różny stopień spawania, ale często ma spektakularne połączenia kolumnowe.

Początkowo zakładano, że ignimbryt ten wydobywa się z powierzchni 7500 kilometrów kwadratowych (2900 mil kwadratowych), ale później odkryto, że pokrywa on powierzchnię bliższą 2400 kilometrów kwadratowych (930 mil kwadratowych). Pomiedzy ignimbrytem wewnątrzkalderowym, częściami ignimbrytu, które oddalają się od kaldery i wychodniami w dużej odległości, objętość wynosi około 650 kilometrów sześciennych (160 mil sześciennych), co stanowi spadek w stosunku do wcześniejszych szacunków objętości przekraczających 1000 kilometrów sześciennych (240 mil sześciennych), ale erupcja Galán jest nadal jedną z największych znanych erupcji wulkanicznych, a wulkan wytworzył prawie połowę objętości ignimbrytów w południowej Punie. Ignimbryt Galán jest największym ignimbrytem wyrzuconym przez to centrum; istnieje tendencja do zwiększania objętości pojedynczych ignimbrytów w miarę starzenia się wulkanów, nie tylko w Galán, ale także w innych ośrodkach ignimbrytowych w Puna, co może być konsekwencją postępujących zmian w skorupie. Takich gigantycznych erupcji nie obserwowano w historii i

uważa się je za jedno z najniebezpieczniejszych znanych zjawisk wulkanicznych³².

Między wspomnianymi kataklizmami Yellowstone i Galán minęło około 400 tysięcy lat. To okres bardzo długi. Przypuszczalnie w tym czasie znacznie zniwelowane zostały skutki pierwszego wulkanizmu. Doszło do ponownego ocieplenia, a erupcje spowodowały kolejne ochłodzenie. Takich nawrotów we wczesnym plejstocenie (do 900 tys. Lat temu) było więcej. W ciągu niespełna jednego miliona lat lądolód kilkakrotnie pokrywał półkulę północną do 50° szerokości geograficznej, a następnie wycofywał się do okolic podbiegunowych. Efektem zlodowaceń było obniżanie światowego poziomu morza, związane ze związaniem dużych ilości wody przez lądolody i lodowce. Wynurzył się rejonu dzisiejszych wysp indonezyjskich i doszło do połączenia ich mostem lądowym z Azją. Lądowym połączeniem pomiędzy Azją i Ameryką Północną była Beringia. Wielka Brytania została połączona lądem z kontynentalną Europą.

Zmiany klimatyczne miały wpływ na rozwój flory i zmiany w faunie na różnych obszarach Ziemi. Podobnie jak i w poprzednich epokach do zmian takich dochodziło również w wyniku kataklizmów – impaktów meteorytów i wulkanizmu. Początkowo okresy z panowaniem odpornej na chłody roślinności stepowej i tundrowej występowały naprzemiennie z okresami ciepłymi, w których rozwijały się szerokolistne lasy z wieloma drzewami ciepłolubnymi: *Eucommia*, *Castanea*, *Carya*, *Pterocarya*. Jednak w efekcie coraz silniejszych ochłodzeń część drzew, między innymi *Eucommia*, *Carya*, *Tsuga* i *Sciadopitys* całkowicie znikła z Obszaru Europy. Wraz z zajęciem ogromnych przestrzeni przez stepotundrę ok. 1 mln temu pojawiła się w Europie i Azji plejstocenska megafauna – mamuty, nosorożce włochate, niedźwiedzie jaskiniowe, piżmowoły i jelenie olbrzymie, a w Ameryce Północnej mastodonty i tygrysy szablatozębne.

Początki ostatniej epoki lodowcowej wiążą się z pojawieniem się gatunku *Homo*. Do pojawienia się hominidów doszło w Czwartorzędzie. Na ich rozwój (ewolucję) niewątpliwie wpływ miały wspomniane powyżej wydarzenia, a zwłaszcza zmiany klimatyczne.

Ewolucja ssaków

Z punktu widzenia filogenetyki ssaki są jedynymi synapsydami, które przetrwały. Ich linia rozwojowa oddzieliła się od linii zauropsydów (większość gadów) w karbonie, między 320 a 315 milionami lat temu, były to najbardziej rozpowszechnione i największe gady permu.

Chociaż gruczoły piersiowe są bardzo charakterystyczną cechą ssaków nowoczesnych, o ewolucji laktacji wiadomo bardzo niewiele. Właściwie zaś nic

³² Galán, <https://en.wikipedia.org/wiki/Galán> [Kay i in. proponowali, że ignimbryt Galán składał się z trzech oddzielnych jednostek: jednej wewnątrzkalderowej, która powstała 2,13 mln lat temu, oraz dwóch pozakalderowych, powstałych 2,09 i 2,06 mln lat temu. Tamże.]

nie wiadomo o ewolucji innej rozpoznawczej cechy ssaków, kory nowej (część mózgu). Najwięcej badań rozwoju tej grupy zwierząt dotyczy powstania kosteczek słuchowych ze składowych stawu żuchwy owodniowych przodków ssaków. Inne z kolei dotyczą wyprostowania kończyn (u gadów są one zwykle zgięte bocznie), wtórnego podniebienia kostnego, sierści i włosów, a także ciepłokrwistości.

Ewolucja zwierząt zaliczanych do gromady ssaków (Mammalia) to stopniowy proces trwający około 70 milionów lat, który rozpoczął się w środkowym permie od pojawienia się synapsydów (gadów ssakokształtnych). W środkowym triasie istniało wiele stworzeń przypominających ssaki. Ssaki właściwe pojawiły się jednak we wczesnym okresie jurajskim. Najstarszy znany torbacznik, *Sinodelphys*, pojawił się 125 milionów lat temu, we wczesnej kredzie, w tym samym czasie żyła także *Eomaia*, pierwszy znany łożyskowiec. Z kolei najwcześniejszy znany stekowiec, *Teinolophos*, pojawił się 2 miliony lat później. Po sławnym wymieraniu kredowym, podczas którego zniknęła większość gadów mezozoiku (przetrwały wywodzące się od dinozaurów ptaki), ssaki zyskały możliwość rozwoju w kierunku wielu nowych form i zajęcia nowych dla nich nisz ekologicznych, zajmowanych wcześniej przez gady. Rozwój ten miał miejsce w trzeciorzędzie, pod koniec tego okresu istniały już wszystkie znane dzisiaj rzędy ssaków.

Rozwój hominidów

Nie potrafimy dziś nawet szacunkowo określić czy, i jeśli tak to, jak wiele hominidów zamieszkiwało Ziemię w przededniu plejstocenu, nie potrafimy też z pełnym prawdopodobieństwem stwierdzić, czy do wyodrębnienia naszego gatunku (z *Australopithecus*) doszło przed, czy też już po nastąpieniu tego zlodowacenia. Badania archeologiczne w Ke-nii, Tanzanii i Południowej Afryce wykazały, że istoty praludzkie *Homo habilis* egzystowały paralelnie z australopitekami w okresie od 3.000.000 do 1.600.000 lat temu. Najbardziej na północny zachód wysunięte znalezisko australopiteckie (lub *Homo habilis*, nie mamy bowiem pewności, czy – a jeśli tak, to w jakiej skali – australopiteki korzystały z narzędzi) leży na wschód od jeziora Czad w miejscowości Koro-Toro. Jest ono późniejsze od znalezisk w Etiopii i Tanzanii. Drugie skupisko australopiteków to Transwal w południowej Afryce. *Homo habilis* różnił się od australopiteków bardziej intensywnym korzystaniem z po-karmu mięsnego. Zdobywał go w znacznej części jako padlinożerca, wykorzystując mięso padłych dużych ssaków, najczęściej ofiar drapieżników, ewentualnie polując na małe zwierzęta. *Homo habilis* miał mózg znacznie większy od *Australopithecusa*. Żył gromadnie, zamieszkując obozowiska, które już 2.200.000 lat temu charakteryzowała organizacja przestrzenna, a nawet konstruowanie ogrodzeń przeciwko drapieżnikom lub wiatrochronów z kamieni lub gałęzi. Pierwsze stadium rozwojowe kultur otoczekowych na terenie Afryki przypada na okres 2.600.000/2.400.000 – 2.000.000/1.900.000 lat temu.

Homo habilis – człowiek zręczny żył w okresie pomiędzy 2.090.000 – 1.980.000 lat temu. Miał mózg, osiągający maksymalnie objętość około 650 cm³. Badania mikrouszkodzeń na zębach dowodzą, że oprócz roślin i twardych orzechów jadł również mięso. Podstawą do nadania przedstawicielom tego

gatunku takiej nazwy była zaawansowana technologia obróbki krzemienia, w rezultacie, której powstawały narzędzia powtarzalne, takie same, a nie przypadkowe, amorficzne, jak w poprzednich milionach lat.

Pierwsze hominidy zamieszkiwały tereny cieków wodnych i nad jeziorami, co zapewniało im lepszą ochronę przed zwierzętami oraz dostęp do wody pitnej. Wówczas łatwiej mogły natrafić na padłe okazy zwierząt np. słoni lub hipopotamów, które najczęściej padały w pobliżu cieków wodnych.

Kiedyś sądzono, że *Homo habilis* był bezpośrednim przodkiem *Homo erectus*, od którego z kolei wywodzi się *Homo sapiens*. Jednak parę lat temu okazało się, że obydwie gatunki zamieszkiwały Afrykę w podobnym okresie i jest bardzo prawdopodobne, że *Homo habilis* był nawet młodszy od *Homo erectus*. W miarę precyzyjne daty wyodrębnienia i istnienia tego gatunku wciąż są w sferze hipotez.

Nie mamy zbyt wielu świadectw istnienia poprzedników hominidów w tym okresie, możemy jednak przypuszczać z dużym prawdopodobieństwem, że klęska, która doprowadziła do tak znacznego ochłodzenia klimatu, i drastyczne zmiany poprzedniego środowiska przyrodniczego spowodowały spadek populacji, a później konieczność dostosowania się do tak drastycznie zmienionego środowiska wielu gatunków, w tym i poprzedników pierwszych hominidów, do wyodrębnienia się, których doszło prawdopodobnie właśnie w tym okresie. Wiele gatunków zwierząt zniknęło wówczas całkowicie. Tak działo się od początku pojawienia się życia na ziemi, tak jest zresztą i dzisiaj, choć co smutne i co warto podkreślić, dziś wiele gatunków ginie z powodu naszej działalności i naszej nadpopulacji. W czasach, który jest tematem tego rozdziału to jednak tylko jakiś kataklizm i gwałtowna zmiana klimatu spowodowała to, że tylko niektóre gatunki przetrwały, a także i to, że nowe warunki przyczyniały się do rozwoju określonych cech u gatunków już istniejących.

Kolejny znany nam gatunek hominidów, *Homo rudolfensis*, żył prawdopodobnie w okresie pomiędzy 2.090.000 – 2.030.000 lat temu i 1.870.000 – 1.780.000 lat temu, a więc około 500.000 lat od początku plejstocenu. Jeden z analizujących szczątki *Homo rudolfensis* uczonych stwierdził, że była to istota z niewiarygodnie płaską twarzą. Warto zauważyć, że czas egzystowania tego gatunku przypada na okres gwałtownych zmian klimatycznych. Może jednak zbieżność taka jest tylko przypadkowa? Do niedawna nie było nawet pewne, czy gatunek ten rzeczywiście istniał, znano, bowiem tylko jedną jego skamieniałość. W 2012 r. słynna amerykańska paleontolożka Meave Leakey ogłosiła znalezienie fragmentów szczątków trzech innych osobników. *Homo rudolfensis* zamieszkiwał okolice kenijskiego jeziora Turkana i 2.000.000 lat temu był jednym z trzech istniejących wówczas gatunków hominidów. Oprócz niego w Afryce można było wówczas spotkać jeszcze *Homo habilis* i *Homo erectus*. Mózg *Homo rudolfensis* miał objętość ok. 775 cm³, czyli był o połowę mniejszy od naszego.

Homo erectus był już bardzo podobny do człowieka współczesnego. Przybrał postawę wyprostowaną, o czym świadczą wydłużone kości udowe. W

wieku dojrzałym osiągał wzrost 145 – 180 cm, a jego mocniejsza od naszej czaszka mieściła mózg o objętości 650 – 1250cm³, co wcale tak bardzo nie różni się od pojemności naszych współczesnych czaszek (1100 – 1800 cm³). Niedawno dowiedziono, że jego stopy były zbudowane identycznie jak ludzkie. Tylko tułów był nieco bardziej pękaty i potężniejszy od naszego. Gatunek ten miał też lepiej – od wcześniejszych hominidów – dostosowaną do wytwarzania narzędzi rękę i przypuszczalnie doskonalsze ośrodki mózgowe nią kierujące.

W wyniku czteroletnich badań w północnej Kenii (w latach 2004 – 2008) kolejny zespół naukowców przebadał tysiące skamieniałych narzędzi i kości z okresu około 1.950.000 lat temu. Zachowane artefakty pozwoliły zespołowi skrupulatnie i dokładnie zrekonstruować środowisko ówczesnych hominidów. Liczne skamieniałe szczątki roślin i wymarłych gatunków dowodzą, że pierwsi ludzie żyli w mokrym – i może nawet bagnistym – środowisku. Dziś w regionie tym panuje klimat suchy. Przy użyciu różnych technik, zespół był w stanie stwierdzić, że hominidy zabiły, co najmniej 10 osobników – w tym żółwie, ryby, krokodyle i antylopy – spożywając je surowe na miejscu, jako posiłki. Znalezione ślady na kościach wskazują, że hominidy używając prostych, ostrych narzędzi kamiennych zarzynały swoje ofiary. Tak szeroka dieta umożliwiła rozwój mózgu człowieka. Coraz większy mózg wymagał wielu składników odżywczych i kalorii. Myślę, że warto tu zwrócić uwagę na zależność między zmianą klimatyczną a kolejnymi etapami ewolucji. Gwałtowna zmiana środowiska doprowadziła zapewne do znacznego spadku populacji australopiteków i wówczas z węższej grupy, która dostosowała się do nowych warunków między innymi poszerzając dietę, wyodrębnił się nowy gatunek.

Według teorii Richarda Leakeya z lat sześćdziesiątych XX wieku *Homo erectus* tworzył społeczność, którą cechowały związki monogamiczne i zbieracko-łowiecki tryb życia. Jedyne, co miało różnić gatunek *Homo erectus* od *Homo sapiens*, to zdaniem tego paleontologa mniejszy mózg. *Homo erectus* używał kamiennych i kościanych narzędzi. Umiejętność tę odziedziczył po przodku *Homo habilis*, ale wytwarzane narzędzia kamienne nosiły już ślady znaczniejszej obróbki.

Przyjmując znaczące zmiany jakościowe w dziedzinie technologii obróbki kamienia jako główne kryterium wydzielenia danej kultury, archeolodzy wyodrębnili i wprowadzili do nauki związane z gatunkiem *Homo erectus* pojęcia kultury olduwajskiej i kultury aszelskiej. Pierwszym świadectwem rozwoju tych kultur było wytwarzanie narzędzi rdzeniowych na otoczkach. Rodzaj surowca, z jakiego wykonywano pierwsze narzędzia stanowiło kryterium wydzielenia, zaś stopień zaawansowania technologicznego w obróbce tego surowca wyznacza 3 stadia rozwojowe niniejszych kultur na terenie Afryki.

Kultura olduvai nazywana jest też kulturą preszelskoaszelską i uważana jest za najstarszą kulturę paleolitu. Zespoły oldowajskie znane są głównie z obszarów środkowo-wschodniej Afryki. Stanowisko kultury olduwajskiej, odkryto np. w okolicach Chaszm al-Kirba we wschodnim Sudanie. Większość stanowisk znajduje się w granicach Wielkich Rowów Afrykańskich m.in. basen jeziora Baringo (dzisiejsze terytorium Kenii). Nieliczne znaleziska zaliczane do zespołów oldowajskich wykraczają poza granice Wielkich Rowów Afrykańskich

sięgają z jednej strony wschodnich krańców Afryki – stanowisko Sterkfontein, z drugiej zaś do Maghrebu głównie tereny dzisiejszej wschodniej Algierii – Ain Hanech koło Satif oraz atlantyckiego wybrzeża Maroka – Suk al-Arba al-Gharb.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że wśród pierwszych hominidów zmiany kulturowe postępowały bardzo wolno i że często przyczyną tych zmian były zmiany klimatyczne, których konsekwencją była zmiana środowiska naturalnego. Tak było również w kolejnych epokach. Archeolodzy badający późniejsze kultury, np. istniejące na ziemiach polskich ok 6 tys. lat p.n.e. wykazują, że ludzie bardzo długo pozostawali na tym samym poziomie kultury (w tym czasie ok. 4 tys. lat), nie dokonując prawie żadnych w niej modyfikacji, jeśli nie zostali do tego zmuszeni okolicznościami zewnętrznymi. Być może to właśnie gwałtowne i znaczne zmiany środowiska w wyniku gwałtownych zmian klimatycznych wpływały na rozwój cywilizacji. Człowiek szukając możliwości przetrwania musiał dokonywać wynalazków, które umożliwiały mu istnienie w nowym środowisku. Zmiany genetyczne nie dawały takiej możliwości, gdyż następowały zbyt wolno (pokoleniami), konieczne, więc stały się zmiany kulturowe, np. oswojenie ognia, produkcja narzędzi, odzieży, wynalezienie igły itd. Później zapewne dodatkowym czynnikiem zmian kulturowych stało się środowisko społeczne, ale to już inne zagadnienie.

Badacze od bardzo dawna wiążą powstanie kultury aszelskiej z *Homo erectus*, podczas gdy olduwajską przypisują prymitywniejszemu *Homo habilis*. W Kokiselei badacze znaleźli wśród narzędzi aszelskich również olduwajskie. Może to wskazywać, że oba gatunki ludzi żyły tam równocześnie. Może też jednak równie dobrze oznaczać, że jeden gatunek ludzi, np. *Homo erectus*, używał obu rodzajów narzędzi jednocześnie w zależności od potrzeb. Wszak w wielu wypadkach proste narzędzie, które my zwiemy olduwajskim, mogło w zupełności wystarczać do wykonania jakiejś czynności, a jego wytworzenie było dużo łatwiejsze niż pięściaka. Zdaniem badaczy współwystępowanie obu rodzajów narzędzi jasno ukazuje, że obie te technologie nie wykluczały się. Ciekawe jest również to, że w czasie, gdy mieszkańcy okolic jeziora Turkana wytwarzali pięściaki, to *Homo erectus* żyjący na słynnym stanowisku Dmanisi w dzisiejszej Gruzji używali wciąż narzędzi olduwajskich. Możliwych wyjaśnień jest tu bardzo dużo. Pierwsi ludzie mogli np. wyjść z Afryki jeszcze zanim pojawiły się pięściaki. Mogli też wyjść już po ich wynalezieniu, ale albo należeli do grup, do których ta nowinka jeszcze nie dotarła, albo po drodze zapomnieli, jak się je wytwarza.

Nazwa kultura aszelska powstała w czasie, gdy kryterium zaliczania jakiegoś nowo odkrytego zespołu do określonej kultury polegało na występowaniu w tym zespole form lub formy przewodniej dla stanowiska eponimicznego. Taką formą przewodnią dla kultury aszelskiej był pięściak aszelski (migdałowate, lancetowate, sercowate, limand, później także mikockie). Około 1950 roku przyjęto istnienie kilku (najmniej 3) zespołów odznaczających się podobieństwem klas narzędzi, technik, form bytowania, pozostałości kultu i ewentualnie elementów zdobnictwa. Konsekwencją przyjęcia tej metody był podział tzw. kultury aszelskiej na kilka grup. Dotychczas nie przeprowadzono jednak, szczegółowego podziału według powyższych kryteriów. Do przewodnich elementów inwentarza tej kultury należą pięściaki

wykonywane techniką rdzeniowania z naturalnych fragmentów skał. W fazie wczesnoaszelskiej między 1,5 – 1 mln lat temu pięściaki w swojej formie są masywne i posiadają silnie sinusoidalną krawędź pracującą. Wiąże się to z zastosowaniem techniki opartej na tzw. *twardym tłuku*. Fazę środkowoaszelską (1 mln – 600 tys.) cechuje doskonalsza technika obróbki narzędzi bifacjalnych oraz pojawienia się odłupkowych rozłupców – w swojej pierwotnej formie.

Należy zaznaczyć, że społeczeństwa kultury olduwajskiej i aszelskiej długo występowały obok siebie. Okres współwystępowania obu przemysłów mieści się w przedziale między 1.500.000 – 700.000 lat temu, zaś na stanowiskach w rejonie Melka Kunture w Etiopii można zaobserwować sukcesywne przejście od technologii olduwajskiej do technologii aszelskiej. Okres ten trwał od ok. 1.800.000 – 500.000 lat temu, kiedy zasadnicze przejście od jednej technologii w drugą odbyło się zapewne w przedziale między 1.500.000 – 1.200.000 lat temu. Zespoły abwilskie, ale zbliżone do olduwajskich na terytorium Europy środkowej (dzisiejsze Węgry i południowe Niemcy) istniały jeszcze 300 tys. lat temu.

Ponownie powinniśmy postawić pytanie, czy wspomniane zmiany kulturowe nie miały jakichś związków z ówczesnymi zmianami klimatycznymi, których przyczyną był wulkanizm. Podążając tym tropem znalazłem informację, że położony w Indonezji, Wulkan Toba wybuchł 1,5 mln lat temu. Na ten okres datuje się również pierwsze erupcje wulkanu Iztaccihuatl, który znajduje się w południowo-zachodnim Meksyku, erupcje obejmowały wylewy lawy i gorejące chmury. Kolejny stratowulkan, Valles znajdujący się na terytorium USA, w stanie Nowy Meksyk wybuchł po raz pierwszy 1,25 mln lat temu.

Argumentem przeciwnym może być ten, że pojawienie się zespołu aszelskiego w Olduvai około 1,2 mln lat temu nie doprowadziło do przeobrażenia kultury olduwajskiej nawet w tej części Tanzanii, gdzie rozwijała się ona wcześniej. Przejmowanie osiągnięć cywilizacyjnych i zmiany wcześniej przyjętych form życia od jednych społeczeństw przez inne następowało jednak wówczas bardzo wolno. Wynalazki zaspokajające określoną potrzebę jednych gromad, nie zawsze były przyjmowane przez inne gromady. To ważne odkrycie, gdyż – jak zauważymy – dotyczyć będzie i późniejszych kultur. Biorąc jednak pod uwagę wpływ zmian klimatycznych na rozwój kultur należy pamiętać, że zmiany klimatyczne te nie dotyczyły w tym samym stopniu wszystkich obszarów oraz to, że kontakty międzykulturowe były wówczas jeszcze bardzo małe.

Twórcy kultury aszelskiej, tak jak oryniackiej, posługiwali się modelem gospodarki przyswajalnej, która miała charakter zbieracki uzupełniany przez szczątki padłych zwierząt. We wczesnym stadium rozwoju aszelenu człowiek jeszcze nie polował. Przemawiają za tym ślady pozostawione na kościach zwierzyny odnajdywanej na stanowiskach aszelskich. Kości te posiadają w dużej mierze ślady gryzienia przez drapieżniki. Wraz z rozwojem aszelenu diametralnie spadła ilość śladów pozostawionych przez drapieżniki, wzrasta za to ilość śladów pozostawionych przez narzędzia używane przez człowieka. Świadczyć to może o preferencyjnym dostępie człowieka do tusz padłej zwierzyny. Uzyskanie takiego dostępu do padłej zwierzyny wymagało zorganizowanych działań podjętych przez większe grupy ludzkie, które by

pozwalają na odpędzenie większych drapieżników przy pomocy np. ognia.

Pierwsze migracje hominidów

Od czasu powstania naszego gatunku, do którego jak dziś uważa się niemal powszechnie doszło w Afryce pierwsi ludzie rozprzestrzenili się na ogromnych połaciach ziemi. Do pierwszej migracji z Afryki doszło przypuszczalnie między 1.850.000 a 1.780.000 lat temu. Dowody archeologiczne wskazują, że od tego czasu możemy obserwować ślady człowieka również na obszarach Europy i Azji. Nie wiemy, czy była to jednorazowa fala, czy też do czasu kolejnej wyodrębnionej fali tzw. migracji *Homo sapiens* z lat pomiędzy 100.000 (czasami przesuwana datę początkową aż do 200.000 lat temu) a 50.000 lat temu, takich migracji nie było znacznie więcej. Osobiście opowiadałbym się raczej za tą drugą hipotezą, ale jak dotąd nie mamy na to przekonujących dowodów. Dochodziło zapewne również do reemigracji, czyli niektóre ludy *Homo erectus* mogły wracać na tereny, z których wcześniej emigrowały.

I ponownie powinniśmy postawić sobie pytania: co było przyczyną tej migracji oraz co ją umożliwiło. Myślę, że doprowadził do niej wzrost populacji, a także zmiany klimatyczne, ocieplenie, do którego doszło zapewne tym okresie. Katastrofa Yellowstone spowodowała globalne ochłodzenie, możemy, więc, mówić o kolejnej epoce lodowcowej. Jak długo jednak trwała? Może nawet tysiące lat, ale przecież wyżej określiłem, że czas migracji pierwszych hominidów mógł nastąpić w czasie odległym aż o 50.000 a może nawet 100.000 lat od czasu tego kataklizmu. W tak długim okresie klimat ponownie ulegał zmianie, a może nawet wielu zmianom. W wyniku kolejnego ocieplenia klimatu wzrosła ilość opadów na obszarze Afryki, a co za tym idzie wzrost ilości zwierzyny w tym także wzrost liczby ludności. Ta zaczęła rozpraszać się po świecie wypełniając kolejne nisze ekologiczne, które w wyniku postępującego ocieplenia i cofania się lodowców wytworzyły się na obszarach Azji Mniejszej, Azji i Europy, tam, gdzie ustępował lodowiec. Być może to kolejne wybuchy wulkaniczne lub inne katastrofy wpłynęły na dalsze zmiany klimatu, a to z kolei mogło skutkować zmianami środowiska przyrodniczego na niektórych obszarach i zmusić część zamieszkujących ją hominidów do poszukiwań nowych nisz ekologicznych. Wydarzenia te nie miały przypuszczalnie zasięgu globalnego, ale wpłynęły na zasiedlenie ogromnych połaci Europy i Azji.

Rozdział VII

Ochłodzenie (ok. 900.000 lat temu)

Okolo 900.000 lat temu, prawie tysiąc lat po rozpoczęciu zasiedlania przez hominidy innych, poza Afryką, kontynentów, nastąpiło tak znaczące oziębienie, że lądolody wkroczyły na teren Ameryki Północnej, Europy oraz Azji na półkuli północnej, a na półkuli południowej objęły Argentynę, Ziemię Ognistą i Tasmanię – rozpoczęła się jak piszą niektórzy badacze „prawdziwa”, lub mówiąc inaczej kolejna epoka lodowcowa. Średnia temperatura roczna spadła o 5,5 °C na całej kuli ziemskiej w stosunku do średniej temperatury rocznej, która obecnie wynosi 15 °C

Warto jednak zauważyć, że od tego czasu w ciągu niespełna jednego miliona lat na półkuli północnej lądolód kilkakrotnie nasuwał się aż do 50 stopnia, a nawet 40 stopnia szerokości geograficznej, a następnie wycofywał do okolic podbiegunowych. Bardzo ważnym skutkiem każdego okresu glacialnego było znaczne obniżenie, nawet o 100 m, globalnego poziomu morza, spowodowane uwięzieniem wody w lodowcach. Każde z tych kolejnych okresowych zlodowaceń można połączyć z okresowymi wzmożeniami erupcji wulkanicznych, dla wielu znajdujemy też ślady uderzeń meteorytów (kratery poimpaktowe, meteoryty). Uważam więc za bardzo prawdopodobną hipotezę, że wydarzenia te należy łączyć. Ponieważ okresy ochłodzenia i ocieplenia następowały pozornie przemienne, większość badaczy wprowadziła koncepcję ich cykliczności. Cytowana tu autorka piszę, że: początkowo cykl glacjał/interglacjał trwał 40 tysięcy lat, później 100 tys., przy czym zlodowacenia trwały 70 – 90 tys. lat, a interglacjały zaledwie kilkanaście tys. lat. W czasie maksymalnego rozprzestrzenienia się lądolodu średnia temperatura roczna mogła spaść nawet o 9 – 10 °C, a warunki klimatu arktycznego zapanowały na ponad 1/3 obszaru półkuli północnej. Cykl glacjał/interglacjał obejmował około 80 – 120 tys. lat. Okresy zlodowaceń przedzierały silne ocieplenia, zwane interglacjałami. Na początku epoki lodowcowej interglacjały były bimodalne (np. interglacjał augustowski i ferdynadowski), to znaczy obejmowały zarówno okresy ciepłe z rozwiniętymi lasami liściastymi, jak i okresy zimne z przewagą roślinności stepotundry. W interglacjałach holsztyńskim i eemskim klimat był zdecydowanie cieplejszy niż dziś. Na obszarze Europy środkowej pojawiły się lasy liściaste, a w nich rośliny wymagające cieplejszych warunków do życia – w interglacjał eemskim, takie jak ostrokrzew, bukszpan i dzika winorośl, a w interglacjał holsztyńskim również skrzydlorzech. Podczas interglacjału holsztyńskiego średnia temperatura lata mogła dochodzić do 20 °C (dziś 17 – 19 °C), a zimy ok. 0 °C (dziś 1 – 3 °C). Natomiast w czasie optimum klimatycznego interglacjału eemskiego średnie temperatury lata wynosiły w

Europie zachodniej i środkowej co najmniej 18 °C, a podczas zimy nie spadały poniżej –1,5 °C.

Pisałem już o tym powyżej, uważam jednak to za bardzo ważne i dlatego powtarzam: nie możemy mówić o cykliczności, lecz raczej o przemienności, lub zmianach, należy pamiętać też, że w okresach zlodowacenia mogło dochodzić do ich pogłębienia i przedłużania. Zmiany te nie miały charakteru jednostajnego oraz miały różny zakres i obejmowały za każdym razem inne obszary.

Wynikiem zmian klimatycznych były zmiany środowiska, w jakim rozwijał się i nasz gatunek. To zapewne konieczność dostosowania się hominidów do zmieniających się warunków wpływała na ich ewolucję. Osobniki lepiej dostosowane do środowiska miały większe możliwości przetrwania. Do czasu wyodrębnienia się i migracji *Homo sapiens* z Afryki wśród hominidów, żyjących tak na obszarze Afryki, jak i innych kontynentów wyodrębniły się inne podgatunki, lub – mówiąc innym językiem – wśród hominidów doszło do dość znacznego zróżnicowania genetycznego. To dość trudne zagadnienie i wymaga odrębnych studiów, zgodnie jednak z przyjętą definicją gatunkową np. neandertalczyków, denisowian i *Homo sapiens* należałoby zaliczyć do jednego gatunku. Mogli, bowiem zawierać związki, a ich potomstwo mogło dalej przekazywać swe geny, których ślady zachowały się w naszym genotypie. W każdym razie do końca 100.000 lat temu nauka wyróżniła kilka podgatunków: *Homo antecessor* (ok. 780 tys. lat temu), *człowieka z Tautavel*, *Homo neanderthalensis*, *Denisowian*. Przyczyną tych zróżnicowań genetycznych była zmiana środowiska naturalnego, w którym przyszło żyć kolejnym populacjom *Homo erectus*. Konieczność dostosowania się do odmiennego klimatu, a także odmienna dieta po-wodowały, że w nowych niszach ekologicznych większe możliwości przetrwania, a także przekazanie swego genotypu mieli ci, których cechy (np. kolor skóry) ułatwiały dostosowanie się do nowego środowiska. Należy również wziąć pod uwagę i to, że w wyniku kataklizmów i zmian klimatycznych na wielu obszarach dochodziło do gwałtownych spadków populacji, a jak wykazały ostatnie odkrycia na pewnych obszarach siła kataklizmów była tak wielka, że wyginęła na nich większość gatunków i ślady ich wcześniejszego tam bytowania.

Szukając przyczyn powracających fal ochłodzenia dostrzegłem, że podobnie jak i w poprzednich tego typu przypadkach, można je znaleźć w kataklizmach: uderzeniach meteorytów i w wulkanizmie. Idąc tropem poprzednich epok zacząłem poszukiwać informacji dotyczących kataklizmów, takich jak upadki planetoid lub innych meteorytów, oraz wybuchów stratowulkanów, sądząc, że i tym razem to one mogły mieć związek z tak znacznymi zmianami klimatu. Tym razem, jednak moja kwerenda początkowo przyniosła niewielki efekt.

Asteroidy

Około 900 tysięcy lat temu powstał krater uderzeniowy Żamanszyng. Jego ślady zostały zidentyfikowane w obwodzie aktobskim w Kazachstanie. Krater ma 14 km średnicy i powstał w wyniku uderzenia małej planetoidy o składzie chondrytowym (istnieje też możliwość, że był to impaktor żelazny) w skały

osadowe pokrywające podłoże krystaliczne. Uderzenie doprowadziło do dużych zmian w geologii tego obszaru, odsłaniając głębiej położone warstwy. Wewnątrz krateru na powierzchni ziemi znajdowane są kopalne koralowce i mięczaki, a także czarne i ciemnozielone tektyty, będące naturalnym szklivem powstającym przy impaktach. Średnica tego krateru jest stosunkowo mała (mniejsza o ponad połowę od tej, jaka powstała w wyniku impaktu meteorytu w Grenlandii ok. 12 tys. lat temu). Przypuszczanie więc, że nie mógł on być jedynym „winowajcą” aż tak znacznej zmiany klimatu tego okresu. Pisząc powyższe zakładałem, że być może po raz kolejny doszło do impaktu morskiego, a może z czasem znajdziemy też kolejne ślady impaktów lądowych. Nie wiedziałem, że moje przypuszczenia znajdą potwierdzenie aż tak szybko, jeszcze przed ukończeniem korekty tej książki.

W lutym 2020 roku ukazały się w Internecie informacje o wynikach badań odkryć z 2018 roku. Okazuje się, że około 790 tysięcy lat temu na Ziemię spadła planetoida o średnicy aż ok. 2 kilometrów, która w zaledwie kilka sekund wyżłobiła krater wielkości dużej metropolii. Skały rozprysły się na odległość setek kilometrów z zawrotną prędkością 500 metrów na sekundę. Impakt był tak potężny, że szczątki tego ciała niebieskiego zostały rozrzucone na kilka kontynentów, pokrywając łącznie około 10% naszej planety. Tzw. tektyty zostały znalezione w Azji, na Australii i Antarktydzie. Naukowcy przez dłuższy czas próbowali zlokalizować miejsce upadku tej planetoidy. Nie było to łatwe, ponieważ po tak odległym czasie skały budujące krater uderzeniowy zazwyczaj ulegają erozji. Pomocne okazało się zastosowanie techniki satelitarnej. Na płaskowyżu Bolaven w południowym Laosie, w południowo-wschodniej Azji, odkryto płytką skałę, uformowaną z utwardzonej lawy, wystarczająco grubej, aby pokryć krater znacznej wielkości. Ma on średnicę 13 na 17 kilometrów. Lawa go zakrywająca pochodzi z tego samego okresu, co uderzenie, osady są zaś starsze. Ślady uderzenia są widoczne w skałach na 30 procentach powierzchni wschodniej półkuli i na 10 procentach całej powierzchni naszej planety. To świadczy o rozmiarach tego kataklizmu, który zmiotł wszelką roślinność i zwierzęta w promieniu 500 kilometrów od miejsca upadku planetoidy³³.

Zdaniem zespołu naukowców z uniwersytetu w Heidelbergu, mniej więcej w tym samym czasie, ok. 793 tys. lat temu +/- 8000 lat) ogromna kometa uderzyła w Australię. Uderzenie było tak silne, że część materiału wylądowało ponad 10 tys. km dalej. Okazało się, że w podobnym wieku są tektyty znalezione w Kanadzie i Azji. Powyższe informacje wskazują, że około 793 tys. lat temu doszło do serii uderzeń asteroid, które miały globalne konsekwencje. Doszło do licznych trzęsień ziemi, powstania gigantycznych fal tsunami i pożarów rozciągających się na setki kilometrów od miejsca eksplozji. Pyły i gazy, które przedostały się do atmosfery zablokowały promienie słoneczne i skutecznie obniżyły temperaturę na powierzchni całej planety.

³³ John Mol, *Odkryto krater, który powstał po upadku jednej z największych asteroid*, <https://zmiany.naziemi.pl/wiadomosc/odkryto-krater-ktory-powstal-po-upadku-jednej-z-najwiekszych-asteroid>. (2020-01-21 14:06)

Wulkanizm

Znajdujemy też dla tej epoki świadectwa aktywności wulkanicznej. Na lata około 820.000 lat temu datowana jest erupcja stratowulkanu Bromo (indonez. *Gunung Bromo*) we wschodniej części Jawy w Indonezji. Położony jest wewnątrz wielkiej kaldery Tengger o średnicy 16 km, której wiek szacowany jest właśnie na 820.000 lat. Wysokość tego wulkanu to obecnie 2329 m n.p.m.; średnica krateru ok. 700 m. Do wydłużenia zlodowacenia tego okresu mogła przyczynić się kolejna gigantyczna erupcja innego stratowulkanu, która miała miejsce 760.000 lat temu. Była to erupcja Bishop Tuff, po której opróżniona komora magmowa uległa całkowitemu zniszczeniu, zapadła się i utworzyła kalderę o wymiarach 16x32 km zwaną Long Valley Caldera (ang. Długa Dolina). Naukowcy szacują, że ponad 100 km³ tefry zostało szeroko rozproszone jako popiół, a aż około 200 km³ wybuchło jako piroklastyczne przepływy, które płynęły poza kalderą. Około 350 km³ pozostało i zastygło w obrębie kaldery. Pozostałości erupcji zajmują prawie 2200 kilometrów kwadratowych (850 mil kwadratowych) i mają grubość od 150 metrów (490 stóp) do 200 metrów (660 stóp).

Rozdział VIII

Zmiany klimatyczne w świecie od około 640.000 lat temu do około 80.000 lat temu

Sto tysięcy lat, to czas wystarczająco długi, by klimat ponownie uległ zmianie. Lodowiec (lodowce), do powstania, którego doszło w wyniku erupcji Bishop Tuff, lub który w jej efekcie na długi czas „tylko” zwiększył swój zasięg, w wyniku powracającego ocieplenia zapewne się cofnął. Do ocieplenia doszło z tego powodu, że pyły i gazy powulkaniczne, lub te, które dostały się do stratosfery po jakimś czasie opadły. Powinniśmy zadać sobie pytanie: jaka byłaby temperatura Ziemi, gdyby nie gazy cieplarniane i jaka będzie, gdy stopnieją wszystkie lodowce? Zostawmy jednak tu te rozważania. Około 650 tys. lat temu temperatura naszego globu była na tyle wysoka, że lodowce z wielu obszarów ustąpiły. Poziom oceanów i mórz ponownie znacznie się podniósł, naciskając na płyty tektoniczne. To wystarczający powód do wzmożenia wulkanizmu.

Kolejna erupcja Yellowstone

Około 640 tys. lat temu doszło ponownie do wybuchu stratowulkanu Yellowstone, którego ówczesną erupcję ocenia się na ósmy, najwyższy stopień. Stratowulkan ten był w stanie wyrzucić podczas erupcji ponad trylion ton lawy i popiołu, czyli trzydzieści razy więcej niż wulkan Krakatau w 1883 roku. Kaldera takiego wybuchu ma średnicę nawet kilkudziesięciu kilometrów i nie przypomina zwykłego, stożkowatego krateru, ale ogromną, płaską wyrwę w powierzchni ziemi, w której gotują się gejzery, fumarole i solfatary, i którą nawet trudno objąć wzrokiem. Do wybuchu takich stratowulkanów dochodzi wskutek potężnej eksplozji komory magmowej, mającej objętości kilkunastu tysięcy kilometrów sześciennych, jaka zalega kilka kilometrów pod powierzchnią ziemi.

W czasie erupcji Yellowstone, która miała miejsce we wspomnianym okresie, do atmosfery zostało wyrzucone ponad 1000 km³ materiału piroklastycznego. Na zakończenie tej erupcji doszło do zapadnięcia się opróżnionej komory i powstania kaldery zapadliskowej. Obszar ten nazywany jest wielką kalderą. Później następowały mniejsze erupcje lawowe, bez wyrzutu piroklastyków. Erupcja o tej skali doprowadziła do zniszczenia obszaru zajmującego znaczną część powierzchni Ameryki Północnej i doprowadziła do ochłodzenia klimatu na Ziemi z powodu olbrzymich ilości uwalnianych do

atmosfery tlenków siarki, które tworzą cienki welon kwasu siarkowego naokoło planety odbijający słoneczne światło przez wiele lat. W odległości 1000 mil od Yellowstone odnaleziono skamieniałe stado nosorożców, które zginęły zdławione pyłem wulkanicznym pochodzącym z erupcji sprzed ok. 638.000 lat.

Dopiero tu poruszam kwestię oswojenia przez pierwszych hominidów ognia, choć w nauce pojawia się hipoteza, że jako pierwszy umiejętność wykorzystywania ognia posiadał najprawdopodobniej już *Homo erectus*. Najstarsze ślady (sięgające ponad 1.400.000 lat temu) ognisk, w powiązaniu z siedliskami hominidów, odkryto na stanowisku oznaczonym FxJj 20E (znajdującym się w rejonie Koobi Fora). Powszechnie jednak przyjmuje się, że oswojenie ognia nastąpiło ok. 1 mln lat temu (według innych hipotez, prawdopodobnie 700.000 – 400.000 lat temu) i przypisuje się ten wynalazek dopiero gatunkowi *Homo ergaster*. Warto tu zauważyć, że oswojenie ognia, tak jak i czas okresowych zasiedleń jaskiń, ma związek z pojawianiem się okresów ochłódzeń. Oswojenie, opanowanie ognia, odkrycie technik jego wzniecania, a także jego wykorzystanie miało ogromny wpływ na dalszą ewolucję naszego gatunku. Umożliwiło zmianę diety, pieczone lub gotowane potrawy były łatwiej przyswajane przez organizmy, spowodowało też to, że człowiek uzyskał spokój, większe poczucie bezpieczeństwa, a więc i wolny czas tak potrzebny w tworzeniu cywilizacji.

Erupcja wulkanów mogła powodować nawet drastyczne jedno, lub dwuroczne, a nawet dłuższe ochłodzenie klimatu na pewnych obszarach, który później w wyniku wzrostu lodowców był chłodny przez kolejne dziesiątki, a nawet setki lat zmuszając żyjące tam społeczności ludzkie do poszukiwania metod przetrwania tych kryzysów. Zapewne też dochodziło w ich wyniku do znacznych spadków populacji na szczególnie dotkniętych kryzysem obszarach, a później po ustąpieniu skutków kataklizmu, w tym cofnięciu się lodowców, do imigracji na te obszary innych ludów. Przyczyną jednego z takich kryzysów mogła być na przykład erupcja wulkanu Galeras w południowo-zachodniej Kolumbii (w paśmie Kordyliery Środkowej – Andy). Galeras jest wulkanem aktywnym przez co najmniej ostatni milion lat. W wyniku wspomnianej erupcji, która miała miejsce około 560.000 lat temu doszło do uformowania kaldery (w jej wyniku doszło do wyrzucenia około 15 km³ materiału).

Badacze wyróżnili dla tego okresu kilka gatunków (podgatunków) hominidów, m.in.: *Homo heidelbergensis* – gatunek znany także jako *Protanthropus heidelbergensis*, człowiek heidelberski, człowiek ze Swanscombe lub człowiek z Boxgrove. Forma pośrednia pomiędzy *Homo erectus* a *Homo neanderthalensis* i *Homo sapiens*. *Homo heidelbergensis* najwcześniej pojawił się w Afryce (ok. 600 tys. lat temu). Na obszarze Europy pojawił się 500 tys. lat temu i wyginął 250 tys. lat temu. Człowiek neandertalski, neandertalczyk, rozwijał się w latach od ok. 400.000 do ok. 24.500 lat temu. Podane daty są jednak bardzo hipotetyczne. Spośród wymienionych np. czas istnienia neandertalczyków został znacznie wydłużony. W zależności od autorów *Homo sapiens neanderthalensis* klasyfikowany jest jako podgatunek człowieka rozumnego lub odrębny od niego gatunek – *Homo neanderthalensis*. Przyjmowane podziały gatunkowe są również dyskusyjne. Osobiście uważam, że *Homo sapiens* i neandertalczyk stanowiły zgodnie z przyjętą definicją

gatunku jeden gatunek. Mogło dochodzić do ich współżycia i powstałe w jego wyniku potomstwo dalej przekazywało swe geny.

W fazie późnoaszelskiej (600 – 300/200 tys.) doszło do nowej innowacji technologicznej, a mianowicie zastosowanie tzw. miękkiego tłuka wykonywanego z miękkich skał osadowych, jak również z fragmentów kości i rogów. Z tych ostatnich wykonywano również narzędzia pośredniczące. Dzięki tej innowacji krawędzie pięściaków aszelskich stają się bardziej regularne, a w swej formie pięściaki stają się cieńsze. W inwentarzach kultury aszelskiej spotkać można sporadycznie narzędzia odłupkowe tj. zgrzebła i skrobacze. W schyłkowej fazie aszelenu dochodzi do kolejnych zmian jakościowych prowadzących do produkcji odłupków o pożądanej formie. Nowa technologia była bardzo mało wydajna. W zasadzie z jednej bryły kamiennej powstawał jeden odłupek, do którego produkcji wymagane były bryły o odpowiedniej łupliwości.

Zlodowacenia między 500.000 a 80.000 lat temu

Od czasu erupcji Yellowstone, której skutki miały zasięg globalny, na Ziemi dochodziło zapewne do wielu mniejszych kataklizmów, których charakter był raczej lokalny. Być może wpływały też i na inne obszary, nasz świat jest przecież połączony ogromną ilością powiązań, ale wpływy te są dziś niedostrzegalne, a przynajmniej nie jesteśmy w tym wypadku w stanie większości z nich rozpoznać.

Jedną z większych erupcji wulkanicznych tego okresu był wybuch wulkanu Taal na Filipinach. Znajduje się na wyspie Luzon w prowincji Batangas, na jeziorze Taal. Obecnie aktywny stożek stanowi wyspę na jeziorze Taal i wystaje ponad 300 m nad lustrem wody. Samo jezioro jest wypełnioną wodą kalderą po gigantycznym wybuchu wulkanu ok. 100.000 – 500.000 lat temu. Wewnątrz aktywnego stożka znajduje się mniejsza kaldera, także wypełniona wodą. Trudno dziś dociec, czy istniał związek między tą erupcją, a np. zlodowaceniem krakowskim. *Zlodowacenie* krakowskie zwane też *mindelskim trwało od 530.000 – 430.000* (według niektórych badaczy od 480.000 lat temu). Po nim nastąpił Interglacjał Mindel-Riss zwany też wielkim; ze względu na długi okres trwania 430.000 – 240.000 lat temu.

Kolejne zlodowacenie zwane w Alpach risskim a na ziemiach polskich środkowopolskim rozciągało się na lata 235.000 – 135.000 lat temu (według innej datacji 240.000 do 120.000). Tak długie zlodowacenia były rozczłonkowane znacznie większymi interstadiałami. Te też rozczłonkowane były na mniejsze odcinki w czasie, których klimat ulegał zmianom.

Przyczyny tych okresowych ochłodzeń znów możemy wiązać z kataklizmami, tym razem z wulkanizmem, choć szczegółowe powiązania wymagają dopiero szczegółowych badań. W tym okresie dochodziło do wybuchów stratowulkanów, m.in. Campi Flegrei (ok. 200 tys. lat temu); pyły wyrzucone z jego wnętrza doprowadziły do powstania w powietrzu aerozoli, które zasłoniły niebo na tak długo, że obniżyły średnią temperaturę Ziemi na

kolejne dziesiątki, a może setki lat. Do kolejnej wielkiej erupcji doszło nieco przed 160 tysiącami lat temu. Pozostałością tej kolosalnej erupcji jest wyspa Nisyros, która jest wciąż czynnym wulkanem; pozostała po erupcji w rejonie wyspy Kos. Skryta pod wodą kaldera ma ok. 15 km średnicy. Świadectwem ówczesnej katastrofy są wszechobecne w tym rejonie pokłady pumeksu i tufów, będących niczym innym jak skamieniałym nagromadzeniem głównie popiołów wulkanicznych o wielkiej miąższości.

Wiemy też aż o czterech erupcjach wulkanu Aso w wyniku, których uformowała się obecna kaldera. Nastąpiły one w okresie między 300 tys. a 90 tys. lat temu. Kaldera, jedna z największych na świecie, obejmuje kilka miejscowości. Somma zamykająca kalderę rozciąga się na 25 km w osi północ-południe i 18 km w osi wschód-zachód. Wybuch, który stworzył obecną Sommę miał miejsce około 300 tys. lat temu. Podczas erupcji z komory wulkanu były wyrzucane wielkie ilości popiołu i potoków piroklastycznych. Gdy komora wulkanu zapadła się, powstała ogromna depresja (kaldera). Czwarta erupcja, około 90 tys. lat temu (Aso 4), była największa. Popiół wulkaniczny pokrył cały region Kiusiu i sięgał do prefektury Yamaguchi. Materiał wyrzucony przy tym wybuchu szacuje się na ponad 600 km³, co w przybliżeniu odpowiada wielkości góry Fudzi. Przypuszcza się, że lawina piroklastyczna pokryła połowę Kiusiu. Góry: Taka, Naka, Eboshi i Kishima, to stożki uformowane w wyniku czwartej z wyżej wymienionych erupcji. Góra Naka pozostaje aktywna do dzisiaj. Uznaje się, że góra Neko jest starsza niż erupcja Aso.

Około 200.000 lat temu na wyspie Gwadelupie, powstał stratowulkan La Soufrière (La Grande Soufrière) Również w plejstocenie. ok. 100.000 lat temu powstała jego kaldera, a później, w jej wnętrzu, istniejący obecnie stożek wulkaniczny.

W okresie tym miały również miejsce kolejne upadki asteroid. Pozostałością po jednym z większych upadków jest krater uderzeniowy Wolfe Creek (Kandimalal w języku aborygenów Jaru) w stanie Australia Zachodnia. Szacuje się, że został utworzony na skutek uderzenia meteorytu o wadze ponad 50.000 ton, nie wcześniej jak 300.000 lat temu. Obszar krateru objęty jest parkiem narodowym *Wolfe Creek Meteorite Crater National Park*. Krater ma średnicę około 875 metrów (2871 stóp), 60 metrów od krawędzi do obecnego dna krateru. W pobliżu krateru znaleziono niewielką liczbę meteorytów z żelaza, a także większe tak zwane „kule łupkowe”, zaokrąglone przedmioty wykonane z tlenku żelaza, niektóre o wadze nawet 250 kg. Krater ten został rozpoznany podczas badań lotniczych w 1947 roku. Badania naziemne przeprowadzono dwa miesiące później, a ich wyniki opublikowano w 1949 roku. Europejska nazwa krateru pochodzi od pobliskiego potoku, który był z kolei nazwany na cześć Roberta Wolfe'a (wczesne doniesienia zawierają błędną nazwę Wolf Wolf), poszukiwacza i magazyniera podczas ówczesnej gorączki złota w tym regionie, w wyniku której doszło do powstania miasta Halls Creek.

Wpływ na zmianę środowiska miały też okresy ocieplenia. Z badań palinologicznych (tzn. pyłków kopalnych) wynika, że borealne lasy iglaste (tajga) zachodniej Syberii i Kanady rozciągały się wówczas mniej więcej 300 km dalej na północ, a więc zajmowały obszary dzisiaj całkowicie bezleśne

(tundrowe), porosłe tylko trawami, krzewami i mchem. Temperatura wód oceanicznych była na niektórych obszarach wyższa nawet o 6 °C od dzisiejszej, oceany parowały, więc silniej, co powodowało zwiększenie wilgotności powietrza. Wzmóżone opady wypełniły po brzegi baseny i jeziora saharyjskie, a jezioro Czad na przykład przybrało rozmiary prawdziwego morza, rozlewając się na obszarze porównywalnym z dzisiejszym Morzem Kaspijskim.

Na tereny opuszczone przez lodowiec szybko zaczęła wkraczać roślinność – początkowo tundrowa, a wkrótce także leśna. Do lasów wrócili z południa zwierzęta: sarny, łosie, jelenie i dziki, a za nimi podążali łowcy. Część powracających gatunków roślin i zwierząt przetrwała epokę lodowcową w Europie Południowo-Zachodniej, a część w Południowo-Wschodniej. W tym czasie rozdzielone populacje zdążyły wyewoluować w odrębne gatunki. Tak stało się np. z jeżami, które w Europie Zachodniej należą do innego gatunku niż jeże z Europy Wschodniej, a zasięgi ich występowania spotykają się w Polsce. Wody z roztopiających się lodowców zaczęły zalewać lądowe dotąd obszary pomiędzy Niemcami a Wielką Brytanią i wypełniać niekiedy obecnie zajmowaną przez Bałtyk. W ten sposób powstało słodkowodne bałtyckie jezioro zaporowe, oddzielone od oceanu jęzorami lodowca i zwałami morenowymi. Z topniejących ogromnych lodowców powstało w Ameryce Północnej gigantyczne jezioro Agassiz.

Zmiany klimatyczne i związane z nimi zmiany środowiska przyrodniczego były powodem zmian genetycznych w ramach populacji hominidów, ich różnicowania, pośrednio też przyczyniały się do rozwoju kultury, wprowadzaniu nowych technik obróbki kamienia, „oswojenie” ognia itp. Być może też prowadziły do regresu genetycznego w części populacji. W 2013 roku w południowoafrykańskiej jaskini Rising Star odkryto tysiące szczątków nieznanego wcześniej gatunku *Homo naledi*. Uwzględniając warunki geologiczne zachowania materiałów w jaskini, stosując analizy paleomagnetyczne nacieków oraz datowanie wieku zębów metodą ESR i uranowo-torową określono wiek kości na 236 – 335 tysięcy lat. Oznacza to, że gatunek ten żył w czasie, gdy *Homo sapiens* wytwarzał już proste narzędzia, a nie jak przypuszczano wcześniej – na podstawie jego budowy anatomicznej, że żył w czasach prymitywnych gatunków *Homo*. Dla uniknięcia błędu badania były prowadzone na kilku uczelniach (University of the Witwatersrand, James Cook University, University of Wisconsin-Madison) niezależnie oraz dodatkowo w kilkudziesięciu międzynarodowych instytucjach. Poza podaniem informacji o wieku tych hominidów, przedstawiona została informacja o odkryciu kolejnej komory jaskini, Lesedi, zawierającej kolejne szczątki tego gatunku. Poprzednie znalezisko ulokowane było w komorze, która nazwano Dinaledi. *Homo naledi* osiągnęli wzrost około ok. 150 cm przy masie ciała ok. 45 kg (przeprowadzone symulacje wskazały na przedział 39,7–55,8 kg). Biodra wykazywały podobieństwo do szkieletu żeńskiego osobnika *Australopithecus afarensis* nazywanego Lucy, a przednie kończyny były dobrze przystosowane do wspinania. Objętość mózgu wynosiła ok. 500 cm³. Pod względem morfologicznym czaszka *Homo naledi* wykazuje podobieństwo do czaszek wczesnych przedstawicieli rodzaju *Homo*. Do podobnych przypadków karłowacenia dochodziło również wśród innych ssaków, przykładem może być tu powstanie gatunku mamuta karłowatego. Warto jednak podkreślić, że

przypadki tzw. karłowacenia miały lokalny charakter. Na innych obszarach nie obserwujemy (nie odkryliśmy dotąd) śladów regresu wewnątrz naszego gatunku.

Wspomniana wyżej kultura aszelska w czystej postaci trwała od inter-glacjału eemskiego (132 – 115 tys. lat temu). Po okresie znacznego ochłodzenia nastąpiły czasy cieplejszego klimatu. Wzrosła ilość opadów, zapewne też wzrosła dostępność do zwierząt. Tu więc możemy dopatrywać się przyczyny zmiany kulturowej. Horyzont wyrobów kulturowych utożsamiany z kulturą aszelską obejmuje swym zasięgiem tereny środkowo-wschodniej Afryki. Świadczą o tym artefakty ze stanowisk Koobi Fora (Kenia), Olduvai (Tanzania) oraz z rejonu Melka Kunture (Etiopia). Zaś o ekspansji kultury aszelskiej na tereny południowej części Afryki świadczą znaleziska z Jaskini Ognisk (Prowincja Północna, RPA) oraz stanowiska Kalambo Falls (znajdującego się na granicy Zambii i Tanzanii). Kolejnym obszarem, na którym poświadczono są znaleziska utożsamiane z kulturą aszelską są tereny północno-zachodniej części Afryki – stanowisko Tighenif (Algieria).

Rozdział IX

Powstanie kolejnej „epoki lodowcowej”

Do kolejnego znacznego ochłodzenia klimatu i zlodowacenia doszło około 80.000 lat temu. W większości dotychczasowych publikacji tę gwałtowną zmianę klimatyczną i związany z nią ogromny kryzys demograficzny, łączony często z rozwojem *Homo sapiens*, wiązano z wybuchem wulkanu Toba, datowanym na około 73 tys. lat temu. Wydaje się jednak, że uwzględniając najnowsze badania, musimy znacznie zweryfikować tę hipotezę, nie pomijając jednak i wpływu na ówczesny świat wspomnianej erupcji. Wydaje się, że proces chłodzenia klimatu rozpoczął się kilka tysięcy lat wcześniej, należy też wziąć pod uwagę, że nie dochodziło do niego w sposób nagły. Zmiany klimatyczne przebiegają w czasie, w długich okresach i najczęściej nie mają zasięgu globalnego, a w każdym razie nie rozkładają się na Ziemi równomiernie. Ze znacznie późniejszego okresu wiemy na przykład, że w czasie tzw. „małej epoki lodowcowej” lodowiec alpejski przyrastał tylko (aż – wszystko zależy do punktu widzenia) o trzysta metrów rocznie (o strzał z muszkietu). Co ciekawe, podobnie jak w wypadku poprzednich ochłodzeń klimatu i tym razem mamy do czynienia z całym cyklem wydarzeń. Uderzenie meteorytu (lub nawet kilku meteorytów), a następnie serią wybuchów wulkanicznych. To dopiero suma skutków tych kataklizmów powodowała, że ówczesne ochłodzenie trwało aż tak długo, ale także i w tym wypadku zapewne nie było ono stałe, nie wzrastało też jednostajnie. Na różnych obszarach kolejne kataklizmy, nawet o mniejszej skali zwiększały ochłodzenie, po pewnym czasie odchodziło zaś do ocieplenia.

Upadki asteroid i komet

Okolo 80.000 lat temu doszło do kolejnej wielkiej katastrofy kosmicznej. Nie znamy jej zasięgu i skali. Być może, jak w wielu innych okresach doszło wówczas do upadku na ziemię wielu asteroid i komet, być może katastrofę tę powinniśmy wiązać tylko z jednym upadkiem. Na ten okres datowany jest upadek meteorytu Hoba, który został znaleziony w 1920 roku był ogromny, największy ze znalezionych dotychczas na Ziemi. Waży 60 ton, znajduje się w Namibii ponadto ma nietypowy kształt – jest bardzo płaski. Ten kształt mógł spowodować, że meteoroid ten wielokrotnie odbijał się od atmosfery Ziemi jak kaczka puszczana na wodzie. Tracił przy tym swoją prędkość związaną z orbitalnym ruchem wokół Słońca – w efekcie jego upadek na powierzchnię

Ziemi miał charakter spadku swobodnego, a jego końcowa prędkość była zbliżona do prędkości granicznej. O takim scenariuszu mogą świadczyć dwa fakty. Po pierwsze – meteoryt nie rozpadł się na drobne fragmenty, jak zwykle dzieje się to, gdy wpadając w atmosferę z dużą prędkością rozgrzewa się do wysokiej temperatury. Po drugie – nie zagłębił się bardzo w ziemi i nie utworzył na tyle dużego krateru, żeby zachował się on do naszych czasów. Meteoryt ma w przybliżeniu kształt prostopadłościanu z kwadratową podstawą o boku 2,7 m oraz wysokości 90 cm. Zawiera 84% żelaza, 16% niklu ze śladowymi ilościami kobaltu. Posiada typowy skład dla meteorytów żelaznych zwanych ataksytami.

W listopadzie 2018 roku odkryto krater pod lodowcem Hiawatha na Grenlandii, którego średnica wynosi ponad 35 kilometrów (wg innych artykułów 36,5 km). Znajduje się pod grubą na 2 km pokrywą lodową. Wielkość krateru stawia go na 22-gim miejscu wśród największych kraterów uderzeniowych znajdujących się na Ziemi. Wstępne badania wskazują, że powstał on przed około 79 tysiącami lat. W tym wypadku skutki tego kataklizmu dla dziejów Ziemi były zapewne ogromne. Uderzenie w Grenlandię, spowodowało zapewne gwałtowne topnienie pewnych lodowców, ocieplenie klimatyczne i podniesienie poziomu mórz. Poza wstrząsami tektonicznymi, dalszą konsekwencją tych kataklizmów mogły być kolejne – wybuchy stratowulkanów: Atitlán i Toba. Myślę jednak, że takich erupcji (co prawda o mniejszym współczynniku VEI) było w tym okresie znacznie więcej. Nie wiemy, jaka była skala mniejszych erupcji wulkanicznych w kolejnych tysiącach, to przypuszczalnie jednak one przyczyniły się do przedłużenia tej epoki lodowcowej.

Wulkanizm

Erupcja stratowulkanu Atitlán (82 000 lat p.n.e.)

Mający 3535 m. wysokości wulkan Atitlán (hiszp. *Volcán Atitlán*) wznosi się w południowej Gwatemali, departamencie Sololá, w łańcuchu wulkanicznym ciągnącym się wzdłuż południowego wybrzeża Gwatemali. Wokół wznoszą się kolejne dwa wulkany: San Pedro i Tolimán. Ostatnia erupcja stratowulkanu Atitlán miała miejsce w 1853. Tu jednak pragnę wspomnieć o tej, która miała miejsce około 82000 lat temu. Była ona znacznie większa od tej z XIX wieku, choć skutków i tej ostatniej nie powinniśmy bagatelizować i wspomnę o niej w rozdziale poświęconym XIX wiekowi. Wybuch w odległej przeszłości spowodował powstanie potężnej chmury popiołu, która osiadła na znacznym terenie Ameryki Środkowej. Warstwa ta została rozpoznana w trakcie badań prowadzonych równocześnie na Pacyfiku i Morzu Karaibskim. Pozostałością tego wybuchu jest dziś wielkie jezioro, które, wypełnia ogromną kalderę. Dziś możemy już wykazać, że między wspomnianą katastrofą a zmianami klimatycznymi tamtego okresu istniał jakiś związek. Okazało się, że szczątki roślinne ponad warstwą popiołu różniły się od tych, które znaleziono pod nią. Czas wybuchu Atitlán pokrywałby się, więc z okresem następujących zmian klimatycznych. W tym też czasie doszło do znacznego wzrostu akumulacji lodu w Grenlandii, co może sugerować, że wybuch wulkanu w Gwatemali wpłynął na zwiększenie opadów śniegi w tym regionie. Pobrane z Północnego Atlantyku

próbki pokazują, że po erupcji tego wulkanu temperatura powierzchni wody spadła o 3 °C.

Pomiędzy 40.000 a 150.000 lat temu miała miejsce kolejna erupcja wulkanu Galeras. Była ona mniejsza od pierwszej, ale wciąż zauważalna: doszło do wyrzucenia około 2 km³ materiału wulkanicznego. Później część kaldery zapadła się, prawdopodobnie w wyniku niestabilności spowodowanej przez aktywność hydrotermalną. Późniejsze erupcje uformowały mniejszy stożek w obrębie kaldery w kształcie podkowy.

Toba (74 000 lat temu)

Okolo 74 tysiące lat temu doszło do ostatniej znanej nam erupcji wulkanu o skali ok. 8 VEI. Skali tak wielkiej, że jej znaczenie miało znaczący wpływ globalny, wpłynęła też na rozwój naszej populacji. Superwulkan Toba, którego kaldera znajduje się 80 kilometrów na południe od miasta Medan (Sumatra Północna), wyemitował 2800 km sześciennych magmy. Dla porównania słynna erupcja indonezyjskiego wulkanu Krakatau w sierpniu 1883 roku wyprodukowała zaledwie 12 km sześciennych materiału wulkanicznego i spowodowała wulkaniczne tsunami, które dotarło do wybrzeży Jawy i Sumatry zabijając ponad 36 000 ludzi. W nauce, a zwłaszcza w publicystyce często spotykamy się z teorią, że to wybuch Toby 73000 lat temu (według innych informacji 74000 lat temu) spowodował nastanie zimy wulkanicznej i że to właśnie ten kataklizm był przyczyną zmian gatunkowych wśród hominidów, które doprowadziły do powstania *Homo sapiens*. Według jednej z hipotez w wyniku gwałtownego ochłodzenia klimatu wyginęło wówczas większość populacji ludzkiej. Przetrwało zaledwie kilka tysięcy przedstawicieli naszego gatunku. Nie wiemy jednak, jaka była rzeczywista skala tego kryzysu i jaki był jego zakres na poszczególnych obszarach. Trzeba też dodać, że część naukowców wskazuje, że ochłodzenie klimatu rozpoczęło się wcześniej, a wybuch tylko je wzmocnił i przyspieszył zmiany. Również do zróżnicowania wewnątrz naszego gatunku dochodziło już wcześniej, a czas wyodrębnienia się *Homo sapiens* niektórzy badacze przesuwają dziś na 200.000 a nawet 300.000 lat temu.

Ślady erupcji w postaci warstw popiołu naukowcy odkryli m.in. w Morzu Południowochińskim, Oceanie Indyjskim, Morzu Arabskim oraz w afrykańskim jeziorze Malawi oddalonym od miejsca erupcji o ponad 3600 km. Na wyspie Samosir grubość warstwy popiołu sięgnęła 600 metrów, z kolei w Indiach dochodziła do 6 metrów. Stratosferyczna kolumna erupcyjna sięgała wysokości ponad 30 km. Powstała rozległa kaldera, którą z czasem wypełniła woda – w taki oto sposób powstało dzisiejsze jezioro Toba. Musiało dojść do kompletnej anihilacji flory i fauny w okolicach Toba, w tym do unicestwienia ludzkich populacji. Wskutek ogromnej emisji dwutlenku siarki (SO₂) do stratosfery nastąpił globalny i kilkuletni spadek temperatury powierzchniowej o 3-5 stopni Celsjusza, który mógł zaowocować zjawiskiem natychmiastowej, acz przejściowej, trwającej przez okres 5-10 lat, tzw. wulkanicznej zimy i nieomal całkowitą zagładą ówczesnej populacji ludzkiej albo przynajmniej jej drastycznym zredukowaniem. Nie ma co do tego żadnych wątpliwości, że erupcja wulkaniczna o takiej magnitudzie wpłynie na pogodę i klimat.

Erupcja prawdopodobnie trwała przez dwa tygodnie, a wygenerowane przez nią sploty piroklastyczne (mobilne obłoki gorącego gazu, popiołu i fragmentów skalnych) pogrzebały obszar o powierzchni 20 000 km kwadratowych wokół kaldery. Podczas erupcji tego wulkanu do atmosfery mogło zostać wyrzucone nawet 2800 a może nawet 3000 kilometrów sześciennych materiału. Znacznie ponad tysiąc razy więcej niż w wyniku wspomnianej wyżej erupcji wulkanu Galeras!

W efekcie erupcji Toby powstała na Sumatrze ogromna kaldera, w której powstało największe w Archipelagu Malajskim jezioro o powierzchni ponad 1900 kilometrów kwadratowych, długości 100 km, szerokości 34 km i głębokości dochodzącej do 505 m. Warstwa popiołów powulkanicznych docierała na odległość kilku tysięcy kilometrów; w promieniu około 300 km dochodziła do pół metra. *Wstrząs sejsmiczny dotarł do oceanu i wywołał falę tsunami, która po dotarciu do plaż sąsiednich lądów wzniosła się na wysokość kilkaset metrów i popłynęła w głąb azjatyckich i australijskich obszarów. Odbita – wróciła na Sumatrę, i znów ruszyła z powrotem. Ci, którzy byli najbliżej wybuchu i jakimś cudem przeżyli pierwsze uderzenie, chowali się zapewne pospół ze zwierzętami w grotach i jamach, inni próbowali ucieczki. I jednych, i drugich dopadła wkrótce śmierć. Ginęli potem ci, którzy mieszkali dalej i dłużej uciekali. Jeśli nie ponieśli śmierci podczas eksplozji, umierali potem na spalonej ziemi, rozżonej trującym deszczem, która przestała rodzić. Żar opadającego z nieba żużlu, który palił żywe istoty i wzniecał płomienie w lasach, wkrótce zastąpił cień i chłód wulkanicznej zimy.* To opis Macieja Rosolaka, który razi jednak publicystyką. Autor ten nie określa i nie różnicuje obszaru dotkniętego kataklizmem, którego skutki były globalne, ale jednak nierównomierne.

Większość badaczy zgadza się z tezą, że tzw. *wulkaniczna zima* trwała 6 – 10 lat, powinniśmy jednak dookreślić jej zasięg. Przez kilka kolejnych lat średnia temperatura na Ziemi spadła o 3 – 5 °C (według innych ocen nawet 6 – 7 °C). Opadające na ziemię pyły pokryły ogromne obszary – dotarły nawet na Grenlandię. Wybuch wulkanu Toba potwierdzają m.in. badania rdzeni pobranych z lodowców na Grenlandii.

Skutkiem ochłodzenia klimatu było utworzenie się w wyższych szerokościach geograficznych (ale także w wysokich górach stref gorących – Atlas, Kilimandżaro) lodowców kontynentalnych i górskich. Generalny spadek ówczesnej średniej rocznej temperatury na globie wpłynął dość istotnie na stosunki meteorologiczne. Sahara i Kalahari otrzymywały pewną ilość opadów, co odnowiło zasoby wód artezyjskich, stare ciekły wodne i umożliwiło wkroczenie w te rejony kontynentu afrykańskiego roślinności suchego stepu i jego zwierzęcych mieszkańców, tzw. fauny etiopskiej. Zimny prąd morski z obszarów Antarktydy ochładzał do tego stopnia ujście Konga i okrajinę południową dżungli równikowej, że uległa ona znacznemu rozwarciu, dając dostęp roślinności trawiastej na wyżej położonych gruntach. Większa wilgotność zaczynała się w masywach górskich wschodniej Afryki, głównie w Etiopii, dzięki czemu rzeki z tego obszaru niosły ogromne masy wód do Nilu. Wielkie jeziora Afryki Wschodniej podniosły swój poziom nawet o kilkadziesiąt metrów, podczas gdy poziom morza dzięki uwięzieniu dużych mas wody w lodowcach uległ obniżeniu

o 80 – 120 m.

Zmiana średniej temperatury Ziemi nie musiała oznaczać tego, że wszędzie była ona taka sama, lub tak samo odczuwalna. Szukając dalszych informacji o zmianach klimatycznych w tym okresie, naukowcy z Uniwersytetu Oksfordzkiego i Uniwersytetu Minnesoty w Duluth badali rdzenie osadów z jeziora Niasa położonego w południowo-wschodniej Afryce. Natrafili w nich na warstwę popiołów, które niewątpliwie pochodziły z erupcji wulkanu Toba (potwierdziły to analizy chemiczne). Takie odkrycie w Afryce było sporym zaskoczeniem, gdyż dotąd nie znaleziono pozostałości po erupcji tak daleko od Sumatry. Popioły zidentyfikowano dotąd jedynie w Indiach oraz w Morzu Południowochińskim. Tak daleki zasięg (Jezioro Malawi dzieli od indonezyjskiej wyspy aż 7000 km) potwierdził, że była to naprawdę ogromna erupcja. Wygląda jednak na to, że nie była ona dość potężna, by wstrząsnąć klimatem całej planety. Otóż okazało się, że rdzenie z Malawi nie wskazują w żaden sposób na spadek temperatury w tym okresie ani na inne poważne zmiany klimatyczne na tym obszarze (może należałoby tu jednak dodać słowa: wyraźne, znaczące zmiany klimatyczne. Do pewnego ochłodzenia mogło dojść i na tym obszarze).

Taka ilość pyłów wulkanicznych na długi czas powinna przestłonić niebo na całej planecie, a to skłoniło naukowców do wysnucia hipotezy o znacznym spadku temperatury. Modele klimatyczne sugerują, że temperatury mogły spaść o niemal 17 °C. Nie wiemy jednak, w jakim czasie dochodziło do takiego spadku, ani też jak rozkładały się temperatury w różnych częściach naszego globu. Część wzniesionych do stratosfery zanieczyszczeń po jakimś czasie opadała na Ziemię. Znaczne ochłodzenie klimatu oznaczało czasowe zatrzymanie wzrostu roślin (znaczne zmniejszenie ich przyrostów rocznych), awans lodowców, możliwy spadek poziomu oceanów oraz zmniejszenie ilości opadów deszczu. W 1998 roku antropolog Stanley Ambrose połączył takie dane z dowodami genetycznymi, które wskazywały, że wkrótce pod wybuchu Tobo doszło do zmniejszenia liczby ludzi. Zdaniem Ambrose'a, na planecie pozostało tylko około 10000 naszych przodków. Gatunek nasz znalazł się na krawędzi zagłady. Najnowsze badania nie potwierdzają jednak aż takiej skali tego dramatu. Badania archeologiczne prowadzone w Afryce Południowej, gdzie w badanych warstwach odkryto mikroskopijne fragmenty szkliska wulkanicznego pochodzącego z Tobo oraz pozostałości po kościach, ogniu i narzędziach ówczesnych ludzi, pozwoliły naukowcom, po raz pierwszy ocenić poziom ludzkiej aktywności oraz wpływ erupcji na ówczesną populację na tym obszarze. Wyniki badań dały zaskakujące wyniki. Gdyby Toba zdziesiątkowała ludzi, to w warstwach powyżej warstwy z dowodami na wybuch powinniśmy obserwować mniej śladów aktywności człowieka. Tymczasem zaobserwowano coś przeciwnego. Śladów aktywności było więcej. Zdaniem jednego z badaczy, doktora Mareana, oznaczałoby to, że wulkaniczna zima nie miała wówczas miejsca, choć uznał on, że erupcja mogła zmusić ludzi do przeniesienia się bliżej wybrzeży morskich, gdzie byli w stanie przetrwać. Ilość zachowanych śladów nie musi jednak świadczyć o wielkości populacji, ochłodzenie klimatu mogło wpłynąć na przykład na większe wykorzystanie ognia, czyli pojawienie się większej ilości śladów bytowania człowieka (niekoniecznie większej populacji). Inny badacz, doktor Petraglia przypomina nieco wcześniejsze badania nad warstwą popiołów wulkanicznych z Tobo, które wydobyto z Jeziora

Malawi. Nie zaobserwowano tam żadnych oznak spadku temperatury wody jeziora, a to sugeruje, że nie doszło do wulkanicznej zimy, nie było więc powodu, by ludzka populacja gwałtownie się zmniejszyła. Należy jednak zauważyć, że ochłodzenie miało skutek globalny i wzrost lodowców następował głównie przy biegunach i w górach. Temperatury w pobliżu równika ulegały mniejszym wahaniom.

Inna teza, głoszona przez Thomasa Johnsona, emerytowanego paleoklimatologa z University of Minnesota zakładająca, iż erupcja Toba nie miała *znaczącego wpływu na populację Homo sapiens w okresie przebywania gatunku we Wschodniej Afryce*, jest dyskusyjna. Uważam za dyskusyjną teorię o odrębności gatunkowej *Homo sapiens* od innych istniejących wówczas hominidów (w tym neandertalczyków), należy też uwzględnić i to, że dziś przyjmuje się to, że do wyodrębnienia się *Homo sapiens* i jego migracji doszło znacznie wcześniej niż przedtem przypuszczano. W tym czasie *Homo sapiens* zamieszkiwał już znacznie większe obszary. Na wielu z nich doszło zapewne do całkowitej zagłady gatunku, na innych zmusiło mieszkańców zamieszkujących tereny, na które nasuwał się lodowiec, do przesuwania się w kierunku południowym. Lodowce nie powstawały przecież „z dnia na dzień”.

Skutki erupcji stratowulkanu Toba odczuwalne były również na Półwyspie Indyjskim. Zespół naukowców pod kierownictwem antropologa Michaela Petraglia, dokopała się w Dźwalapuram do grubej na 2,5 metra warstwy popiołów pochodzącej z tej erupcji. Co ciekawe, zarówno nad warstwą, jak i pod nią, badacze ci znaleźli takie same kamienne narzędzia. Oznacza to, że ich wytwórcy (przypuszczalnie przedstawiciele *Homo sapiens*), którzy żyli w Indiach przetrwali wulkaniczną zimę. Nie wiemy oczywiście jednak tego, jaki miała ona wpływ na ich populację. Zarówno ochłodzenie klimatu, jak i upadek takiej ilości popiołów wulkanicznych musiało spowodować ogromne zmiany środowiskowe, śmierć wielu zwierząt, głód, a więc i znaczny spadek populacji.

Zespół naukowców, którego pracami kierowali Stanley Ambrose z Uniwersytetu w Illinois (USA) i Martin A. J. Williams z Uniwersytetu w Adelajdzie (Australia), badał pyłki z rdzeni osadów morskich pobranych z Zatoki Bengalskiej oraz przeprowadził analizę izotopową węglanów z próbek gleby wziętych w trzech miejscach w środkowych Indiach bezpośrednio spod i z ponad warstwy popiołów wyrzuconych przez wulkan Toba. Badania wykazały, że przed erupcją Indie porastał gęsty las deszczowy. Jego ślady znikają jednak zaraz nad warstwą powulkanicznych popiołów. Badania pyłków wykazały, że po erupcji zniknęły np. paprocie, co sugeruje, że klimat stał się bardziej suchy. Analizy izotopowe wykazały zaś, że w miejscu lasów pojawiły się tereny trawiaste. Wszystko to zdaniem badaczy może być efektem znaczącego spadku temperatury, do którego doprowadziła eksplozja wulkanu. Badania wskazują, że takie warunki panowały przez około tysiąc lat.

Niektórzy badacze sugerują, że po wybuchu wulkanu Toba warunki życia na Ziemi tak się zmieniły, że w pewnym momencie być może jedynie 3000 osobników przodków naszego gatunku (lub po prostu naszego gatunku). Pośród nich mogło być maksymalnie 1000 płodnych par. To jednak tylko hipoteza. Dziś wiemy np., że kataklizm ten przetrwali np. neandertalczycy,

których populacja uległa znacznemu zmniejszeniu dopiero około 40 tysięcy lat temu. Nie można jednak wykluczyć, że tuż po wybuchu Toba doszło do znacznego jej zmniejszenia. Człowiek posiada znaczne możliwości reprodukcyjne i odrobienie strat populacyjnych może nastąpić w stosunkowo krótkim okresie. Taki proces możemy zauważyć obserwując tylko zmiany wielkości populacji ludzkiej na różnych obszarach w XX wieku, które są nam bardziej znane. Należy zauważyć również, że nawet po tak ogromnym kataklizmie, nawet w bezpośrednim otoczeniu, zima wulkaniczna trwała dwa, trzy lata. Później pyły wulkaniczne opadały i na zniszczone obszary powracało życie. Trwało to latami, czasami dziesiątkami a nawet setkami lat. W 2018 roku naukowcy badający dwa stanowiska archeologiczne w Pinnacle Point i Vleesbaai w Afryce Południowej znaleźli ślady szkła wulkanicznego z czasów wybuchu wulkanu Toba. Były to, co prawda pojedyncze cząsteczki, ale nie ma innego możliwego źródła ich pochodzenia niż wspomniana erupcja. Oba miejsca są odległe od Indonezji o 9 tysięcy kilometrów, jednak skład chemiczny jest taki sam jak znajdowany w innych miejscach. Najciekawsze jest to, że oba stanowiska zasiedlone były długo przed i po wybuchu – pomiędzy 90 a 50 tysięcy lat temu. Nie ma żadnej przerwy w osadnictwie czy produkcji w warstwach znalezionych nad i pod wspomnianym szkłem wulkanicznym. A to znaczy, że tamtejsi mieszkańcy przetrwali kataklizm.

Po odkryciu stratowulkanu Toba prof. Stanley Ambrose w 1998 r. opracował teorię łączącą ten fakt z teorii tzw. „wąskiego gardła”. Termin „wąskie gardło” określa taką sytuację krytyczną (katastrofa, epidemia) w wyniku której dochodzi do zmniejszenia różnorodności genetycznej w danej populacji poniżej pewnego bezpiecznego progu. Badania genetyków wskazują, że takie „wąskie gardło” dotknęło gatunek *homo sapiens* w czasie między 50 tys. a 100 tys. lat temu, ich zdaniem pozostało wtedy przy życiu zaledwie 3000 – 10000 osobników. Choć teoria „wąskiego gardła genetycznego” znalazła naukowe potwierdzenie, to jednak założenie, że nasz gatunek rozwijał się jakby od nowa od tej jakże niewielkiej populacji jest, co najmniej dyskusyjne. Ludzie przetrwali na różnych obszarach, a później dochodziło do ich mieszania się w wyniku dalszych migracji. Możemy odnieść założenie wspomnianych badaczy do tylko „głównej populacji”, z której wziął swój początek *Homo sapiens*, ale i w tym wypadku poszukiwanie źródeł wyodrębnienia się *Homo sapiens* w skutkach jednego kataklizmu budzi dziś wiele wątpliwości. Po pierwsze znacznie przesuwana jest data wyodrębnienia się tego gatunku (aż do okresu sprzed 200.000 a nawet 250.000 lat temu), po drugie w późniejszym okresie dochodziło również do łączenia się niektórych przedstawicieli *Homo sapiens* z tzw. człowiekiem neandertalskim, czy denisowianami.

Przypuszcza się, że tylko u dwóch gatunków – saren syberyjskich i chińskich małp makakowatych – różnorodność genetyczna mogła zubożeć dokładnie podczas wybuchu wulkanu Toba. Hayes zwraca uwagę, że będąca konsekwencją wybuchu zima najbardziej dałaby się we znaki w bliskim sąsiedztwie Indonezji, gdzie istniał wulkan. Jego zdaniem to właśnie tamtejsze gatunki powinny po wybuchu ucieść najbardziej, a echa tych przejść powinny się zapisać w ich genach. Analizy pokazują jednak, że organizmy z Indonezji i jej okolic wcale nie noszą w sobie śladów przejścia przez genetyczne „wąskie gardło”. Badania skamieniałości innych organizmów

mówią co innego – zastrzega jeden z twórców teorii Toba, Stanley Ambrose z University of Illinois w Urbana-Champaign. Pozwalają np. sądzić, że w czasie supererupcji wyraźnie zmalała różnorodność genetyczna dawnych makaków i tygrysów. W Azji południowo-wschodniej wymarły orangutany, doszło też do oddzielenia się goryli i szympanseów od ewolucyjnej linii ich wspólnego przodka. Badania pyłków roślin przeprowadzone w Indiach przez dwóch naukowców, prof. Stanley'a Ambrose'a z Uniwersytetu Illinois oraz prof. Martina Williamsa z australijskiego Uniwersytetu w Adelajdzie wykazały, że w Azji Południowej wyginęły bogate w żywność deszczowe lasy tropikalne, a w ich miejsce pojawiła się uboga, trawiasta i sucha tundra.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że choć kataklizmy spowodowane upadkiem meteorytów oraz erupcją mega wulkanów miały zasięg globalny, to jednak nie wszędzie ich zakres był taki sam. Teoria mówiąca o tym jakoby ówcześni ludzie niemal wyginęli po opadach pyłów wulkanicznych jest tylko publicystycznym uproszczeniem. Zasięg skutków bezpośrednich był niewątpliwie znaczny, ale przecież obejmował tylko część globu. Warstwa pyłów wulkanicznych, które dotarły na przykład na kontynenty Afryki czy Indii były już stosunkowo niewielkie. Ważniejsze były dalsze skutki, to gazy i pyły, które dotarły do stratosfery. Wpłynęły one na ochłodzenie klimatu, i w ich konsekwencji zmiany środowiskowe. W tym okresie dochodziło też do wielu innych erupcji wulkanów, np. ostatni wyptyw lawy z Yellowstone miał miejsce 70.000 lat temu.

Następstwem wyżej wspomnianych kataklizmów, a zwłaszcza erupcji Toba było powstanie kolejnej epoki lodowcowej. W jej czasie botanicznie najlepiej poznany został Interstadiał Brørup (60.000 lat p.n.e.). Cała północna Europa, aż po południową Norwegię, środkową Szwecję i Finlandię objęta była strefą tundry. Równoleżnikowo od Anglii do krajów wschodnio-bałtyckich zajmowała strefa lasów świerkowo-brzozowo-sosnowych, przechodząc w lasostep. W międzyrzeczu Odry i Wisły lasy te były przesunięte na południe, przechodząc w lasy szpilkowe, które rosły na wyżynach Europy środkowej. W Europie południowej występowały głównie lasy mieszane z przewagą dębu i sosny, lub dębu, buka i świerka. Fauna wczesnego Würmu, prócz kontynuacji z okresu eemskiego (jeleniowate, niedźwiedź brunatny, dzik, nosorożec Mercka, pantera, lew jaskiniowy) zaznacza się silniejszym udziałem gatunków leśnych (Bovidae i jeleniowate) i zimnolubnych (renifer pojawił się po raz pierwszy od Rissu), natomiast znikają formy z grupy Antiquus (np. nosorożec Marcka występuje jedynie na Półwyspie Pirenejskim).

Dla wczesnego Würmu odkryto dotąd około 200 stanowisk archeologicznych w tym liczne stanowiska zasiedlane wielokrotnie w stosunkowo krótkim czasie (przede wszystkim jaskinie i nawisy). Na Bliskim Wschodzie w Jaskini Szanidar odkryto szkielet dziecka z okresu ok. 70.000 lat temu. Myślę, że warto tu zamieszkiwaniu przez hominidów w tym czasie jaskiń poświęcić nieco więcej miejsca. Tak było również w przypadku tzw. *człowieka z neledi*. Jaskinie były zamieszkiwane okresowo i zawsze wiązało się to z epokami znacznego ochłodzenia. To ono zmuszało naszych przodków do poszukiwania miejsc umożliwiających przetrwanie. Generalnie dochodziło wówczas zapewne do znacznego spadku populacji. Zmiany klimatyczne i wynikające z tego zmiany środowiska prowadziły do znacznego różnicowania

się naszego gatunku. W okresie wczesnego Würmu zaznaczyło się znaczne zróżnicowanie człowieka neandertalskiego (twórcy kultur mustierskich). W sferze kultury ulegają doskonaleniu techniki wiórowe, pojawiają się ostrza (groty) liściowate, opracowywane techniką płaskiego, powierzchniowego retuszu. Pojawiają się pierwsze pochówki, intencjonalne układanie kości, malowanie ciała, wisioły z ciosów mamuta, kości z nacięciami sprawiającymi wrażenie notacji, zwyczaj kładzenia kwiatów na grób, używanie kości jako materiału budowlanego.

Kolejne ocieplenie

Po wspomnianych wyżej kataklizmach nastąpiło tak jak i w podobnych wypadkach wcześniej, a i później, znaczne ochłodzenie i zlodowacenie. Jak długo jednak mogły trwać skutki tych kataklizmów. Tysiąc, może dwa tysiące lat (wiele zależało od istniejących w tym czasie mniejszych kataklizmów), później jednak musiało ponownie dojść do dość znacznego ocieplenia i topnienia lodowców, skoro: ślady pobytu gatunku *Homo* (nie wiemy jednak, neandertalczyka, denisowian, czy *Homo sapiens*) odkryto również w Arktyce, co oznacza, że nawet tam doszło do znacznego cofnięcia się lodowca. Rosyjscy naukowcy odkryli na Syberii (już w XXI wieku) truchło mamuta żyjącego 45.000 lat temu. Jego kości zostały pocięte grotami włóczni. Jeszcze pod koniec XX wieku uważano, że ludzie zasiedlili Arktykę dopiero po rozpoczęciu ocieplenia holocenńskiego, ok. 12000 lat temu. Pierwszym śladem *Homo sapiens* w Iranie zachodnim są rysunki naskalne w pieczarze w Ghonbade Kus w Mazandaranie, datowane na 40000 lat p.n.e., przedstawiające polowanie na niedźwiedzie, nosorożce i dziki. Na Syberii, z wyjątkiem jej terenów południowych, występują stanowiska środkowopaleolityczne, reprezentujące przemysły mustierskie o technice lewaluaskiej, które były zapewne dziełem człowieka neandertalskiego. Przemysły te nad górnym Obem i Jenisejem oraz na Zabajkale ewoluowały 45000 – 30000 lat temu w lokalne przemysły górnopaleolityczne. W górnym paleolicie nastąpiło znaczne zróżnicowanie kulturowe – rozwinęły się kultury z narzędziami wiórowymi (np. maltańska – od stanowiska Malta koło Irkucka i Kokoriewska – od stanowiska w Kokoriewce koło Krasnojarska) oraz kultury o technice odłupkowej (m.in. afontowska – od stanowiska Afontowa Góra nad rzeką Angarą), a osadnictwo przesunęło się w kierunku północno-wschodniej Syberii.

Zmiany klimatyczne w tym okresie wymuszały znaczne migracje, dochodziło też do czasowego opuszczania przez przedstawicieli hominidów pewnych obszarów, m.in. dwukrotnie doszło do całkowitego wyludnienia ziem dzisiejszej Polski: około 100.000 lat przed interstadiem Hengelo i około 50000 – 48000 p.n.e., kiedy rozpoczął się na obszarze ziem polskich pierwszy okres ochłodzenia würmskiego. Powyższe daty są bardzo hipotetyczne, nie znamy też przyczyn ówczesnych zmian klimatycznych. Być może należy je wiązać ze wspomnianymi poniżej kataklizmami (upadkami meteorytów).

Do kolejnych zmian kulturowych w związku z przesunięciem stref folklorystycznych w Europie doszło w czasie I Pleniglacjału (50/48000 do 40/38000 lat p.n.e.) gdy lądolód sięgał aż po Leningrad i południowy Bałtyk oraz powstały lodowce w Alpach i Karpatach. Na północ od masywów górskich

zanikły ślady osadnictwa mustierskiego, z wyjątkiem kultury mustierskiej o tradycji aszelskiej. Znikły również stare kultury postaszelskie. Południowoeuropejskie kultury mustierskie najczęściej zastępowały kultury mustierskie z narzędziami zębatymi. Kultury leluwalsko-mustierskie i mustierskie na Bałkanach ewoluowały w kierunku zespołów typu Museliewo-Samuilica (ostrza liściowate). Na północ od Alp wyodrębniają się zespoły typu Ramis-Mauem (podłoże postaszelskie, liściowate ostrza). Kultury Półwyspu Apenińskiego i Pirenejskiego nie uległy w tym okresie istotnym zmianom. Tam zmiany klimatyczne były widocznie znacznie mniej odczuwalne.

Rozdział X

Kolejne ochłodzenie około 40.000 lat temu

Okolo. 40 tys. lat temu doszło do kolejnego znaczącego ochłodzenia. I znów podobnie jak w przypadku poprzednich zmian klimatycznych wielu badaczy podaje, jako przyczynę tego zjawiska jedno wydarzenie – w tym wypadku erupcje wulkanu Campi Flegrei w Italii. Należy zauważyć jednak, że proces ochłodzenia nie przebiegał jednostajnie, że w ciągu kolejnych tysiącleci dochodziło do znacznych wahanń (takie, jak i obecnie mogły zachodzić corocznie), które zresztą możemy wiązać z kolejnymi (w wielu wypadkach już rozpoznanymi) kataklizmami. Obok wulkanu Campi Flegri w tym czasie dochodziło do erupcji wielu innych wulkanów i dopiero łączny efekt tych erupcji złożył się na drastyczne ochłodzenie, które zaczęło się mniej więcej w tym czasie. Pomiędzy 40.000 i 150.000 lat temu doszło np. do kolejnej erupcji wulkanu Galeras. Była to erupcja stosunkowo nieduża, ale wciąż zauważalna: 2 km³ materiału. Później część kaldery zapadła się, prawdopodobnie w wyniku niestabilności spowodowanej przez aktywność hydrotermalną, a może – co według mnie jest bardziej prawdopodobne – w wyniku jej znacznego opróżnienia.

Wulkanizm

Erupcja Campi Flegrei w Italii (ok. 40/38 tysięcy lat temu)

Do pierwszej wielkiej erupcji wulkanu Campi Flegri (Archiflegreo) o sile 7 VEI doszło około 39.280 ± 110 lat (starsze szacunki ~ 37000 lat temu). Według szacunków z 2012 r. wulkan wyrzucił w atmosferę 250 – 300 km³. pyłów oraz 450 mln ton dwutlenku siarki. Powstałe wówczas pyły wulkaniczne wiatry rozniosły po Europie, sięgając terenów dzisiejszej Rosji. Pozostałością po tej wielkiej erupcji jest kaldera położona bezpośrednio na zachód od Neapolu. Wybuch spowodował kilku-stopniowe obniżenie się temperatury na całym świecie (średnie temperatury na dotkniętej epoką lodową północnej półkuli obniżyły się na 2 – 3 lata o dodatkowe 1 – 2 °C), choć gdy weźmiemy pod uwagę skalę tej erupcji, to przypuszczalnie jej wpływy na innych kontynentach były nieco mniejsze. Według najnowszych ustaleń opisanych w periodyku „Mineralogy and Petrology”, w rejonie Morza Śródziemnego i słabiej

w pozostałych częściach Europy, doszło wówczas do znacznych „zmian biokulturowych”. W skrajnych przypadkach na terenie Italii temperatury mogły spaść nawet o 5 – 10 °C. Ukształtowały się wielkie połacie skał utworzonych z pyłów, które opadły po eksplozji tego stratowulkanu.

Pisząc o wulkanizmie tego okresu należy podkreślić, że nasza wiedza w tym zakresie wciąż jest niewielka i nieuporządkowana. Pochodzenia wulkanicznego jest np. leżąca u południowych wybrzeży Islandii wyspa Heimaey, która wyłoniła się z morza właśnie około 40 tys. lat temu. Na około 40 tys. lat datowany jest również czas powstania stratowulkanu St. Helens na obszarze obecnego stanu Waszyngton w Stanach Zjednoczonych.

Nie potrafimy dziś ocenić jak wielkie były wpływy ówczesnych kataklizmów na ewolucję naszego gatunku i przemiany kulturowe tamtego okresu. Zdaniem części badaczy, w tym autorów badań z 2012 r., to dodatkowe ochłodzenie pogorszyło warunki, w których przyszło żyć neandertalczykom, którzy wówczas zasiedlali tereny Europy Zachodniej i zmiany klimatyczne mogły przyczynić się do wyginięcia tego „gatunku”. Teoria mówiąca o odmienności gatunkowej neandertalczyków i *Homo sapiens* jest jednak dyskusyjna, ponadto neandertalczyki przetrwali wcześniej wiele zimnych okresów. Możemy założyć, że w bezpośrednim sąsiedztwie wulkanu na skutek opadu pyłów powulkanicznych i także trwającego aż dwa lata znacznego ochłodzenia doszło do znacznego spadku populacji wszystkich saków, w tym neandertalczyków i *Homo sapiens*. Z czasem zwiększała się też migracja *Homo sapiens*, który zajmował opuszczone terytoria. Jedną z najnowszych tez, mających wyjaśnić zniknięcie neandertalczyków zakłada, że po prostu mieszała się z *Homo sapiens*, którzy już ponad 40 tys. lat temu zasiedlili Europę i północną Azję. Podejrzenia te wspiera obecność neandertalskich genów w naszym DNA, co oznacza, że rzeczywiście dochodziło do współżycia przedstawicieli obu grup ludzi.

W Europie na północ od masywów górskich znikły wówczas ślady osadnictwa mustierskiego, z wyjątkiem kultury mustierskiej o tradycji aszelskiej, adaptującej się do nowych warunków. Znikły również stare kultury postaszelskie. Południowoeuropejskie kultury mustierskie zostały zastąpione przez kultury mustierskie z narzędziami zębatymi. Kultury lewaluasko-mustierskie i mustierskie na Bałkanach ewoluowały w kierunku zespołów typu Museliewo-Samuilica (ostrza liściowate). Na północ od Alp doszło do wyodrębnienia się zespołu typu Ramis-Mauern (podłoże postaszelskie, liściowate ostrza). Kultury Półwyspu Apenińskiego i Pirenejskiego nie uległy istotnym zmianom (lub też ich nie dostrzeżono. Bezpośrednie skutki wybuchu stratowulkanu musiały tu być znacznie większe).

Nie wiemy jak długo trwało spowodowane wybuchem tego wulkanu tak znaczne ochłodzenie klimatu. W każdym razie już około 38 000 lat p.n.e. nastąpiło ponowne jego ocieplenie, które trwało około 2000 lat (środkowy Würm Interstadiał Hengelo (40/38 000 – 36 000 lat p.n.e.); doszło do recesji lądolodu i nastąpił długotrwały okres względnego ocieplenia z kilkoma chłodniejszymi wahaniami. Na Niżu pojawiła się tundra i stepotundra z przesunięciem północnej granicy drzew w rejon wyżyn Europejskich. Nad Morzem Czarnym i w

Karpatach panował chłodny step, w Europie Zachodniej teren otwarty z niewielką liczbą drzew, w Europie Południowo-Zachodniej las (sosna, później olcha i brzoza z jodłą) z przewagą sosny i dębu na Bałkanach. W strefach wyższych i skalistych występował lew, hiena jaskiniowa i niedźwiedź jaskiniowy. Na terenach np. Węgier występowały zwierzęta zimnolubne (wilk, renifer, kozica) a na terenach np. byłej Jugosławii gatunki leśne (jeleń szlachetny, tur, dzik, niedźwiedź brunatny, jak również lis polarny). Liczba stanowisk archeologicznych z tego okresu jest niewielka – prawie wyłącznie stanowiska jaskiniowe – ubogie schroniska łowieckie. Na Bliskim Wschodzie zaznaczyła się kultura mustiersko-leluwalska, kultury mustiersko-aszelskie na terenie np. Francji, w północnej Italii zespoły mustierskie z narzędziami zębatymi, we Włoszech kultura szarnecko-pontiniańska.

W okresie Hengelo w Europie egzystowali przedstawiciele neandertalczyków i *Homo sapiens* (przede wszystkim w Europie południowo-wschodniej i środkowej). W tym czasie doszło do wieloaspektowego przełomu kulturowego, rozpowszechniła się technika wiórowa (powstały rylce, drapacze, wiórowce, półtylczaki, tylczaki). Silnie rozwinęła się obróbka kości, pojawiła się sztuka figuralna, upowszechnił się zwyczaj chowania zmarłych. Powstały górnopaleolityczne kultury z ostrzami liściowatymi: kultura szelecka, kultura jerzmanowicko-telmańska (np. Jaskinia Nietoperzowa), kultura Ranis-Mauern. Na południu istniały również grupy ludności związane z kulturą oryniacką, która ma prawdopodobnie pozaeuropejską genezę.

Przeglądając literaturę przedmiotu spotykamy się z ogromnym nieuporządkowaniem dotychczasowej wiedzy. Widać też często brak współpracy historyków i archeologów. Nie wiemy dokładnie, w jakim okresie *Homo sapiens* po raz pierwszy zasiedlił Europę, czy była to jedna, czy też było kilka fal migracji?

Wcześniej zakładano, że pierwsi przedstawiciele *Homo sapiens* (wprowadzano również odrębną grupę: *Homo sapiens fossilis*) przybyli do Europy z Afryki przez Bliski Wschód, co najmniej 40000 lat temu, w cieplejszej fazie zlodowacenia. Za jednego z pierwszych przedstawicieli *Homo sapiens* w Europie uważano człowieka z Crô-Magnon. Według najnowszych badań pierwsi ludzie współcześni pojawili się w Europie kilka tysięcy lat wcześniej – już ok. 45000 lat p.n.e. Za tą nowszą hipotezą przemawiają m.in. wyniki wykopalisk naukowców z Instytutu Archeologii UJ w Krakowie. Z analiz nawarstwień w jaskini Klissoura w Grecji wynika, że człowiek współczesny mógł się w niej pojawić już ok. 43 – 41000 lat p.n.e. W dolnej partii jej osadów – w warstwie o grubości kilku metrów – zachowały się ślady obecności neandertalczyka. W wyższych warstwach w jaskini znaleziono przede wszystkim narzędzia krzemienne, wykonywane w sposób bardzo podobny do narzędzi znanych z Bliskiego Wschodu. Ich twórcami byli członkowie społeczności kultury uluckiej (nazwa pochodzi od stanowiska archeologicznego we Włoszech, gdzie po raz pierwszy w Europie natknięto się na tego typu narzędzia). Polscy naukowcy odkryli w jaskini Klissoura również narzędzia typowe dla rozpowszechnionej później w Europie kultury oryniackiej. Te dwie grupy odróżnia sposób wytwarzania narzędzi krzemiennych. Narzędzia uluckie były mniej skomplikowane i zaawansowane niż oryniackie.

Odkrycie z jaskini Klissoura dowodzi, że ponad 40000 lat temu miały miejsce dwie fale migracji człowieka współczesnego z Bliskiego Wschodu. W jaskini polscy archeolodzy znaleźli również ślady nietypowych palenisk przedstawicieli kultury oryniackiej, sprzed ok. 30000 lat. Były one wylepione dookoła gliną przyniesioną spoza pieczary. Zapewne chodziło o to, żeby powstały w ognisku żar dłużej utrzymywał ciepło. Nie znamy takiego rozwiązania z innych jaskiń z tego okresu, a użytkowanie wypalanej gliny do produkcji naczyń ceramicznych pojawia się wiele tysięcy lat później, dopiero w neolicie. Jaskinie w Grecji służyły ludziom także później, m.in. w czasach pierwszych rolników, czyli już w VIII/VII tysiącleciu p.n.e. Wszystko wskazuje na to, że te dwie populacje (lokalna – z terenu dzisiejszej Grecji – i napływowa z Anatolii) krzyżowały się ze sobą, a proces rozprzestrzeniania się rolnictwa był zdecydowanie bardziej złożony, niż sądziliśmy. W miarę rozwoju kultur rolniczych jaskinie, w tym Sarakenos, pełniły coraz częściej nie tylko funkcję schronisk, ale również rolę kultową – składano w nich zmarłych. O sakralnej funkcji jaskini świadczą zbiorowe znaleziska antropomorficznych figurek z gliny. Naukowcy natrafili też na dowody, że w okresie rozprzestrzeniania się w Grecji rolnictwa wzmacniały się kontakty morskie. Na wyspach Kythnos i Ikaria odkryli dowody żeglugi pełnomorskiej w postaci obsydianu, czyli szklawa wulkanicznego sprowadzonego z wyspy Melos. Zdaniem prof. Kozłowskiego w surowiec ten zaopatrywano się dzięki żegludze morskiej poczynając od X tysiąclecia p.n.e. Moim zdaniem pogląd taki jest bardzo dyskusyjny. Do przenoszenia obsydianu dochodziło raczej w wyniku przemieszczania się różnych grup. W tym okresie trudno mówić o „żegludze”. Owszem dochodziło do pokonywania również przestrzeni morskich, ale nie w celu nawiązywania lub podtrzymywania kontaktów międzyludzkich. Pomiedzy 42000 a 30000 lat temu na terytorium Europy rozwijały się też kultury: szetelperońska, krąg kultur oryniackich, kultura willendorfska (krąg kultur z ostrzami tylcowymi), kultura sungirska (kultura kostienkowsko-sungirska).

Część historyków przyjmowało teorię, że tzw. człowiek z Crô-Magnon stanowił odrębny gatunek, który wyodrębnił się z *Homo sapiens* około 43000 lat temu w czasach ostatniego zlodowacenia tzw. bałtyckiego, w górnym plejstocenie w okresie zimnym, w fazie środkowej (Würm) na Bałkanach lub na terenie dzisiejszych Czech. W ciągu kilku tysięcy lat kromanieńczycy rozprzestrzenili się w całej Europie. Moim zdaniem, teza o odrębności gatunkowej jest błędna. Powinniśmy raczej mówić o kolejnym zróżnicowaniu wewnątrzgatunkowym.

Na Półwyspie Apenińskim fakt pobytu człowieka z Crô-Magnon potwierdza odkryta tu czaszka typu kromanieńskiego z okolic Fucino sprzed około 8000 lat p.n.e. Chociaż na ścianach jaskiń odkryto ryte wyobrażenia zwierząt, a w pobliżu Jeziora Trazymeńskiego znaleziono paleolityczną „Wenus”, to w Italii brak tak niezwykłych dzieł sztuki naskalnej, jakie zdobią jaskinie we Francji czy Hiszpanii. Sądzić można, że ludność Italii była w tym czasie nieliczna i w nieustannym ruchu, polując i zbierając pożywienie tam, gdzie było najłatwiej dostępne. Na terenie dzisiejszej Polski ślady działalności kromanieńczyków reprezentują kultury archeologiczne z terenów Małopolski i Śląska. Najstarszą jest późna kultura mustierska, po której nastąpiły jerzmanowicka, oryniacka

oraz kultura sielecka. Bezpośrednią kontynuatorką tych kultur jest na terenie Polski kultura hamburska oraz występująca w Europie zachodniej i środkowej kultura magdaleńska. Na terytorium dzisiejszej Ukrainy odkryto ponad 800 stanowisk ze śladami człowieka z Crô-Magnon z okresu późnego paleolitu.

Człowiek z Crô-Magnon charakteryzował się wysokim wzrostem (ok. 180 cm) i pojemnością mózgową dochodzącą do 1600 cm³. Poszukiwania archeologiczne dowodzą, że używał wielu różnych narzędzi takich jak krzemień, kości, rogi zwierząt a także korzystał z licznych rodzajów broni, na przykład miotaczy oszczepów, sagajów, harpunów. Przyjmuje się też, że jako pierwszy z gatunku *Homo* tworzył trwałe domostwa.

Kolejna erupcja Campi Flegri

Nasza wiedza odnosząca się do tematu zmian klimatycznych w tak bardzo odległych latach jest wciąż bardzo hipotetyczna. Pisze np. W. Chmielewski, że od około 38000 lat temu nastąpiło pewne ocieplenie, aby znów między XXV a X tys. p.n.e. ustąpić nawrotowi zimnych (chłodnych w Afryce) warunków klimatycznych. Tymczasem, jak wykażę poniżej, po pierwsze kolejne ochłodzenie przyszło znacznie wcześniej, bo już ok. 33/32 tys. lat temu (a nie 25 tys. lat temu), a później sytuacja klimatyczna ulegała znacznie częstszym, niż sugerowałyby to wypowiedź Chmielewskiego zmianom. Oczywiście zmiany te nie dotyczyły wszystkich rejonów Świata równomiernie. Być może wiązało się to z nieco mniejszą skalą kataklizmów, które odnotowujemy dla tego okresu i z tego powodu nie miały one globalnego zasięgu.

Ochłodzenie, zwłaszcza terenów Europy i jak przypuszczam północno-zachodniej Afryki, możemy wiązać z kolejną erupcją Campi Flegri sprzed blisko 32,8 tys. lat (inne daty tej erupcji 35 tys. lat temu). W jej wyniku zostało wyrzucone w powietrze aż 100 km³. pyłów. Skały pochodzące z opadu tych pyłów zalegają dziś na północnych ścianach kaldery stratowulkanu. Pozostałością tego kataklizmu są m.in. obszerne złoża tufu, które obejmuje całą równinę regionu Kampanii na powierzchni ponad 10.000 kilometrów kwadratowych. Tak jak i w wypadku innych okresowych zlodowaceń mających bardzo szeroki zasięg możemy i w tym wypadku wskazać więcej erupcji wulkanicznych mających miejsce w tym czasie, które możemy wiązać z ówczesnymi zmianami klimatycznymi. Naukowcy wyróżnili np. aż 4 znaczne erupcje leżącego w Meksyku stratowulkanu Nevado de Toluca (indiańska nazwa Xinantécatl). Krater ma średnicę 1,5 km, znajdują się w nim dwa jeziora, zwane Słońcem i Księżycem. Wspomniane erupcje miały miejsce 36000, 21700, 12100, 10500 lat temu.

Ochłodzenie Hengelo-Arcy (36000 – 30500 lat p.n.e.) spowodowało przesunięcie poszczególnych stref roślinnych ku południowi. Niż porastała tundra krzewinkowa, a Europę południową kępy lasu. Wraz ze zmianami środowiskowymi dochodzi do zmian kulturowych. W dorzeczu Dunaju, a także na większości terytorium dzisiejszej Francji i Włoch rozprzestrzeniała się tradycja oryniacka właściwa, na obszarze Italii i południowej Francji powstawały kultury z ostrzami tylcowymi (szatelperońska i ulucka). Kultury mustierskie przetrwały jedynie na obszarze Półwyspu Iberyjskiego, nie zanikały całkowicie

kultury z ostrzami liściowatymi. Być może skutki tych zmian klimatycznych były nawet większe. Sięgały również na Bliski Wschód. Dowodem może być związany właśnie z tym okresem rozwój kultury baradosteńskiej (również *baradostyjska*) występującej w górskich masywach Zagrosu, która rozwijała się w okresie od ok. 36 tys. lat p.n.e. do ok. 20 tys. lat p.n.e.

W Europie po prawie dwóch tysiącach lat znów nastąpiło ocieplenie. Czas ten określany jest nazwą Interstadial Arcy (30,5 tys. – 28/27 tys. lat p.n.e.). Datowany jest radiowęglowo, co powoduje wskazaną niepewność dat. Wiadomo jednak, że trwał on minimum 2000 lat. W tym czasie mniejszy zasięg miało m.in. Morze Adriatyckie, a Wielka Brytania nie była wyspą, co przyczyniło się do rozprzestrzeniania się osadnictwa oryniackiego (np. Kefalonia na Morzu Jońskim). Niewielkie ocieplenie spowodowało występowanie zwartych lasów w Kotlinie Karpackiej i Eu-ropie Zachodniej. Na wyżynach i na Niżu rosły jedynie kępy drzew otoczone tundrą lub chłodnym stepem, a na wschodzie dominowały lasostepy. Formował się zespół fauny wyżyn pokrytych rzadkim lasem lub chłodnym stepem parkowym. Dominował koń i renifer, występował jeleń szlachetny, mamut, koziorożec i in. Morze Adriatyckie miało mniejszy zasięg, jak również Wielka Brytania nie była wyspą, co przyczyniło się do osadnictwa oryniackiego (np. Kefalonia na Morzu Jońskim).

Wraz ze zmianami środowiskowymi dochodziło do zmian kulturowych w społecznościach ludzkich. Wiele z nich przeszło w tym czasie do półosiadłego trybu życia – podstawą wyżywienia były mamuty, renifery, konie i bizona, licznie występujące na obszarach stepotundry i lasostepów. Na zachodzie Europy powstawały duże osady otwarte i pojawiały się pierwsze cmentarzyska. Rozwojowi ulegała kultura materialna, powstawały wyroby z wypalanej gliny i gładzonego kamienia, udoskonaleniu uległy narzędzia i broń, rozwojowi uległy przedmioty kombinowane (krzemienne ostrza w oprawach z materiałów organicznych), Europę Zachodnią zamieszkiwały społeczności późnej kultury perigordzkiej. Na jednym obszarze występują równocześnie odmiany tej kultury: Noailles (drobne rylce węglowe); Font-Robert (groty trzoneczkowate); Ferrassie (z półtyczakami i prostokątami) i odpowiadają różnym tradycjom kulturowym. Dochodziło prawdopodobnie do wielokrotnej zmiany ludności w poszczególnych skupiskach terytorialnych.

W tym czasie północne obrzeża Morza Śródziemnego zajmowała ludność tardigrawecka. W Europie Środkowej i Wschodniej występowały kultury: pavlovska, willendorfska, mołodowska, puszczarińska. Tradycje oryniackie przetrwały jedynie w południowej części Europy. Na Niżu Rosyjskim rozwinęła się osobna kultura kostienkowsko-sungirska, którą zalicza się do kręgu kultur liściowatych. Cechą charakterystyczną tej kultury są trójkątne ostrza z podstawą lekko wklęsłą i zgrzebłą. W dorzeczu Dunaju, Francji i Włoszech rozprzestrzeniała się tradycja oryniacka właściwa, na obszarze Italii i południowej Francji powstają kultury z ostrzami tylcowymi – szatelperońska i ulucka. Kultury mustierskie zamieszkują jedynie Półwysep Iberyjski, natomiast nie zanikły powstałe w czasie Hengelo jednostki z ostrzami liściowatymi.

Część mieszkańców ówczesnej Europy używała oszczepów z tradycyjnymi ostrzami kamiennymi (liściowate lub z zatępieniem tylcem), inne grupy używały

ostrzy z kości lub ciosów mamuta. Różnice w rozwoju społeczeństw uwiadcniają się również w stosowaniu sztuki figuralnej (kultury oryniackie) czy wykonywaniu kościanych ozdób strojów i amuletów (kultury nieoryniackie). Niektóre różnice były rezultatem wpływu środowiska (materiały budulcowe czy usytuowanie osady). W całej Europie dominowała kultura oryniacka. Najbardziej rozprzestrzeniona była kultura oryniacka właściwa (istniały jeszcze oryniacka typu Krems-Dufour i Olszewska) z charakterystycznymi wysokimi, pyskowatymi i łódkowatymi drapaczami, rylcami, wiórowcami i ostrzami kościanymi z podstawą rozszczepioną lub nierozszczepioną. Rozwinęła się też kultura szatelperońska (Francja, płd. Hiszpania) z ostrzami rylcowymi i zgrzeblami. Jej zasięg pokrywa się z zasięgiem francuskich skupisk oryniackich, co świadczy o współwystępowaniu obu kultur. Na Półwyspie Apenińskim występowała kultura ulucka (z ostrzami rylcowymi) strukturalnie zbliżona do szatelperońskiej. Istnieją dowody na kontakty pomiędzy kulturami szelecką i orynacką w Europie Środkowej (wzajemne importy narzędzi i surowców), co prawdopodobnie było przyczyną zaniku kultury szeleckiej. Na terenie Polski Południowej i Moraw odnotowujemy obecność kultury jerzmanowicko-telmańskiej (np. Jaskinia Nietoperzowa). Wspomniane kultury wiązane są z *Homo sapiens*, zakłada się, że w tym okresie nie istnieli już przedstawiciele neandertalczyków, choć obecność genów neandertalskich w genotypie współczesnych ludzi kazałaby przypuszczać, że sytuacja była bardziej złożona.

Kolejne zmiany klimatyczne i idące za nimi zmiany środowiska przyrodniczego były przyczyną znaczących zmian w przyjętych formach gospodarki i rozwoju kultur *Homo sapiens* na znacznych obszarach Europy, od Francji po wschodnią część Europy Środkowej. Wynikały one z konieczności dostosowania się ówczesnych ludzi do znów zmienionego środowiska. I znów, podobnie jak w przypadku wspomnianej wcześniej erupcji Campi Flegri, część badaczy wiąże wyginięcie człowieka neandertalskiego z erupcją wulkanu Taupo.

Erupcja wulkanu Taupō (Oruanui)

Nowozelandzki wulkan Taupō zaczął wybuchać około 300 000 lat temu. Główne erupcje, które nadal wpływają na otaczający krajobraz, to wybuch dacytowej góry Tauhara 65 000 lat temu, wybuch Oruanui około 25 500 lat temu, który odpowiada za kształt współczesnej kaldery, oraz erupcja Hatepe datowana na 232 ± 10 n.e.

Erupcja wulkanu Oruanui (znana również jako zdarzenie Kawakawa): 118 wulkanu Taupō była największą znaną erupcją na świecie w ciągu ostatnich 70 000 lat, ze wskaźnikiem wybuchowości wulkanicznej wynoszącym 8 VEI. Miała miejsce około 25 500 lat temu i wygenerowała około 430 km³ (100 mil sześciennych) piroklastycznych osadów opadowych , 320 km³ (77 mil sześciennych) piroklastycznych osadów prądu gęstościowego (PDC) (głównie ignimbryt) i 420 km³ (100 mil sześciennych) pierwotnego materiału wewnątrzkalderowego, co odpowiada 530 km³ (130 mil sześciennych) magmy. Tefra z erupcji pokryła znaczną część centralnej Wyspy Północnej ignimbrytem do głębokości 200 m (660 stóp). Erupcja(e) ignimbrytu prawdopodobnie nie były tak silne jak późniejsza erupcja Hatepe, ale całkowity wpływ tej erupcji był nieco

wiekszy. Większość Nowej Zelandii została dotknięta opadem popiołu, a warstwa popiołu o grubości 18 cm (7,1 cala) pozostała nawet na Wyspach Chatham, 850 km (530 mil) dalej, w tym okrzemki z osadów jeziornych. Późniejsza erozja i sedimentacja miały długotrwałe skutki dla krajobrazu i spowodowały, że rzeka Waikato zmieniła swój bieg z równiny Hauraki na obecny przez Waikato do Morza Tasmana. Kalderę powstałą podczas tej erupcji współcześnie częściowo wypełnia jezioro Taupō.

Po trwającym 2000 lat okresie ocieplenia ponownie doszło do ochłodzenia klimatu. Tym razem przypuszczalną przyczyną była erupcją superwulkanu Taupo na nowozelandzkiej Wyspie Północnej ok. 26,5 tys. lat temu (wybuch Oruanui). Był to największy wybuch wulkanu w ciągu ostatnich 70 tysięcy lat, kiedy to wybuchł stratowulkan Toba, w skali VEI osiągnął poziom 8. Ustalono, że Taupo wyemitował do atmosfery ogromne ilości materiału wulkanicznego. W sumie aż 1170 km³. Ślady tych erupcji wskazują, że było przynajmniej 10 ich etapów o różnej intensywności. Ostatecznie sto kilometrów kwadratowych okolicy zapadło się w kalderę, a wewnątrz powstało jezioro Taupo.

Złoża popiołu z erupcji Oruanui z ostatniej (dziesiątej) fazy zostały geochemicznie dopasowane do osadów rdzeni lodowych zachodniej Antarktydy z odległości 5000 km (3100 mil) odległych w czasie do $25\,318 \pm 250$ lat przed 1950 r. i stanowią dogodny znacznik dla ostatniego maksimum lodowcowego na Antarktydzie. Ta chmura popiołu została wymodelowana tak, że okrażenie półkuli południowej zajęło około dwóch tygodni. Klimatolodzy nazwali ten czas okresem maksimum glacjału. Ochłodzenia klimatu spowodowane aż tak znacznymi erupcjami wpływały zapewne na wzrost powierzchni lodowców, długie i ostre zimy wpływały też na spadek populacji zwierząt i ludzi.

Okres od Arcy do Pleniglacjału II (28/27000 – 24000 lat p.n.e.) trwał ok. 4000 lat i można go podzielić na okresy: chłodniejszy od Arcy; Stillfried B – powtórzenie Arcy. Klimat uległ wówczas stopniowej kontynentalizacji, czego rezultatem było (przypuszczalnie) stopniowe krajobrazu równoległe ze stopniowym jego wylesieniem.

Upadki asteroid

Również i w tym czasie odnotowujemy upadki dużych meteorytów. Ich ślady odkryto na obszarze Australii i Antarktydy. Wiek ziemski meteorytów z Nullarbor jest obecnie wyznaczany, ale pierwsze dane pokazują, że niektóre meteoryty z tego obszaru spadły 20 – 30 tys. lat temu. Jest ważne, że ten wiek leży w przedziale wieku większości meteorytów antarktycznych i porównania meteorytów Antarktydy z tymi z Nullarbor już ujawniły niektóre interesujące podobieństwa. Na przykład wielu badaczy zauważyło, że meteoryty żelazne są dwukrotnie mniej liczne na Antarktydzie w porównaniu ze współczesnymi spadkami. Tak jak na Antarktydzie, wiele meteorytów kamiennych znalezionych na Nullarbor waży 100 gramów lub mniej; większość z nich waży 10–50 gramów. Co bardziej osobliwe, jest pewna liczba nietypowych meteorytów, która wydaje się skoncentrowana w populacjach Antarktydy i Nullarbor w stosunku do reszty świata. W 1963 r. poszukiwacz meteorytów T. Dimer, twierdził, że może

zlokalizować ogromny meteoryt żelazny, który był uważany za „tak duży jak samochód”.

Pogłoski o dużym meteorycie na Nullarbor krążyły już od 1944 roku. W latach 60. przeprowadzono dwie nieudane wyprawy. W kwietniu 1966 r. odkryto dwa duże meteoryty, szacowane na 10 – 12 ton (po dokładnym ważeniu 12,4 tony) i 4 – 6 ton, później nazwane Mundrabilla. Zostały znalezione w odległości około 200 metrów (około 183 m) od siebie i opisane przez poszukiwaczy RB Wilsona i AM Cooneya. W sumie odzyskano około 22 ton fragmentów tego starożytnego „meteorytowego prysznica”. Niestety, nie potrafimy dziś jeszcze dokładnie opisać przebiegu tych kataklizmów, tym bardziej wskazać, jakie były ich globalne konsekwencje.

Obok przyczyn klimatycznych i zmian środowiska przyrodniczego na rozwój kultur *Homo sapiens* miały powiązane z nimi migracje. Kolejna fala migracji związana jest z kulturą grawecką, której przedstawiciele prawie 30000 lat temu pojawili się w Europie Wschodniej, by później rozprzestrzenić się również na inne terytoria Europy. Dysponowali oni m.in. kościanymi igłami umożliwiającymi szycie chroniącej przed mrozem, a zarazem niekrępującej ruchów odzieży, a także potrafili łowić ryby sieciami i polować za pomocą oszczepów wyrzucanych miotaczami (atlatl), co pozwoliło lepiej wykorzystać ograniczone zasoby środowiska.

Pojęciem kultury graweckiej określa się cały zespół kultur wstępujących w Europie w okresie pomiędzy ok. 28 000 – 20000/17000 lat p.n.e. (najstarsze zespoły datowane są na 28000 lat p.n.e.), których charakterystyczną formą są wysmukłe ostrza uzyskane przez zatępienie jednego z boków wióra retuszem stromym, często dwustronnym (ostrze graweckie), występują też liczne rylce węglowe. Wśród kultur graweckich wyróżnia się kilka kręgów kulturowych: wczesny horyzont kultur z tylczakami (m.in. kultura szatelperońska, ulucka, zwierzyniecka), kultury ostrzy tylcowych Europy Zachodniej i Południowej (m.in. kultura perigordzka, arenieńska, tardigrawecka), kultury z tylczakami środkowej Europy (kultury wschodniograweckie, m.in. pawłowska, willendorfska, mołodowska, lipska, sagwarska), dnipro-deszeńskie kultury z tylczakami (m.in. kultura puszkariowska, meżyńska, jelsiejewiczańska), Kultury z tylczakami Europy Wschodniej (m.in. kultura telmańska, kostienkowska, czarnomorsko-azowska, kamiennobałeczka). Pozostałością tych kultur jest bogaty i zróżnicowany przemysł krzemienowy (ostrza tylcowe, rylce, drapacze wiórowe), rogowy i kościany; plastyka antropomorficzna (figurki Wenus paleolitycznych) i zoomorficzna, ornamentowane ozdoby; liczne obiekty mieszkalne wykonywane m.in. z kości mamuta. Wy-mienione przyczyny ekologiczne doprowadziły do ujednolicenia inwentarzy narzędziowych w ówczesnej Europie. Możliwe, że to właśnie wówczas dokonano wynalazku łuku (dowody archeologiczne to groty strzał), który był bardziej efektywną bronią niż oszczep. Doszło do zaniku wielu skupisk oryńskich i poważnego rozwoju kultur z ostrzami rylcowymi. Osadnictwo typu Krems-Dufour przesunęło się w kierunku Europy Wschodniej. Miejsce lokalnych grup oryńskich zajęło osadnictwo graweckie, które cechuje rozwój ostrzy rylcowych (groty strzał), wysoki wskaźnik rylców i rozpowszechnienie figurek kobiecych (Wenus paleolityczna). Rozwijało się myślistwo (głównie na mamuty, renifery i konie), dochodziło też do pewnej

stabilizacji gospodarczej z długo-trwałymi osadami. Na południu od Karpat i Alp u schyłku Stillfriedu B rozwijały się kultury graweckie. Na zachodzie na bazie kultury szatelperońskiej rozwijała się kultura perigrodzka, zwana również klasyczną grawecką. Obszar Belgii zajęły zespoły typu Maisieres-Canal, łączące cechy graweckie i protosolutrejskie. W Europie Środkowej pojawiły się zespoły z tylczkami w wczesne zespoły móldawskie, a na Morawach pierwsze osady kultury pavlovskiej. Pod koniec Stillfriedu B na Wybrzeżu Liguryjskim pojawiła się kultura arenieńska, a w południowej Italii, Albanii i Grecji wczesna faza kultury tradigraweckiej. Na Niżu Rosyjskim krystalizowała się kultura kostienkowsko-sungirska, a na północnym skraju Niżu Europejskiego zamierały resztki kultur z ostrzami liściowatymi.

Rozdział XI

Późny Würm – II Pleniglacja (maksymalna transgresja lądolodu) – 24000 – 14000 lat p.n.e. – Początek pleniglacji

Około XX tysiąclecia p.n.e. na obszarze Europy Środkowej zaczęły narastać przejawy kryzysu klimatycznego, który w literaturze geologicznej otrzymał miano II Pleniglacji. Uważa się, że trwał on około 10 tys. lat (24 tys. – 14 tys. lat p.n.e.). Warto zauważyć jednak, że w tym stosunkowo długim okresie klimat ulegał dość znacznym wahaniom. W tym czasie doszło do znacznego ochłodzenia klimatu i rozwoju lodowca, który dotarł do dzisiejszego Bałtyku, ale były też i okresy ocieplenia. Do jednej z ostatnich drastycznych zmian klimatu, gwałtownego znacznego ochłodzenia w skali globalnej doszło ok. 13000 lat temu. Trwało ono ok. 1300 lat, dlatego też uważam, że czas trwania II Pleniglacji powinniśmy przesunąć do IX tysiąclecia p.n.e.

Wynikiem tego kryzysu było generalne przesunięcie się ku południowi znanych z intrapleniglacji stref ekologicznych oraz potężna transgresja (zresztą nie w jednym nasunięciu) lądolodu skandynawskiego, który osiągnął linię moren leszczyńskich, a więc zajął niemal połowę terytorium naszego kraju. W czasie maksymalnego nasunięcia lądolodu, datowanego na około 18000 – 17000 p.n.e. obszar ziem polskich zajmowała pustynia lodowa i najpewniej uboga tundra, która rozciągała się także wewnątrz łuku Karpat. Strefy roślinne podobne do środkowego Würmu układały się równoleżnikowo i przesunęły w zależności od wahań klimatu. Maksymalne ochłodzenie wytworzyło pustynię arktyczną na dużym obszarze Niżu i wyżyn, co zmusiło ich mieszkańców do wycofania się.

Późny glacja stanowi okres schyłkowy zlodowacenia. Początek tego okresu jest różnie przyjmowany w zależności od regionu. 21000-14500 lat temu (18000 – 13000 lat 14C BP), natomiast jego koniec jest równoznaczny z końcem plejstocenu i początkiem holocenu – 11650 lat temu. Klimat w tym czasie cechował się dużą zmiennością. Generalna poprawa klimatu w kierunku mody interglacialnej przerywana była serią silnych i gwałtownych ochłodzeń, takich jak młodszy dryas. Ten trwający około 2000 lat okres nazwano Bølling-Allerød od miejsc w Danii, gdzie znaleziono ślady świadczące o ustępowaniu lodowca. Pisząc o zmienności klimatu należy zaznaczyć, że krótkotrwałe okresy

ochłodzenia i nawroty lodowców nie zmieniały generalnego trendu – stopniowego wzrostu średnich temperatur Ziemi, który objawiał się tym, że zakres zlodowacenia ulegał zmniejszeniu. Zmiana klimatu miała charakter globalny. Stosunkowo szybkie ustąpienie lodowca (około 21000 lat temu) spowodowało to, że poziom mórz znacznie się podwyższył. Duże obszary nizinne zostały zalane, a ruchy kształtujące skorupę ziemską podniosły gdzieś tam znacząco poziom dawnych wybrzeży. Dla przykładu, w najchłodniejszym okresie epoki lodowcowej, przypadającym na okres około 20000 lat temu, poziom wód wokół Australii był o blisko 120 metrów niższy. Kiedy kilka tysięcy lat później epoka lodowcowa dobiegała końca, wielkie masy czap lodowych zaczęły topnieć. Woda spłynęła do oceanów powodując wzrost poziomu mórz. Około 13000 lat temu poziom wód wzrósł do około 70 metrów poniżej dzisiejszego, a przez kolejny tysiąc lat podniósł się o kolejne 20 metrów. Podniesienie się poziomu wód o 120 metrów, dotyczy nie tylko Australii, ale wszystkich kontynentów. Musiało spowodować zalanie terenów nadbrzeżnych na całym świecie.

Sądzę, że właśnie tu można wspomnieć o Zelandii, którą naukowcy zaczynają obecnie uznawać za kolejny kontynent. Do tej pory Nowa Zelandia i Nowa Kaledonia były uznawane za część kontynentu australijskiego. Dzięki najnowszym badaniom dna oceanicznego, między innymi z użyciem zdjęć satelitarnych, naukowcy doszli do wniosku, że Nowa Zelandia i pobliskie wyspy, to nie zlepek przypadkowych elementów, tylko części większej układanki. Zelandia to liczący około 5 mln km kw. kontynent, którego znaczna część, bo aż 94 proc. znajduje się pod powierzchnią oceanu Atlantyckiego. Okazuje się, że nie jest to wcale przeszkodą, aby została ogłoszona pełnoprawnym kontynentem, gdyż spełnia jego podstawowe warunki: wyrasta z wysokiego dna oceanu; posiada różnorodność trzech głównych rodzajów skał (magmaowe, metamorficzne i osadowe); posiada grubszą i mniej gęstą skorupę w stosunku do otaczającego ją dna oceanicznego; posiada dobrze zdefiniowane granice wystarczająco dużej powierzchni. Okazuje się, że trzy pierwsze postulaty Zelandia spełniała już w 1995 r. – wtedy właśnie zaczęto mówić o nowym kontynencie, ale wówczas tylko w środowisku naukowym. Uważam jednak, za dyskusyjną przyjmowaną przez naukowców datę ukrycia pod powierzchnią Atlantyku części tego kontynentu – Zelandii (Nowej Zelandii, a wraz z nią Nowej Kaledonii), określaną na dziesiątki milionów lat. Podniesienie poziomu oceanu o 120 metrów znacznie przesunęło linię brzegową dzisiejszych wysp (części kontynentu) właśnie w omawianym w tym rozdziale okresie (około 10 – 14 tysiącami lat temu).

W ciągu kilku tysięcy lat lądolód opuścił zajmowane w Europie Zachodniej i Środkowej obszary, cofając się do Skandynawii. Temperatura wzrosła niemal do takiej, jaka występuje obecnie. Zmiany były, jak na skalę geologiczną, dosyć gwałtowne. Użyłem tu tego określenia (*jak na skalę geologiczną*) za innym autorem. Warto tu wyjaśnić jednak pewną kwestię. Zarówno narastanie lodowca, jak i jego ustępowanie trwało setki a może nawet i tysiące lat. Na przykład, przyrost lodowca alpejskiego w czasie tzw. małej epoki lodowcowej następował w tempie ok. 300 metrów rocznie (długość strzału z muszkietu). Pamiętamy, że przyrost ten powodował migrację Szwajcarów m.in. do Francji i Anglii. Odnosnie innej epoki lodowcowej znalazłem informacje o przyroście

rocznym lodowca o ok. 330 m. Oczywiście w tym czasie rosła również grubość pokrywy lodowej. W związku z tym dostosowywanie się do zmieniającego się środowiska (w tym migracje) hominidów odbywało się na przestrzeni tysięcy lat.

Niż Europejski zajmowała tundra, przechodząca na południu w lasostep lub formacje wysokogórskie, natomiast na południe od Masywu Centralnego i Alp występowały lasy. W Ameryce Północnej lądolód laurentyjski objął dzisiejsze tereny Kanady i północnych stanów USA, do jeziora Michigan. Miąższość powstałego lądolodu wynosiła prawie dwa kilometry. W początkach II Pleniglacjału dochodziło do coraz większej specjalizacji społeczeństw paleolitycznych, tryb życia zmieniał się na półosiadły – podstawą wyżywienia były mamuty, renifery, konie i bizona, licznie występujące na obszarach stepotundry lasostepów. W latach pomiędzy 25000 lat p.n.e. a 17000 p.n.e. nastąpił rozwój wyspecjalizowanego myślistwa stepowo-tundrowego. Tylko nieliczne ludy mieszkające na południu Europy zachowały wówczas swe tradycyjne struktury (np. odizolowane oryńskie społeczności Italii). Inni przeszli wówczas drogę adaptacji, która prowadziła w kierunku przystosowania się do krajobrazu otwartego. Na zachodzie Europy powstawały duże osady otwarte i pojawiły się pierwsze cmentarzyska. Rozwijała się kultura materialna, zaczęły powstawać wyroby z wypalanej glicyny i gładzonego kamienia, udoskonaleniu uległy narzędzia i broń, rozwojowi ulegały przedmioty kombinowane (krzemienne ostrza w oprawach z materiałów organicznych), Europę Zachodnią zamieszkiwały społeczności późnej kultury perigrodzkiej. Na jednym obszarze występują równocześnie odmiany tej kultury: Noailles (drobne rylce węglowe), Font-Robert (groty trzoneczkowate) i Ferrassie (z półtylczakami i prostokątami). Odpowiadały one różnym tradycjom kulturowym. Dochodziło prawdopodobnie do wielokrotnej zmiany ludności w poszczególnych skupiskach terytorialnych. Północne obrzeża Morza Śródziemnego w tym czasie zajmowała ludność tradigrawecka. W Europie Środkowej w Wschodniej występowały kultury: pavlovska, willendorfska, mołodowska, puszkariowska.

Nie potrafimy jeszcze dokładnie wykazać związków między zaistniałymi w tym okresie kataklizmami, a zachodzącymi wówczas zmianami klimatycznymi. Warto tu wspomnieć o jednym z takich wydarzeń: na ten okres datowana jest erupcja stratowulkanu Aira (jap. 始良カルデラ *Airakarudera*), którego podłożna kaldera o wymiarach 17 × 23 km znajduje się na południu wyspy Kiusiu (w zatoce Kagoshima) powstała podczas erupcji 22 tys. lat temu. Wybuch, który miał siłę VEI-7, wyrzucił w powietrze 110 km³ materiału piroklastycznego, który dotarł na odległość ok. 1000 km. Erupcja wulkanu o tej skali VEI miała na pewno wpływ na klimat w skali globalnej, choć był on nierównomierny. Doszło do kolejnego zlodowacenia, które po około tysiącu lat ponownie zaczęło ustępować.

Podczas Interstadiału Tursac i wielkiej transgresji II Pleniglacjału (22 tys. – 18 tys. lat p.n.e.) wystąpiło krótkotrwałe ocieplenie Interstadiału Tursac, po czym rozpoczęła się maksymalna transgresja lodowców würmskich. Strefy roślinne podobne do środkowego Würmu układały się równoleżnikowo i przesunęły w zależności od wahań klimatu. Maksymalne ochłodzenie wytworzyło pustynię arktyczną na dużym obszarze Niżu i wyżyn, co zmusiło ich mieszkańców do

wycofania się. Do końca Tursac istnieją stare struktury graweckie, jednak formują się nowe jednostki – na zachodzie kultura postsolutrejska i w Europie Środkowej kultura kostienkowsko-adwiejewska, a wschód ulega wpływom późnoperigrodzkim.

W wyniku poważnego ochłodzenia po Tursac procesy te przyspieszają i dochodzi do ruchów migracyjnych – z obszaru Europy Zachodniej na tereny Francji i Hiszpanii, a z Europy Środkowej na wschód, na stepowe obszary Niżu Rosyjskiego. Z powodu przemieszczania się zwierząt łownych (mamuty i konie) na stepy nadczarnomorskie i Niż Rosyjski, ludność kultury pavlovskiej, kostienkowsko-adwiejowskiej i willendorfskiej migrowała na wschód od Karpat.

Niestety, z powodu cofania się wybrzeży wysp, wiele śladów wcześniejszego osadnictwa uległo całkowitemu zniszczeniu. Przed zakończeniem ostatniego okresu zlodowaceń, Japonię z kontynentem łączyły liczne przesmyki. Podobnie jak na tereny Ameryki, ludność na Wyspy Japońskie przybywała falami, około 30000 lat temu głównie z południowo-wschodniej Azji, później około 14000 lat temu – z Azji Północno-Wschodniej. Grupy paleolityczne składały się z kilku wielopokoleniowych rodzin i liczyły w sumie od 20 – 150 osób.

Przyczyny uformowania się całkiem nowego obrazu kulturowego Europy Środkowej (a także całego kontynentu) przynajmniej częściowo tkwią w sferze przemian środowiskowych, jakie zaszły u schyłku i plejstocenu Würmu, kiedy to np. w wyniku dość znacznego ocieplenia (rozpoczyna się wtedy trwający ok. 2000 lat okres interplejstocenu). Niż Polski oraz południe naszego kraju na dłuższy czas przestały być pustynią. Wkroczyły tu formacje tundrowe i stepowe, a w okresach trwających po kilkaset lat oscylacji pojedyncze drzewa i całe ich kępy.

W opisanym krajobrazie zaczęły zadomawiać się zimnolubne lub przystosowane do umiarkowanego klimatu zwierzęta, z natury związane z krajobrazem otwartym, porośniętym trawami i porostami. Pojawił się mamut i renifer, koń i bizon, w zadrzewionych dolinach południowej Polski bytowały nieraz zwierzęta leśne.

Po ostatnim zlodowaceniu doszło do zmiany formacji roślinnych (lasów iglastych, później mieszanych) i składu gatunkowego fauny z tundrowej na leśną. Na południu Eurazji i w Ameryce Północnej średnia temperatura podniosła się z 5 do 8 °C, a większe opady deszczu sprzyjały rozwojowi lasów tam, gdzie kiedyś była sawanna. Doszło do zmian także w świecie zwierząt. Mamuty, nosorożce włochate czy niedźwiedzie jaskiniowe (na które polowali ludzie paleolitu), już wcześniej zagrożone, znikły wówczas zupełnie.

Wynikiem opisanych zmian biotopu były poważne przemiany demograficzno-kulturowe. Malą ilość pojawiających się stanowisk, które cechowała pewna „monokultura”, opartych na jednogatunkowych łowach fauny zimnolubnej zwierzyny (np. mamut na stanowiskach odkrytych na terenie Krakowa). W warunkach narastającego zima wykształciły się w Europie Środkowej nowe modele adaptacyjno-kulturowe (np. kultura kostienkowska w Polsce południowej i Słowacji, czy nieco późniejsza kultura sagvarska w Kotlinie

Karpackiej, oparta na eksploatacji renifera. Z przytoczonych faktów zdaje się wynikać, że zmiany środowiskowe w XX – XVIII tysiącleciu p.n.e. doprowadziły w Europie Środkowej do destabilizacji tradycyjnych struktur, a większość jej mieszkańców przewędrowała do Europy Wschodniej z południowego wschodu, kontynuując tam swoje tradycje, następnie częściowo zresztą przekształcane lokalnie (późne kultury tylczakowe stepu nadczarnomorskiego).

Tereny dzisiejszej Polski i krajów przyległych charakteryzowała w tym czasie stepotundra, rzadko (w okresach cieplejszych) step parkowy. W krajobrazie tym żyły przede wszystkim duże ssaki stadne, spośród których wymienić należy mamuta, konia i bizona, a także renifera. Taki zestaw dominującej w krajobrazie fauny sprzyjał specjalizacji łowieckiej, która w tym czasie osiąga najwyższy stopień. Ówczesne społeczności specjalizując się w polowaniach na określony gatunek zwierząt tak udoskonaliły sposoby polowania, że z nadwyżką zabezpieczały pokrycie swoich potrzeb konsumpcyjnych. Stałe zabezpieczenie potrzeb materialnych prowadziło z kolei do poczucia stabilizacji, które w warunkach półosiadłego trybu życia sprzyjało rozwojowi wielu dziedzin kultury m.in. pozaprodukcyjnych.

Ziemie polskie znalazły się w tym czasie pod wpływem kultur idącym z dwu kierunków: z Moraw, w młodszej części Stielfriedu B (?), dotarła tu ludność pavlovska, penetrująca szczególnie obszar Górnego Śląska. Nieco później (na początku II Pleniglacjału) dotarli na nasz obszar mieszkańcy zachodniej Słowacji. Peryferyczny charakter miało osadnictwo nawiązujące do kultury mołodowskiej i być może mezyńskiej.

W wyniku wcześniejszych przemian w całej Europie doszło do dominacji społeczeństw kultur oryniackich. Najbardziej rozprzestrzeniona była kultura oryniacka właściwa (istniały jeszcze oryniacka typu Krems-Dufour i olszewska) z charakterystycznymi wysokimi, pyskowatymi i łódkowatymi drapaczami, rylcami, wiórowcami i ostrzami kościanymi z podstawą rozszczepioną lub nierozszczepioną.

Z czasem jednak doszło do zaniku wielu skupisk oryniackich i poważnego rozwoju kultur z ostrzami tylcowymi. Osadnictwo typu Krems-Dufour przesunęło się w kierunku Europy Wschodniej. Miejsce lokalnych grup oryniackich zajęło osadnictwo graweckie, które cechuje rozwój ostrzy tylcowych (groty strzał), wysoki wskaźnik rylców i rozpowszechnienie figurek kobiecych (Wenus paleolityczna). Rozwija się myślistwo (głównie na mamuty, renifery i konie) i rozpoczyna się stabilizacja gospodarcza z długotrwałymi osadami. Tworzyły się nowe jednostki kulturowe, które umownie nazywamy mianem „graweckich”. Ich inwentarz narzędziowy charakteryzują m.in. ostrza tylcowe i tylczaki oraz najczęściej dość liczne rylce; pojawiają się figurki kobiece (tzw. Wenus, np. odkryta w Austrii Wenus z Willendorfu). Wyróżnić tu wypada kulturę późnoperigorodzką (grawecką właściwą) w Europie Zachodniej, tardigrawecką w Południowej, wreszcie kilka jednostek środkowoeuropejskich (willendorfska, pavlovska, mołodowska).

Na południe od Karpat i Alp kultury graweckie rozwijały się u schyłku Stielfriedu B. Na zachodzie z szatelperońskiej rozwijała się kultura

perigordzka, zwana również klasyczną grawecką. Obszar Belgii zajmowały zespoły typu Maisieres-Canal, łączące cechy graweckie i pro-tosolutrejskie. W Europie środkowej pojawiały się zespoły z tylczakami i wczesne zespoły mołodawskie, a na Morawach pierwsze osady kultury pavlovskiej.

W latach pomiędzy 25000 lat p.n.e. a 17000 p.n.e. nastąpił rozwój wyspecjalizowanego myślistwa stepowo-tundrowego. Tylko nieliczne ludy mieszkające na południu Europy zachowały wówczas swe tradycyjne struktury (np. odizolowane oryniackie społeczności Italii). Inni przeszli wówczas drogę adaptacji, która prowadziła w kierunku przystosowania się do krajobrazu otwartego.

Wynikiem opisanych zmian biotopu były poważne przemiany demograficzno-kulturowe. Maleje ilość pojawiających się stanowisk, które cechowała pewna „monokultura”, opartych na jednogatunkowych łowach fauny zimnolubnej zwierzyny (np. mamut na stanowiskach odkrytych na terenie Krakowa). W warunkach narastającego zima wykształciły się w Europie Środkowej nowe modele adaptacyjno-kulturowe (np. kultura kostienkowska w Polsce południowej i Słowacji, czy nieco późniejsza kultura sagvarska w Kotlinie Karpackiej, oparta na eksploatacji renifera. Z przytoczonych faktów zdaje się wynikać, że zmiany środowiskowe w XX – XVIII tysiącleciu p.n.e. doprowadziły w Europie Środkowej do destabilizacji tradycyjnych struktur, a większość jej mieszkańców przewędrowała do Europy Wschodniej z południowego wschodu, kontynuując tam swoje tradycje, następnie częściowo zresztą przekształcane lokalnie (późne kultury tylczakowe stepu nadczarnomorskiego).

Kultura solutrejska rozwijała się w okresie między 21000 a 18000 lat temu. Zespół zjawisk kulturowych utożsamianych z tą kulturą znany jest z obszarów Półwyspu Iberyjskiego (stanowisko La Riera) oraz z terenów położonych na zachód od Rodanu (stanowisko Pataud). Do przewodnich form narzędziowych utożsamianych z kulturą solutrejską należą ostrza liściowate, wiórki tylcowe, ostrza z jednostronną obróbką, ostrza laurowate, zaś w końcowej fazie rozwoju tej kultury w inwentarzach poświadczona jest obecność ostrzy z zadziorem lub trzonkiem oraz narzędzia zębato-wnękowe. Do produkcji różnego rodzaju ostrzy posługiwano się techniką naciskową – po wstępnej obróbce elementu metodą obijania i otłukiwania, następowała druga, znacznie dokładniejsza faza obróbki, polegająca na naciskaniu na powierzchnię elementu twardą kością, wskutek czego odspajały się od niej nie grube odłupki, lecz cienkie płatki. Tak powstająca powierzchnia była prawie gładka, a ostrza prawie proste. Dzięki temu formy narzędziowe nabierały bardziej smukłych, precyzyjnych form. Technika ta rozprzestrzeniła się na obszar Eurazji i Ameryki Północnej po upływie 10000 lat. Na stanowiskach solutrejskich znane są także narzędzia o środkowo paleolitycznym rodowodzie – zgrzebla. Konstrukcje mieszkalne wznoszone były przy użyciu kamienia, o czym świadczy stanowisko Fressignès (departament Dordogne we Francji). Na stanowisku tym poświadczane jest także obecność kamiennych bruków.

Ludność kultury solutrejskiej w zależności od obszaru polowała na różne rodzaje zwierzyny. Na terenie Francji polowano głównie na stada reniferów zaś

na stanowiskach obecnej Hiszpanii odkrywano szczątki jelenia oraz koni. Do najważniejszych artefaktów tego okresu zalicza się ryty i rysunki na kościach, figurki kobiece, reliefy znalezione w Roc de Sers we Francji oraz w El Castillo w Hiszpanii. Jednym z ciekawszych zabytków jest odkryty w Fourneau-du-Diable kamień, na którym wyrzeźbiono łącznie 11 zwierząt, z czego 5 sztuk bydła, 2 konie i dwa jelenie. Nad ich wykonaniem pracowało z pewnością wielu artystów. Ich dzieła powstały pod koniec okresu solutrejskiego. Kiedy ostatni mieszkańcy solutrejscy opuszczali swe siedziby spiętrzyli celowo odpadki i ziemię nad reliefami, aby ukryć je przed nowymi osadnikami. Podobne zachowania ówczesnych ludów zaobserwowano również m.in. w Le Roc, La Ferrassie, La Madeleine i Laugerie-Haute. Przyczynę porzucenia przez ludność kultury solutrejskiej dogodnych dla nich siedzib w Bourdeilles była prawdopodobnie ucieczka przed napływowymi, wrogo do nich nastawionymi ludami kultury magdaleńskiej, które osiedlały się wokół Fourneau-du-Diable.

Na zachodzie Europy kulturę solutrejską charakteryzuje niezwykła precyzja obróbki krzemienia ze specjalizacją gospodarczą ukierunkowaną na renifera. Na prowincjach wschodnioeuropejskich rozwinęły się nowe kultury na bazie tradycji graweckiej: mołodowska, lipska, jelisejewiczańska, mezyńska i kostienkowsko-adwiejewska. Nad Morzem Czarnym na wpływach zakaukaskich uformowały się kultury czarnomorsko-azowska i kamiennobałcka. Prowincję południową Europy zajmują łowcy tardigrawecy, mocniej ukierunkowując się na osadnictwo (te same regiony i jaskinie). Coraz częściej obserwujemy ślady nowej formy gospodarki – zbieractwa.

Niektóre z kultur górnego paleolitu miały mniejszy zasięg i badania archeologiczne wskazują, że czas ich istnienia był znacznie krótszy. Nie wiemy, jakie były dalsze losy społeczeństw je tworzących? Czy przenieśli się w inne regiony, czy wyginęły z powodu jakiegoś kataklizmu?

Kultura Kostienkowsko-sungirska rozwijała się na południowych obszarach Wyżyny Środkoworosyjskiej i Niziny Wschodnioeuropejskiej. Zaliczana jest do kręgu kultur ostrzy liściowatych. Przewodnią formą narzędzi były różne odmiany, najczęściej trójkątne, ostrzy liściowatych (m.in. ostrza typu sungirskiego i anosowskiego); pochówki szkieletowe, bogato wyposażone; nazwa od stanowiska Sungir, w okolicach m. Włodzimierz (Rosja).

W czasie Maksimum II Pleniglacjału i początku deglacacji (18000 – 16000 lat p.n.e.) lądolód skandynawski osiągnął maksymalny zasięg, zajmując nie tylko Skandynawię, lecz i północne rejony Niżu Europejskiego. Od 18000 p.n.e. do 17000 p.n.e. na terenie Europy Zachodniej istniał nowy typ gospodarki dostosowany do środowiska tundrowego (kultura magdaleńska). Jego głównym przejawem było wyspecjalizowanie się w polowaniach na renifery, których eksploatacja powoli zaczynała zaspokajać niemal wszystkie potrzeby konsumpcyjne społeczeństwa. Ten model gospodarczy sprzyjał przemieszczaniu się grup ludzkich (zimą do wyżyny środkowej Europy, latem do Niżu Europejskiego i Masywu Centralnego). Warunki gospodarcze powodowały, że grupy ludzkie musiały być relatywnie małe. Być może narastająca gęstość zaludnienia na obszarze macierzystym skłoniło ludność magdaleńską do penetracji nowych terenów, czego wynikiem było przesunięcie się tej

ludności ku północnemu wschodowi i wschodowi (m. in. na ziemi polskiej).

Na terenach południowo-zachodniej i środkowej Francji oraz północnych obszarów Półwyspu Iberyjskiego w okresie między 18000 a 17000 lat temu pojawiła się kultura badegulska (wczesna magdaleńska). W Dordonii dochodziło do zanikania kultury solutrejskiej (wymiana ludności), która przenosiła się na południe od Pirenejów. Kultura badegulska stworzyła styl sztuki wczesno magdaleńskiej (Lascaux – malarstwo i rytu skalne), kulturę solutrejską cechującą płaskorzeźby i bardzo głębokie rytu.

Na zachodzie Europy kulturę solutrejską charakteryzuje niezwykła precyzja obróbki krzemienia ze specjalizacją gospodarczą ukierunkowaną na renifera. W prowincjach wschodnioeuropejskich rozwinęły się nowe kultury o tradycji graweckiej: mołodowska, lipska, jelisewiczańska, mezyńska i kostienkowsko-adwiejewska. Nad Morzem Czarnym na wpływach zakaukaskich uformowały się kultury czarnomorsko-azowska i kamiennobałcka. Prowincję południową Europy zajmowali łowcy tradigrawecy, mocniej ukierunkowując się na osadnictwo (te same regiony i jaskinie, coraz częściej zbieractwo). Nad Dniestrem, Dnieprem i Donem żyli wówczas potomkowie ludności środkowoeuropejskich kultur tylczakowych. Podstawą ich gospodarki był zasobny w zwierzynę stadną chłodny step i dominowała wśród nich grawecka tradycja kulturowa (tylczaki, liczne rylce, figurki Wenus).

Myśliwi owego okresu dopasowując się do nowych warunków (byli zmuszeni do stałego przemieszczania się za stadami zwierząt – reniferów) zmieniali swe warunki bytowania. Znalazło to odbicie w formie budowanych wówczas pomieszczeń mieszkalnych, które budowano na ogół w sposób mniej trwały niż w okresie polowania na mamuty. Zamieszkiwano teraz przeważnie w namiotach, jurtach czy szałasach, po których zachowały się do naszych czasów ślady w postaci okalających te obozowiska kręgi kamieni, koliste wały z piasku, przyciskające ongiś do ziemi skórzane pokrycia namiotowe, lub też resztki spróchniałych żerdzi, tworzące szkielety takich pomieszczeń. Mogły one z powodu szczupłej powierzchni pomieścić maksymalnie do 5 osób. Nieco trwalsze obozowiska powstawały w okresach cieplejszych (np. interstadiał allerödski), kiedy to budowano już pomieszczenia o dachach dwuspadowych dochodzących do 10 – 17 metrów długości, szerokich na 3 – 4 metry. Wówczas gromady takich łowców mogły dochodzić szacunkowo do ok. 40 osób (np. gromada z Witowa koło Łęczycy).

W okresie Interstadiału Lascaux (16000 – 14500 lat p.n.e.) rozpoczął się proces ocieplania klimatu. Rozpoczęło się wytapianie czoła lądolodu, zapoczątkowując ciepłą oscylację klimatyczną – wahnięcie Laugerie, co w dalszej konsekwencji doprowadziło do zaniku pokrywy lodowej w północnej części Europy. Fauna Europy dzieliła się wówczas na trzy strefy: las z jeleniem szlachetnym i turem (kultury tardigrawecka i lewantyńska odmiana solutrejskiej); tundra z przeważającym reniferem (kultury solutrejska i środkowodunajska); chłodny step z mamutem, koniem, bizonem i reniferem (kultury wschodnioeuropejskie). Na ziemiach polskich kryzys klimatyczny trwał do około XV tysiąclecia p.n.e., kiedy to nastąpiło wyraźne ocieplenie, a lądolód wytapiał się stopniowo z moren stadium poznańskiego i około XIII tysiąclecia

p.n.e. zatrzymał się na morenach pomorskich.

Pełna adaptacja do warunków tundrowych (arktyczno-tundrowych) nastąpiła około 14000 lat p.n.e. Wciąż niewielka liczebność ówczesnych grup ludzkich, a także brak stabilizacji i konieczność nieustannego przemieszczania się, tak jak i w poprzednim okresie niewątpliwie utrudniały rozwój cywilizacji. Zmiana techniki łowieckiej i szersze niż w okresie poprzednim uwzględnianie w polowaniach zwierzyny drobniejszej sprawiły jednak, że nastąpiło wówczas pewne udoskonalenie i uzupełnienie technik łowieckich, zwłaszcza coraz częstszego stosowania łuku (groty strzał stanowiły niekiedy aż 1/3 inwentarza kamiennego obozowisk. Z broni miotanej szczególną rolę odgrywały wówczas rogowe i kościane harpuny z jednorzędowymi, rzadziej dwurzędowymi zadziorami. Na zachodzie Europy stosowano także wykonane z kości lub rogu miotacze, tj. pręty zakończone haczykiem do osadzenia na nim końca drzewca oszczepu. Z etapem tym koreluje się też szczególny rozwój technik obróbki kości i poroża.

Tradycje orygniackie przetrwały jedynie w południowej części Europy. Na Niżu Rosyjskim rozwinęła się osobna kultura kostienkowsko-sungirska (trójkątne ostrza z podstawą lekko wklęsłą i zgrzebłą).

Na zachodzie Europy pojawiła się kultura bagedulska (wczesna magdaleńska). W Dordonii zanikła kultura solutrejska (doszło do wymiany ludności), przenosząc się na południe do Pirenejów. Kultura bagedulska stworzyła styl sztuki wczesno magdaleńskiej (Lascaux – malarstwo i rytzy skalne), kulturę solutrejską cechującą płaskorzeźby i bardzo głębokie rytzy.

Podczas stadiału pomorskiego i oscylacji Pre-Bölling (14500 – 13000 lat p.n.e.) doszło do ponownego ochłodzenia i powstania lądolodu aż do moren pomorskich. W zachodniej prowincji Europy powstała kultura lakamska (magdaleńska) z charakterystycznymi zbrojnikami geometrycznymi. Trwał rozkwit sztuki magdaleńskiej, szczególnie w Dordonii i Pirenejach. W czasie oscylacji Pre-Bölling-Mstino doszło do recesji lądolodu z moren pomorskich, ekspansji roślin i ludności ku północy. Prawdopodobnie w tym czasie, krótkotrwałego ocieplenia, powstały pierwsze załążki kultur creswellskiej i hamburskiej, przypuszczalnie wywodzących się ze środowiska magdaleńskiego.

Na podstawie analizy rdzeni lodowych wykazano, że od około 13000 lat do 11000 lat temu doszło do kolejnego ochłodzenia klimatu. W tym okresie na Grenlandii temperatura spadła o 15 °C, a ogólny spadek temperatury wynosił od 5 do 7 °C. Mimo że średnia roczna temperatura w tym czasie osiągnęła wartość, jaka jest charakterystyczna dla okresów pełnego zlodowacenia, w tym czasie obserwuje się skrajny kontynentalizm klimatu z dużymi sezonowymi amplitudami temperatur.

Schyłkowy Würm, Dryas I (13000 – 11000 lat) dzieli się na dwa stadiała (Kresty i Ługi) rozdzielone oscylacją Raunis-Meiendorf.

Młodszy dryas – okres ekstremalnego ochłodzenia, który trwał ok. 1300 lat – rozpoczął się około 12,9 tys. lat temu. W tym czasie wykształciły się

południowobałtyckie jeziora zaporowe, natomiast zanikło jezioro zaporowe na obszarze dzisiejszego Morza Północnego. Zespoły fauny i flory przesunęły się ku północy. Około 12000 lat temu doszło do powstania Bałtyckiego Jeziora Lodowcowego. Utworzyło się ono z wód topniejącego lodowca. Zajmowało obszar dzisiejszego Bałtyku właściwego, a jego poziom był o ponad 20 m wyższy od ówczesnego poziomu oceanu. Nadmiar wód słodkich spływał prawdopodobnie w kierunku północno-wschodnim do Morza Białego. Przypuszcza się, że również na zachodzie mogło istnieć wąskie połączenie z Morzem Północnym.

Nawrót klimatu glacialnego spowodował ponowny awans lądolodów oraz lodowców górskich na całej Ziemi. W Alpach w tym czasie lodowce górskie i dendrytyczne uformowały sekwencje moren końcowych i recesyjnych stadium Egesen. W Irlandii oziębienie to zapisało się w transgresji lodowców fazy Nahanagan, na Wyspach Brytyjskich fazy Loch Lomond, natomiast lądolód skandynawski uformował w tym czasie potrójną sekwencję moren Salpausselkä I, II i III w południowej Finlandii. W tym czasie miały także miejsce transgresje lodowców górskich m.in. w: Pirenejach, Apeninach, Alpach Południowych, w Tybecie, chilijskich Andach i Tatrach. Ponieważ jednak bilans masy lodowców głównie jest determinowany temperaturą lata, a nie zimy, lodowce nie osiągnęły ponownie zasięgu, jakie miały podczas maksimum ostatniego zlodowacenia. W okresie tym doszło do powrotu tundry, ale skala ochłodzenia nie wystarczyła do ponownego pojawienia się lodowca, którego czoło zatrzymało się wówczas w Skandynawii.

Surowy, arktyczny klimat, zbliżony do istniejącego we współczesnej Grenlandii, nie sprzyjał rozwojowi roślin i zwierząt. Fauna i flora wód Jeziora Lodowcowego były bardzo ubogie, składały się głównie z gatunków słodkowodnych. W tym czasie kultura magdaleńska ewoluowała w kierunku kultury środkowomagdaleńskiej – na południu przekroczyła Pireneje, na wschodzie dochodzi do Moraw i południowej Polski. Na Niżu doszło do wykształcenia się kultury creswellskiej i hamburskiej.

Wśród badaczy pojawiło się kilka hipotez na temat przyczyn tak znacznego ochłodzenia. Jedną z nich, (zaproponowaną przez R. G. Jonsona i B. T. McClure w 1976 roku (potem udoskonaloną przez Wallace'a Broeckera), wskazuje na fakt, że około 12000 lat temu (10000 lat p.n.e.) duża ilość słodkiej i zimnej wody z jeziora Agassiz przerwała barierę i wlała się do Atlantyku. Tam zderzyła się z ciepłym Prądem Zatokowym słonego oceanu. Ponieważ słona woda jest cięższa niż słodka, prąd zaczął opadać w głąb toni morskiej, nie docierając – jak wcześniej – do Europy Północnej. To wystarczyło, aby obniżyć temperaturę w Europie o kilka stopni. Istotnym aspektem sporu jest wniosek, że wymieniona masa 9500 km³ wody z jeziora Agassiz powinna była podnieść poziom mórz o 0,5 m i spowodować raptowne zatopienie delt, a śladów ich gwałtownego zatapiania nie udowodniono.

Według innej hipotezy, która pojawiła się już w drugiej połowie XX wieku, do zmian klimatycznych określanych mianem Młodszy Dryas doszło w wyniku uderzenia w Ziemię ok. 10 tysięcy lat p.n.e. niewielkiej planetoidy. W 2007 roku zespół Richarda Firestone'a sformułował teorię, że ostatnie zlodowacenie

nastąpiło po silnym uderzeniu meteorytu, lub eksplozja w atmosferze Ziemi roju komet lub chondrytów, za czym przemawia znalezienie tzw. *nanodiamentów* w warstwach ziemi i osadach znajdujących się w Ameryce Północnej, datowanych na 12,9 tys. lat temu. Dalsze naukowe analizy wykazały, że do uderzenia doszło około 10840 lat p.n.e. Ślady kosmicznej skały odkryto w aż 30 miejscach, w 12 krajach świata, na 4 kontynentach. Uderzenie zapoczątkowało okres zwany *Młodszym dryasem*, podczas którego na Ziemi doszło do znacznego ochłodzenia klimatu. Za tą hipotezą przemawiają m.in. warstwy spalonej ziemi o specyficznych właściwościach. W marcu 2010 przeciwko tej teorii wystąpił Vance Haynes, który uznał niektóre ślady kosmicznego zderzenia za efekt akumulacji rzecznej. W maju 2010 sferule węglowe, które miały jakoby powstać w wyniku pożarów po uderzeniu meteorytu okazały się odchodami termitów i przetrwalnikami grzybów. Hipoteza katastrofy kosmicznej jest czasami nazywana w angielskojęzycznych źródłach jako *Cloviscomet* (kometą Clovis) od nazwy północnoamerykańskiej kultury Clovis, która zniknęła w tym czasie. Nie możemy wykluczyć, że do przerwania bariery jeziora Agassiz doszło właśnie w wyniku uderzenia tego meteorytu, w tym wypadku nadmiar wody mógł być w stosunkowo krótkim czasie „uwięziony” przez lodowce, do których wzrostu mogło dojść po ochłodzeniu będącym wynikiem kataklizmu (upadku wielkiego meteorytu).

W książce „The Day the Earth Nearly Died” („Dzień, w którym Ziemia niemal umarła”) naukowcy D.S. Allen i J. B. Delair przedstawiają liczne dowody na potwierdzenie teorii głoszącej, iż 13000 – 11500 lat temu doszło do serii niewyobrażalnych katastrof, które zmieniły oblicze ówczesnej Ziemi. Dla przykładu łańcuchy górskie takie jak: Himalaje, Andy i Alpy osiągnęły obecną wysokość na przestrzeni 13,000-11,000 lat p.n.e., co oznacza, że w tamtym czasie musiało dojść do intensywnych wstrząsów sejsmicznych. Obszar, na którym znajduje się Jezioro Titicaca (3812 m. n.p.m., położone na granicy Peru i Boliwii) około 11000 – 9500 lat p.n.e. sięgał niegdyś zaledwie poziomu morza, co świadczy o wystąpieniu czynników, które spowodowały „wyniesienie” jeziora na tak znaczną wysokość. Obecnie coraz większa liczba naukowców jest zdania, że w przeszłości Ziemia została wytrącona z równowagi w wyniku kosmicznego bombardowania. W kwietniu 2010 roku na łamach „Daily Mail” ukazał się artykuł, w którym uczeni, m.in. Bill Napier z Uniwersytetu w Cardiff, uważają, że katastrofę sprzed 13000 lat spowodowała rozpadająca się kometą. Gradobicie lodowo-pyłowych odłamków przyczyniło się w znacznym stopniu do wymarcia ogromnej liczby zwierząt zamieszkujących ówczesny świat, a także gwałtownych trzęsień ziemi, wybuchów wulkanów itp. Rezultatami kosmicznej burzy było także ochłodzenie się klimatu (temperatura z niewyjaśnionych przyczyn spadła do 8 °C) oraz zwiększenie objętości lodowców. Podobnego zdania jest dr Kennett z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Santa Barbara. Przytaczając tu jednak teorię tego badacza warto podkreślić, że on a także i wielu innych na podstawie wątpliwych przesłanek wyciągają zbyt dalekie, czasami wręcz śmieszne wnioski. Kennett wspomina o jakiejś Atlantydzie i starożytnej cywilizacji, która jakoby miała wyginać w wyniku tego kataklizmu i jednocześnie o Wielkiej Powodzi. Niestety, za tytułami naukowymi często kryje się zwykła ignorancja.

Na przełomie 2012/13 roku naukowcy znaleźli dowody potwierdzające

hipotezę wpływu na powstanie młodszego dryasu meteorytów. Duży obiekt kosmiczny, prawdopodobnie kometa lub asteroida, mógł uderzyć w Ziemię ok. 12800 lat temu, zapoczątkowując epokę ochłodzenia klimatu, zwaną młodszym dryasem. Przypuszczalnie obiekt ten (o średnicy ok 4 km) rozpadł się przed uderzeniem w Ziemię na kilka obiektów i spadł na różnych kontynentach. *Kometa lub asteroida miała kilkaset metrów średnicy i prawdopodobnie rozpadła się w atmosferze ziemskiej na mniejsze kawałki* – piszą naukowcy na łamach tygodnika „Proceedings of the National Academy of Sciences”. Badacze z międzynarodowego zespołu znaleźli ślady kosmicznej kolizji w dnie jeziora Cuitzeo w Meksyku. W warstwie datowanej na młodszy dryas znaleziono tzw. nanodiamenty oraz sferule węglowe, które powstają po pożarach wywołanych uderzeniem meteorytu. Wśród nanodiamentów znalazły się lonsdaleity, które są typowe dla kosmicznych kolizji. Powstają prawdopodobnie wskutek wysokiego ciśnienia i temperatury w momencie zderzenia meteorytu z Ziemią. Ochłodzenie klimatu w młodszym dryasie mogło być przyczyną wyginięcia dużych zwierząt (tzw. megafauny) oraz zniknięcia kultury Clovis, która rozwijała się w Ameryce Północnej. Osady z tamtego okresu wskazują, że rzeczywiście wystąpił wtedy niezwykle obfity deszcz meteorytów.

Nowe dowody opublikowane w czasopiśmie naukowym *Palaeontologia Africana* wskazują na obecność platyny w ziemi wydobytej z miejsca badawczego w RPA. Platyna odnaleziona w glebie Południowej Afryki datowana jest na okres plejstocenu, który zakończył się ok 11 tys. lat temu. Platyna jest obecna w meteorytach. Odpowiednio duży obiekt, uderzając w Ziemię, mógłby pokryć tym metalem znaczny teren. Wyniki badań prowadzonych w Republice Południowej Afryki mają potwierdzać inne odkrycia złóż platyny datowanych na okres plejstocenu. Są to obszary w Ameryce Północnej i Europie z mniejszymi obszarami w Ameryce Południowej i teraz w Afryce.

Hipotezę uderzenia meteorytu potwierdza gwałtowna zagłada wielu gatunków ssaków, która właśnie wówczas (ok. 11 tys. lat p.n.e.) miała miejsce w Ameryce Północnej. Wymarły m.in. mamuty, mastodonty, koty szablozębne, wielkie leniwce, wszystkie koniowate, wielbłądy oraz gigantyczny niedźwiedź krótkopyski, a wraz z nimi prawdopodobnie kultura Clovis. W 2018 roku naukowcy odnaleźli krater po uderzeniu meteorytu w Grenlandię. Krater rozciąga się na 31 kilometrów i ma głębokość 300 metrów (jest większy od powierzchni Paryża). Znajduje się pod lodowcem Hiawatha. Zdaniem badaczy krater ten powstał właśnie w wyniku uderzenia meteorytu w Grenlandię 12 tysięcy lat temu. Jego średnica wynosiła 1,5 kilometra. W Ameryce i Europie wybuchły ogromne pożary (świadczy o tym warstwa węgla drzewnego). Pociski roztopionej magmy z meteorytu miały niszczyć tysiące kilometrów kwadratowych Ziemi. Glob okrężały ogromne fale tsunami. Niebo spowiła para z roztopionych lodów i opary z parującej magmy. Naukowcy nie wykluczają, że skutki uderzenia olbrzyma w powierzchnię wyspy mogły być odczuwane na całej planecie. Według badaczy to właśnie to potężne uderzenie, doprowadziło do wyginięcia ludu kultury Clovis i dużych zwierząt w Ameryce Północnej. W tym czasie wyginęło 36 gatunków takich jak mastodont, mamut czy tygrys szablozębny.

Hipotezę katastrofy kosmicznej (komety, lub meteorytu) ok. 12 800 lat temu

potwierdzają badania grupy naukowców z 21 uniwersytetów w 6 krajach, w tym Jamesa Kennetta, emerytowanego profesor z UC Santa Barbara. Tym razem przedmiotem badań stały się nanodiamenty – mikroskopijne diamenty powstające, wskutek tego rodzaju kolizji małych ciał niebieskich z Ziemią. Przebadano nanodiamenty z 32 stanowisk w 11 krajach w Ameryce Północnej, Europie i na Bliskim Wschodzie, pobrane z terenu o pow. 50 mln km² na półkuli północnej. Ta cienka, bogata w węgiel warstwa jest najczęściej widoczna jako cienka, czarna linia kilka metrów poniżej powierzchni ziemi i znajduje się na granicy młodszego dryasu (ang. YDB) – ostatniego tak znacznego zimnego epizodu ostatniego zlodowacenia. Według Kennetta udało się potwierdzić istnienie tej warstwy na trzech kontynentach, choć szczególnie widoczna jest w Ameryce Północnej i Europie Zachodniej. Oprócz nanodiamentów warstwie tej znaleziono także szkliste i metaliczne materiały, które powstają w temperaturach przekraczających 2200 °C, a więc nie na skutek pożaru, aktywności wulkanicznej, czy upadku meteorytu, ale jedynie w wyniku uderzenia małego ciała niebieskiego. Zespół znalazł większą niż normalnie zawartość sferul, szklistych drobinek, kłajstrów sadzy w kształcie winogron, węgla drzewnego, sferul węgla, osmu, platyny i innych materiałów.

Badacze koncentrowali się wyłącznie na analizie nanodiamentów, które znaleziono w kilku rodzajach, w tym w formie kryształów sześciennych (używanych w jubilerstwie) i heksagonalnych. W warstwie YDB znajdują się różne rodzaje diamentów, ponieważ powstają one przy zróżnicowanych warunkach (temperatura, ciśnienie i zawartość tlenu) związanych z chaosem w czasie impaktu. Takie egzotyczne warunki powodują powstanie diamentów z ziemskiego węgla (nanodiamenty nie są pochodzenia pozaziemskiego). Na podstawie wielu procedur analitycznych, naukowcy stwierdzili, że większość materiału w próbkach YDB to właśnie nanodiamenty, które konsekwentnie występują na dużym obszarze. Według Kennetta nie zostały jeszcze określone granice elipsy rozsiania, która obecnie obejmuje ponad 10% powierzchni planety, co wskazuje na dużą siłę uderzenia. Do tej pory znaleziono tylko dwie takie warstwy nanodiamentów: z dryasu młodszego około 12800 lat temu oraz z przełomu kredy i paleogenu 65 mln lat temu, kiedy wyginęły dinozaury, amonity i wiele innych grup zwierząt i roślin.

Wszystkie powyższe badania znalazły kolejne potwierdzenie. Skany radarowe wykazały jednoznacznie, że pod grubą pokrywą śnieżno-lodową Grenlandii spoczywa olbrzymie wgłębienie. To krater uderzeniowy o średnicy aż 31 kilometrów i głębokości 300 metrów, co czyni go jedną z największych tego typu formacji na naszej planecie. Obiekt w momencie uderzenia w Grenlandię miał średnicę około 800 metrów. Uderzenie planetoidy z prędkością ponad 100 tysięcy kilometrów na godzinę jest w stanie wyłobić krater nawet 40 razy większy od niej samej. Skutki eksplozji z siłą 800 jednomegatonowych bomb atomowych miałyby skutki dla całej naszej planety. Przede wszystkim obróciłyby w proch obszar w promieniu 1 – 2 tysięcy kilometrów od miejsca uderzenia, wywołałyby olbrzymie tsunami, które obiegałyby wszystkie oceany, a także uszkodziło warstwę ozonową i doprowadziłoby do przejściowych zmian klimatycznych. Sam żelazny meteoryt spoczywa nawet kilka kilometrów od powierzchnią ziemi, powyżej znajduje się krater właściwy, a jeszcze wyżej gruba czapa lodowa. Nie sposób więc pobrać próbek i dokonać ich analiz, aby

dokładnie ustalić, kiedy doszło do upadku ciała niebieskiego. Jeśli rzeczywiście doszło to tego u kresu ostatniej epoki lodowcowej, w okresie ocieplenia, to uderzenie mogłoby spowodować gwałtowne wyparowanie milionów ton lodu, a tym samym doprowadzić do zmian klimatycznych, przyczyniając się do wyginięcia dużych ssaków, jak mastodontów, czyli wczesnych słoni.

Inne upadki asteroid i komet

Trzeci, największy meteoryt żelazny (typ IIIA oktaedryt) w historii – Cape York, zderzył się z Ziemią prawie 10000 lat temu. Nazywany również Agpalilik został odkryty w 1993 roku na terenie Zachodniej Grenlandii i waży około 20 ton (38,875 t.). Znalezione trzy główne kawałki znane z folkloru Inuit jako:

- 1 – Ahnighito (the Tent – Namiot), 30,900 kg, 1884 – 1897, Meteorite Island, 76°04'N – 64°58'W, Wymiary: 3.4 m × 2.1 m × 1.7 m
- 2 – Woman (Kobieta) 3,000 kg, 1897, Saveruluk, 76°09'N – 64°56'W.
- 3 – Dog, (Pies) 400 kg, 1897, Saveruluk, 76°09'N – 64°56'W; 13 – Morito – 10,1 t.

O istnieniu tego meteorytu jako pierwszy usłyszał badacz John Ross podczas wyprawy w poszukiwaniu Przejścia Północno-Zachodniego. Napotkał w 1818 roku członków plemienia Inuit w północno-zachodniej Grenlandii i ze zdumieniem odkrył, że ostrza, groty harpunów i narzędzia do grawerowania są wykonane z niespotykanego żelaza. W okolicy nie było naturalnych złóż metali, więc jego źródłem mogły być meteoryty. Obecnie znajduje się na wystawie w Muzeum Geologicznym Uniwersytetu w Kopenhadze.

Ciekawa jest też historia tego odkrycia. Zanim odkryto krater, Eskimosi znaleźli w tym regionie meteoryty żelaza, które eksploatowali (do wyrobu narzędzi) już od stosunkowo dawna. W 1957 roku amerykański geodeta znalazł 48-kilogramowy (106 funtów) meteoryt, a w 1963 roku Vagn F. Buchwald znalazł 20-tonowy meteoryt Agpalilik (fragment meteorytu Cape York) na nunataku w pobliżu lodowca Moltke, który znajduje się na Półwysp Agpalilik w dzielnicy Thule w północno-zachodniej Grenlandii. Zasugerowano, że meteoryt Cape York jest częścią głównego obiektu odpowiedzialnego za stworzenie krateru Hiawatha. Jednakże, jeśli jest to poprawna hipoteza, związany z nim wyrzut rozproszyłby się aż do Pilauco Bajo w południowym Chile.

Katakлизм, nawet tak wielki jak rozpad asteroidy, lub komety i wiele impaktów meteorytów obejmował ogromne, liczone w tysiącach kilometrów obszary, ale jednak jego bezpośrednie skutki nie dotknęły wszystkich kontynentów. Kolejne pogorszenie się warunków klimatycznych w tych tysiącletniach nie było aż tak znaczne jak wcześniejsze i postępujące (mimo nawracanych okresów glacialnych) ocieplenie umożliwiała szybszy niż poprzednio rozwój fauny i flory, co umożliwiała też rozwój naszego gatunku. Na dalszych obszarach dochodziło zapewne do czasowego spadku populacji, ale już po kilku, kilkadziesiąt lat, ta potrafiła się odbudować. Wzrost populacji ludzkiej wpłynął m.in. na pojawienie się tzw. kultury falickiej, której rozwój datowany jest na lata od 14000 p.n.e. 11000 p.n.e., w którym to czasie współistniała ona wraz z kulturą kebaryjską. Przedstawiciele kultury falickiej

zakładali swe siedziby częściej niż poprzednio już poza jaskiniami (do tych zapewne schronili się w czasie ochłodzenia), choć gospodarka kultury kebaryjskiej i falickiej opierała się nadal na myślistwie, głównie na koziorożce, zające i gazy. Analiza kości zwierzęcych znalezionych w obozowiskach wskazuje na zwiększone zainteresowanie mniejszymi ssakami i swoistą specjalizację np. w Uadi Madagagh ponad 80 % kości należy do kozicy, w Nahal Oren (znanym również jako Uadi Fallah) 75 % kości zwierzęcych stanowią kości gazy.

Z kręgu kultur magdaleńskich, prócz klasycznych (dordońska, środkowopirenejska), występowały w tym czasie: kantabryjska, rodańska Probstfels, nadreńska, morawska i Nebra. Rozpoczyna się proces dezintegracji magdalenien. Doszło do krystalizowania się kultury romanelskiej na bazie zespołów tardigraveckich, której wpływy sięgały terenów między Renem a Pirenejami. Powstała kultura azylska i Fe-dermesser, zespoły creswellskie i epimagdaleńskie północnego przedpola Alp. Na terytorium prawie całej Europy doszło wówczas do pewnego ujednolicenia kultur – typowymi dla nich elementami były krótkie drapacze i tyłczaki łukowe.

W okresie od ok. 12 000 lat temu do początków holocenu na terenach Niżu Europejskiego od Holandii do zachodniej części obecnej Polski rozwijała się kultura ahrensberska. Inwentarz narzędziowy przypisywany twórcom tej kultury reprezentowany jest przez ostrza trzoneczkowate, drapacze, rylce, retuszery, gładziki, do których produkcji posługiwano się techniką wiórową. Inwentarz kościany reprezentowany był przez motyki typu Lyngby. Gospodarka opierała się głównie na sezonowych polowaniach na stada reniferów przy zastosowaniu łuku, co jest poświadczane na stanowisku – Stellmoor oprócz reniferów polowano na jelenie i dziki.

Kolejne ocieplenie w latach pomiędzy 11000 – 9800 rokiem p.n.e. (zwane interstadiem Bölling) spowodowało wytopianie się lodowca, co najmniej do wysokości południowej Szwecji. Pod koniec tego okresu doszło do ponownego ochłodzenia (Dryasu II) i postępu lodowca na morenach Newy. Strefy ekologiczne jak w całym Würmie, miały układ równoleżnikowy. Z kręgu kultur magdaleńskich, prócz klasycznych (dordońska, środkowopirenejska), występują kantabryjska, rodańska Probstfels, nadreńska, morawska i Nebra. Rozpoczął się proces dezintegracji magdalenizmu. Krystalizuje się kultura romanelska na bazie zespołów tardigraveckich, której wpływy sięgają między Renem a Pirenejami. Powstała kultura azylska i Ferdmesser, zespoły creswellskie i epimagdaleńskie północnego przedpola Alp. W młodszym Dryasie zanikła kultura Bromme-Lyngby a Kultura Lyngby zaczęła się przesuwać w kierunku południowym w okresie ochłodzenia młodszego Dryasu (ok. 10800 – 9500 lat p.n.e.); objęła Niż Środkowoeuropejski w postaci kultury świderskiej i kultury ahrensberskiej a dalej na wschód kultury desneńskiej.

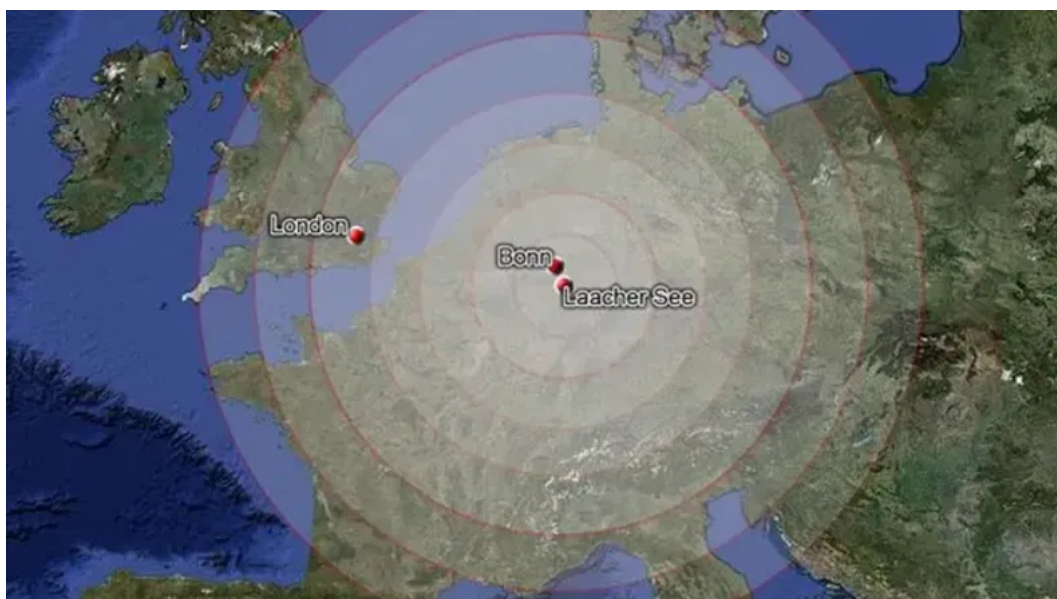
Około 11000 lat p.n.e. nastąpiły kolejne, gwałtowne, zmiany klimatu. Ocieplenie i wzrost opadów, później znów trwający 1200 – 1300 lat okres ochłodzenia, i ponowne ocieplenie, połączone ze wzrostem opadów, trwające aż do VII tysiąclecia p.n.e.

Dzięki podziemnym próbkom m.in. z Grenlandii wiemy, że ok. 9000 lat p.n.e. temperatura na północnej półkuli spadła aż o 5 do 7 °C. Myślę, że tym razem czynnikiem, który doprowadził do aż takiego spadku temperatury był wulkanizm, a zwłaszcza wybuch stratowulkanu Laacher około 10 930 roku p.n.e. Erupcja tego, znajdującego się w dolinie Renu, wulkanu trwała zaledwie kilka dni, pokrywając obszar na terenie doliny Renu (obszar odpowiadający 1000 kilometrów kwadratowych) 7-metro-wą warstwą pyłów i pumeksu. Po tej erupcji stożek wulkanu zapadł się, pozostawiając pierścień kaldery, który z czasem wypełnił się wodą. Laacher See jest największym kraterem w Europie Środkowej. Skutki tej katastrofy miały zasięg światowy. Szczególnie jednak ucierpiały w jej wyniku społeczeństwa Europy Środkowej.

Zdaniem części badaczy, w przypadku wulkanu Laacher do erupcji dochodzi co 10000 – 12000 lat. Teza taka jest bardzo dyskusyjna, co nie oznacza jednak, że wulkan ten już „wygasł” i że nie dojdzie do jego kolejnej erupcji, choć jej skala jest nieprzewidywalna. Moim zdaniem, może zależeć od wielkości i czasu postępującego ocieplenia, topnienia lodowców i podnoszenia się poziomu wód oceanów, których nacisk na płyty tektoniczne może spowodować zwiększenie się wulkanizmu. Myślę też, że jest zależna od wielkości znajdującej się pod wulkanem komory magmowej, a ta po poprzednich erupcjach jest dziś już zapewne znacznie mniejsza.

Erupcja Laacher See przyniosła straszliwe konsekwencje. Na pewnych obszarach mogła spowodować całkowite wyginięcie lub, co najmniej znaczne ograniczenie populacji wielu zwierząt i ówczesnych ludzi.

Na obszarze Europy odkryto dotąd ślady istniejących w tym czasie trzech jednostek kulturowych: ahrensburgskiej, świderskiej i desneńskiej. Związane były z migrującymi z południa na północ w lecie i odwrotnie zimą, łowcami renifera. Szlaki tych wędrówek biegły głównie dolinami większych rzek. W początkach holocenu, wraz z migracją renifera na północ, starsze kultury zaczęły zanikać. Powstały natomiast młodsze warianty na terenie Skandynawii – kultury: Fosna, Komsa i Suomusjärvi.



Skutki wybuchu Laacher See (Mapa za: <https://tech.wp.pl/laacher-see-ostatni-raz-wybuchl-13-tys-lat-temu-naukowcy-twierdza-ze-wulkan-sie-budzi-6349033512265857a>. Przyjęte przez autorów ilustracji kołowe zaznaczenie zasięgu oddziaływania tej erupcji wulkanu Laacher jest dyskusyjne. Nie uwzględnia ówczesnych warunków klimatycznych, wiatru itp.)

Erupcja Laacher See nie była jedyną, choć zapewne była największą erupcją wulkaniczną tego okresu. Mniej więcej w tym samym czasie ponownie „obudził” się wulkan Campi Flegri. 12,8 tys. lat temu (10, 8 tys. p.n.e.). Z pół Flegrejskich poleciało wówczas w niebo, co najmniej 40 km sześć. pyłów wulkanicznych. Dzisiaj tworzą one słynne pokłady neapolitańskiego żółtego tufu wulkanicznego zalegające pomiędzy wschodnią ścianą kaldery stratowulkanu a Neapolem.

W późnym plejstocenie zapadł się wulkan Santa Ana (Ilamatepec) w zachodnim Salvadorze, wznoszący się na zachód od kaldery Coatepeque, powodując powstanie olbrzymiej lawiny gruzowej, która do-tarła do wybrzeża Pacyfiku, tworząc półwysep Acajutla.

Fakt późniejszego ocieplenia klimatu potwierdzają najnowsze badania osadów dna Nilu. Wynika z nich, że około 10000 lat temu, podczas holocenu (najmłodszej epoki geologicznej), miała miejsce drastyczna zmiana klimatu, która rozpoczęła się wraz z końcem ostatniego zlodowacenia plejstocenijskiego. Na początku tej epoki suma opadów była znacznie wyższa niż dzisiaj, późniejsza zmiana była stosunkowo nagła, bo w ciągu maksymalnie kilkuset lat żyzna sawanna w wielu miejscach zamieniła się w pustynię.

Najlepszym rejestrem zmian temperatury w holocenie są rdzenie lodowe pobrane z lodowców, w których wzajemna relacja izotopów tlenu (^{18}O i ^{16}O), wynikająca z ilości wody zmagazynowanej w pokrywach lodowych, pozwala określać średnią globalną temperaturę w przeszłości i to w ściśle określonym czasie. Skład powietrza występującego w takich rdzeniach lodowych pozwala również wnioskować o dawnym składzie gazowym atmosfery ziemskiej.

Rozdział XII

Początki holocenu (od 11,7 tys. lat temu)

Najmłodsza epoka geologiczna, która rozpoczęła się około 11 700 lat temu, to holocen, który charakteryzuje się dość stabilnym klimatem, stwierdzono jednak, że i w tym czasie występowały kilkakrotne ocieplenia i ochłodzenia. W czasie holocenu wystąpiły trzy wyraźnie cieplejsze okresy (nie licząc naszego), najcieplejszy wystąpił od około 8900 do 5700 lat temu. Było to tak zwane optimum holocenne, kiedy to temperatury były wyższe o 2 °C niż obecnie.

Holocen jest nazwą umowną okresu obejmującego ostatnie 11 700 lat, jego powstanie wiąże się z ustąpieniem ostatniego lądolodu z terenów środkowej Europy i jest okresem o stosunkowo stabilnych warunkach klimatycznych, chociaż występowały w nim wielokrotnie ocieplenia i ochłodzenia różnej długości. Nie wszystkie epizody klimatyczne były jednakowe na całej kuli ziemskiej, ponieważ na zmiany temperatury nakładały się zmiany wilgotności. Ponadto, jak wykażę poniżej, skutki niektórych kataklizmów, do jakich dochodziło w tej epoce, nie zawsze miały zasięg globalny i rozkładały się nierównomiernie. Zmiany klimatu zaznaczały się przede wszystkim w określonych szerokościach geograficznych, najsłabiej zwykle w strefie międzyzwrotnikowej.

Początek omawianej tu epoki wiąże się z radykalnymi zmianami klimatycznymi zapoczątkowanymi ciepłym interglacjatem około 12000 do 10.800 lat p.n.e., później doszło do chwilowego ochłodzenia. Lądolody kontynentalne powodowały wycofywanie się morza; dzisiejszy szelf Morza Północnego był wówczas obszarem zamieszkanym przez paleolityczne ludy koczownicze. Istnieje teoria, że to wówczas, przez most lądowy przez Cieśninę Beringa, miała miejsce kolejna fala imigracji ludów do Ameryki. Zanik lądolodu spowodował odciążenie litosfery oraz powstanie i rozwój Bałtyku. W holocenie powstały osady rzeczne: żwiry, piaski, muły, mady, jeziorne: kreda jeziorna, gytie, torfowiskowe – torfy i namuły torfiaste, eoliczne – wydmy, a także: gliny zboczowe oraz gleby. Warto zauważyć, że naturalne zmiany klimatu w

holocenie nie wykazywały żadnej zależności od zawartości dwutlenku węgla w atmosferze, która przez większość holocenu była stabilna. Zwiększenie zawartości tego gazu w atmosferze w ostatnich kilkunastu latach nie znajduje odzwierciedlenia w zmianach temperatury dowodząc, że zależy ona przede wszystkim od zmiennych czynników naturalnych.

Te pierwszorzędne zmiany klimatu na Ziemi, będące wypadkową zmian temperatury i wielkości opadów, były w pierwszej kolejności stymulowane zmianami cyrkulacji wód oceanicznych i mas powietrza. Jednym z najważniejszym czynnikiem sterującym klimatem na Ziemi była ilość promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi.

Zmiany klimatu w tej najmłodszej epoce w dziejach ziemi, tak jak i poprzednio miały znaczący wpływ na obraz Ziemi, a także na historię ludzkości, która od początku tego okresu zaczyna przejmować dominującą rolę w świecie przyrody – stawały się przyczyną chwilowego regresu, ale w dłuższej perspektywie i rozkwitu cywilizacji. Gdy zabrakło ciepłego prądu u brzegów kontynentu, spadła ilość opadów. Drzewa wymagające wyższej temperatury i opadów zostały zastąpione przez tundrowe krzewinki. Wraz z tundrą na ziemi polskie wróciły stada reniferów, a na miejsce półosiadłych łowców zwierzyny leśnej wkroczyli koczowniczy łowcy reniferów. Na ziemiach Europy wciąż panował późny paleolit, czyli kultury kamienia łupanego. Gęstość zaludnienia była bardzo niewielka, dlatego z tego okresu pozostało niewiele śladów.

Kultura magdaleńska ewoluowała w kierunku kultury środkowomagdalenkiej – na południu przekroczyła Pireneje, na wschód doszła do Moraw i Polski pld. Na Niżu wykształciły się kultury creswellska i hamburska. Jako pierwsza, około 12000 lat temu, po okresie zlodowacenia, na Niżu Środkowoeuropejskim rozwijała się kultura hamburska. Jej twórcami na obszarze północno-wschodniej Holandii i północno-zachodnich Niemiec aż do ziem położonych między ujściem Renu a południowymi partiami Półwyspu Jutlandzkiego byli przypuszczalnie przybysze, których pierwotne siedziby mieściły się prawdopodobnie na obszarze południowo-zachodniej Francji. Początkowo zasiedlali oni nowe terytoria okresowo (w czasie zaledwie kilku miesięcy arktycznego lata), później jednak osadnictwo to przybrało charakter stały. Przedstawiciele kultury hamburskiej prowadzili selektywne polowania na renifery przy użyciu łuku. Do narzędzi kamiennych charakterystycznych dla tej kultury zaliczamy ostrza z zadziorami, które służyły jako groty strzał i oszczepów oraz przekłuwacze asymetryczne do obróbki kości i rogu. Na wyżynach Europy Środkowej, a także na Niżu Europejskim wykształciły się kultury z liściakami. Ich cechą charakterystyczną jest inne instrumentarium oraz pojawienie się ostrzy z wydzielonym trzonkiem, grotów, które są najbardziej charakterystycznym elementem tych kultur. W skład kompleksu wchodziły: kultura Bromme-Lyngby (od stanowisk na terenie Danii), kultura ahrensberska (Ahrensburg koło Hamburga) – Niemcy, kultura świderska (Świdry Wielkie, Otwock) – Polska, kultura desneńska (Desna, dopływ Dniepru) – Niż Rosyjski. Było to efektem rozprzestrzeniania się wcześniejszych zespołów Bromme-Lyngby, powstających w pn. części Półwyspu Jutlandzkiego w okresie Allerødu (około 11800 – 10800 lat temu). Była to kultura łowców reniferów egzystująca na terenie obecnej Danii oraz poszerzonym szelfie południowego Bałtyku.

Kompleks kultur z tylczakami łukowymi, niekiedy zwanym kręgiem tarnowiańskim, datowany jest na interstadiał Allerød (dla terenów Polski około 12000 – 11000 lat temu). W miarę ocieplania się klimatu, nowe obszary leśne Niżu Europejskiego zasiedliły społeczności myśliwych i rybaków. Kultury te wyróżniały się charakterystycznymi formami narzędzi: tylczakami łukowymi oraz krótkimi drapaczami tarnowiańskimi. Ludność tej kultury w okresach cieplejszych zakładała obozowiska składające się z kilku szałasów, zaś w chłodnym okresie młodszego Dryasu obozy jednoszalasowe, których ewentualnymi śladami mogą być pojedyncze, odosobnione krzemienice. Wyróżnić można długotrwałe obozowiska podstawowe, letnie obozy, oraz bardzo ubogie, krótkotrwałe miejsca pobytu w typie schronisk łowieckich.

W ciągu cieplejszych oscylacji klimatu (np. w interstadiale Billing (I poł. XI tysiąclecia p.n.e.)), następowało wzmożenie osadnictwa ludności, reprezentującej końcowe fazy kultury magdaleńskiej, na obszarach wyżynnych południowych i zachodnich Niemiec, północno zachodniej Szwajcarii, w dorzeczach Solawy, z mniejszym natężeniem na obszarze Czech i Moraw, a całkiem sporadycznie w Południowej Polsce.

Zmiany klimatyczne pomiędzy 10000 a 8000 lat p.n.e. umożliwiły rozwój różnych kultur i gęstsze osadnictwo również na terytorium dzisiejszej Ukrainy. Wyodrębniły się wówczas tam 3 obszary kultur: nadbrzeżny (wybrzeża Morza Czarnego i Azowskiego, Krym), lasostepowy (środkowy bieg Dniepru, dorzecze Dońca) i leśny (obecne północne obwody Ukrainy). W omawianym okresie archeolodzy na terenie Europy wyodrębnili szereg kultur mezolitycznych: kulturę Kongemose, kultura Wredny-Stog, kultura kundajska, kultura janisławicka, kultura Ertebolle, kultura chojnicko-pieńkowska, kultura komornicka.

Na okres między rokiem 10600 p.n.e. a rokiem ok. 9600 p.n.e. jest datowany czas kształtowania się kultury świderskiej. Zespół zjawisk kulturowych utożsamiany z tą kulturą obejmuje swym zasięgiem tereny dzisiejszej Polski, Litwy, Białorusi i części Ukrainy. Przy tworzeniu się kultury świderskiej wzięły udział grupy łowców kultury Lyngby, która przesuwiała się na południe, podobnie jak ludność grupy (kultury) perstuńskiej (od rzeki Perstunki) z terenu Litwy, pn.-zach. Białorusi oraz pn.-wsch. Polski. Niekiedy tę początkową fazę określa się mianem perstuńskiej. W połączeniu z elementami kultury Federmesser i witowskimi. Wszystko to w warunkach destabilizacji osadnictwa spowodowanymi pogarszaniem się warunków klimatycznych, być może wskutek wybuchu stratowulkanu na terenie Nadrenii.

Biorąc pod uwagę skutki katastrofy w Ameryce Północnej w wyniku, której wyginęła znaczna część fauny tego kontynentu, inne kataklizmy (w tym wzrost wulkanizmu w Europie, którego zwieńczeniem była erupcja Laacher See), które również wpłynęły na ostateczne wyginięcie niektórych gatunków np. mamutów, moglibyśmy postawić tezę o kolejnym wielkim wymieraniu. Jednak i tym razem, jak i w poprzednich epokach, mogliśmy obserwować, że „wyginięcia” te przebiegały w znacznie dłuższym okresie i nie dotyczyły wszystkich obszarów naszej planety jednocześnie. Po każdym, nawet

ogromnym, kataklizmie na zniszczone tereny lub na obszary, z których po jakimś czasie wycofywał się lodowiec, ponownie wracało życie. Proces ten trwał dziesiątki, setki a nawet tysiąc lat, ale wciąż rosła bioróżnorodność całkowicie wydawałoby się spustoszonego obszaru.

Ciąglej weryfikacji podlegają również wcześniejsze teorie dotyczące rozwoju naszego gatunku. Przeprowadzona niedawno analiza genetyczna szczątków ludzkich z późnego paleolitu (ok. 13000 lat temu) wykazała istnienie czwartej, nieznanej dotychczas, linii genetycznej współczesnych mieszkańców Europy. Linia ta pochodzi z populacji łowców-zbieraczy, którzy wkrótce po opuszczeniu Afryki przed 45000 lat oddzieliła się od zachodnich łowców-zbieraczy i osiedliła na Kaukazie, na dzisiejszym pograniczu rosyjsko-gruzińskim. Tam linia ta pozostała przez wiele tysięcy lat, izolowana przez epokę lodową. W końcu cofający się lód umożliwił migrację i ludzie ci zetknęli się z innymi populacjami, prawdopodobnie ze wschodu. Powstała mieszanina genetyczna, która zaowocowała kulturą grobów jamowych. Z czasem ludy tej kultury napłynęły do Europy, przyniesli wiedzę metalurgiczną oraz hodowlę zwierząt, przyczyniając się do ogromnych zmian kulturowych na zajmowanych obszarach. Nie możemy wykluczyć, że grupa ta przyniosła z sobą również falę chorób zakaźnych, przenosząc z sobą bakterie, na które mieszkańcy zajmowanych terenów nie byli uodpornieni.

Obecne badania, przeprowadzone na szczątkach dwóch osób z zachodniej Gruzji ujawniły, że lud kultury grobów jamowych zawdzięcza połowę swojego dziedzictwa genetycznego nieznanej wcześniej linii łowców-zbieraczy. Naukowcy byli w stanie wykazać, że linia ta pochodziła od zachodniej linii łowców-zbieraczy i oddzieliła się od niej zaraz po wyjściu z Afryki. W genomie widać też ślady mieszania się z przodkami wczesnych rolników z Lewantu, jednak 25000 lat temu do mieszania się już nie dochodziło. DNA wykazuje za to cechy coraz większej homogenizacji, co wskazuje na to, że społeczność była przez tysiące lat izolowana. Początek izolacji tych ludów zbiega się ze szczytem epoki lodowej, a jej koniec – z powolnym ustępowaniem lodu; w końcu tego okresu doszło do wymieszania się ludów kultury grobów jamowej z innym ludem.

Wspomniany lud z Kaukazu miał wpływ nie tylko na różnorodność genetyczną Europy. Duża jego część zapewne migrowała do Azji Południowej. W społeczeństwach Półwyspu Indyjskiego mamy całkowitą mieszaninę genetyczną europejskich i azjatyckich składników. Najbardziej prawdopodobnym założeniem pochodzenia tego europejskiego komponentu jest przyjęcie, że na subkontynent trafili ludzie z Kaukazu. Być może to oni przynieśli tam języki indoaryjskie. Dokładne datowanie czasu tych migracji wymaga jednak jeszcze wielu badań.

Ponowne zaludnienie i zagospodarowanie Europy stało się możliwe dopiero po ustąpieniu ostatniego lodowca w okresie pomiędzy 12000 lat p.n.e. a 10000 lat p.n.e. W wyniku cofania się lodowca, na obszarze południowej Szkocji stopniowo wyłaniał się pomost lądowy, oddzielający Bałtyk od oceanu. Około 10000 lat temu został on przełamany i rwąca rzeka wód bałtyckich ruszyła na zachód, aż do wyrównania poziomu z oceanem. Następnie przez otwarte

połączenie z Morzem Północnym zaczęła napływać słona woda oceaniczna. Jezioro stopniowo przekształcało się w zbiornik morski, który nazwano Morzem Yoldiowym (10000 – 9000 lat temu) od dominującego w nim małża *Yoldiaartica*. Przypuszcza się, że w tym okresie istniało jeszcze połączenie z Morzem Białym i tą drogą napływało do ówczesnego morza gatunki arktyczne, z których część przetrwała w Bałtyku do dziś.

Około 9000 lat temu lodowiec niemal całkowicie stopniał i uwolniony od ogromnego ciężaru ląd obecnej Skandynawii zaczął się podnosić. W efekcie nastąpiło odcięcie Bałtyku od wód oceanicznych i przekształcenie Morza Yoldiowego w ogromne, wysłodzone jezioro, zasilane wodami rzek i strumieni spływających z resztek lodowca. Zasiadliła je typowa fauna słodkowodna, gatunki morskie niemal całkowicie wyginęły. Szczególnie licznie występował ślimak przytulik – *Ancylusfluvialis*, od którego nazwano powstały zbiornik Jeziorem Ancylusowym (9000 – 7000 lat temu). Nastąpiło znaczne ocieplenie.

Historia ludów zamieszkujących terytoria Europy w okresie pomiędzy X a IV tysiącleciem p.n.e. wciąż jest rozpoznana bardzo słabo. Szczątkowe źródła pozwalają nam tylko na budowanie hipotez. Dodatkową trudność sprawia też znaczne zróżnicowanie obszaru Europy pod względem panującego klimatu i środowiska przyrodniczego, co w sposób oczywisty musiało wpłynąć na to, że wśród społeczeństw ludzkich na różnych obszarach doszło do ukształtowania się odmiennych form gospodarki.

W połowie IX tysiąclecia tereny Niżu Europejskiego, które porastała w tym czasie tundra parkowa (tylko na jej południowym skraju dominowały lasy brzoźowo-sosnowe), zasiedlały trzy grupy ludnościowe tworzące m.in. trzy duże kompleksy kulturowe: lyngbijski w Danii i południowej Szwecji, ahrensbuski na Niżu Niemieckim i w Holandii, wreszcie świderski na Niżu Polskim, Litwie i Białorusi. Był ludów wymienionych kultur łączył się z licznie zamieszkującymi te tereny reniferami. Sezonowe wędrówki tych zwierząt, determinowały tryb życia ówczesnych łowców. Poświadczą to m.in. sezonowość ich ówczesnych obozowisk.

Proces ponownego zasiedlania terenów Europy przebiegał dwiema drogami. Zapewne odradzały się i rozbudowywały te grupy ludzkie, którym udało się przetrwać lata kryzysu, jego skutki bezpośrednie, ale i pośrednie wynikające ze zmian klimatycznych. Druga droga zaludniania terenów Europy to migracje. Ocieplenie powodowało, że tereny Europy Środkowo-Wschodniej stawały się atrakcyjne do zagospodarowania przez ludy z innych obszarów, na których skutki wspomnianych katastrof klimatycznych były znacznie mniejsze i na których doszło do wzrostu populacji. Najstarsza znana osada ludzka w Estonii znajduje się nad rzeką Parnawa, niedaleko wioski Puilli. Datowana jest na początek IX wieku p.n.e. Znane są także ślady wspólnot łowców i rybaków mieszkających ok. 6500 r. p.n.e. niedaleko dzisiejszego miasta Kunda. Kości i narzędzia podobne do tych znajdowanych w Kunda odkryto również na Łotwie, północnej Litwie i południowej Finlandii.

W omawianym okresie (między mniej więcej IX tysiącleciem p.n.e., a końcem IV tysiąclecia p.n.e.) tereny Europy, na których przebywali wciąż

potomkowie pierwszej grupy osadniczej ludów zbieracko-łowieckich (przybyłych tu. ok. 45000 lat temu pierwszych przedstawicieli *Homo sapiens*), były miejscem kolejnych migracji różnych ludów. Największe z nowych migracji to przybyły tu z terenów Bliskiego Wschodu (od około 9000 – 8000 lat p.n.e.) społeczeństwa, w których gospodarce znaczącą rolę odgrywało już rolnictwo.

Na obszarze Europy wydzieli się trzy podstawowe zespoły kultur: krąg zachodni, krąg północny i północno-wschodni. Kultury łowieckie dominowały tu aż do 4 tys. lat p.n.e. (pierwsze ludy rolnicze przybyły do Europy na przełomie szóstego i piątego tysiąclecia p.n.e.). Fakt przybycia ludów neolitycznych lub przejścia gospodarki rolniczej przez część wcześniej zamieszkujących Europę ludów nie oznaczał oczywiście eliminacji ludów pastersko-hodowlanych czy zbieracko-łowieckich, lub całkowitego zarzucenia tych formy gospodarki. Przeciwnie, ludy o różnych formach gospodarki długo istniały obok siebie (nie zawsze pokojowo). Przybysze byli zróżnicowani kulturowo i gospodarczo, przybywali na obszary bardzo słabo zaludnione. Wcześniejsze zmiany klimatyczne niewątpliwie doprowadziły do znacznego wyginięcia wcześniejszych populacji. Część nowych przybyszów przyniosła wraz z sobą do Europy kultury rolnicze. Uprawiali ziemię, hodowali zwierzęta i jedli nabiał.

Z badań genetycznych przeprowadzonych przez naukowców ze Stanfordu i z Uniwersytetu w Uppsali, wynika, że bliskowschodni rolnicy przenosili się do Europy całymi rodzinami. Dowodzą tego badania genetyczne szczątków kilkudziesięciu osób z okresu migracji kultur rolniczych. Porównując proporcję genów pochodzących z chromosomu X i chromosomów autosomalnych odziedziczonych po bliskowschodnich przybyszach, amerykańscy i szwedzcy genetycy doszli do wniosku, że wśród rolników imigrujących do Europy z Bliskiego Wschodu musiało być tyle samo kobiet i mężczyzn. Była to więc migracja raczej o charakterze pokojowym. Przybysze zajmowali istniejące tu nisze osadnicze. Konflikty z ludnością miejscową (wcześniej zamieszkującą te tereny) początkowo były zapewne dość nieczęste. Do ich zaostrzenia (przypuszczalnie z przyczyn demograficznych) doszło raczej dopiero pod koniec omawianego w tym rozdziale okresu, co dowodzi często obronny charakter powstających wówczas osad.

Istnieje teoria mówiąca o tym, że podjęcie uprawy roli spowodowała nagła zmiana klimatu w okresie tzw. młodszego dryasu (około 10800 do 9500 p.n.e.). Ta przerwa w ocieplaniu klimatu spowodowała susze w Lewancie. Część badaczy wysuwała teorie, że z powodu wzrostu liczby ludności jej wyżywienie coraz bardziej uzależnione było od spożywania dzikich zbóż, więc ludzie zaczęli, według tej teorii, „dopomagać” zbożom w przetrwaniu. Rzeczywiście istnieje związek pomiędzy tą zmianą klimatu, w tym wypadku jego ociepleniem, a wielkością populacji i pojawieniem się pierwszych kultur ludów osiadłych. Możemy założyć, że ocieplenie klimatu wpłynęło na wzrost ilości zwierzyny, a co za tym idzie i populacji ludzkiej. Nagłe ochłodzenie klimatu rzeczywiście mogło zmusić ludzi do szukania innych form przetrwania, choć dziś już wiemy, że pierwsze ślady stałego osadnictwa możemy wiązać z ludami o charakterze gospodarki głównie łowieckiej (ale i zbieraczy, np. małż i innych „owoców morza” w Indochinach, Japonii czy Ameryki Południowej), zaś do świadomej uprawy roli doszło znacznie później. Dominacja rolnictwa w gospodarce ludów

osiadłych nastąpiła dopiero pod koniec czwartego tysiąclecia p.n.e.

Rozdział XIII

Ocieplenie klimatu i optimum klimatyczne holocenu. Środkowy holocen (8000 – 3500 lat temu)

Środkowy holocen jest często określany jako optimum klimatyczne, jednak przypisywany temu okresowi klimat ciepły występował przede wszystkim w wyższych szerokościach geograficznych, natomiast w innych regionach (np. w obszarze śródziemnomorskim), przynajmniej w początkach tego okresu, zaznaczyło się ochłodzenie.

Pierwszy, zwany z angielska Altithermal (albo optimum klimatyczne), zaczął się wkrótce po ustąpieniu lądolodów ok. 10000 lat p.n.e. i zakończył około 3000 lat p.n.e. (W IX tysiącleciu p.n.e. ponowne, lokalne, ochłodzenie klimatu spowodowało nawrót środowiska tundrowego na obszar Niżu i przyległych części Wyżyn Środkowoeuropejskich). Optimum klimatyczne holocenu przypada na VI – V tysiąclecie p.n.e. Drugi, z przełomu er, trwał od roku 500 p.n.e. do 400 n.e. Trzeci, który przypadł na czasy historyczne, rozpoczął się około roku 800 i trwał do końca XII wieku. Wszystkie wspomniane zmiany klimatyczne – jak zobaczymy – wpłynęły na losy człowieka.

Od około 9000 lat p.n.e. ponownie nastąpił okres wzrostu temperatur i nawilgocenia, które wzrastało aż do 7000 roku p.n.e., kiedy to opady zaczynały się stopniowo zmniejszać. Korzystny klimat przyczynił się do w miarę szybkiego wzrostu populacji ludzkiej, co w konsekwencji przyspieszyło rozwój cywilizacji.

Okolo 10000 lat temu Aborygeni z Australii dotarli do Tasmanii. Podniesienie się na skutek topnienia lodu poziomu morza odcięło Tasmanię od kontynentu. Jej mieszkańcy wytwarzali łodzie nadające się jedynie do przybrzeżnej żeglugi. Z pierwszego okresu, od czasu pojawienia się Aborygenów aż do przybycia w 1788 roku przybyszy europejskich przemiany społeczne i cywilizacyjne Tasmańczyków następowały bardzo wolno. Z wczesnego okresu zachowały się jedynie ślady ognisk, kamiennych narzędzi,

służących do polowania i zdobywania żywności, oraz naskalnych malowideł przedstawiających wizję świata ówczesnych ludzi. Tasmańczycy, odcięci od głównej społeczności, nie korzystali z wynalazków wprowadzonych przez ich przodków w Australii – już po ich emigracji (np. nie znali bumerangu). Po jakimś czasie nawet utracili umiejętności, które posiedli ich przodkowie – np. przestali rozniecać ogień i aby z niego korzystać, musieli stale podtrzymywać ogniska tak, aby nie zgasły. Nie umieli też wytwarzać igieł, a więc nie potrafili szyc ubrań, mimo że Tasmania to najchłodniejsza część Australii. W ten sposób zmiana klimatu i brak kontaktu z innymi grupami ludzkimi zatrzymały rozwój cywilizacyjny całej lokalnej społeczności. Rozwój kultury uzależniony był obok zmian środowiskowych od wielkości populacji oraz od wymiany międzykulturowej.

W okresie ochłodzenia np. na Bliskim Wschodzie i w Północno-Wschodniej Afryce, którego początek datuje się na lata około 8300 r. p.n.e., mogło dojść do zwiększenia się ilości opadów, znacznego wzrostu roślinności, a co za tym idzie i ilości zwierząt, co z kolei umożliwiło wzrost populacji ludzkiej, a dzięki łatwej dostępności do zwierzyny także stopniowe przechodzenie ludzkości do osiadłego trybu życia. Po trwającym około 2000 lat ochłodzeniu doszło do ponownego ocieplenia.

Zmiany klimatyczne wpływały na zachowanie człowieka. Okresy gwałtownych, znacznych ochłodzeń powodowały znaczne spadki populacji. Ludzie szukali schronienia w jaskiniach (ich zasiedlenie pokrywa się z okresami ochłodzeń), później wraz z ociepleniem jaskinie zasiedlano już tylko w okresach zimowych, z czasem całkowicie je opuściano. Przykładem jaskinia Shanidar.

Do około 7000 roku p.n.e. średnia temperatura roczna Ziemi wzrosła o kilka stopni, co spowodowało odpowiednie zmiany we florze i faunie. Na obszarze Europy Środkowej po tundrze parkowej poprzedniego okresu w początkach okresu preborealnego pojawiły się najpierw same brzeziny, a później mieszane lasy brzoźowo-sosnowe z dodatkiem wierzb. Zmiany te na północy Europy nastąpiły nieco później. Na większości terenów Europy stopniowo zanikały renifery; resztki ich populacji przesunęły się do szerokiej strefy nadbałtyckiej. Na pozostałych obszarach zaczęły pojawiać się coraz częściej zwierzęta leśne, głównie łosie.

Pobrane próbki z osadów z dna Deltę Nilu pozwoliły ustalić skład i gęstość szaty roślinnej oraz ilość wody wpływającej do Nilu z całej jego zlewni na przestrzeni ostatnich 9500 lat. Analiza tych danych wykazała, że przepływ Nilu, a tym samym suma opadów uległa zmniejszeniu około 8000 lat temu, wraz z tym nastąpiło zaś znaczne zubożenie roślinności.

Moim zdaniem, ocieplenie i związane z nim topnienie lodowców spowodowało również uwolnienie ogromnych mas wody, a ich nacisk na skorupę ziemską skutkowało wybuchami wulkanów oraz powstawaniem tsunami. Jedno z nich zostało wywołane 8150 lat temu osunięciem się ziemi na dnie Morza Północnego, wzdłuż szelfu kontynentalnego między Norwegią a Islandią. Ogromne tsunami, którego fale sięgały nawet 40 metrów zniszczyły wybrzeża północnej Europy, w tym dzisiejszej Danii. Wybuchy wulkanów również

wpływały na okresowe zmiany klimatyczne.

Koniec epoki lodowej, około 8300 lat p.n.e. oraz postępujące ocieplanie się klimatu powodujące przesunięcie się strefy tundry w kierunku północnym położyło kres pobytowi na Suwalszczyźnie plemion późnopaleolitycznych. Za stadami reniferów wywędrowały one na tereny dzisiejszej Litwy, Łotwy i Estonii. Jedynie nieliczne grupy pozostały na miejscu, adaptując się do zmieniających się warunków środowiska naturalnego. Określa się je mianem kultury postświdurskiej. Zapewne współcześnie ma wyżynach południowych Niemiec, w Szwajcarii oraz w Holandii zamieszkiwały ludy o tradycji madleńskiej. Ludność ta wycofała się częściowo z Niżu po zaniknięciu lasów allerödskich. Kontaktowała się z łowcami ahrensbuskimi. Młodszy Dryas kończy się na Niżu około 8300 lat p.n.e. Od tego czasu doszło do pewnego złagodzenia klimatu, w wyniku czego nastąpiło rozprzestrzenianie się lasu. Doszło również do zmiany fauny. Powoli zanikał ren, zastępowany przez zwierzęta leśne. Po tych poważnych zmianach ekologicznych na obszarach Europy Środkowej nastąpiła względna stabilizacja kulturowa. Wynikała ona w dużej mierze z istnienia stabilizacji ekologicznej. Cały Niż oraz południową Skandynawię porastały zwarte lasy, w których dużą rolę odgrywa sosna i leszczyna. Pojawiały się w nich ponadto ciepłolubne gatunki liściaste. W tym okresie cały Niż zamieszkiwały głównie grupy myśliwych i rybaków, tworząc na tym terenie trzy wielkie kompleksy kulturowe (północny, tarenuaski i północno-wschodni).

Wyniki badań genetycznych siedmiu szkieletów znalezionych na terenach dzisiejszej Skandynawii (pochodzące z lat od 7000 do 4000 lat p.n.e.) sugerują, że pierwsi ludzie przywędrowali tam dwiema drogami, przez dzisiejszą Rosję i Finlandię oraz przez Niemcy i Danię. Przybysze z zachodu mieli ciemną skórę i niebieskie oczy, ci ze wschodu skórę jasną i różne kolory włosów i oczu. Dzięki dużej różnorodności genetycznej – a przede wszystkim dzięki połączeniu jasnej skóry i tężyzny fizycznej – udało się przetrwać obu grupom trudne warunki. Przekazywanie sobie tych cech z pokolenia na pokolenie do dzisiaj pomaga w przetrwaniu Szwedom, Norwegom i Duńczykom (oczywiście należy pamiętać o tym, że i później przybywały na te obszary kolejne fale migracji).

Gwałtowne spływanie wód roztopowych zgromadzonych w wielkich zbiornikach przylodowcowych spowodowało wychłodzenie wód powierzchniowych w północnym Atlantyku, a tym samym osłabienie Prądu Zatokowego i ochłodzenie około 8200 lat temu (wydarzenie Bonda 5).

Wulkanizm

Około 6440 roku p.n.e. (+- 25) doszło do erupcji wulkanu o sile 7 VEI na Kurylach. Pozostałością tej erupcji jest jezioro Kurylskie na południowym krańcu Kamczatki. Położone w kalderze między Iczyńską Sopką i Kambalnym. Jezioro zajmuje powierzchnię 77,1 km². Średnia głębokość wynosi 176 m, a głębokość maksymalna 306 m. Poziom lustra wody zmienia się w zależności od pory roku; najwyższy poziom na przełomie maja i czerwca, natomiast najniższy w kwietniu; różnica poziomów wynosi średnio 1,3 m. Zasilane przez liczne rzeki i potoki

splývające z otaczających zboczy. Kuryle tworzą typowy łuk wyspowy o genezie tektonicznej. Każda wyspa jest wulkanem bądź jego częścią, w Dużym Łąncuchu jest ponad 160 wulkanów. Powierzchnia wysp jest górzysta, średnia wysokość wysp to 500 – 1000 m n.p.m. Najwyższa góra Ałaid mierzy 2339 m n.p.m. Równiny znajdują się tylko na wyspie Szumszu i płaskich wyspach Małego Łąncucha. W wyniku wspomnianej erupcji zapewne doszło do globalnego ochłodzenia.

Jednym z większych kataklizmów, który znacząco przyczynił się do zmian klimatycznych tego okresu była erupcja stratowulkanu Mount Mazama w stanie Oregon, w Parku Narodowym Jeziora Kraterowego w odległości około 90 km na północ od miasta Klamath Falls i około 100 km na północny wschód od Medford, o sile VEI-7. Pozostałością tej erupcji jest najgłębsze jezioro Stanów Zjednoczonych Jezioro Kraterowe (ang. *Crater Lake*), które obecnie ma wymiary 8×9,6 km. Wulkan Mazama powstał na przecięciu łańcucha gór Kaskadowych z uskokiem Klamath, otoczonymi przez szereg mniejszych uskoków. Od wschodu obszar jest ograniczony fizjograficzną prowincją Basin and Range. Obszar pod względem geologicznym został po raz pierwszy opisany szczegółowo w 1902 roku, natomiast w roku 1942 amerykański geolog i wulkanolog Howel Williams udowodnił, że jezioro kraterowe jest klasycznym przypadkiem zapadnięcia się kaldery. Stosunkowo ciągła erupcja Mount Mazama zaczęła się około 420.000 lat temu i trwała co najmniej przez około 70.000 lat. W jej wyniku kolejne tarcze budowały kopułę stratowulkanu, który osiągnął wysokość około 3700 m n.p.m. Kolejna gigantyczna erupcja stratowulkanu Mount Mazama miała miejsce w roku 4860 p.n.e. Była czterdzieści dwa razy gwałtowniejsza niż erupcja Góry Świętej Heleny w 1980 roku. Na zniszczenie wzniesienia złożyły się zarówno eksplozja, jak i jego zawalenie się wierzchołka wulkanu. Był to klasyczny wybuch typu kaldera, podczas którego komora magmowa, znajdująca się pod wulkanem, opróżniła się całkowicie, po czym zapadła się – jest to najbardziej gwałtowny typ erupcji wulkanicznej jaki istnieje. Wybuch zdmuchnął położony najwyżej, mierzący 600 stóp szczyt tej góry, czyli 10 mln.³ skał. Erupcja rozrzuciła pumeks w promieniu 140 km. Powstała kaldera wypełniła się wodą opadową ze śniegu i deszczu (jezioro nie posiada dopływów w postaci rzek). Obecnie najwyższym punktem jest Mount Scott o wysokości 2721 m leżący około 3 km od brzegu kaldery. Wysokość samej obręczy kaldery waha się od około 2040 m n.p.m. do 2484 m n.p.m., z maksymalnym przewyższeniem powyżej powierzchni jeziora wynoszącym 600 m.

Około 500 lat później do kolejnej wielkiej erupcji doszło tym razem na obszarze dzisiejszej Japonii; około 4350 roku p.n.e. wybuchł wulkanu Kakai (osiągając VEI-7). Gdyby nie postęp technologiczny, z którego korzystamy dzisiaj, kaldera Kikai z pewnością byłaby niezauważona. Kaldera będąca pozostałością tej erupcji jest zanurzona i obecnie można zauważyć tylko szereg wysp, które łączą cztery wulkany. Przepływy piroklastyczne tej erupcji dotarły na południowe części półwyspów Osumi i Satsuma i wybrzeże Kyūshū do 100 km, a popioły spadły na Hokkaidō. Całkowita ilość popiołu, według złóż, rozciąga się na ogromnym obszarze i szacowana jest na około 100 km³. Szacuje się, że erupcja musiała być częściowo boczna, aby mogła tak bardzo penetrować Kyūshū. Oszacowano także od 70 do 80 kilometrów sześciennych wydalonej

magmy. Jest bardzo mało prawdopodobne, aby ktokolwiek w okolicy przeżył ten kataklizm. Erupcja tej skali miała wpływ na zmianę klimatu (ochłodzenie) w skali globalnej, choć jej skutki odczuwane były przede wszystkim na Dalekim Wschodzie. Kikai jest wciąż aktywnym wulkanem. Drobne erupcje pojawiają się często na górze Iō (硫黄岳 Iō-dake), jednym z subaeralnych szczytów wulkanicznych po kalderze w Iōjima (硫黄島 Iō-jima). Iōjima jest jedną z trzech wysp wulkanicznych, z których dwie znajdują się na skraju kaldery. 4 czerwca 2013 r. Odnotowano słabe wstrząsy. Wkrótce zaczęły się erupcje, które trwały przez kilka godzin.

Upadki asteroid i komet

Jak wskazałem powyżej w omawianym w tym rozdziale okresie nie dochodziło do erupcji wulkanicznych powyżej 7 VEI. Wybuchy tej skali miały niewątpliwie duży wpływ na ochłodzenie klimatu, nie powodowały jednak znacznego wzrostu powierzchni lodowców (nie mogły spowodować powstania kolejnej „epoki lodowcowej”). W omawianym okresie nie zauważamy również upadków wielkich asteroid, komet czy meteorytów. I tu skala była mniejsza niż wcześniej. Do jednego z takich upadków doszło na obszarze Europy.

W prowincji Põlvamaa południowo-wschodniej Estonii znajduje się zgrupowanie pięciu okrągłych zagłębień terenu, z których dwa (Põrguhaud i Sügavhaud) mają potwierdzone pochodzenie meteorytowe. Grupa tych kraterów uderzeniowych nosi nazwę Ilumetsa, powstały one około 6600 lat temu w skałach osadowych, oprócz osadów czwartorzędowych impakt naruszył także leżące pod nimi dewońskie piaskowce. Główny krater (Põrguhaud) ma 80 m średnicy i głębokość 12,5 m, krater Sügavhaud ma 50 m średnicy i głębokość 4,5 m. Wał otaczający kratery jest wyższy od wschodu, co sugeruje, że upadający obiekt nadleciał z kierunku zachodniego.

Zdaniem szkockich naukowców *ludzką cywilizację "uruchomiło" uderzenie komety w Ziemię*. Wyhladzając klimat zmusiło to naszych przodków do osiedlenia się i zajęcia rolnictwem. Według tych badaczy *znaki (piktogramy) wyryte 11 tys. lat temu na kamieniach świątyni Göbekli Tepe w Turcji opowiadają o momencie, w którym narodziła się ludzkość. Uznali, że zwierzęta symbolizują gwiazdy i inne ciała niebieskie. Ostatecznie doszli do wniosku, że mają przed sobą kartkę z kosmicznego kalendarza. Co najważniejsze, rozkład elementów odpowiada ułożeniu gwiazd nad Turcją sprzed ok. 11 tys. lat, przełomowym momencie dla ludzkości*. Moim zdaniem badacze ci patrzą na dzieje zbyt wyrywkowo. Jak wykazałem wyżej zmiany klimatyczne były znacznie częstsze. Miały one niewątpliwie wpływ na losy człowieka, który dostosowywał się do zmieniających się warunków klimatu i przyrody. Nie od razu polegało to na *zajęciu się rolnictwem*. Na proces ten znaczący wpływ będą miały dopiero dalsze zmiany, do których doszło m.in. w wyniku skutków kolejnej katastrofy komety, która miała miejsce przypuszczalnie około początku III tysiąclecia p.n.e.

Wpływ zmian klimatycznych na rozwój cywilizacji

Zarówno wulkanizm, jak i kolejne upadki meteorytów przynosiły ogromne straty i zniszczenia w skali lokalnej. Ochłodzenie, a nawet krótkotrwałe okresy zlodowacenia powracające na niektóre obszary miały też wpływ na rozwój cywilizacji w skali znacznie szerszej. Na niektórych terenach powodowały regres, bywało jednak, że miały i pozytywne skutki. Jak zauważył Stefan Kozłowski, podobnie jak w przypadku kultury komornickiej i wewnątrz kultury kundajskiej *ogromna większość, a może nawet i wszystkie (?) elementy członu podstawowego istnieją przez cały czas jej istnienia, tzn. od połowy VIII tysiąclecia p.n.e. aż, co najmniej do 2 połowy IV tysiąclecia p.n.e.* Jak dodaje Stefan Kozłowski: *już sam fakt tak długotrwałego kultywowania jednolitej tradycji kulturowej jest tu znamienny, tym bardziej, że podanych dat nie można kwestionować. Mamy, więc do czynienia nie po raz pierwszy z przypadkiem niezmiernie silnego konserwatyzmu kultur myśliwskich, który w tym wypadku wyraża się niebagatelną sumą 4000 lat niezmienności kultury materialnej, nie mówiąc o syberyjskiej części tej tradycji, która jest przecież o wiele starsza.* Zmiany klimatyczne zmuszały ludzi do zmian swego trybu życia, dostosowania się do nowych warunków. W jakiejś mierze, więc przyspieszały postęp cywilizacyjny. Szczególnie widoczne związki między zmianami klimatu, a dostosowywaniem się ludzi do zmieniających się warunków obserwujemy w tym czasie na Bliskim Wschodzie, w dolinie Nilu oraz na Dalekim Wschodzie.

Po kolejnym, dość długim (trwającym niemal 4000 lat) okresie stabilizacji nastąpiła kolejna zmiana klimatu. Doszło do pewnego ocieplenia i zwilgotnienia klimatu, czego wynikiem były m.in. zmiany struktury lasów na korzyść gatunków ciepłolubnych. W tym czasie doszło do niemal ostatecznego uformowania się dzisiejszego zarysu brzegów morskich. Mniej więcej od około V tysiąclecia p.n.e. pojawiają się na terenie Europy Środkowej pierwsi rolnicy i hodowcy. Dziś przyjmuje się, że hodowla pojawiła się na obszarach Europy Środkowo-Wschodniej wraz z migracją nowej ludności.

Zmiany klimatyczne łączą się bezpośrednio z ważnymi etapami w rozwoju naszej cywilizacji, które miały miejsce w tym czasie. Późniejsze ocieplenie prawdopodobnie wpłynęło na gwałtowne zubożenie szaty roślinnej, co zmusiło ludzi na wielu obszarach do porzucenia dotychczasowego trybu życia; również do walki o dostęp do zwierzyny. Musiano też znacznie ograniczyć wcześniejszą gospodarkę opartą o myślistwo i zbieractwo, gdyż dotychczasowe źródła pożywienia po prostu się wyczerpały. Zdaniem badającej osady z Nilu dr Blanchet właśnie to stało się motorem do oswojenia i chowu bydła domowego oraz rozwoju rolnictwa.

Wcześniej w wyniku ocieplenia klimatu woda z topniejących lodowców doprowadziła do podniesienia się poziomu mórz i ukształtowania się do około 5000 roku p.n.e. linii brzegowej bliskiej do współczesnej. Optimum skończyło się około 3500 roku p.n.e., kiedy to nastąpiła trwająca do dzisiaj, nieco chłodniejsza faza klimatu. Myślę, że bardziej prawdopodobną datą początkową byłby tu koniec IV i początek III tysiąclecia p.n.e. – data uderzenia komety w Ocean Indyjski. To ona, tak jak wcześniej kometa z Ameryki Północnej mogła

ponownie spowodować okres ochłodzenia.

Wyróżniona przez J. A. A. Worsaae w połowie XIX w. kultura Ertebølle, nazywana była początkowo kulturą śmietnisk muszlowych. Rozwijała się od ostatniej ćwierci szóstego do ostatniej ćwierci V tysiąclecia p.n.e., w południowo-zachodniej części Morza Bałtyckiego, głównie w północnych Niemczech, Danii, południowej Szwecji. W Polsce stanowisko kultury Ertebølle znane jest m.in. z Dąbek koło Darłowa. Stanowisko w Dąbkach datowane jest na okres około 5100 r. p.n.e. do około 3600 r. p.n.e. Należy do grupy mezolitycznych kultur kręgu północnoeuropejskiego. Jej twórcy uprawiali gospodarkę łowiecko-zbieracko-rybacką. Osiągnęła ona wysoki poziom specjalizacji, umożliwiając społecznościom kultury Ertebølle pewną stabilizację osadnictwa. Gospodarka kultury Ertebølle miała charakter mieszany, dominowało rybołówstwo morskie głównie na dorsze i węgorze oraz na ssaki morskie m.in. foki, praktykowano również zbieractwo małży i ślimaków. Polowanie na ssaki lądowe m.in. jelenie, sarny, miało niewielkie znaczenie w strategii pozyskiwania pożywienia przez ludność tej kultury. Najciekawszą cechą tej kultury, poświadczającą intensywne połowy morskie, są wielkie śmietniska muszlowe. Śmietnisko w Ertebølle miało 140 m długości, 30-40 m szerokości, usypano je do 1,5 m wysokości. Inwentarz kamienny w owej kulturze reprezentowany jest przez drapacze przekłuwacze i rylce, do których wytworzenia posługiwano się techniką wiórową. Do inwentarzy kamiennych należy zaliczyć również „siekiery” wytwarzane techniką rdzeniowania jak i gładzenia. Inwentarze kościane reprezentowane były przez różnego rodzaju przekłuwacze, gładziki i pierścienie. Korzystne warunki konserwacji pozwoliły zachować wiele wyrobów z materiałów organicznych, m.in. z poroża (harpuny, sztylety, toporki, zwłaszcza T-kształtne) i z drewna (wiosła, bumerangi, strzały z tępym zakończeniem). Kontaktom z ludnością naddunajskich kultur neolitycznych zawdzięczała ludność kultury Ertebølle znajomość ceramiki (workowate naczynia ze spiczastym dnem). Są to najstarsze naczynia gliniane w basenie Bałtyku (głównie płaskie misy i talerze). Wysoki poziom osiągnęła sztuka, znane są m.in. bursztynowe figurki łosi i koni, zdobione motywami geometrycznymi. Dość liczne są także pochówki, niekiedy nawet cmentarzyska, na ogół szkieletowe, ale i ciałopalne. Z niewyjaśnionych przyczyn kultura ta dość nagle zniknęła. Pojawia się tu pytanie: jakie przyczyny spowodowały to, że nie doszło do dalszego rozwoju tej kultury; odmiennie niż np. w podobnych kulturach na Dalekim Wschodzie, w Japonii i prekolumbijskiej Ameryce? Być może należy to wiązać z kolejną zmianą w procesie powstawania Morza Bałtyckiego, do którego doszło właśnie ok. III tysiąclecia p.n.e. Zmiana środowiska ekologicznego pozbawiła ludność kultury Ertebølle źródeł żywności. Jeśli nawet część jej przetrwała – przypuszczalnie gwałtowną – zmianę linii brzegowej to i tak musiała w znacznej mierze wyginąć.

Rozdział XIV

Kataklizmy „morskie”

W okresie borealnym przypadającym – z grubsza biorąc – na VII tysiąclecie p.n.e., głównie na jego pierwszą połowę, średnia temperatura roczna Ziemi podniosła się o dalsze kilka stopni, dochodząc w północnych partiach Niżu Środkowoeuropejskiego do średnio 19 °C w lipcu. Swoje maksimum w czasie całego holocenu średnia temperatura roczna osiągnęła w latach między 6400 a 3700 p.n.e., kiedy to średnia temperatura roczna była wyższa o ok. 2 – 2,5 °C od obecnej. Proces ten musiał powodować topnienie lodowców i kolejny wzrost poziomu wód oceanów. Na obszarze środkowej Europy panował wówczas suchy klimat kontynentalny. Na obszarze Niżu Środkowo-europejskiego klimat stał się wtedy wilgotny, morski. Był to czas szczytowo pomyślnego i wszechstronnego rozwoju szaty leśnej tego obszaru: obok gatunków drzew występujących już poprzednio teraz zaczęły dominować także drzewa liściaste, jak dęby, wiązy i lipy, a także buki. Lasy brzoźowo-sosnowe wzbogaciły się w tym czasie przede wszystkim o leszczynę, a pod koniec tego okresu jeszcze o inne drzewa liściaste. Wśród zwierzyny leśnej zaczynają się pojawiać dodatkowo jelenie, sarny, dziki, niedźwiedzie i bobry.

W tak długim okresie musiało oczywiście dochodzić do okresowych zmian klimatycznych, następujących nierównomiernie na różnych obszarach Ziemi. Ocieplenie, którego skutkiem było topnienie lodowców i wzrost poziomu wód oceanów i mórz powodowało w konsekwencji nacisk na płyty tektoniczne i ich ruch, a co za tym idzie wzrost aktywności sejsmicznej i wybuchów wulkanów. Erupcja wulkanu Cumbre Vieja, należącego do archipelagu Wysp Kanaryjskich, w połączeniu z towarzyszącymi jej trzęsieniami ziemi, spowodowały około 6000 lat p.n.e. gigantyczne tsunami z falami wysokości 20 metrów, które doprowadziło do całkowitego zdevastowania wybrzeży Islandii, Norwegii, czy też Wielkiej Brytanii oraz Ameryki Środkowej. Wpływ tego kataklizmu na rozwój cywilizacyjny ludów tych obszarów musiał być ogromny – tym bardziej, że ówczesne osadnictwo rozprzestrzeniało się głównie wzdłuż wybrzeży morskich.

Tej skali erupcja była zapewne przyczyną okresowego ochłodzenia.

Tu chciałbym wspomnieć o innych kataklizmach, których pośrednią przyczyną były zmiany klimatyczne, spowodowane nimi podnoszenie się poziomu wód oceanów i ruchy tektoniczne. To w wyniku tych procesów dochodziło do zmian linii brzegowych różnych mórz, a także do ich powstawania. Częstymi kataklizmami były trzęsienia ziemi i tsunami.

Wskutek podniesienia się poziomu oceanu, około 7000 lat temu, nastąpiło połączenie Jeziora Ancylusowego z Morzem Północnym przez cieśniny duńskie. Napływ wód oceanicznych spowodował wzrost zasolenia i kolejne przekształcenie Bałtyku w zbiornik słonawowodny, w którym zasolenie było o 5 – 6% wyższe niż obecnie. Wraz z wodami oceanicznymi dostała się tu fauna i flora borealna, występująca w Bałtyku do dziś. Dominującym gatunkiem był ślimak pobrzeżek *Littorinalittorea* (stąd nazwa: Morze Litorynowe, 7000 – 3000 lat temu). Nastąpiło dalsze ocieplenie klimatu, temperatura u południowych brzegów Bałtyku była o 2 – 3 °C wyższa od dzisiejszej. Z końcem okresu litorynowego (ok. 3000 lat temu) nastąpiło ponowne podniesienie się dna w cieśninach duńskich. Spowodowało to słabszy dopływ wód oceanicznych z Morza Północnego i obniżenie zasolenia Bałtyku. Powstało typowe morze słonawe, jakie znamy dzisiaj.

Podobnie młodym tworem geologicznym jest Morze Czarne. Zdaniem geologów akwen ten jeszcze przed 8 tysiącami lat był słodkowodnym jeziorem zasilanym rzekami spływającymi z europejskich lodowców. *Być może ok. 12 tys. lat p.n.e. część wód z tego jeziora przelewała się doliną rzeki Sakarya do Morza Marmara. Później, z powodu ponownego oziębienia ziemskiego klimatu w młodszy dryas, na południu Europy zapanował klimat suchy i jezioro częściowo wyschło.*

Na skutek ocieplenia klimatu doszło do topnienia lodowców i wzrostu poziomu mórz, w tym Morza Śródziemnego. *Powiększała się depresja (150 metrów poniżej poziomu wody sąsiedniego Morza Egejskiego) obszaru dzisiejszego Morza Czarnego (wówczas jeziora), oddzielonego od oceanu światowego mocną, skalną przegrodą. Około roku 5600 p.n.e. naturalna zaporą w rejonie Bosforu została jednak przerwana (...). Dwóch badaczy z Columbia University, Williama Ryana i Waltera Pitmana, przyjęli hipotezę, że właśnie to wydarzenie było przyczyną powstania mitu o biblijnym potopie. Wykonali oni setki odwiertów w basenie Morza Śródziemnego i Morza Czarnego. Badając strukturę osadów geologicznych i ich rozmieszczenie na różnych głębokościach i w różnych miejscach, wywnioskowali, że biblijny gigantyczny potop nie jest jedynie pouczającą przypowieścią, lecz rzetelnie udokumentowanym zjawiskiem przyrodniczym. (...) Zdaniem tych naukowców Morze Czarne oddzielone było od Morza Śródziemnego solidną, naturalną zaporą skalną w miejscu, gdzie dziś leży cieśnina Bosfor łącząca te dwa zbiorniki. Morze Czarne było w owym czasie zbiornikiem słodkowodnym – zasilane było jedynie przez wody wpadających do niego rzek. Miało poziom wody niższy o ok. 200 metrów od dzisiejszego i co ważniejsze niższy od sąsiedniego Morza Śródziemnego. Przez tysiąclecia słodkie jezioro sąsiadowało z wielkim morzem. Aż przyszedł dzień, gdy ciśnienie napierającej od zachodu wody pokonało w końcu skały*

Bosforu. Do niecki jeziora wlały się niewyobrażalne ilości słonej wody. Gigantyczny strumień płynący przez wąski przesmyk górski spowodował w końcu wypełnienie się całej doliny okalającej jezioro. Wzbierające wody niszczyły napotkane domostwa, plaże, całe miasta i wioski. (...) Wypełnianie się zbiornika trwało pewnie 40 lat. Poziom wody czasami wzrastał nawet w tempie 15 centymetrów dziennie - lecz nieustannie przez 40 lat. (...) Podnosząca się woda przesuwiała się, więc bardzo szybko w głąb lądu. Pochłaniała nadmorskie tereny natychmiast - linia brzegowa przesuwiała się czasami nawet o 1,5 kilometra dziennie! Wlanie się wód Morza Śródziemnego do basenu Morza Czarnego było zabójcze nie tylko dla ludzi. Wraz ze zmianą wody słodkiej na słoną wyginęła większość gatunków zamieszkujących dotąd jezioro. Od ryb po ślimaki - niemal wszystko padło od soli. Wydarzenie warte odnotowania. Należy jednak podkreślić jego lokalny charakter (mimo relatywnie ogromnej przestrzeni, które zostało tym kataklizmem dotkniętych). Badacze podkreślają też, że proces ten trwał ok. 40 lat, co niewątpliwie umożliwiło części ludności wcześniejsze przemieszczenie się. Zdaniem cytowanych badaczy poziom wody podnosił się o 15 cm dziennie, a linia brzegowa przesuwiała się o półtora kilometra na dobę. Spowodowało to ucieczkę mieszkających tu ludzi. To bardzo prawdopodobne, inne hipotezy tych badaczy budzą jednak wątpliwości. Uważają oni mianowicie, że ślady po ich cywilizacji jednak pozostały - przede wszystkim w rozprzestrzenieniu się rolnictwa w Europie, ale także w postaci wyrobów rzemiosła, wśród których znajduje się aż 3 tysiące wyrobów ze złota pochodzących z VII tysiąclecia p.n.e. Moim zdaniem, kultury przedrolnicze rozwijały się w tym czasie na znacznie większym obszarze (w tym na Bałkanach) już pół tysiąca lat wcześniej przed wspomnianą datą hipotetycznego potopu. Natomiast teoria o istnieniu stosunkowo niewielkiego jeziora w niecce czarnomorskiej potwierdził francuski geofizyk Giles Lericolais, który w 1998 roku odkrył wyżłobione w morskim dnie przedłużenia dolin Dunaju i Dniepru.

Wspomniana katastrofa jest tylko jednym z bardziej dostrzegalnych skutków ocieplenia klimatu w tym okresie. Było ich znacznie więcej. Ocieplenie oraz pojawiające się susze zmuszało zwłaszcza ludy rolnicze do poszukiwania nowych siedzib, a także do poszukiwania nowych technik uprawy (melioracja). Inną przyczyną poszukiwania nowych ziemnych do zagospodarowania obszarów i rozwoju już istniejących ośrodków gospodarczych była demografia. Rozwój rolnictwa znacząco uniezależnił *Homo sapiens* od naturalnych zasobów środowiska przyrodniczego.

Spółeczeństwa obszarów nadrzecznych i nadmorskich dotyczyły zapewne, co jakiś czas niespotykane powodzie. Wyobrażenia o istniejącym świecie były bardzo ograniczone (choćby ze względów komunikacyjnych), stąd w mitologii wielu ludów pojawił się mit o potopie. Taki przyjmuje też powstała pod koniec III tysiąclecia p.n.e. tzw. sumeryjska *Listą królów*, która dzieli władców na panujących przed i po potopie. Współczesne badania (np. prowadzone przez Woolleya) potwierdzają, że około połowy IV tysiąclecia p.n.e. wody zalały osiedla kultury Ur (dowodzą tego 3 metrowe warstwy piasku), ale już winnych miejscach, np. w Uruk wynoszą 1,5 m, a w Kisz tylko 0,5. Na tej podstawie Woolley stworzył nawet mapę terenów objętych potopem, późniejsze badania

udowodniły jednak, że warstwy piasku pochodziły z różnych okresów.

Jak dowiodły badania prowadzone przez Combined Prehistoric Expedition, na obszarze Afryki panował wówczas klimat znacznie wilgotniejszy niż obecnie, który powodował, że dzisiejsza, wyjątkowo surowa pustynia, była sawanną, na której w licznych osadach żyli pasterze z późnej epoki kamienia. To oni stworzyli rozległe to Centrum Ceremonialne o ważnym znaczeniu kultowym. Była to dobrze zorganizowana społeczność, której przywódcy mogli koordynować budowę konstrukcji z ogromnych głazów zwanych megalitami, kurhanów, w których chowano członków elity społecznej oraz kamiennych steli, upamiętniających zmarłych członków plemienia. Układ steli, które skierowane były w kierunku północnych gwiazd, dowodzi, że tu rodziła się kosmogonia i najwcześniejsza religia starożytnego Egiptu. Badacze tego obiektu uzyskali też wystarczające powody, by przypuszczać, że gdy przed sześcioma tysiącami lat sawanna zaczęła wysychać, prahistoryczni pasterze w poszukiwaniu wody wywędrowali do doliny Nilu, gdzie w dużej mierze przyczynili się do powstania cywilizacji starożytnego Egiptu.

W dolinie Nilu nie odkryto dotąd istotnych świadectw kultur paleolitycznych – prawdopodobnie, dlatego, że w plejstocenie koryto rzeki położone było ok. 15 m wyżej niż obecnie, a jeszcze około 8000 r. p.n.e. teren ten stanowił gigantyczne grzęzawiska. Dopiero pustynnienie Sahary od około 6000 r. p.n.e. spowodowało migrację ludności na północny zachód i północny wschód i pojawiły się nad Nilem pierwsze osiedla społeczeństw rolniczych.

Jednym z dowodów na to, że i tu rozwijały się społeczeństwa łowcze, jest ostatnie odkrycie badaczy niemieckich. Na obszarze dzisiejszego Egiptu, na stanowisku archeologicznym Qubbet el-Hawa koło miasta Asuan nad Nilem, badacze z niemieckiego Uniwersytetu w Bonn odkryli rysunki przedstawiające postać mężczyzny z łukiem i strusią, a obok nich postać kolejnego mężczyzny – prawdopodobnie szamana tańczącego w rytualnej masce strusią pochodzące z IV tysiąclecia p.n.e.

Wiele wskazuje na to, że na terenach dzisiejszej Pustyni Zachodniej Egiptu jeszcze ponad 5 tys. lat temu panowały warunki klimatyczne sprzyjające hodowli zwierząt. Osady i pastwiska ówczesnych pasterzy koncentrowały się wokół licznych sezonowych jezior zasilanych wodami opadowymi. Największe w Afryce odkryte dotąd centrum osadnictwa z lat pomiędzy 10 000 a 3 000 lat p.n.e. znajdowało się w okolicach Nabta Playa (arab.: نبتة), wyschniętego jeziora na terenie Pustyni Zachodniej w muhafazie Nowa Dolina w południowym Egipcie. Region był zamieszkiwany tylko sezonowo, prawdopodobnie tylko w lecie, gdy lokalne jezioro wypełnione było wodą do wypasu bydła. Obszar ten skupia wiele tysięcy punktów osadniczych powstałych od około 10 000 lat p.n.e. do około 3 500 lat p.n.e. Na jego krawędzi znajduje się *Centrum Ceremonialne* ówczesnych społeczeństw pasterskich, w Nabta Playa w okolicach góry zwanej dziś Gebel Nabta. (Trawiastej Góry).

Jest to największe odkryte w Afryce pradziejowe centrum sakralne (rozwijające się w latach około 7000 – 3500 p.n.e.), na które składają się liczne kurhany ofiarne – mające średnice kilkunastu metrów i wysokość 1 – 1,5 m –

rozmieszczone na górze *Ofiarnej* – i miejsca ofiarne w *Dolinie Ofiar* oraz najstarszy na świecie kamienny kalendarz słoneczny (ok. 5500 – 4500 p.n.e.) służący do oznaczania północy i wschodu słońca w dniu przesilenia letniego (obecnie przeniesiony do muzeum w Asuanie), jest to krąg o średnicy ok. 4 m utworzony z niewielkich głazów; pola megalitycznych kilkudziesięciokilogramowych steli rozciągające się na obszarze kilkunastu kilometrów kwadratowych oraz szeregi innych steli skierowanych (jak przypuszczają badający ten obiekt archeolodzy) na ważne układy gwiazd z okresu około 4500 – 3500 lat p.n.e. Większość tworzących wspomniany wyżej kamienny krąg głazów spoczywało płasko na piasku, ale badacze wyróżnili 4 pary stojących pionowo megalitów. Jedna z par megalitów wyznacza azymut 358° (niemal na osi północ-południe) a druga $65-70^{\circ}$. Dotychczas badacze uznawali, że starożytni mieszkańcy Nabta Playa obserwowali z pomocą kręgu kamiennego wschód Słońca w dniu przesilenia letniego ponad 6000 lat temu, który miał być widoczny przez jedną z dwóch par megalitów tworzących kromlech. Jednak najnowsze pomiary kręgu wskazują, że linia ta znajduje się poza azymutem wyznaczonym przez megality. Według dr. Iwaniszewskiego, w badaniach archeoastronomicznych kręgu kamiennego pominięto daty przejścia Słońca przez zenit. Tymczasem kromlech jest położony obszarze międzyzwrotnikowym, gdzie to zjawisko można obserwować. Azymut wyznaczony przez megality mieści się w przedziale, w którym Słońce wschodziło w dni, kiedy przechodziło przez zenit. Dr Iwaniszewski zastosował podejście badawcze typowe dla tzw. astronomii międzyzwrotnikowej („tropicalastronomy”). Jego zdaniem, wcześniejsze przeoczenie tego faktu było spowodowane zapewne nieuświadomionym sugerowaniem się koncepcjami astronomii egipskiej, która rozwinęła się nieco później na terenach na północ od Nabta Playa, a zarazem na północ od zwrotnika Raka. Ale w astronomii egipskiej nie ma miejsca na przejścia Słońca przez zenit, gdyż Egipcjanie nie mogli obserwować tego zjawiska na zamieszkiwanym przez siebie obszarze. Jak wyjaśnia archeolog, w astronomii obszarów podzwrotnikowych nowszejchnie obserwuje się dni przejścia Słońca przez zenit, zaś dni, w których Słońce osiąga przesilenie są trudniejsze do zdefiniowania – w porównaniu z miejscami położonymi między zwrotnikami a kręgami polarnymi. W czasie funkcjonowania kręgu kamiennego, czyli ponad 6 tys. lat temu Słońce przechodziło przez zenit dwukrotnie – 2 czerwca i 16 lipca. Pierwsze przejście Słońca przez zenit było poprzedzone heliakalnym wschodem gwiazdy Syriusz (gwiazda ukazywała się na horyzoncie tuż przed wschodem Słońca) 31 maja. Drugie przejście Słońca przez zenit, zdaniem dr. Iwaniszewskiego, wypadło 16 lipca. W połowie tego miesiąca rozpoczynała się pora deszczowa w Nabta Playa.

Rozdział XV

Zmiany klimatyczne pod koniec III tysiąclecia p.n.e. Młodszy holocen (ostatnie 3500 lat)

Około 3000/3100 roku p.n.e. doszło do ponownego ochłodzenia klimatu, któremu szczególnie na południu towarzyszył spadek opadów. Możemy przyjąć z dużym prawdopodobieństwem, że tuż na początku III tysiąclecia p.n.e. miał miejsce wielki kataklizm o skali globalnej spowodowany uderzeniem komety, lub asteroidy. Teorię ogromnej katastrofy w tym okresie poświadczają odnoszące się do tego czasu mity o potopie. Takie można znaleźć w każdej kulturze poczynając od zapisków znajdujących w biblii poprzez historię Egiptu, Indii, Chin, a kończąc na Ameryce. Według chronologii biblijnej Bóg stworzył Adama około 5700 – 6000 lat temu, idąc tym tropem możemy uzyskać datę, kiedy to żył i przeżył potop Noe, a jest to okres około 5000 lat temu. Nie wiemy, czy mit Noego został zapożyczony z dużo starszego eposu

o Gilgameszu (mówiący o Enkim), który powstał, jako relacja tegoż wydarzenia, czyli w III tys. p.n.e.? Zapiski te zachowały się też w późniejszych wersjach babilońskich z II tys. p.n.e. Następnym przykładem to opisy wielkiej powodzi w Chinach, która nastąpiła za czasów panowania cesarza Nu Wa, czyli między 3000 r. p.n.e. a 2800 r. p.n.e. Dodatkowo opis potopu pojawia się też u amerykańskich Indian; opisywali oni pierwszym konkwistadorom czasy, gdy rogata postać zeszła z nieba a za nią wody oceanów zalały ich ziemie.

Rodney Castleden zauważa, że: około 3100 roku p.n.e. na całym świecie miały miejsce bliżej nieokreślone wydarzenia, które sprawiły, że ludzie zaczęli zachowywać się inaczej niż wcześniej. Na terenie Wielkiej Brytanii został zaznaczony pierwszy skromny krąg ziemny (Stonehenge). Tuż poza kręgiem, przy jego północno-wschodnim wejściu, znajdował się zbiór wgłębień wykonanych cienkim palikiem, a wskazujących, najbardziej wychylony na północ, wschód księżyca. Wewnątrz ziemnego okoleńca znajdował się krąg

stworzony ze słupów. Później w tym miejscu powstał monumentalny kamienny krąg. W pobliskim Avebury powstał w tym samym czasie gigantyczny krąg z głazów, ustawiony wewnątrz ziemnego pierścienia w kształcie okręgu. Uznać to można za ogromną zmianę kulturową. Wcześniej tworzone długie kurhany, niektóre spośród nich miały bardzo wyszukane struktury, niemniej jednak zaczęły pojawiać się nowe rodzaje pomników – kręgi ziemne i kręgi kamienne. W nie-których miejscach towarzyszyły im również ogromnych rozmiarów kopce mogilne. Podobnie do tych z Wielkiej Brytanii zmiany kulturowe zachodziły i w innych regionach świata. Rodziło się wiele nowych cywilizacji. Niektórzy naukowcy zajmujący się prehistorią określają rok 3100 p.n.e. punktem zwrotnym w prehistorii świata.

Na powierzchni ziemi znajduje się wiele małych kraterów, których powstanie datuje się na mniej więcej ten okres. Mogą one sugerować uderzenie wielkich meteoroidów, ewentualnie fragmentów czegoś większego, jak choćby komety czy asteroidy, o ziemię. Jeśli by założyc, że jakiś rój meteoroidów uderzył o ziemię, mogło wówczas dojść do szeregu katastrof naturalnych i zmian w środowisku naturalnym. Mnóstwo pyłu dostałoby się wysoko do atmosfery, powodując powstanie pyłnej zasłony. Gdyby niektóre elementy wpadły do morza wywołałyby tsunami.

Tsunami spowodował prawdopodobnie nie tyle upadek roju meteoroidów, lecz samej komety (asteroidy). Dziś możemy z dużym prawdopodobieństwem określić miejsce tego kataklizmu. To krater Burckle, który znajduje się pod 30,865° S 61,65° E na Oceanie Indyjskim i 3800 metrów (12 500 stóp) pod powierzchnią wody.

Krater Burckle nie został jeszcze datowany za pomocą analizy radiometrycznej osadów. Badacze holocenu grupy roboczej uważają, że powstał on około 5000 lat temu (ok. 3000 – 2800 p.n.e.), rozważają możliwość, że (szczątki) komety uderzyły w dno oceanu, a kolejne ogromne tsunami stworzyły formacje wydmowe. Przypuszcza się, że powstała w wyniku katastrofy fala mega-tsunami miała mieć wysokość 600 stóp. Wielkość krateru Burckle szacuje się na około 29 kilometrów (18 mil) średnicy, około 25 razy szerszy niż Meteor Crater w Arizonie.

W pobliżu krateru odkryto niezwykle kryształy kalcytu (CaCO_3), półprzezroczyste kulki węgla, fragmenty szkła bazaltowego i metale rodzime (rodzime żelazo i nikiel) związane z wyrzutem uderzeniowym lub osadami gorącej wody. Woda morska na głębokości krateru jest niewystarczająco nasycona w odniesieniu do kalcytu, więc do zachowania tych kryształów potrzebne było jego szybkie zakopanie.

Bolid, od którego oderwały się mniejsze kawałki był odpowiedzialny za wiele mniejszych kraterów (między innymi odnalezione w Egipcie, Etiopii, Turcji, Alpach, Finlandii), które uderzyły w Ziemię w pasie od południowych krańców Oceanu Indyjskiego poprzez wschodnią Afrykę, Indie, Alpy po krańce Skandynawii. Z tym wydarzeniem możemy łączyć również tzw. *uderzenie asteroidy w Alpy* (3123 r. p.n.e.), jednocześnie przesuwając pierwotną datę tego impaktu na okres ok. 2900 r. p.n.e. Geolodzy długo zastanawiali się nad

dziwnym osuwiskiem niedaleko miasta K fels w austriackich Alpach, ale nie byli w stanie udowodni , że by  on spowodowany upadkiem asteroidu. Osuwisko, o którym mowa, ma 500 m g boko ci i 5 km średnicy i stanowi nierozwiązaną tajemnic  dla geologów od chwili odkrycia w XIX wieku. Odkrycia geologów znalazły potwierdzenie w badaniach historyków. Brytyjscy naukowcy odcyfrowali tajemnic  starożytniej glinianej tabliczki. Okrągła tabliczka klinowa (No. K8538, nieformalnie zwana „planisfer ”) została odkryta 150 lat temu przez Sir Austena Henry Layarda. Odkrycia dokonano w pozostałościach królewskiego pałacu w Niniwie, stolicy starożytniej Asyrii, imperium rozciągającego się na terenie współczesnego Iraku. Według brytyjskich uczonych tabliczka, b d aca kopi  wykonaną przez Asyryjskiego skryb  około 700 p.n.e., jest notatk  sumeryjskiego astronoma, zawierającą zapis wydarzeń na niebie z 29 czerwca 3123 p.n.e. (według kalendarza juliańskiego – stąd pojawiająca się niekiedy pomyłka w datowaniu). Połowa tabliczki ma zawiera  zapis pozycji planet podobnej do każdej innej nocy, jednak druga połowa dokumentu zawiera obiekt na tyle duży, że mógł by  zauważony na nieboskłonie, gdy wciąż przebywa  w przestrzeni kosmicznej. Ich zdaniem symbole zawierają opis trajektorii dużego obiektu, przemieszczającego się przez konstelacj  Ryb. Trajektorja ta jest identyczna w granicach błędu wynos cego jeden stopień z hipotetyczną trajektori  obiektu, który uderzy  w K fels. Mimo że interpretowano już miejsce w K fels jako efekt uderzenia asteroidu, to jednak brak wyraźnego krateru uderzeniowego zaprowadzi  współczesnych geologów do opinii, że jest to po prostu zwykłe gigantyczne osuwisko. Teoria Bonda-Hempsella, opisana w ich ksi  zce wydanej w marcu tego roku („A Sumerian Observation of the K felsImpact Event” – Sumeryjska obserwacja uderzenia w K fels), wyjaśnia brak pozostawienia krateru przez asteroid. Zdaniem badaczy, trajektorja upadku asteroidu była ustawiona pod takim kątem, że nie było możliwe powstanie krateru. Jej k t by  bardzo mały (6 stopni), stąd obiekt uderzy  w górę Gamskogel powyżej miasta L ngenfeld, około 11 kilometrów od K fels i to spowodowało eksplozj  asteroidu zanim dotarł do finalnego miejsca uderzenia. Pod  haj c w dół doliny, zamieni  się w kulę ognia o średnicy 5 km. Ogromne ciśnienie spowodowane przez obiekt rozpyli  ska   i spowodowało osuwisko, ale ponieważ asteroid nie by  ciałem stałym, nie pozostawi  klasycznego krateru uderzeniowego.

Zapisy astronomiczne w Mezopotamii sięgają III tysiąclecia p.n.e., to jest czasów sumeryjskich. Sumerowie praktykowali podstawowe formy astronomii, ale mieli także poważny wpływ na bardziej wyrafinowaną astronomi  Babilończyków. To właśnie Sumerowie położyli podstawy pod zastosowanie matematyki w astronomii: to oni na przykład podzielili koło na 360 stopni, każdy po 60 minut. Jednak pierwsze ślady stosowania matematyki do wyliczania periodyzacji zjawisk astronomicznych pojawiają się dopiero w okresie starobabilo skim (od XX w. p.n.e.). Z tego okresu pochodzą na przykład tabliczki klinowe, dokumentujące wyliczenia długości dnia w roku s lonecznym. Prawdziwy r z w astronomii oraz znac cy wzrost ilości obserwacji i prowadzenia ich zapisów nast pi  w okresie nowobabilo skim, tj. od VIII w. p.n.e. Babilo scy astronomowie wywarli znac cy wpływ na astronomów greckich i hellenistycznych, od których wywodzi się współczesna astronomia. Niektórzy badacze podaj  w w tpliwo  datowanie i wyniki badań osuwiska w Kafel dokonane przez Bonda i Hempel. Opierają się oni na, ich zdaniem, wciąż

wiarygodnych wcześniejszych badaniach. Pod koniec lat 90. opublikowano serię badań, które datowały osuwisko na okres około 9700 lat temu, czyli jeszcze wcześniej niż poprzednio proponowane 8000 lat temu, i o około 4500 lat wcześniej niż sądzą Bond i Hemsell. Ponadto dokładne analizy obszaru osuwiska nie natrafiły na żaden ślad asteroidu czy komety. Wątpliwości co do wyników zespołu Bonda i Hemsella budzi także fakt, że w tych badaniach nie uczestniczył żaden specjalista od starożytnej mezopotamskiej astronomii, który zweryfikowałby datację tabliczki, podaną przez obu badaczy.

Według dr. Bruce'a Masse z Uniwersytetu Hawajskiego, do kosmicznej katastrofy doszło w rejonie Morza Śródziemnego. Wyniki badań geologicznych mają dowodzić, że w 2807 r. p.n.e. w ten obszar uderzyła asteroida lub fragment komety. Skutkiem katastrofy była gigantyczna fala tsunami, która zalała znaczne połacie lądu wybrzeży Morza Śródziemnego. W 2001 r. dr Sharad Master, geolog z Uniwersytetu Witwatersrand w Johannesburgu, przedstawił wyniki swych badań dowodzące, że w początkach III tysiąclecia p.n.e. z Ziemią zderzył się jakiś wielki obiekt z kosmosu. Katastrofa ta, wg Mastera, stała się przyczyną zagłady cywilizacji rozwijających się wówczas na Bliskim Wschodzie. Naukowiec ten odkrył ogromny, pometeorytowy krater analizując zdjęcia satelitarne terenów na południu Iraku. Znajduje się on ok. 16 km na północny zachód od zlewiska rzek Tygrys i Eufrat. W ciągu 5 tys. lat powstało tam jezioro, dopiero w trakcie prac ziemnych w latach 80. XX wieku teren osuszono, odsłaniając krater. Wiele wskazuje, że ok. 5000 lat temu rzeczywiście doszło do kosmicznej katastrofy. Być może Bond i Hemsell mają rację, iż to wówczas upadły Sodom z Gomorą, komentuje autor jednego z artykułów wspominających o tym wydarzeniu.

Na około 3 tysiące lat p.n.e. datowany jest również upadek meteorytu Morasko na ziemiach polskich. Podczas prac fortyfikacyjnych w listopadzie 1914 r. pewien żołnierz znalazł meteoryt żelazny o wadze 77,5 kg na głębokości około 50 cm. W wyniku kolejnych poszukiwań odkryto dalsze meteoryty. Grupa siedmiu kraterów powstałych w wyniku upadku meteorytu położona jest na południowym stoku Góry Moraskiej (wysokość 154 m n.p.m.) - najwyższego wzniesienia w okolicach Poznania. Większość znalezionych meteorytów znajdowała się na obszarze ok. 0,5 km² w północno-wschodniej ćwierci otoczenia pola kraterów prawdopodobnie utworzonych przez spadające meteoryty. Największy z kraterów ma 60 metrów średnicy i 11 szerokości. Teren ten, o powierzchni ok. 55 hektarów, uznano w 1976 roku za rezerwat przyrody. Do tej pory na terenie Moraska natrafiono już na kilka ton materiału. Dotąd największym okazem był meteoryt znaleziony w 2012 roku, ważący po oczyszczeniu 261,2 kg. W 2015 roku Owczarzak i Nebelski znaleźli kolejny okaz o wadze (po oczyszczeniu) 174 kg, latem 2018 roku znaleziono na poznańskim Morasku największy znaleziony w Polsce kawałek meteorytu o wadze 271 kg.

Badacze przypuszczają, że krater z Moraska powstał w wyniku uderzenia w ziemię odłamków dużego meteorytu żelaznego (tzw. syderytu), należącego prawdopodobnie do roju Perseidów, z którym Ziemia spotyka się w połowie sierpnia każdego roku. Datowania wieku skorupy spiekowej metodą TL, podobnie jak datowania najstarszych osadów wypełniających krater wykazały,

że meteoryt ten spadł pomiędzy 4100 a 2700 rokiem p.n.e. Ocenia się, że uderzenie o Ziemię nastąpiło z prędkością od 2 do 7 km/s pod bardzo niskim kątem. Kracher i in. zauważył wyjątkowo zbliżony skład chemiczny meteorytów Morasko i Seeläsgen i stwierdził, że najprawdopodobniej należą one do jednego spadku. Meteoryt Seeläsgen został odnaleziony przed rokiem 1847 przez rolnika kopiącego rów niedaleko jeziora Niestysz (dawniej Nieschlitzer See) koło Przełazów (dawniej Seeläsgen) na głębokości około 4 m.

Jeśli chodzi o pochodzenie Moraska i Seeläsgen z jednego spadku rozważa się transport przez ludzi albo duży obszar rozrzutu. Około 20 km na północny zachód od Poznania, koło Obornik, znaleziono podobno 2 meteoryty, ale zaginęły i nie ma żadnych wyników ich badań. Bartoschewitz i in. miał ostatnio możliwość (dzięki M. Grady / Natural History Museum w Londynie) sklasyfikowania meteorytu Tabarz i stwierdził, że prawdopodobnie pochodzi on z tego samego spadku, co Morasko i Seeläsgen. Meteoryt Tabarz, ważący początkowo ponad 10 kg, znalazł w 1854 r. pewien pasterz u podnóża Inselberg koło wsi Tabarz, około 16 km WSW od Gotha w Turynii. Jest to około 475 km WSW od Moraska. Niestety zachowało się tylko 55 g w różnych kolekcjach meteorytów. Aby potwierdzić możliwość, że te trzy meteoryty pochodzą z tego samego spadku, prócz chemii przeanalizowano metalografię. Różne okazy zebrane w Morasku mają dużą różnorodność utworów strukturalnych, z dobrze widocznymi figurami Widmanstättena po silnie zakrzywione pasma kamacytu, więc dyskusowanie o wspólnym spadku na tej podstawie nie wróży sukcesu. Z drugiej strony Tabarz, Seeläsgen i Morasko mają bardzo dużo rhabdytu. Rhabdyty w Tabarz są otoczone nierównymi obwódkami taenitu o szerokości 1–2 mm. To samo zjawisko jest typowe dla Seeläsgen, o czym wspomina już Buchwald. Większość rhabdytów w Morasku to wyraźne czworościenne pryzmaty bez widocznych obwódek taenitu. To jednak nie potwierdza odrębności spadku Morasko; odmienne zachowanie rhabdytu i taenitu może być wynikiem sztucznego ogrzewania. Obecnie po stwierdzeniu, że Tabarz może należące do jednego spadku z Morasko i Seeläsgen, stało się bardziej prawdopodobne, że miejsce znalezienia meteorytu Seeläsgen jest pierwotnym miejscem jego spadku. Kierunek Tabarz — Morasko przechodzi dokładnie przez Przełazy. Ten obszar rozrzutu byłby jednym z największych na świecie o długości 475 km i szerokości około 20 km. Korpikiewicz i Czegka preferują uderzenie z kierunku NNE. Zgodność Tabarz-Morasko-Seeläsgen i rozmieszczenie znalezionych meteorytów Morasko głównie ENE od grupy kraterów musi z pewnością oznaczać, że pierwotne ciała meteorytowe spadły z kierunku WSW.

Wspomniane informacje układają się w dość klarowny obraz wielkiej katastrofy, która wydarzyła się około 3000 p.n.e. Mogła ona spowodować śmierć nawet 50 – 70% wszystkich żyjących wówczas ludzi i przyczynić się do okresowego regresu kultury. Zdolności przystosowawcze człowieka, które ujawniły się w kolejnych stuleciach pokazały jednak, że nawet tak ogromne kataklizmy nie powstrzymały dalszego rozwoju. Suchy klimat, który nastał pod koniec IV tysiąclecia p.n.e. (w początkach III tysiąclecia p.n.e.) wymusił na mieszkańcach południowej Mezopotamii masowe stosowanie irygacji. Zastosowanie tej techniki przyczyniło się do takiego wzrostu plonów, że część społeczeństwa mogła zostać zwolniona z pracy na roli. Po początkowym

spadku populacji, spowodowanym kryzysem klimatycznym, nastąpił wzrost liczby ludności oraz zwiększyła się specjalizacja w rzemiośle. Wzrost produkcji zaowocował zwiększonym dobrobytem i niespotykanym wcześniej rozwojem handlu lądowego i morskiego. Ilość miast w tym czasie wzrosła, a ich charakterystycznym elementem stała się świątynia umieszczana na sztucznym wzniesieniu (pierwowzór zigguratu).

Suchy klimat doprowadził do erozji gleby na niektórych terenach Euroazji i Afryki i spowodował m.in. pustoszenie rejonu dzisiejszej Sahary, obejmującego prawie całą północną część Afryki, z wyjątkiem pasa wybrzeży śródziemnomorskich. Ludy pasterskie przeniosły się wówczas na południe do Sahelu i na Wyżynę Abisyńską, rolnicy skupili się w pobliżu Nilu. To właśnie w dolinie Dolnego Nilu powstało pierwsze znane nam starożytne państwo w Afryce – królestwo Egiptu, którego początki datowane są około 3000 rok p.n.e. Natomiast na obszarach wzdłuż Środkowego Nilu, o historycznej nazwie Nubii, pierwsze struktury państwowe rozwinęły się około 2500 roku p.n.e. W zachodniej Afryce od 2000 r. p.n.e. dominowały plemiona grupy Bantu. W I tysiącleciu p.n.e. rozprzestrzeniły się one wzdłuż rzeki Kongo na terytoria Afryki południowej i wschodniej, wypierając Pigmejów w głąb tropikalnych dżungli i Buszmenów na pustynie. W tych regionach, również w zachodniej części kontynentu i w strefie Sahary, w epoce starożytnej, do IV w. n.e., nie powstały żadne większe miasta ani ponadplemienne struktury państwowe. Pojawiły się one dopiero w IV – VI w., przy czym pierwszym państwem na południe od Sahary była Ghana, powstała na początku IV wieku.

Skutki kataklizmów dotknęły również ówczesne społeczeństwa Europy, gdzie doszło ponownie do okresowego ochłodzenia klimatu. W wyniku tych kataklizmów zapewne wiele z ludów musiało porzucić gospodarkę rolną i w późniejszym okresie na długo do niej nie wracać. Kolejna fala migracji na obszary Europy, tym razem ludów pasterskich, jest (datowana na okres 4500 – 2800 tys. lat p.n.e. Była to migracja ludów kultury grobów jamowych. Była to już migracja zbrojna miała charakter głównie męski. Pochodzenie tej grupy ujawniły najnowsze badania genetyczne.

Ostatni – znany nam – wielki kataklizm, do którego doszło pod koniec omawianego w tym rozdziale okresu, miał miejsce pomiędzy 2350/2200 rokiem p.n.e. W tym czasie na obszar Bliskiego Wschodu spadło ciało niebieskie, którego uderzenie przez krótki czas miało rzeczywisty wpływ na mieszkańców tego regionu świata. W tym okresie Bliski Wschód dotknęła katastrofalna susza. Nastąpiła seria wybuchów wulkanicznych, której śladem jest znajdowana we wszystkich krajach Azji Zachodniej warstewka pyłu wulkanicznego. Na wielu stanowiskach archeologicznych odkryto ślady rozległych pożarów, które ogarnęły nie tylko osiedla, ale także pobliskie stepy i lasy. Badania warstw archeologicznych w Tell Brak i Tell Leilan w Syrii pokazały, że po opadzie pyłu wulkanicznego i rozległych pożarach nastąpiły wielkie powodzie. Co charakterystyczne, w warstwach zniszczeń wykryto ślady pyłu kosmicznego i mikro-meteoroidów. Badaczom udało się nawet znaleźć potencjalny krater uderzeniowy powstały w wyniku tego kataklizmu. Jest nim jezioro Umm al Binni w południowym Iraku, 45 km na północny zachód od ujścia Tygrysu i Eufratu. Jezioro ma kształt zbliżony do koła, o szerokości 3,4 km i maksymalnej

głębokości 3 m., a otaczające je utwory geologiczne są młode, nie starsze niż pięć tysięcy lat.

Brak pism opisujących to wydarzenie przez znanych autorów, takich jak Herodot (484 – 425 p.n.e.) i Nearchus (360 – 300 p.n.e.), lub późniejszych historyków sugeruje, że do wspomnianego impaktu mogło dojść znacznie wcześniej, może w latach 2000 – 2006, lub 3000 p.n.e. W tym okresie region Al Amarah zajmował obszary znajdujące się dziś około 10 metrów poniżej wód Zatoki Perskiej. Tsunami wywołane uderzeniami prawdopodobnie zniszczyły przybrzeżne miasta Sumeru. Może to stanowić alternatywne pochodzenie 2,6-metrowej warstwy osadu, odkrytej podczas wykopalisk w sumeryjskim mieście Ur przez Leonarda Woolleya w latach 1922 – 1934. Fragmenty „Epopiei Gilgamesza” (około 1600 – 1800 p.n.e.) mogą opisywać taki wpływ i tsunami, sugerując powiązanie z potopem sumeryjskim:

... a siedmiu sędziów Piekła, Annunaki, podniosło pochodnie, oświetlając ziemię swoim płomieniem. Oszłomienie rozpaczy podniosło się do nieba, gdy bóg burzy zamienił światło dzienne w ciemność, gdy roztrzaskał ziemię jak kubek. Pewnego dnia szalała burza, wściekając się, gdy szła, rozlewała się na ludzi jak fale bitwy; człowiek nie widział swojego brata ani ludzi z nieba. Nawet bogowie byli przerażeni potopem, uciekli na najwyższe niebo, na firmament Anu; przykucnęli pod ścianami, kuląc się jak zakłęcia.

Zaproponowano, że nagłe zmiany klimatu i katastroficzne wydarzenia około 2200 r. p.n.e. (w tym upadek cywilizacji sumeryjskiej) mogą być powiązane z uderzeniem komety lub asteroidy. Jedna z hipotez zakłada związek tego impaktu ze wspomnianym wyżej, domniemanym kraterem Umm al Binni. Ten impakt mógł wytworzyć energię równą tysiącom bomb Hiroshimy. Używając równań opisujących wpływ uderzenia w oparciu o prace Collinsa i innych, Shoemaker, Glasstone & Dolan i innych, Hamacher ustalił, że uderzający bolid wytworzyłby energię w zakresie od 190 do 750 megaton TNT (odpowiednio dla asteroidy i komety). Dla porównania oszacowano, że wydarzenie Tunguska ma siłę wybuchową około 10–15 megaton. Wynik Hamachera zależy od gęstości, wielkości i prędkości uderzenia impaktora. Aby wyprodukować krater uderzeniowy o wymiarach jeziora Umm al Binni, asteroida Ni-Fe (gęstość = $7860 \text{ kg} / \text{m}^3$, $v = 15 \text{ km} / \text{s}$) miałaby około 100 m średnicy, podczas uderzenia komety (gęstość = $500 \text{ kg} / \text{m}^3$, $v = 25 \text{ km} / \text{s}$) miałaby średnicę od 200 do 300 m. Wynikające z tego skutki uderzenia spowodowałyby ogromne zniszczenia na obszarze o powierzchni tysięcy kilometrów kwadratowych, ale same w sobie nie byłyby wystarczające, aby spowodować szkody na dużą skalę widoczne na odległościach przekraczających ~ 100 kilometrów od uderzenia, a zatem nie mogły być odpowiedzialnym za wiele bardziej odległych niszczycielskich efektów. Chociaż w literaturze opublikowano dużą liczbę poszlak sugerujących, że Umm al Binni jest kraterem uderzeniowym, nie przeprowadzono żadnej analizy na miejscu, głównie z powodu obecnej niestabilnej i niebezpiecznej sytuacji w Iraku.

Niektórzy badacze wiążą ze zmianami klimatycznymi, jakie zaczęły się około 2200 roku p.n.e. i trwały aż ok. 300 lat, upadek państwowości Akadów. *Akadowie zaadoptowali się do życia w suchym regionie, zależni byli jednak od*

okresowych opadów deszczu, które nawadniały pola. Kiedy zmienił się klimat regionu i opady się nie pojawiały masowo opuszczali miasta i kwitnące imperium zaczęło się rozpadać. Z północnej Mezopotamii emigracja kierowała się na południe, w stronę rejonów leżących nad Eufratem, gdzie woda była bardziej dostępna. Susza miała jednak szeroki zasięg. Na południe ciągnęli, więc także „barbarzyńcy z północy” – jak pisano o nich na glinianych tabliczkach odnalezionych w tym regionie. Do tego stopnia wyczerpywali oni niezbyt obfite zasoby wody, że miasta, do których przybył również znalazły się na skraju upadku – pisze Dong Macdougald.

Warto poddać analizie pojęcie „Akadowie”, jakim posługuje się wspomniany historyk. Przecież nie naród Akadów, raczej warstwa, elita panująca. Struktura społeczna i kulturowa tego państwa była bardzo złożona. Klimat mógł zapewne wpłynąć na długotrwały kryzys gospodarczy, konieczność zmiany formy gospodarki (upowszechnienie irygacji). Powinniśmy odejść od języka przyjętego przez zafascynowanych ówczesną kulturą historyków. Ich uproszczenia wprowadzają wiele zamętu.

Wspomniani „barbarzyńcy z północy” to przypuszczalnie Gutejowie. Warto jednak zastanowić się głębiej nad hipotezami Donga Macdougalla. Autor ten uważa, że Akadowie w ciągu swego trwającego około sto dwadzieścia lat panowania w „Sumerze” *zaadoptowali się do życia w suchym regionie*. Wcześniej, gdy przejmowali władzę, klimat był bardziej korzystny. Jak wiemy, przybyli oni do Mezopotamii z Półwyspu Arabskiego i narzucili panowanie ludności tego regionu. Zapewne wąska grupa panujących zaadoptowała się do nowego społeczeństwa, jednak susza mogła spowodować znaczący spadek plonów, a co za tym idzie rezerw żywności, co wpłynęło na problemy utrzymania armii. Zmiana klimatu mogła też wpłynąć na zmniejszenie populacji na Półwyspie Arabskim i utrudnić rekrutację wojsk z tego regionu. Pojawia się pytanie, na ile Akadyjczycy wtopili się w tym stosunkowo krótkim okresie (od około 2350 roku do roku 2216 p.n.e.) w społeczeństwo ludów, którym narzucili władzę? Patrząc jeszcze głębiej, pytanie możemy poszerzyć, na ile ujednolicone było społeczeństwo podbite wcześniej przez Sumerów, którzy panowali w Mezopotamii w tzw. okresie „starosumeryjskim”? Moim zdaniem czas panowania władców akadyjskich był zbyt krótki, by mogło w tym czasie dojść do pełnego zniwelowania różnic kulturowych między nimi a ludnością zależną i poddaną. Tym bardziej, że czasie ich panowania wciąż trwał napływ innych ludów (głównie zatrudnianych w armii, ale i jeńców, którzy byli osadzani w granicach miast-państw Sumerów). Większość historyków dała się zwieść polityce historycznej kolejnych władców tego regionu, którzy w celu legitymizacji swej władzy odwoływali się do wcześniejszych idei, a przecież posiadamy informacje źródłowe. Anonimowy poeta-historyk z okresu akadyjskiego mówił: *oto Naramsin nie słuchał słów Enlila, pozwolił, by jego żołnierze wdarli się do Kur, świątyni boga w Nippur. Naramsin zburzył budowle Kur miedzianymi toporami i siekierami, popełnił wiele świętokradztw, obrabował magazyny świątyni, zagarnął skarby Nippur i przewiózł je do Agape. Rozgniewało to Enlila, który jest „wściekłą powodzią”, gdyż zbezczeszczonej został jego dom. Zwrócił, więc Enlil swe spojrzenie ku górom i sprowadził z nich Gutejczyków*. Jeśli połączymy wypowiedź akadyjskiego poety z naszą wiedzą o trudnościach władców z utrzymaniem armii, o innych buntach żołnierzy (z różnych okresów historycznych) w monarchiach na terenach Chin, Egiptu, Europy aż do czasów

nowożytnych, to kwestia kryzysu i upadku państwa Akadyjczyków stanie się zrozumiała. Uważam, że należy odrzucić tezę o ciągłości tzw. cywilizacji Sumerów, tym bardziej ciągłości państwowej i tzw. dynastycznej w Mezopotamii.

Zauważmy, że anonimowy poeta-historyk potwierdza również hipotezę o klęskach żywiołowych tego okresu; pisał: *wielkie pola i łąki nie rodziły zboża; rybne stawy nie dostarczały ryb; nawodnione sady nie dawały miodu ni wina.*

Rozdział XVI

Zmiany klimatyczne i kulturowe w świecie od II tysiąclecia p.n.e. do połowy I tysiąclecia n.e.

Po raz chyba kolejny chciałbym tu podkreślić, że wszelkie przyjmowane przeze mnie podziały na epoki czy okresy, mają wyłącznie charakter porządkowy. Inaczej zapewne pogubilibyśmy się w gąszczu informacji. Oczywiście podziały te są bardzo płynne, oparte są tylko na kilku wybranych faktach lub wydarzeniach. Opisywana rzeczywistość była bardzo zmienna, złożona, analizując ją jednak w perspektywie tysięcy lat dostrzegamy wydarzenia o skali szczególnej. Takie miały miejsce już na początku II tysiąclecia p.n.e. I tym razem wydarzeniami, które miały szczególny wpływ na kształt świata, a także naszą historię były wielkie kataklizmy.

Upadki asteroid i komet

Dotychczas udało się zidentyfikować ślady zaledwie kilku stosunkowo dużych upadków asteroid lub komet, dla tego okresu. W okolicach miejscowości Campo del Cielo w Argentynie odkryto krater o średnicy 3 kilometrów. Bez wątplenia jest on śladem potężnej eksplozji, którą wywołał żelazny meteoryt, którego upadek datowany jest na ok. 2000 lat p.n.e. Spadł na ziemię jako część ogromnej asteroidy ważącej 840 ton. Uważa się, że obiekt ten był małą planetoidą z grupy Apolla, która weszła w atmosferę ziemską i rozpadła się na części. Część badaczy uważa, że fakt, że jest to meteoryt żelazny wskazuje, że pochodzi z jądra planetoidy, gdyby był skalisty pochodziłby z jej powierzchni. Później odkryto, że deszcz meteorytów żelaznych, które spadły w okolicy

Campo del Cielo (prowincja Chaco Argentyna) utworzył wzdłuż 18-kilometrowej osi ponad 20 kraterów; znajdują się one w eliptycznym obszarze o wymiarach $18,5 \times 3$ km. Kratery mają niewielkie rozmiary, największy z nich ma średnicę około 60 m. Cztery największe kratery są położone w pobliżu centrum obszaru i powstały prawdopodobnie na skutek typowego uderzenia meteorytu w ziemię, które oprócz wybicia krateru rozerwało także sam meteoryt. Spod den dwóch mniejszych kraterów zostały wydobyte wielotonowe fragmenty meteorytów, które wyryły w dnie długie, relatywnie wąskie tunele (o średnicy podobnej do samego meteorytu). Ta nietypowa charakterystyka wskazuje, że kratery te zostały utworzone w lessach przez falę uderzeniową związaną z upadkiem, podczas gdy sam meteoryt w momencie zetknięcia z ziemią zdążył już zwolnić do prędkości poddźwiękowej i wbił się w nią. Największy, ważący około 31 ton meteoryt nazwano Gancedo, od znajdującego się nieopodal miasta. Upadek meteorytów na Campo del Cielo miał miejsce w czasach, gdy tereny Chaco były zamieszkane przez ludzi i zachował się w pamięci Indian. Gdy na ziemie te przybyli konkwistadorzy, mieszkańcy Chaco opowiedzieli im o żelazie, które spadło z nieba i zaprowadzili na miejsce, gdzie spoczywał około czternastotonowy meteoryt, nazwany przez Hiszpanów *Mesón de Fierro* („Stół z żelaza”). Był on miejscem pielgrzymek Indian, wyznających kult solarny i wierzących, że meteoryt ten jest fragmentem Słońca. To przykład tego, jak ludzie nie potrafiąc zrozumieć istoty zjawisk przyrodniczych próbowali „oswoić” je przez religię.

Z tego samego okresu pochodzi zespół kraterów z Henbury w Australii, który rozciąga się na powierzchni 0,5 kilometra kwadratowego. Na tym terenie można znaleźć liczne kawałki żelaza, niklu i szkliwa szokowego, które powstało w wyniku uderzenia meteorytu w grunt. Świadcami impaktu były miejscowe plemiona Aborygenów, które ułożyły potem mity o przejściu przez okolicę Tęczowego Węża, ich głównego bóstwa, który spalił całą okolicę.

Kolejne wielkie kataklizmy tego tysiąclecia miały miejsce pod koniec jego pierwszej połowy. Naukowcy przekonują, że jednej z najśłynniejszych biblijnych historii dał początek meteoryt, który około 1700 roku p.n.e. eksplodował nad Morzem Martwym, zabijając przy tym tysiące ludzi. Meteoryt pozostawił po sobie całkiem spory – mający 25 km średnicy – ślad na terenie dzisiejszej Jordanii. Zdaniem badaczy meteor eksplodował z siłą 10-megatonowej bomby atomowej na wysokości około 1 kilometra nad północnowschodnim rogiem Morza Martwego. Doprowadziło to do zniszczenia tamtejszej cywilizacji w obrębie 25 kilometrów. W jego centrum archeolodzy badają pozostałości Tall el-Hammam. Archeologiczne badania trwają tam już ponad 13 lat. Zebrane dotychczas dowody są na tyle silne, że przekonały wielu uczonych, że to właśnie Tall el-Hammam jest biblijną Sodomą. Tak uważają m.in. Phillip Silvia i Steven Collins z Trinity Southwest University (w Albuquerque w Nowym Meksyku), którzy wyniki swoich analiz przedstawili podczas odbywającego się w Denver tegorocznego kongresu American Schools of Oriental Research. Zgodnie z wypowiedzią jednego z archeologów, Phillipa Silvia ich badanie polegało na analizie gleby zlokalizowanej na okrągłej równinie położonej na północ od morza Martwego, znanej jako Środkowy Ghor (nie mylić z prowincją Ghor w Afganistanie). Jest to dość szczególne miejsce, ponieważ zgodnie z obecną wiedzą, to właśnie tam znajdowały się miasta Sodom i Gomora.

Naukowcy zauważyli, że wykonane z cegieł ściany i mury niemal wszystkich budynków nagle zniknęły przed około 3700 lat p.n.e. Pozostały tylko kamienne fundamenty. Co więcej, zewnętrzne ścianki wielu glinianych naczyń zostały stopione. W szklistych pozostałościach w ciągu zaledwie sekundy uformowały się kryształy cyrkonu. Wskazuje to na działanie niezwykle wysokich temperatur. Pojawił się też bardzo silny wiatr, który doprowadził do powstania niewielkich sfer z rozbitej ceramiki, które jak deszcz opadły na Tall el-Hammam. Okazało się, że próbki gleby i minerałów pobrane z obszaru 25 kilometrów średnicy od centrum Środkowego Ghoru przejawiały ślady natychmiastowego skryształizowania. Coś takiego może mieć miejsce jedynie w wypadku nastania ogromnych temperatur takich jak te w przypadku eksplozji meteorytu, która niemalże natychmiastowo spopieliała wszystko w promieniu kilku kilometrów. Wykopaliska wykazały, że badany przez nich obszar, należący obecnie do terytorium Jordanii był zamieszkiwany przez blisko 2500 lat zanim doszło do wykrytej anihilacji około 65 tysięcy ludzi. Uważa się, że ze względu na zdarzenie, które miało wtedy miejsce, Morze Martwe nagle zatopiło ten obszar i uczyniło go niezdatnym do zamieszkania (po wycofaniu się morza) przez ponad 700 lat. Tyle czasu potrzeba było, aby gleba zdołała wystarczająco *wyzdrowieć* ze zniszczeń i zanieczyszczenia gleby, by kolejne społeczeństwa mogły ponownie osiedlić się na tym obszarze. Zostało startych z powierzchni Ziemi wiele ludów, w tym miasto-państwo z okresu środkowej epoki brązu zbudowane przez Tall el-Hammam – w Środkowym Ghorze (okrągłej równinie o średnicy 25 km na północ od Morza Martwego). Archeolodzy nie podpierają się oczywiście jedynie wynikami badań gleby, ale również faktycznymi pozostałościami po tamtej epoce. Na miejscu, natrafili oni liczne pozostałości po glinianych naczyniach stopionych na szkło czy też fragmentach minerałów wbitych w ich powierzchnię przez niezwykle silne podmuchy wiatru. Liczne dowody sugerują, że doszło wówczas do kataklizmu podobnego do katastrofy tunguskiej. Trafiając jednak na obszary zaludnione, na których rozwijała się cywilizacja, kataklizm ten przyniósł znacznie większe od tej ostatniej straty.

Mniejszych i większych impaktów w tym okresie było zapewne więcej, mam nadzieję, że w najbliższym czasie uda się odkryć ich ślady i połączyć je z ówczesnymi wydarzeniami. Meteoryt Bacubirito to największy meteoryt znaleziony w Meksyku, drugi co do wielkości w obu Amerykach i piąty co do wielkości na świecie. Znaleziony w 1863 r. przez geologa Gilberta Ellisa Baileya w miejscowości Ranchito w pobliżu miejscowości Sinaloa de Leyva. Jest to meteoryt żelazny o masie od 20 do 22 ton. Mierzy 4,25 metra długości, 2 metry szerokości i 1,75 metra wysokości. Nie znalazłem informacji o czasie jego upadku, ale pojawiają się sugestie, że do jego upadku doszło właśnie w omawianym okresie.

Wulkanizm

Erupcja Thery (1627 p.n.e. lub około 1500 p.n.e.)

Wyspa Thera (dziś zwana Santorynem) na Morzu Egejskim znajduje się niemal w samym środku akwenu wyznaczonego południowo-wschodnimi

wybrzeżami Grecji kontynentalnej, zachodnim brzegiem Azji Mniejszej oraz Kretą na południu. Od każdego z tych lądów wyspę dzieli od około stu do stu kilkudziesięciu kilometrów. Takie jej usytuowanie miało niewątpliwie korzystny wpływ na rozwój gospodarczy i znaczenie tutejszej społeczności w czasach dominowania w zachodnim basenie Morza Śródziemnego kultury minojskiej, z jej głównym ośrodkiem na Krecie. Mieszkańcy Thery – jak dowodzą odkrywane na niej od XIX wieku malowidła ściennie – trudnili się żeglugą (rozbojem morskim?), rybołówstwem i uprawami rolnymi, ale też spędzali czas na zabawach i uprawianiu sportu. Dowodzą tego odkryte niedawno malowidła z domów, które zostały zniszczone w czasie tego kataklizmu; zostały przykryte grubą warstwą pyłów. Ich styl, piękna forma i treści są właściwie identyczne z freskami kreteńskiego pałacu w Knossos. Podobnie – odnalezione naczynia ceramiczne bądź ich fragmenty.

Nieszczęście nadeszło zapewne ok. 1613 roku p.n.e. Coraz bardziej szczegółowe badania, które prowadzi się od lat po dziś dzień, pozwalają z dużym prawdopodobieństwem ustalić, że wybuch wulkanu, który wtedy właśnie nastąpił, poprzedziły trzęsienia ziemi, trwające dostatecznie długo, aby większość zaniepokojonych mieszkańców zdążyła wsiąść na okręty i ruszyć na najbliższej (również w sensie geograficznym) położoną Kretę. Nie wiemy jednak, czy ocaleli. Sugestywne symulacje komputerowe pokazują, że zanim dotarli do kreteńskich wybrzeży, mógł ich pozbawić życia opad rozżarzonych skał, pumeksu i pyłu, mogła zatopić ich statki ogromna fala tsunami sięgająca 200 metrów wysokości, a nawet zabójczy spływ piroklastyczny, który z ogromną szybkością rozprzestrzeniał się po powierzchni morza. Wszystko to zresztą błyskawicznie dotarło na Kretę, jej wybrzeża okazały się pułapką, a zniszczenia nie ominęły nawet Knossos.

O potęgę wybuchu wulkanicznego świadczy przede wszystkim ogromna kaldera, sięgająca średnicy 10 kilometrów, o głębokości od 300 do 400 metrów pod powierzchnią morza. Warstwa pumeksu, jaki zalega na dnie, ma grubość nawet do 80 metrów. Cały środek wyspy został dosłownie wyrwany i wyrzucony w powietrze pod postacią skał, pyłów, gazów i wylewu magmy. Z jednej wyspy powstały trzy znacznie mniejsze (Thira – główna, Tirasia i Nea Kamani – z kraterami wulkanu) oraz dwie wręcz mikroskopijne (Palea Kamani i Aspronisi). Zdaniem dr. Stevena Careya z University of Rhode Island, popiół wulkaniczny zasnuł niebo nad całym basenem Morza Śródziemnego, a jego kubatura wynosiła 300 kilometrów sześciennych (ponad pięć razy więcej niż Krakatau w 1883 roku). Szacuje się też, że objętość wyrzuconej magmy wynosiła 60 kilometrów sześciennych.

W tym czasie dochodziło też do wielu mniejszych erupcji na różnych obszarach, np. stratowulkanu Nevado de Toluca (indiańska nazwa Xinantécatl) ok. 3300 lat temu.

Problemy datowania

Ustalenia historyków odnoszące się do daty erupcji Thery, starających się połączyć znane skądinąd fakty w jakąś spójną całość (nawet posługując się

metodą izotopu węgla radioaktywnego ^{14}C), oraz wyniki nowoczesnych badań dendrologicznych zastosowane przez innych uczonych, rozminęły się ze sobą. Dendrolodzy i wulkanolodzy stwierdzili ponad wszelką wątpliwość, że słoje długowiecznych drzew ukazują krótkotrwałe ochłodzenie klimatu będące skutkiem erupcji wulkanicznych.

Już w XIX wieku podczas wydobycia popiołu wulkanicznego potrzebnego do budowy Kanału Sueskiego natrafiono w wiosce Akrotiri na Santorynie na mury domów i przeprowadzono pierwsze wykopaliska. Prace te miały miejsce również w XX wieku. W latach 80. XX wieku wulkanolodzy oraz dendrolodzy wykryli zależność pomiędzy wielkimi erupcjami wulkanicznymi, a krótkotrwałymi ochłodzeniami klimatu powodującymi przedwczesne przymrozki. Pozostawiają one widoczne ślady w słojach drzew pochodzących z roku erupcji lub z roku następnego. Po odkryciu długowiecznych okazów, dożywającej nawet 4600 lat (!), sosny ościstej, w Ameryce Północnej udało się ustalić, iż jedyna potężna erupcja w II. tysiącleciu p.n.e. miała miejsce w roku 1627 (± 1 rok) p.n.e. Godnym uwagi jest fakt, iż według wulkanologów wybuch Thery był dwukrotnie potężniejszy od erupcji Krakatau.

Już w XXI wieku, w 2008 r., Dr Walter Friedrich z duńskiego Uniwersytetu w Aarhus oraz dr Walter Kutschera z austriackiego Uniwersytetu Wiedeńskiego badali próbki gałęzi drzewa oliwnego, posiadającej 72 pierścienie rocznego przyrostu. Dwa drzewa oliwne zostały odnalezione podczas wykopalisk na wyspie Santoryn w pobliżu muru zbudowanego w epoce brązu. Zdaniem naukowców, drzewa były częścią gaju oliwnego znajdującego się tuż obok zabudowań starożytnej osady. Drzewa zostały odsłonięte w pozycji stojącej, tak jak zostały przykryte przez pumeks, skałę wylewną powstałą po szybkim zakrzepnięciu lawy podczas erupcji wulkanu. Badania wspomnianych badaczy wykazały, że wielka erupcja wulkanu na Thera nastąpiła 1613 (± 10 lat) p.n.e. Data dostarczona przez dendrochronologię potwierdziła, więc wcześniejsze przypuszczenia wulkanologów datujących erupcję na XVII wiek p.n.e. Minimalna różnica między wynikami badań śródziemnomorskiego drzewa oliwnego i amerykańskiej sosny ościstej mogłaby wynosić zaledwie 3 lata (odpowiednio lata 1623 oraz 1626 p.n.e.), zaś maksymalna – ćwierć wieku (odpowiednio lata 1603 i 1628 p.n.e.).

Obojętnie, którą z tych dat byśmy przyjęli, z wyznaczeniem schyłku XVII wieku p.n.e. jako czasu rozerwania Thery przez wulkan nie godzą się ci egiptolodzy, którym burzy to całą, misternie ułożoną chronologię historii starożytnego Egiptu, z ustaleniem początku Nowego Państwa na 1570 rok p.n.e. włącznie.

Popioły pochodzące z wybuchu wulkanu Thera zostały odkryte przez archeologów w warstwie zwanej IA (terminologia archeologii egejskiej) związanej z okresem późnominojskim. Na podstawie podobieństwa ceramiki pochodzącej z okresu udało się ustalić, że erupcja miała miejsce za rządów egipskiego króla Ahmosea (Jahmesa) lub nieco później (XVIII. dynastia). Manfred Bietak podczas wykopalisk w Tall ad-Dab (Izbat Hilmi) odkrył ponadto pumeks w kontekście stratygraficznym datowanym na okres pomiędzy panowaniem Ahmosea a Totmesa III. Ponieważ chronologia starożytnego Egiptu została ustalona już wcześniej na podstawie kalkulacji dokonanych w

oparciu o tzw. cykl Sotisa, egiptolodzy założyli, iż wybuch na Santorynie miał miejsce w II. połowie XVI wieku p.n.e. Jednakże próbki materiału pochodzącego z erupcji poddane analizie metodą ^{14}C umiejscawiały erupcję w okresie 1760 – 1540 p.n.e. ze wskazaniem na okres wcześniejszy.

Podczas Trzeciego Międzynarodowego Kongresu poświęconemu erupcji Thery uczestnicy założyli, iż omawiane zdarzenie miało miejsce w I połowie XVII wieku p.n.e. Wnioski wulkanologów zostały jednak stanowczo odrzucone przez egiptologów, którzy nie zamierzali zmieniać ustalonej chronologii egipskiej wskazując na małą wiarygodność datowania za pomocą metody węgla radioaktywnego.

Efekty wszystkich badań nie są jeszcze znane. Gdyby jednak szacunki radiowęglowe się potwierdziły, to chronologia starożytnego Egiptu wymagałaby dużej przebudowy. Należy przy tym zaznaczyć, że zmiana chronologii starożytnego Egiptu oznaczałaby zmianę całej chronologii starożytnej dla II. tysiąclecia p.n.e.

Skutki erupcji Thery

Wbrew temu, co się do niedawna sądziło – i niekiedy nadal głosi – kataklizm nie spowodował natychmiastowej zagłady kultury minojskiej. Trwała jeszcze niemal dwa stulecia, ale jej znaczenie malało, aż zanikła po podboju dokonanym przez Mykeńczyków z Grecji. Z pewnością wybuch wulkanu dotknął ją mocno i przyczynił się w końcu do upadku, ale miał miejsce wcześniej niż w XVI wieku p.n.e., jak przyjmowali to egiptolodzy.

Wybuch wulkanu przyczynił się prawdopodobnie również do znacznego zniszczenia położonej ponad 110 km (60 mil morskich) na południe Krety (pałac w Knossos). Współcześni badacze przypuszczają, że wybuch wulkanu i późniejsze jego zapadnięcie się na ok. 300 – 400 m pod powierzchnię obecnego poziomu morza spowodował powstanie olbrzymiej fali tsunami o wysokości dochodzącej do 150 a nawet 200 metrów.

Zniszczenia bezpośrednie na samej wyspie nie były spektakularne. Podczas wykopalisk w wiosce Akrotiri nie odnaleziono ani jednego ciała, zaledwie jedno zostało wykopane na brzegu Thirassii, drugiej, co do wielkości, wyspy archipelagu. Nie powinno to jednak dziwić, potężna fala tsunami mogła zabrać zwłoki ze sobą. Zabójcze okazały się również wtórne skutki kataklizmu. Epicentrum wybuchu było zlokalizowane na północ od istniejącej dziś wysepki Nea Kameni. Słup dymu i popiołów sięgał 35 kilometrów, a środkowa część lądu zapadła się, tworząc kalderę o średnicy 10 kilometrów. Tak chętnie odwiedzana dziś wyspa Santorini jest wystającym nad powierzchnię wody zboczem wulkanu. Pokrywa ją 60-metrowa warstwa materiału piroklastycznego, wyrzuconego z wnętrza Ziemi. Wyróżniają się w niej trzy warstwy wskazujące na kolejne etapy erupcji. Na Anafi, wyspie leżącej 27 kilometrów na wschód, warstwa pumeksu pokryła zbocza na wysokości 250 metrów. Podczas archeologicznych badań egipskiego fortu Tharo na półwyspie Synaj odkryto domy i grobowce przysypane kawałkami zastygłej lawy. Wiatr przyniósł je tutaj z

odległości 1100 km! Wdarła się w głąb Krety położonej 110 km na południe. Wreszcie uwolnione do atmosfery masy dwutlenku siarki spowodowały spadek temperatury, zniszczenie upraw, a co za tym idzie dotkliwy deficyt żywności w ciągu co najmniej kilku lat. Trzeba było aż 500 lat, by kolejni osadnicy – greccy Dorowie – zdecydowali się osiąść na wulkanicznych zgliszczach Santorini.

Jedną z hipotez utożsamia zniszczenie wyspy z mityczną Atlantydą. Zdaniem dr Stevena Careya z University of Rhode Island z krateru wytrysnęło tak wiele popiołu, że opadając zasłonił on dopływ promieni słonecznych na całym obszarze basenu Morza Śródziemnego – co najmniej 300 tys. kilometrów kwadratowych. Jeszcze dziś pumeks wulkaniczny wokół archipelagu Santorin tworzy warstwę grubości 80 m i pokrywa dno oceaniczne w promieniu 20 – 30 km od wysp. Naukowcy oszacowali, że wulkan wyrzucił z krateru 60 km sześciennych magmy.

Wybuch Thery był punktem zwrotnym w historii cywilizacji europejskiej i Bliskiego Wschodu. Ogromna fala tsunami doprowadziła niewątpliwie do straszliwych zniszczeń w basenie Morza Śródziemnego, późniejsze skutki klimatyczne również były bardzo znaczne. Być może cała kultura śródziemnomorska poszłaby zupełnie inną drogą, gdyby nie straszliwy w skutkach wybuch wulkanu Thera. Bezpowrotnie zmienił on polityczny krajobraz wschodniej części basenu Morza Śródziemnego, a ekologiczne skutki dały się odczuć nawet w odległych zakątkach globu. Dosięgły Chin, prawdopodobnie także Ameryki Północnej, a nawet Antarktyki. Wielu badaczy twierdzi, że erupcja przyniosła kres kultury minojskiej, inni łączą ją z dziesięcioma plagami egipskimi opisanymi w Starym Testamencie.

Nie wykluczam, że z kataklizmem Thery można łączyć tajemnicze podziemne miasta odkryte w Kapadocji (w Turcji). Szereg podziemnych miast m.in. Derinkuyu, Kaymakli oraz Nevsehir, łącznie zlokalizowano aż 200 podziemnych „jednostek mieszkalnych” pomiędzy miastami Kayseri, a Nevsehir. Do dziś mieszkańcy tamtych stron swoje domostwa zakładają w wydrążonych przez siebie jaskiniach. Ponieważ materiał skalny jest dosyć miękki, z drążeniem nie ma większego problemu. Podziemne miasto leżące w prowincji Nevşehir Derinkuyu, datowane jest oficjalnie na 700 – 800 lat p.n.e., choć istnieją hipotezy, że miasto mogło powstać wcześniej, 2000 – 1500 lat p.n.e., kiedy na ziemiach Anatolii panowali Hetyci. Jego pomieszczenia znajdują się na wielu poziomach, z których najniższe są na głębokości 60 m. Szacuje się, że w podziemnych domach mogło zmieścić się nawet 20 tys. ludzi ze zwierzętami i zapasami żywności. Łącznie przebywać tam mogło nawet do 10.000 ludzi + bydło. Niektóre źródła podają liczbę 30.000 mieszkańców. Wewnątrz znajdowały się pionowe tunele, łączące ze sobą pomieszczenia mieszkalne, świątynie, stajnie, cmentarz, prasa winna, a nawet studnia. Jak więc dowiadujemy się, w Derinkuyu nie mamy do czynienia z prymitywną pieczarą, lecz zaawansowaną jednostką mieszkalną przeznaczoną nie tylko do przeżycia niesprzyjających warunków panujących na zewnątrz, lecz prowadzenia, komfortowego, jak na tamte czasy życia. Prawdziwie niesamowity jest system wentylacyjny zastosowany w kompleksie. Budowniczości umieścili bowiem 15000 kanałów wentylacyjnych, które zapewniały przepływ świeżego powietrza w całej konstrukcji. Latem wewnątrz utrzymywała się temperatura 15 °C,

natomiast zimą temperatura powietrza spadała do 7 °C. Najniższe pomieszczenia znajdują się 85 metrów pod powierzchnią ziemi. Wspomnieć należy, że podziemne miasto zbudowane jest poziomowo, tak jak np. bloki mieszkalne. Naukowcy przebadali 20 poziomów, ale zakładają, że może występować, nawet do 40 pięter. Do wnętrza miasta prowadziły trzy wejścia. W korytarzach umieszczono ogromne, 500 kilogramowe okrągłe kamienie (na kształt kamieni młyńskich), które pełniły rolę drzwi obrotowych. Gdy nadchodziło zagrożenie, kamień przesuwano w stronę otworu wejściowego, tworząc zapórę nie do przejścia, zważywszy na fakt, że drzwi otworzyć i zamknąć można było tylko z jednej strony. Derinkuyu połączone jest ponadto, z innym miastem korytarzem o długości 8 kilometrów. Przyjmuje się, że Derinkuyu pełniło również rolę obronną przed najeźdźcami. Z kompleksu korzystali później m.in. Chryścianie. Na temat podziemnych pomieszczeń zrobiło się głośno w 1963 roku, gdy odkrył je przypadkowo, podczas poszerzania własnego mieszkania, mieszkaniec (rolnik) Kapadocji. Pod twierdzą w Nevşehir w środkowej Turcji odkryto podziemne miasto, które według wstępnych ocen jest największym takim miejscem na świecie. Podziemne pomieszczenia odkryto w 2013 r. Obszar wykopalisk jest szacowany na 460 tysięcy metrów kwadratowych (65 boisk piłkarskich), a jego wysokość sięga 113 metrów. Tunele są zlokalizowane w obrębie stożkowego wzgórza zwanego Fortecą Nevşehir i rozciągają się na długość 7 kilometrów. Archeologowie zakładają, że miasto było siedzibą wspólnoty rolniczej, która zamieszkiwała te tereny 5000 lat temu.

Datowanie podziemnych struktur jest bardzo kontrowersyjne. W zasadzie nie można, w ścisłym naukowym pojęciu, określić dokładnego wieku ruin. Takie, a nie inne szacowanie wieku podziemnego miasta (VIII w. p.n.e. w przypadku Derinkuyu) związane jest z dopasowaniem do odpowiedniej grupy ludności, która mogła ewentualnie stworzyć podobne formacje. Oficjalnie przyjmuje się, że Hetyci byli na tyle zaawansowani cywilizacyjnie, by wydrążyć w skale tak skomplikowany system tuneli. Jak wiemy jednak, mieszkańcy prehistorycznej Turcji w niczym nie ustępowali Hetytom. Dlaczego więc, miasto nie mogło powstać znacznie wcześniej? Aby zgłębić tajemnicę należy odnieść się do Vendidad – zbioru bardzo starych tekstów, które wchodziły w skład Awesty – świętych podań Zaratusztrianizmu, religii monoteistycznej rozwiniętej na terenie Iranu ok. 1000 lat p.n.e. Awesta powstała według badaczy nawet w 2 tysiącleciu p.n.e. W jednym z podań przytoczona jest opowieść/mit/legenda na temat głównego boga zoroastycznego o imieniu Ahura Mazda.

Kapadocja była podległa i podzielona przez władców imperium perskiego w 546 r. p.n.e. Dlatego też mitologia perska dotyczy Anatolii. Mit podaje, że perski król Yima/Jima, miał zbudować system podziemnych korytarzy z rozkazu perskiego bóstwa Ahura Mazdy. Działania te, miały ochronić ludzkość przed skutkami napadu przez demona Ahyrnana. Istota ta, identyfikowana może być również z epoką lodowcową, co można wywnioskować ze wspomnianego mitu.

Moim zdaniem, ochłodzenie to można datować na pierwszą połowę 2 tysiąclecia p.n.e. i czas wędrówek Ariów. Przyczyną tego ochłodzenia była erupcja Thery, choć nie wykluczam innego kataklizmu bliższego przełomu 3 i 2 tysiąclecia, które spowodowało wędrówki Ariów.

Subkontynent Indyjski (od roku 2000 p.n.e. do X wieku p.n.e.)

Podobnie jak na Bliskim Wschodzie i w Mezopotamii na rozwój społeczeństw Subkontynentu Indyjskiego znaczny wpływ wywarły najazdy ludów koczowniczych, w tym wypadku, Ariów. Nie była to jedna zorganizowana akcja, lecz raczej trwający stulecia proces, w którym uczestniczyły różne plemiona często zróżnicowane kulturowo, w tym językowo.

Ariowie pierwotnie myśliwi i nomadzi wypasający trzody, wyemigrowali z Azji Środkowej (m.in. z obszarów dzisiejszego Iranu), około 2000 p.n.e. Dowodem tego mogą być m.in. resztki wielkiego skarbu wyrobów brązowych odkrytego w okolicy miasta Gilgit (niedaleko granicy z Afganistanem), wysoko w górach Karakorum i daleko od Indu. Zawiera on m.in. charakterystyczne siekierki z uchami, podobne do siekier z niektórych stanowisk na terytorium obecnego Iranu; zestawienie tych świadectw z wyposażeniem grobowym różnych stanowisk w pogranicznych i zachodnich stanowiskach z terenów Iranu zarysowuje obraz wielu fal migracyjnych z tego obszaru w drugiej połowie II tysiąclecia p.n.e. Wskazują też na to różne inne znaleziska (np. miecze miedziane czy brązowe z charakterystycznymi żeberkami środkowymi). Jako przyczynę wędrówki Ariów podaje się zazwyczaj klęskę klimatyczną. Tekst „Awesty” starożytnych Ariów, którzy wcześniej zamieszkiwali tereny Azji Środkowej, opisuje nadejście katastrofalnych opadów śniegu i lodu w ich ojczyźnie na północy:

Dziesięć miesięcy zimy jest teraz i dwa miesiące lata, a wtedy zimna jest woda, zimna ziemia, zimne drzewa. Wszędzie leży głęboki śnieg, to największe z nieszczęść.

W tej samej relacji czytamy, jak Ariowie zostali zmuszeni do migracji w kierunku południowym, na Bliski Wschód i do północno-zachodnich Indii, gdzie najwyraźniej rzucili wyzwanie hegemonii wedyjskich mieszkańców doliny Indusu. Działo się to w drugiej połowie drugiego tysiąclecia p.n.e. Jedna ich grupa osiadła w północnej Grecji, inna w Iranie (nazwa – od Ariów), ci, którzy dotarli do Indii, oderwali się prawdopodobnie od gałęzi irańskiej.

Ariowie dysponowali wówczas wyższą techniką – bronią z brązu, końmi i rydwanami, około 1100 r. p.n.e. poznali też technologię wytopu żelaza. Dzięki dobremu uzbrojeniu (brąz) i wyćwiczonej sztuce walki, podczas dwustu lat wojen ich plemiona podbiły i zajęły dolinę Gangesu. Świadectwo tych podbojów przekazywane jest w zebranych i uporządkowanych około 1000 roku p.n.e. tekstach „Rygwedy”. Dają one obraz szczepów barbarzyńskich, chlubiących się swoimi szybkimi końmi i lekkimi wozami, hodujących owce, kozy i bydło, uprawiających początkowo jęczmień i pszenicę, następnie zaś ryż oraz sporządzający narzędzia i broń z metalu zwanym „ayas”. Metal ten, opisywany niekiedy jako czerwony, musiał być miedzią albo brązem.

Aryjskim najeźdźcom nie udało się jednak podporządkować sobie wnętrza subkontynentu. Przybyłe plemiona, wśród których największą rolę odgrywało

plemię Bharatów, nie osiedlały się w miastach. Były to ludy wojowników i hodowców, zorganizowanych początkowo raczej w plemiona (może federacje zbrojne) niż w królestwa. Pendżab i Sind po upadku Harappy i Mahendžo-Daro stały się krajem małych osad składających się z budowli drewnianych i trzcinowych. Najeźdźcy na zdobytych terenach nie od razu utworzyli jednolitą organizację państwową, lecz – podobnie jak w pierwszym okresie w Mezopotamii – Sumerzy, narzucali swe władztwo. Stopniowo posuwali się doliną na Wschód, tworząc wiele małych królestw, którymi rządziły spowinowacone z sobą rody. Tym samym szlakiem podążał później Aleksander Macedoński. Już w początkowym okresie tej epoki Ariowie parli wciąż na wschód, gdzie założyli królestwa: w Kosali (na wschód od Doabu) i w Kasi (okręg Banaras). Pierwsze z nich, które z biegiem czasu wzrosło w potęgę, było władztwem Ramy, bohatera wielkiej epopei indyjskiej „Ramajany”.

Ocieplenie klimatu od ok. 1300 p.n.e. do V wieku n.e.

Od około XIII wieku p.n.e. aż do około V wieku n.e. obserwujemy, w skali globalnej, postępujące ocieplenie. Doszło do niego mniej więcej po dwustu latach od wspomnianych wyżej erupcjach wulkanicznych. Tyle czasu potrzeba było na zniwelowanie ich klimatycznych efektów. Dowodem ocieplenia w tym czasie są zachodzące właśnie wówczas procesy wysychania od XIII wieku p.n.e. pastwisk stepowych, co między XIII a VII wiekiem p.n.e. doprowadziło do przesunięcia się granicy obszarów półpustynnych o 200 kilometrów na północ. Wywołało to znaczne problemy gospodarcze i zmusiło część ludności do poszukiwania nowych siedzib. Przypuszcza się np., że wraz z innymi ludami, w wędrówce Ludów Morza wzięła udział ludność kultury sabatinowskiej, która wywędrowała w kierunku Azji Mniejszej. Pozostała jej część wzięła udział w kształtowaniu się kultury biełozierskiej. Nie można wykluczyć, że przyczyną regresu gospodarczo-społecznego w początkach tego okresu była też fala chorób zakaźnych. Wyniszczone kryzysem społeczeństwa były na nie szczególnie podatne, ich rozwój ułatwiało przemieszczanie się ogromnych mas ludzkich.

Oczywiście pisząc o procesie ocieplenia w tak długim okresie musimy wziąć pod uwagę dwie kwestie. Po pierwsze, że nie przebiegał on jednostajnie, mogły w tym czasie pojawiać się krótkie okresy nawet znacznego ochłodzenia, po drugie również i to, że procesy te na różnych terytoriach przebiegały odmiennie.

Pisał na przykład Herodot w V wieku p.n.e. o tzw. Scytii: *Cały ten opisany przez nas kraj ma tak ostrą zimę, że przez osiem miesięcy panuje tam zupełnie nieznośne zimno, jeżeli w tym okresie wylejesz wodę na ziemię, nie zrobisz z niej błota, chyba że rozpalisz ogień. Morze (przypuszczalnie chodzi o Zatokę Odeską lub Morze Azowskie, które jednak dla starożytnych było Jeziorem Meockim) i cały Bosfor Kimmeryjski zamarza, a po lodzie ciągną gromadnie mieszkańcy w obrębie owego rowu Scytowie i przejeżdżają na drugą stronę do Sindów. Tak więc trwa zima przez osiem miesięcy, ale także w pozostałych czterech [krainach Scytów] jest tam zimno.*

Zmiany klimatyczne tego okresu, jak zresztą zawsze, były bardziej intensywne niż przypuszczaliśmy. Opis Herodota może dotyczyć tylko zimy jednego roku, kilku lat lub jednego stulecia. Dotyczy też tylko określonego obszaru. Dziś nie sposób dokładnie odtworzyć zmian klimatycznych na tak dużym obszarze w ciągu kilkuset lat. Grecja Herodota podlegała mniej odczuwalnym zmianom klimatycznym. Tam średnie wahnięcia temperatur nawet o 1 – 2 stopnie były właściwie niezauważalne.

Lata 1200 – 800 p.n.e. noszą w historiografii nazwę „wieków ciemnych”. Był to okres powstrzymania ekspansji ludów rolniczych Europy, która ponownie nastąpiła dopiero po VIII-VII wieku p.n.e. Na odbudowanie populacji i stworzenie nowych ośrodków gospodarczo-politycznych w tym regionie ludzie potrzebowali kilkuset lat. Około VIII – VII wieku p.n.e. ziemie wokół basenu Morza Śródziemnego były ponownie już dość gęsto zaludnione. To właśnie gęstość zaludnienia w połączeniu ze zmianami klimatycznymi (ociepleniem) oraz okresowymi kryzysami gospodarczymi, których efektem był głód i osłabienie odporności organizmów, przyczyniały się do rozwoju epidemii. Ślady takich epidemii obserwujemy już od 2 tysiąclecia p.n.e. Jedną z większych była dżuma w Atenach w V wieku p.n.e. (od 430 r. p.n.e.).

Proces ocieplenia nie ustał aż do końca pierwszego tysiąclecia p.n.e., a nawet do V wieku naszej ery. Na I – III wiek przypada okres wysychania stepu. Bałchasz i Morze Aralskie radykalnie się zmniejszyły, a poziom Morza Kaspijskiego podniósł się o cztery metry. Było to zapewne jedną z ważniejszych przyczyn wędrówki ludów w początkach 1 tysiąclecia. W czasie ocieplenia rzymskiego (300 p.n.e. – 530 n.e.) drzewa cytrusowe i winorośle występowały w Anglii aż do Muru Hadriana, a drzewa oliwne rosły w dolinie Renu, Egipt dostarczał zboża dla Kartaginy, potem dla Rzymu, zaludnienie Anglii przekraczało 5,5 mln. Nie był to jednak proces jednostajny, a tym bardziej obejmujący równomiernie różne obszary. I w tym czasie zdarzały się okresy ochłodzenia. W 396 roku p.n.e. w Rzymie śnieg padał przez 40 dni. W roku 209 zamarzło Morze Czarne, a w roku 359 zamarzł Bosfor. W 462 roku na terytorium dzisiejszych Węgier wojska przeszły przez Dunaj z ciężarami. To tylko niektóre ze znanych nam dziś przykładów występujących w tym czasie ochłodzeń. Najnowsze odkrycia wskazują nam jednak, że mogło być ich i wówczas znacznie więcej.

Przyjmowano się na przykład, że panujący w tym okresie wulkanizm był na tyle nieznaczny, że jego wpływ na zmianę klimatu na chłodniejszy był stosunkowo niewielki, ale to przypuszczalnie on odpowiadał za wspomniane krótkotrwałe ochłodzenia. Postępujące ocieplenie powodowało topnienie lodowców i co za tym idzie stopniowy wzrost poziomu oceanów i mórz, a w konsekwencji ruchy płyt tektonicznych i wulkanizm.

Erupcja wulkanu Omok

W 2020 roku dwaj naukowcy: Joe McConnel z Desert Research Institute (DRI) w Reno, w amerykańskim stanie Nevada wspólnie ze szwajcarskim badaczem Michaeliem Siglem z Oeschger Centre for Climate Change Research

na uniwersytecie w Bernie, sięgnęli do archiwalnych próbek lodu pobranych jeszcze w latach 90-tych ubiegłego wieku w USA, Niemczech oraz Danii. Zajęli się tym tematem po tym, jak w ich ręce trafiły wyjątkowo dobrze zachowane próbki popiołu wulkanicznego w lodzie wydobytym na Grenlandii i na północy Rosji w zeszłym roku. Ich badania pozwoliły odnotować dwa gwałtowne wydarzenia wulkaniczne. Słabsze z 45 r. p.n.e. i dużo silniejsze, z 43 r. p.n.e. Osad z tego drugiego wybuchu opadał na powierzchnię Ziemi kolejne dwa lata. Geochemiczna analiza popiołu z próbek lodu idealnie dopasowała wydarzenia z 43 r. p.n.e. z gwałtowną erupcją wulkanu Omok na Alasce, jedną z największych w ostatnich 2,5 tys. lat. Wyniki badania okruchów materiału piroklastycznego potwierdził wulkanolog Gill Plunkett z Queen's University w Belfaście. McConnel i Sigl uzupełnili listę dowodów i próbki z różnych stron świata, od danych zapisanych w pniach starych drzew w Skandynawii po osady wapniowe w jaskiniach północnych Chin. Wszystkie zebrane dane umieścili w komputerowym modelu klimatycznym. Symulacja pogody wykazała, że lata 43 – 41 p.n.e. należały do najchłodniejszych na przestrzeni ostatnich 2500 lat. Średnie temperatury dla lata i jesieni tuż po eksplozji w 43 r. p.n.e. były niższe o 7 °C. Z kolei jesienne opady tamtego roku sięgnęły 400 proc. *normy* dla południa Europy. Dla regionu Morza Śródziemnego zimne i mokre warunki oznaczały mniejsze plony na jesieni i w połączeniu z politycznymi perturbacjami w Rzymie pogorszyły tylko stan zaopatrzenia miast w żywność. Z kolei w Egipcie kiepska pogoda nałożyła się na słaby wylew Nilu, co samo w sobie zwykle oznaczało masowy głód. Wprawdzie do upadku Republiki Rzymu i dynastii Ptolemeusza przyczyniło się wiele wydarzeń, to jednak i wywołane erupcją wulkanu Okmok w 43 r. p.n.e. zmiany klimatu na Ziemi grały w tym ważną rolę.

W 79 roku naszej ery doszło do erupcji Wezuwiusza, podczas której z krateru wydobyło się ok. 5 km sześć. magmy. W drugim dniu erupcji wypływ piroklastyczny dotarł do Pompejów, jednego z czterech miast leżących u stóp tego wulkanu. Zostały zniszczone trzy miasta: Pompeje, Hekulaum i Stabie. Według relacji Kasjusza Diona z przełomu II i III wieku, *pojawiło się tyle pyłu, że jego część dotarła aż do Afryki, Syrii i Egiptu; dotarł też do Rzymu, wypełnił nad nim niebo i zakrył Słońce*. W czasie wykopalisk, które rozpoczęły się w Pompejach w XVIII wieku odkryto ślady 2000 ofiar.

W 80 roku doszło do masowej migracji ludów Azji. 30 tysięcy ludzi zabrało z sobą ogromne stada inwentarza. Szacuje się je na około 40 tys. koni i 100 tys. sztuk bydła. Przyłączyli się do ludów irańskich i Mongołów z lasów syberyjskich, co dało początek nowej, ważnej społeczności Hunów – ludu, który w Europie siał postrach. Pojawiła się pandemia węglika w Azji, która później przeniosła się na bydło europejskie.

Okolo 177, 181 lub 186 [?] doszło do erupcji wulkanu Taupo, którego siłę ocenia się na 7 VEI. To wybuch porównywalny do skali erupcji Thery w połowie drugiego tysiąclecia p.n.e., skutki takiej erupcji musiały więc mieć zasięg globalny.

Skutki wulkanizmu w czasach starożytności

Jest rzeczą oczywistą, że gwałtowne zmiany klimatu, nagłe ochłodzenia, długotrwałe zimy i nierównomierne opady, miały wpływ na życie gospodarcze i społeczne, a pośrednio nawet polityczne, w czasach gdy do nich dochodziło. Zauważa to wielu badaczy historii, czasami jednak przypisując kataklizmom, które te zmiany wywoływały nadmierną znacznice. W ostatnich latach na łamach prasy, w Internecie pojawia się wiele artykułów noszących szokujące tytuły³⁴: *Wulkany przyczyniły się do upadku chińskich dynastii*; *Erupcje wulkanów mogły doprowadzić do upadku chińskich dynastii*; *Wulkany wpływały na zmiany dynastii rządzących w Chinach*.

Wpływu zmian klimatycznych, a co za tym idzie sytuacji gospodarczej w różnych regionach, na procesy społeczno-polityczne, nie trzeba udowadniać. Takie związki łatwo wykazać, podobnie można znaleźć zależność zmian klimatycznych od wulkanizmu. „Odkryliśmy, że epizody upadku dynastii cesarzy chińskich w ciągu ostatnich dwóch tysięcy lat często zbiegały się z erupcjami wulkanów. To połączenie okazało się złożone: ochłodzenie klimatu wywołane przez wulkany zwiększyło prawdopodobieństwo konfliktu, a wojny z kolei zwiększyły szanse, że ta lub inna dynastia zakończy swoje istnienie” – powiedział Alan Robock, jeden z autorów badania, profesor na Uniwersytecie Rutgers³⁵.

Podobne wnioski niektórzy próbują wyciągać w odniesieniu do Historii Rzymu. Píše pan Ulamowski: *Uzurpacja władzy Cezara w Republice Rzymskiej zakończyła się spiskiem i zamachem na niego w marcu 44 p.n.e. A potem państwo dotknęły nowe, poważne katastrofy: kroniki historyczne odnotowywały zarówno ciemność, która okryła niebo wkrótce po tych wydarzeniach, jak i ostre trzaski zimna i nieudane zbiory, które wybuchły w następnych latach. Masowy głód był jednym z czynników, które ostatecznie doprowadziły do ostatecznej konsolidacji władzy w Rzymie i powstania imperium*.

Winne są wulkany. Uważa się, że lokalna erupcja Etny we Włoszech mogła częściowo ukryć światło słoneczne latem 44 p.n.e. Prawdopodobnie testy, które miały miejsce w następnych latach, są również związane z wulkanizmem: rdzenie lodowe, które są dziś wydobywane ze starożytnych lodowców, zachowały ślady pyłu wulkanicznego, który został wyemitowany do atmosfery w

³⁴ Por. np.: Gaston de Persigny, *Wulkany przyczyniły się do upadku chińskich dynastii* 24 kwietnia 2022. Zmieniona data: 28 maja 2022; por. też: Chaochao Gao, Francis Ludlow, John A. Matthews, Aleksander R. Stine, Alan Robock, Patelnia Yuqing, Richard Breen, Brianán Nolan i Michał Sigl Wpływ klimatu wulkanicznego może być ostateczną i bezpośrednią przyczyną upadku chińskiej dynastii, <https://www.nature.com/articles/s43247-021-00284-7>; *Erupcje wulkanów mogły doprowadzić do upadku chińskich dynastii*. https://www.national-geographic.pl/arttykul/erupcje-wulkanow-mogly-doprowadzic-do-upadku-chińskich-dynastii#google_vignette

³⁵ Gaston de Persigny, *Wulkany przyczyniły się do upadku chińskich dynastii* 24 kwietnia 2022. Zmieniona data: 28 maja 2022.

tym okresie³⁶.

Uroszczenia, szukanie przyczyn skomplikowanych procesów historycznych w jednej tylko przyczynie [winne są wulkany!?!], być może wzbudza sensację, zwraca uwagę czytelników, niestety zamiast wyjaśniać tylko zaciemnia obraz historii. Kryzysy władzy cesarskiej w Chinach, czy kryzys w republikańskim Rzymie miały wiele przyczyn. Zmiany demograficzne, idea podboju, zbyt wolny proces reform społeczno-gospodarczych itd.

Upadki asteroid

Nie odnotowujemy dla tego okresu znaczących impaktów meteorytów, choć w ciągu ponad tysiąca lat zapewne do takich dochodziło. Nie posiadamy zapisów takich wydarzeń, choć np. uderzenie generujące krater wielkości takiego, jaki zlokalizowano w Sirente, było widoczne z dużej odległości. W oddali widziano zapewne najpierw pas ognia, który zamienił się w ognistą kulę, a następnie osiągnął kulę pirotechniczną. Wczesne datowanie radiowęglowe wskazuje, że do powstania krateru doszło w IV i V wieku n.e. (ok. 301 – 401 n.e.).

W tak długim okresie przypuszczalnie jednak do takich impaktów dochodziło. Zimą 2022 roku na łamach National Geographic pojawiła się informacja o odkryciu przez naukowców przyczyny upadku kultury ludu Hopewell. Zdaniem badaczy był nim właśnie upadek meteorytów. Dowody na uderzenie komety znaleźli naukowcy pracujący na jednym z 11 stanowisk archeologicznych powiązanych z kulturą Hopewell. W trakcie wykopalisk natrafili na niezwykle koncentrację irydu i platyny – związków świadczących o uderzeniu meteorytów lub komet. Co więcej, warstwa węgla drzewnego odkryta w miejscu wykopalisk wskazuje na „intensywny okres wysokiej temperatury”, innymi słowy – duży pożar. W wykryciu tych pierwiastków pomógł naukowcom nowoczesny sprzęt – skaningowy mikroskop elektronowy i spektrometr rentgenowski z dyspersją energii. Dzięki wykorzystaniu innowacyjnej technologii, badacze zidentyfikowali miejsce o największej koncentracji platyny i irydu. Następnie pobrali próbki osadu i poddali je datowaniu radiowęglowemu.

Szacunki wykazały, że kosmiczne zderzenie miało miejsce między 252 r. a 383 r. Znane zapisy historyczne pokazują, że w tym samym okresie udokumentowano 69 komet bliskich Ziemi.

Wyniki badania sugerują, że na tereny należące do kultury Hopewell spadły liczne fragmenty komety, która weszła w atmosferę Ziemi. Uderzenia wywołały pożary, które – zgodnie z szacunkami naukowców – mogły objąć nawet 23 828 kilometrów kwadratowych. To wydarzenie musiało mieć „głęboki i niszczyielski

³⁶ Tomasz Ulanowski, *Erupcja wulkanu na Alasce przyczyniła się do upadku Republiki Rzymskiej i Egiptu Ptolemeusza*, <https://wyborcza.pl/7,75400,26059112,erupcja-wulkanu-na-alasce-przyczynila-sie-do-upadku-republiki.html> 24.06.2020, 08:06.

wpływ na lokalne środowisko” – podali autorzy.

Co ciekawe, choć naukowcy dopiero teraz natrafili na twarde dowody potwierdzające uderzenie komety, to historia o wydarzeniach sprzed 1500 lat jest zawarta w licznych przekazach plemiennych. Rdzenne ludy, które mogą wywodzić się od kultury Hopewell, posiadają w swojej tradycji przypowieści o spadającym Słońcu i ognistym wężu. Plemię Miami posiada opowieść o rogowym wężu, który przeleciał po niebie, zrzucając kamienie na ziemię, zanim sam spadł do rzeki. Shawnee wspominają o „podniebnej panterze”, która miała moc burzenia lasów. Mówi się też o dniu, w którym Słońce spadło z nieba.

Choć uderzenie komety mogło być główną przyczyną upadku kultury Hopewell, to nie stało się nią natychmiast. Wcześniejsze wykopaliska ujawniły, że rdzenni mieszkańcy tych terenów zbierali fragmenty meteorytów i włączali je do swojej biżuterii i instrumentów. Co więcej, nieopodal jednego z najważniejszych ośrodków Hopewell (znanego obecnie jako Milford Earthworks) zbudowano kopiec w kształcie komety³⁷.

³⁷ Katarzyna Grzelak, *Tajemnica upadku Hopewell rozwiązana? Ich ziemie zniszczyła kometa, twierdzą naukowcy*. <https://www.national-geographic.pl/artukul/tajemnica-upadku-ludu-hopewell-rozwiazana-ich-ziemie-zniszczyla-kometa-twierdza-naukowcy-220203105949>

Rozdział XVII

Kataklizmy w pierwszej połowie VI wieku i ich następstwa

Kolejne w dziejach naszego kręgu kulturowego tzw. „wieki ciemne” miały swój początek w pierwszej połowie VI wieku. Cywilizacja do tego czasu, moim zdaniem, przede wszystkim z powodu przyjęcia przez ludzi szkodliwych dla jej rozwoju idei (chodzi mi tu przede wszystkim o idee imperializmu i wojny oraz niewolnictwa), rozwijała się stosunkowo wolno i z tego powodu posiadamy dla tego okresu bardzo mało źródeł pisanych, tak że odnośnie do wydarzeń z tego okresu wciąż jeszcze musimy poruszać się w świecie hipotez. Warto podkreślić również i to, że z powodu zbyt powolnego rozwoju cywilizacji, ludzie we wszystkich kręgach kulturowych wciąż nie byli w stanie stawić czoła niezależnym od nich kataklizmom, a także przeciwdziałać ich skutkom. Jedynym działaniem, jakie byli w stanie podjąć, były próby „oswajania” wiedzy o zachodzących kataklizmach, których istoty i przyczyn nie znali, za pomocą religii. Zresztą i dzisiejsza wiedza wciąż jest na wstępnym etapie swego rozwoju.

Historycy zwracali uwagę na pojawiające się już od połowy V wieku objawy kryzysu: epidemie, spadek zbiorów, ochłodzenie, powszechny kryzys gospodarczy, a co za tym idzie i polityczny, do wzrostu, których doszło około połowy VI wieku. Z czasem pojawiały się różne hipotezy odnośnie do przyczyn tego kryzysu. Podobnie jak w podobnych wcześniejszych przypadkach badacze najczęściej koncentrowali się na jednym wydarzeniu. Kolejne odkrycia i badania wykazały jednak, że i w tym wypadku mieliśmy do czynienia z całą serią katastrof, których skutkiem było między innymi globalne ochłodzenie klimatu. Było ono tak znaczne, że dochodziło nawet do zamarzania Morza Czarnego. W roku 588 Morze Czarne było zamarznięte przez 20 dni, w 703 roku Morze Czarne morze zamarzło na 30 łokci (!) w głąb, kolejne zamarzanie tego morza odnotowano w latach 800, 801 i 829. W roku 608 znaczna ilość winnych

latorośli zginęła we Francji od zimna. W 829 roku zamarzł Nil. Przez trzy stulecia stosunkowo dłuższe zimy i zwiększone opady śniegu występowały w Europie śródziemnomorskiej i na wybrzeżu Chin.

Wulkanizm

Wiele wskazuje na to, że przyczyną wspomnianych zjawisk kryzysowych był wzrost wulkanizmu. Doszło do niego – jak przypuszczam – w wyniku trwającego ponad tysiąc lat ocieplenia. Lodowce, które znacznie wzrosły pod koniec drugiej połowy II tysiąclecia p.n.e. stopniowo ustępowały. Proces ten nie był jednostajny, zapewne powstrzymywały go mniejsze erupcje wulkaniczne, niemniej jednak średnie temperatury (mimo wahań) stopniowo rosły. Doszło do topnienia lodowców i wzrostu poziomu mórz. Nacisk wód na płyty tektoniczne, powodował ich przesuwanie, a co za tym idzie trzęsienia Ziemi i wzrost wulkanizmu. W 472 r. doszło m.in. do dość znacznej erupcji Wezuwiusza. Popioły wulkaniczne dotarły wówczas do Konstantynopola. Wyrzucone do atmosfery, w czasie kolejnej erupcji tego wulkanu w 512 r., pyły wulkaniczne dosięgły Trypolisu. Kryzys spowodowany tymi erupcjami nie miał jednak znaczenia globalnego. Ten rozpoczął się w latach 536 – 540. Na Ziemi doszło wówczas do gwałtownego spadku zbiorów, a mróz mógł chwycić nawet w lecie. Silne ochłodzenie klimatu trwało przez 10 lat, a przez następne kilka stuleci lata wciąż były chłodne.

Kronikarz bizantyjski Prokopiusz z Cezarei w swoich zapiskach z wojny z Wandalami zanotował, że blask Słońca w roku 535 był bardzo słaby, jak podczas zaćmienia, i że była to bardzo zła przepowiednia. O niskich temperaturach ze śniegiem w lecie i bardzo słabych zbiorach informują w roku 536 Michał Syryjczyk lub Kasjusz Flavius. Gaelickie kroniki irlandzkie z wczesnego średniowiecza zarejestrowały „brak chleba w roku 535”, a nawet „brak chleba od 535 do 539”. W Chinach zanotowano opady śniegu w sierpniu i opóźnione zbiory, „gęste suche mgły” pojawiły się w Europie, na Bliskim Wschodzie i w Chinach, na obszarach dzisiejszego Peru susza dotknęła ludy kultury Mochica.

Dziś przyjmuje się za najbardziej prawdopodobną teorię, że za ówczesne ochłodzenie odpowiedzialne są trzy wulkaniczne erupcje, które nastąpiły po sobie w krótkich odstępach czasu – w 536, 540 i 547 roku. Nie wiemy dokładnie, gdzie znajdowały się te wulkany. Naukowcy stwierdzili jednak, że podczas erupcji z 540 r. do atmosfery wydostało się więcej pyłów niż w 1815 r. podczas wybuchu słynnego wulkanu Tambora w Indonezji. Ślady pyłów z VI-wiecznych erupcji są dobrze widoczne w postaci sadu w lodach Antarktydy.

Proponuję byśmy prześledzili tu kolejne etapy rozpoznawania przyczyn tych wydarzeń. W artykule w „Nature” w roku 1984 Richard B. Stothers przedstawił przypuszczenie, że ochłodzenie z 535 – 536 było skutkiem wybuchu wulkanu Tavurvur, znajdującego się niegdyś nieopodal dzisiejszego miasta Rabaul (Nowa Brytania Wschodnia, Papua-Nowa Gwinea). Z kolei Ken Wohletz z Los Alamos National Laboratory wysunął podejrzenie – w swojej pracy pt. *„Czy wieki ciemne były skutkiem zmian klimatycznych w VI stuleciu wywołanych przez wulkan?”* – że przyczyną tego wydarzenia był inny wulkan, Krakatau (ten sam, którego katastrofalny wybuch kilkanaście stuleci później – w 1883 – również spowodował globalne zjawiska atmosferyczne), a którego erupcję, mającą miejsce w połowie I tysiąclecia naszej ery zapisaną w kronikach jawańskich datowano do tej pory na rok 416 według kalendarza europejskiego. Tezę taką podjął w 1999 roku David Keys. W 2001 r. wulkanolog Robert Dull opublikował wyniki badań, według których do zmian klimatycznych przyczyniła się erupcja Ilopango w Salwadorze, która przy zastosowaniu metody radiowęglowej może być datowana na lata między 408 a 536 rokiem. Ze względu na położenie czasowe i geograficzne oraz rozmiar tego ogniska uważał, że to ona mogła spowodować anomalię pogodową 535/536 roku.

Ostatnie analizy rdzeni lodowych na Antarktydzie świadczą o maksimum siarczanów na poziomie 542 roku, co „dobrze pasuje do maksimum w 536 roku na Grenlandii” i mówi o ogromnej erupcji wulkanu w pobliżu równika. W 2015 roku dokonano precyzyjnej synchronizacji rdzeni lodowych, które pokazują stężenia siarczanów erupcji wulkanicznych, z archiwami pierścieni drzewnych, które są wykorzystywane do rekonstrukcji temperatury. Możliwa była także rekonstrukcja napędu radiacyjnego erupcji wulkanu. Autorzy artykułu doszli do wniosku, że zimna anomalia musiała być spowodowana głównie przez dwie erupcje wulkaniczne, jedną obserwowaną na wysokich szerokościach geograficznych półkuli północnej i cztery lata później przez jedną w tropikach. Analiza pierścieni drzewa wykonana przez dendrochronologa Mike'a Baillie z Queen's University w Belfaście pokazuje nienormalnie niski wzrost dębu irlandzkiego w 536 roku i, po całkowitym wyzdrowieniu, kolejny gwałtowny spadek w 542 roku. Podobne wzorce występują również w pierścieniach drzew różnych gatunków drzew w Szwecji, Finlandii i Sierra Nevada w Kalifornii oraz Alerce na południu Chile. Symulowane oddziaływanie klimatyczne były zgodne z założeniem erupcji Ilopango jako drugiego zdarzenia wulkanicznego w 540 roku.

Wybuch Krakatau w 535 roku (wcześniej datowany na rok 416) i jego skutki przypominają erupcję stratowulkanu. Jej skalę ocenia się na 8 VEI. Przed erupcją Krakatau mógł być wysoką górą (około 2000 m), która podczas tego kataklizmu w znacznym stopniu zniknęła w morzu i oddzieliła Sumarę od Jawy.

Ilość wyrzuconej w atmosferę magmy i materiałów piroklastycznych ocenia się na ponad 1000 kilometrów sześciennych objętości. Nastąpiło wówczas zapadnięcie się pierwotnego wulkanu i powstała kaldera 7 kilometrowej długości. Pozostałości tego dawnego wulkanu tworzą wysepki Verlaten i Lang. W późniejszym okresie utworzyły się trzy, leżące w centralnej części kaldery wulkany: Rakata, Danan oraz Perbuwatan. Ich kratery wznosiły się jeden obok drugiego na jednej linii i tworzyły wyspę wulkaniczną – Krakatau. Fala tsunami wywołana tym kataklizmem mogła sięgać dwustu metrów.

Erupcja wulkanu Ilopango w Salwadorze, która miała miejsce między 408 a 536 rokiem, miała skalę VEI-6+, ponieważ jednak doszło do niej w krótkim okresie wraz z dwiema innymi wielkimi erupcjami jej wpływ na zmiany klimatyczne był bardzo znaczny. Erupcja tego ogromnego wulkanu miała też znaczne znaczenie lokalne. Erupcji prawdopodobnie towarzyszyło trzęsienie o magnitudzie 6,9. Erupcja Ilopango wyrzuciła z krateru około 40 km³ materiału piroklastycznego. Opad popiołów w najbliższej okolicy miał miąższość do 50 metrów, a w odległej o 63 km Chalchuapie – jednego metra. Zetknięcie rozpalonej lawy z wodą jeziora, w którym znajdował się krater, spotęgowało rozmiary erupcji. Okolica wulkanu została całkowicie zniszczona. Na terenach o powierzchni 2,5 tys. km² ludność miała wprawdzie szansę na przeżycie, ale pola uprawne, pokryte grubą warstwą pyłów nie nadawały się do użytku. Była to pora deszczowa, okres wzrostu zbóż i minimalnej liczby zapasów żywnościowych. Skutkiem czego nastąpiła masowa emigracja Majów z tego terenu, najprawdopodobniej w kierunku północnym – na teren dzisiejszego Belize i częściowo Gwatemali. Zmianie uległ również przebieg głównej drogi handlowej przez Amerykę Środkową, która prowadziła brzegiem zatoki Tehuantepec. Wytyczono nową trasę przez Belize, Gwatemalę (Tikal), do Meksyku. Powstały tam nowe osiedla, a kilka istniejących wcześniej bardzo się rozwinęło. Istnieje możliwość, że gwałtowna migracja dużych mas ludzkich przyspieszyła procesy cywilizacyjne na tym obszarze.

Zniszczone erupcją Ilopango obszary można było ponownie zagospodarować dopiero po około dwustu latach, po wylugowaniu przez deszcz powłoki popiołów i wytworzeniu się nowej warstwy gleby. Na opuszczone tereny Salwadoru stopniowo zaczęli powracać ludzie.

Trzeci z wulkanów, którego erupcję wiąże się z przyczynami ówczesnych zmian klimatycznych i ogólnego kryzysu wielu kultur ówczesnego świata to Tavurvur, czynny stratowulkan w pobliżu miasta Rabaul na Nowej Brytanii w Papui-Nowej Gwinei. Dziś wulkan ten leży wewnątrz kaldery o rozmiarach 8 na 14 km, powstałej w wyniku potężnego wybuchu w połowie VI wieku.

To nie wszystkie hipotezy próbujące wyjaśnić przyczynę ówczesnych zmian. W końcu drugiej połowy XXI wieku pojawiły się artykuły, które wskazują na możliwość dojścia w tym czasie do erupcji wulkanicznej w Islandii. Taką hipotezę postawił m.in. historyk mediewista i archeolog Michael McCormick.

Czas ochłodzenia przedłużały zapewne kolejne erupcje wulkaniczne, zwłaszcza te o większej skali VEI (6, 7), np. erupcja powstałego kilka milionów lat temu stratowulkanu El Chichon w 700 roku. Przypuszczalnie w tym samym

okresie miała erupcja wulkanu Ojos del Sala-do, Nevados. Jest to obecnie najwyższy wulkan na Ziemi (drzemiący); położony w Andach Środkowych, na granicy Argentyny i Chile. Ma wysokość 6893 m n.p.m. Jest drugim, co do wysokości, szczytem górskim na półkuli zachodniej, drugim na półkuli południowej oraz najwyższym szczytem Chile. Leży około 600 km na północ od Aconcagui. Według badań tefrochronologicznych ostatnia erupcja tego stratowulkanu miała miejsce w 750 ± 250 roku naszej ery.

Upadki asteroid i komet

Tak, jak w przypadku pojawiających się wcześniej zmian klimatycznych i gwałtownych ochłodzeń, badacze zwracają uwagę nie tylko na wulkanizm, ale też i na upadki asteroid. Taką hipotezę postawili naukowcy z Cardiff University. Tu jednak napotykamy na jeszcze więcej niepewnych informacji niż w przypadku wulkanizmu. Jeden z najlepiej zbadanych kraterów meteorytowych z okresu holocenu znaleziono na estońskiej wyspie Ozylia (Saaremaa) położonej na Morzu Bałtyckim. Znajduje się tam jezioro kraterowe otoczone ośmioma mniejszymi kraterami, o średnicach od 12 do 40 metrów. Jezioro meteorytowe wypełniające krater nosi nazwę Kaalijärv i położone jest w głównym kraterze Kaali, ma kształt kolisty, a jego wielkość jest zmienna w zależności od pory roku i opadów. Ma od 60 do 30 m średnicy i głębokość od 6 do 1 m; otacza je wał ziemny. Cały krater ma średnicę 110 metrów i głębokość 22 metrów. Ostatnie badania wskazują, że pomiędzy 800 rokiem p.n.e. a 400 rokiem p.n.e. [?] spadł tu meteoryt żelazny, powodując wybuch o mocy 20 kiloton trotylu. Meteoroid typu IAB, o początkowej masie rzędu 1000 ton wtargnął w atmosferę z północnego wschodu pod kątem około 35°. Największy fragment o masie około 450 ton uderzył w podłoże z sylurskich dolomitów, tworząc główny krater. Pożary lasów wywołane przez ten upadek rozprzestrzeniły się na, co najmniej, 6 km na północny zachód od miejsca uderzenia. Echa tego wydarzenia były słyszalne jeszcze kilkaset lat później. Pogańscy Bałtowie uważali kraterowe jezioro Kaali za święte. Układali mity i opowieści o bogu, który gwałtownie przybył na ziemię, spalając wyspę Saaremaa. Fiński epos „*Kalevala*” opowiada z kolei o tym, jak kawałek Słońca spadł na ziemię, niszcząc wszystko, co znalazło się na jego drodze. [Wcześniej wiek kraterów oceniano na około 4000 lat. Zwracano uwagę na to, że okoliczny materiał skalny nie zawiera osadów morskich, zatem krater nie mógł powstać wcześniej niż 10.000 lat temu, gdy Saaremaa wynurzyła się z Bałtyku. Datowanie na podstawie osadów torfowych pozwoliło oszacować ich powstanie na rok około 5500 p.n.e.]

Jedną z najstarszych kronikarskich wzmianek o spadku meteorytu jest natomiast przekaz historyczny dotyczący bitwy pomiędzy Grekami i Per-sami nad rzeką Aegios Potamos w Tracji (obecnie region geograficzny w granicach Bułgarii, Grecji i Turcji) w 476 r. p.n.e., podczas której z nieba miał spaść rozżarzony kamień wielkości koła młyńskiego. Według kronikarza przeraził on straszliwie walczące wojska. Historia lepiej udokumentowanych spadków meteorytów zaczyna się jednak dopiero w IX wieku naszej ery. Wtedy to, 19 maja 861 roku, w Japonii zaobserwowano spadek meteorytu Nogata, a główny bohater tego wydarzenia przetrwał do dziś w jednej ze świątyń. Jest to najstarszy na świecie znany meteoryt, którego spadek obserwowano. Na 60 lat

później datowany jest pierwszy odnotowany spadek meteorytu w Europie, we Włoszech.

Skutki zmian klimatycznych

Kumulacja erupcji aż trzech wulkanów o przypuszczalnej skali VEI-7 w bardzo krótkim czasie spowodowała znaczne zmiany klimatyczne, których efekty były odczuwalne przez kolejne kilkadziesiąt lat. Wynikało to zapewne z tego – według moich przypuszczeń – że kolejne erupcje w odstępie kilku lat nie powstrzymywały procesu topnienia lodowca, który z każdą kolejną erupcją powiększał swój zasięg, w wyniku czego objął on znaczne obszary i na jego cofnięcie potrzeba było dłuższego okresu (prądy oceaniczne dłużej przebywały pod lodowcem).

W 2016 roku szwajcarscy naukowcy zajmujący się klimatem zasugerowali, że początkowy zimny okres 536, który trwał do połowy VII wieku, a według innych badaczy do końca VIII wieku, należy nazwać *późną epoką lodowcową* (LALIA). To jednak tylko nazwa i jak się okazuje niezbyt precyzyjna, jako że zmiany klimatyczne w tym czasie, tak jak i wcześniej, a jak zobaczymy poniżej i później, miały przebieg niejednostajny i nierównomierny.

Początkowo przypuszczano, że ochłodzenie z drugiej połowy VI wieku trwało tylko 10 lat, według nowych danych, ochłodzenie trwało nawet 660 lat, wpływając przynajmniej na Europę i Azję Środkową. Poprzednie wnioski wysuwano przede wszystkim na analizach pozyskanych rdzeni lodowych. Na zmianę stanowiska w tej kwestii wpłynęły badania słoju drzew w Europie i Centralnej Azji. Prowadził je m.in. Ulf Büntgen wraz ze współpracownikami ze Szwajcarskiego Federalnego Instytutu. Naukowcy przebadali słoje ponad 150 drzew żyjących na Altaju, a także ponad 500 starych drzew z innych miejsc na Ziemi. Analiza wykazała, że średnia temperatura spadła o więcej niż cztery stopnie Celsjusza. Przedłużające się zimno zbiegło się z okresem niepokojów społecznych w Eurazji. Wyniki badań opublikowane w artykule naukowym na łamach czasopisma *Nature Geosciences*, wykazały, że erupcje Krakatau na 125 lat znacznie ochłodziły klimat, co było wynikiem dużej obecności cząstek siarki w atmosferze. Zmiany klimatyczne na różnych obszarach miały odmienny przebieg. W IV wieku niższe znowu powędrowały na południe i step ponownie zakwitł. Stan ten trwał do wieku XIII, z okresem wysychania w wieku IX.

Okres ten został naznaczony dramatycznymi zmianami społecznymi, kulturalnymi i politycznymi. Wschodnie Imperium Rzymskie zmieniło się w Bizancjum, a Słowianie zaczęli rozprzestrzeniać się w Europie.

W Chinach doszło do zmiany rządzącej dynastii cesarskiej. Od dawna wiadomo, że zmiany pogodowe mogą wywoływać konflikty i prowadzić do wzmocnienia napięć w społeczeństwie, zwłaszcza głodnym. Zimno wywołane mini epoką lodowcową oznaczało bowiem pewny kryzys żywnościowy na skutek spadku wydajności produkcji rolnej. Jednym z ważniejszych skutków kryzysu gospodarczego było rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych. Znanych już od tysiącleci i od tysiącleci tylko „oswajanych” przez społeczeństwa. Nie rozpoznano przyczyn epidemii, ani też nie nauczono się, w jaki sposób im

przeciwdziałać.

W 444 roku pandemia w Brytanii spowodowała, że umieralność była tu tak wielka, że żywi nie zdążyli grzebać zmarłych, a zaraza tak bardzo osłabiła siły rzymsko-brytyjskiego wodza Woryigerna, że nie był w stanie odeprzeć najazdu dzikich Piktów i Szkotów. Według legendy, po wysłuchaniu zdania innych wodzów, Wortigen zwrócił się o pomoc do Sasów, którzy w 449 roku przybyli do Brytanii jako najemnicy pod wodzą Hengista i Horsa. Jest całkiem prawdopodobne, że choroba tak bardzo osłabiła Brytów, iż Sasi bez problemów przeniknęli na wyspę.

Po wspomnianych w tym rozdziale kataklizmach, w wyniku kryzysu klimatycznego, a co za tym idzie gospodarczego skala epidemii znacznie wzrosła. Jedną z najbardziej śmiertelnych pandemii była zapewne zaraza Justyniana (541 – 544). Pierwsze znane nam przypadki tej choroby pojawiły się w 540 roku w Peluzjum w Dolnym Egipcie, skąd choroba szybko objęła cały Egipt i Palestynę, a z Palestyny na resztę całego znanego świata. W Konstantynopolu pierwsze przypadki zanotowano na wiosnę 542 roku. Jej przebieg znany z relacji pozostawionej przez Prokopiusza. Dopiero chłód jesieni osłabił impet epidemii – zaraza powoli zaczęła wygasać. Umieralność nie była początkowo wysoka, ale gwałtownie wzrastała w miarę zbliżania się lata, aż wreszcie codziennie umierało nie mniej niż dziesięć tysięcy osób. Szczyt epidemii trwał cztery miesiące, a śmiertelność wynosiła od 5 – 10 tysięcy osób dziennie (historyk Prokopiusz zapisał, że dziennie umierało po 5 tysięcy osób). W ciągu pierwszego roku w Konstantynopolu zmarło 300.000 osób, choć liczby te mogą być zawyżone. Nie nadążano z kopaniem grobów, dlatego zdjęto dachy z wież strzegących murów, wypełniano ich wnętrza trupami i na powrót założono dachy. Ciała ładowano też na statki, które wyprowadzano w morze i porzucano.

Szacuje się, że dżuma zabrała około czterdziestu procent populacji Konstantynopola. Zaraza powracała wielokrotnie aż do mniej więcej 590 roku. Zaraza, która w VI w. n.e. ogarnęła Europę, Afrykę i Azję, szalała przez kilkadziesiąt lat, zabijając połowę ówczesnej populacji – ok. 100 milionów osób. Nie oszczędziła żadnego miasta ani wioski, pustosząc nawet najbardziej odległe osiedla, a wszelkie nadzieje, że ominię jakąś osadę szybko okazywały się płonne. Wiele miast i wsi zostało całkowicie spustoszonych przez epidemię lub porzuconych przez mieszkańców, ziemia uprawna obróciła się w ugór, a panika wywołała zamieszki w całym imperium. Śmiertelna zaraza – znana jako żółta zaraza powracała w wieku VII i przez wiele następnych lat. Tereny Italii zostały również zdewastowane przez wojny gockie (lata 535 – 552/562).

Starożytne bliskowschodnie kroniki odnotowały suszę, do której doszło w 639 r. Ziemia była całkowicie bezpłodna i zapanował straszny głód. Był to rok burz piaskowych. Wiatry gnały pył przypominający popiół i dlatego cały rok nazwano „popiołowym”. Głód nasilił się do tego stopnia, że nawet dzikie zwierzęta zaczęły szukać schronienia u ludzi. „I wybuchła w tym czasie epidemia dżumy. Zaczęła się w okręgu Amabs, niedaleko od Jeruzalem, a później rozpowszechniła się w całej Palestynie i Syrii. Samych tylko muzułmanów zmarło 25000. Wiele osób zmarło też w Basrze”. Przez kolejne

dziesięciolecia epidemia ta ogarniała coraz to nowe obszary. W 664 roku wybuchła w południowej Anglii, skąd przeniosła się do Northumbrii i Irlandii. Była aktywna w miesiącach letnich. Znaleziono też wzmianki o jej obecności we Włoszech, Francji i Hiszpanii. W wyniku islamskiej ekspansji w VII i VIII wieku ospa rozniosła się po całym obszarze basenu Morza Śródziemnego. A może powinniśmy raczej stwierdzić, że to ospa przetarła szlak dla ekspansji islamu, tak samo jak znacznie później przygotowała grunt pod europejską kolonizację kontynentu amerykańskiego. Wojska arabskie przeszły przez Afrykę Północną i dotarły do Hiszpanii, która została podbita w 710 roku, a w 731 roku wkroczyły do Francji. Jednak do tego czasu Europa zdołała się już otrząsnąć po kolosalnych stratach w ludziach spowodowanych plagą dżumy z czasów cesarza Justyniana i zaczęła się przystosowywać do ospy. Arabowie nie zdołali opanować Francji, ale utrzymali w swym posiadaniu większość terytorium Hiszpanii. Kronikarze odnotowali, że w historii islamu było pięć wielkich epidemii dżumy. Pierwsza datowana jest na rok 627. W drugiej epidemii w 638 roku, opanowującej Syrię, Irak i Egipt, zmarło około 25000 żołnierzy muzułmańskich. Następne uderzenie nazwano wielką dżumą, ponieważ w 688 roku przeszła przez Basrah „jak powódź”. Czwarta wielka epidemia dotknęła ponownie miasto w 706 roku. W Iraku i w Syrii w 716 roku wystąpiła „dżuma dostojników”, a w Syrii w okresie od 688 do 744 roku następowały kolejne wybuchy choroby co 10 lat.

Zakłócenia wzrostu pierścienia drzew w kolejnych latach na półkuli północnej dowodzą, że lata do 550 były przeważnie bardzo zimne i z pewnością spowodowały niepowodzenia upraw. Podejrzewane są połączenia z decydującymi wydarzeniami historycznymi z następnych dziesięcioleci. Symulacje klimatyczne sugerują szczególnie duże straty plonów w Skandynawii i krajach bałtyckich. W Skandynawii wiele osiedli zostało porzuconych w VI wieku, w niektórych regionach, 75% i więcej; najwięcej, bo aż 1300 porzuconych domów odkrytych do tej pory znaleziono na Olandii. Wpływ społeczny był jednak niespójny i zależny od wrażliwości dotkniętych regionów. Wydaje się, że zimna anomalia miała niewielki wpływ na bardziej zależne od morza osady w północnej Norwegii. Na Półwyspie Arabskim niezwykle obfite opady deszczu mogły zwiększyć plony w rolnictwie, a tym samym sprzyjały wzrostowi islamu.

Po chłodnym okresie, który nastał w połowie VI wieku i w którym dochodziło do masowych przemieszczeń ludów (np. średniowiecznej wędrówki ludów w Europie: Gotów na Zachód, Hunów a później Awarów), klimat stopniowo się ociepla.

Rozdział XVIII

Optimum klimatyczne lat od 800 do 1300 roku

Okres pomiędzy VIII a XIII wiekiem n.e. określany był w historiografii nazwą *średniowiecznego optimum klimatycznego*, ale dziś nazwa ta jest niemal powszechnie odrzucana. Nie chodzi tylko o to, że – jak się okazuje – przyjęte w historii pojęcie średniowiecze ma wyłącznie europejski charakter, ale i wyodrębnienie klimatyczne tego okresu jest głęboko nieprecyzyjne. Nie można wyodrębnić takiego optimum w sensie globalnym. Na różnych obszarach Ziemi zmiany klimatyczne nie następowały jednocześnie i nie miały charakteru jednostajnego. W ciągu aż czterech – pięciu wieków temperatury ulegały zmianom. Warto zauważyć, że ówczesne zmiany klimatyczne mogły się okazać korzystne dla ludów stepowych. Wzrost opadów wpłynął na rozwój roślinności,

ułatwiał hodowlę i co za tym idzie mógł przyczynić się do wzrostu populacji ludów koczowniczych. Ocieplenie to jest jednym z wielu tej rangi ociepleń w holocenie np. optimum klimatyczne epoki brązu i epoki rzymskiej (i w tych wypadkach procesy te nie miały charakteru globalnego i jednostajnego). I w tym okresie dochodziło do krótko-trwałych okresów ochłodzenia obejmujących różne obszary Ziemi. W 860 roku w Europie śnieg i mrozy panowały przez całe półrocze; zamarzło morze Adriatyckie. W 974 roku przechodzono po lodzie Bosfor; we Francji ludność ginęła od chłodu i głodu. W 1124 roku we Francji ginęły od zimna kobiety i dzieci.

Odtworzone różnice temperatur tego okresu, tylko w niektórych regionach świata (zwłaszcza w okolicy Grenlandii i części dzisiejszych Stanów Zjednoczonych), wskazują, że około końca I tysiąclecia temperatury na tych obszarach były wyższe niż w latach 1960 – 1990. Na wielu innych obszarach, np. w Azji Środkowej, czy tropikalnych rejonach Pacyfiku, temperatury były chłodniejsze niż w okresie 1960 – 1990. Oznacza to, że średniowieczne ocieplenie miało charakter lokalny.

Jako że *średniowieczne optimum klimatyczne* zaznaczyło się szczególnie na obszarze Skandynawii i rejonach polarnych, wiąże się je z rozkwitem cywilizacji wikingów, którzy m.in. skolonizowali wtedy południową Grenlandię. Także w tym czasie w Anglii i innych rejonach Europy uprawiano winorośl. W Alpach na przedpolach obecnie wycofujących się czoł lodowców znajdowane są zakorzenione lub przywleczone z wyższych położeń pnie drzew pochodzące z tego ciepłego okresu. Są to bezpośrednie dowody na mniejszy zasięg lodowców w tym czasie. W Ameryce Północnej ocieplenie spowodowało długotrwałe susze, które wpłynęły na wiele plemion indiańskich oraz doprowadziły prawdopodobnie do końca kultury Anasazi.

Są to bezpośrednie dowody na mniejszy zasięg lodowców w tym czasie. W Ameryce Północnej ocieplenie spowodowało długotrwałe susze, które wpłynęły na wiele plemion indiańskich oraz doprowadziły prawdopodobnie do końca kultury Anasazi. Ze względu na to, że zmiany klimatu związane ze „średniowiecznym optimum klimatycznym” oraz „małą epoką lodową” mają duże implikacje dla obecnego ocieplenia, gdyż wskazują na naturalne fluktuacje klimatu w skali setek lat, terminy te stały się przedmiotem debaty naukowo-politycznej. Według raportu IPCC, początkowo sądzono, że zmiany temperatury były globalne. Pogląd ten zakwestionowano; raport IPCC podsumował te badania, oświadczając, że *obecne dowody naukowe nie popierają globalnie synchronicznych okresów nietypowego oziębienia lub ocieplenia w tym przedziale czasowym, a konwencjonalne terminy „Mała epoka lodowa” i „Średniowieczne optimum klimatyczne” okazują się mieć ograniczoną użyteczność w opisywaniu trendów hemisferycznych lub globalnych zmian temperatury w ostatnich stuleciach*. Amerykańska Narodowa Służba Oceaniczna i Meteorologiczna (NOAA) oświadcza, że *„idea globalnego lub hemisferycznego „Średniowiecznego optimum klimatycznego” cieplejszego niż obecnie okazała się błędna” a te „istniejące pomiary wykazują, że nie było wieloletnich okresów, w których globalne lub hemisferyczne temperatury były takie same lub cieplejsze niż w XX wieku.”* Istniejące pomiary temperatury ze rdzeni lodowych, słoju rocznych i osadów z jezior wykazują, że Ziemia z

okresu 1000–1200 n.e. była o 0,03 °C chłodniejsza niż w okresie 1901 – 1970 n.e. Te same dane wskazują, że najcieplejszym 50-letnim okresem półkuli północnej przed 1900 r. były lata 1146 – 1195, które były równie ciepłe jak okres 1901 – 1970. Według dostępnych 71 krzywych paleoklimatycznych zmiany temperatury podczas ostatnich 2000 lat osiągały amplitudę od 0,5 °C do 4 °C (średnio 1,5 – 2 °C), gdzie najlepiej zaznaczyły się okresy ŚOK i małej epoki lodowej oraz obecne ocieplenie. Wcześniejsze okresy: *Dark Age Cold Period* („Ciemne Wieki” – ochłodzenie wczesnośredniowieczne) i optimum epoki rzymskiej są słabiej zaznaczone.

Znaczne wzrosty temperatur na pewnych obszarach z naszej ludzkiej perspektywy możemy również traktować jako swego rodzaju kataklizmy. Najnowsze badania wskazują, że zmiana klimatu miała m.in. znaczny wpływ na upadek kultury Majów, którzy w czasach prekolumbijskich stanowili rozwiniętą cywilizację rolniczą i miejską. Mimo prób przystosowania się do nowych warunków społeczeństwa te znalazły się w ogromnym kryzysie. Nagłe załamanie się rozwoju cywilizacyjnego tych ludów w końcu pierwszego tysiąclecia naszej ery do dzisiaj stanowi zagadkę. Istnieje wiele teorii mówiących o przyczynach upadku państwowości i kultury Majów. Mogły go spowodować między innymi destabilizacja społeczna wewnątrz państwa, nadmierny wzrost populacji skutkujący niedoborami żywności, wyeksploatowanie zasobów naturalnych, a także lokalna katastrofa ekologiczna. Katastrofą taką mogła być też dość nagła zmiana klimatu w tym okresie. Próbę wyjaśnienia tej teorii podjęli naukowcy amerykańscy, a wyniki swoich badań opublikowali 20 kwietnia 2018 r. w *Proceedings of the National Academy of Science*. Podczas badań uczeni analizowali ślady historycznych susz w Ameryce Środkowej, które odpowiadają okresowi, w którym nastąpił upadek państwowości Majów. Nowe badania zbliżają nas do odpowiedzi na pytanie, jaka była rola zmian klimatycznych w załamaniu się i ostatecznym upadku tej cywilizacji w okresie pomiędzy 800 a 950 r. n.e. Badania świadczą o tym, że na południowych nizinach zamieszkałych przez Majów skutki susz były bardziej odczuwalne w porównaniu z północnymi terenami. Południowe tereny były centrum imperium Majów, a możliwość adaptacji ludności tam żyjącej do nowych warunków była ograniczona. O wiele lepiej poradziła sobie z tym społeczność zamieszkująca północne obszary, ponieważ była już przyzwyczajona do występującej tam okresowej suszy. To właśnie w tym kierunku następowała ekspansja podczas suszy, co między innymi spowodowało, że miasta na południu już nigdy nie powróciły do swojego poprzedniego stanu. Podczas badań odnaleziono dowody na to, że Majowie próbowali dostosować się do nowych warunków klimatycznych. Zbiory kukurydzy w pierwszym etapie suszy były na tyle duże, że pozwalały na utrzymywanie się stałego tempa wzrostu populacji. Osiągnięto to przez zmianę metody upraw z karczunkowo-wypaleniskowej na bardziej intensywną i skoncentrowaną. Dowody tej teorii znaleziono podczas badań rdzeni osadowych pobranych z dna dwóch jezior na półwyspie Jukatan i w Gwatemali. Naukowcy skupili się na badaniu izotopów wodoru i węgla wchodzących w skład wosku pokrywającego liście. Izotopy wodoru pozwoliły na określenie okresów suszy wraz z ilością występujących wtedy opadów, zaś izotopy węgla pozwoliły na określenie typów stosowanych metod rolniczych.

Obecnie pojawia się teoria, według której duży wpływ na ówczesne zmiany klimatyczne przypisuje się katastrofie ekologicznej, związanej z przeeksploatowaniem zasobów naturalnych, na którą nałożyły się długotrwałe susze, trwające od 800 do 1050 r., udokumentowane dzięki badaniom geochemicznym. Teoria ta jest o tyle dyskusyjna, że nie uwzględnia stałego (w korzystnych warunkach klimatycznych) wzrostu demograficznego i co za tym idzie osadnictwa. Społeczności rozrastających się miast musiały zmieniać rodzaj gospodarki. Dziś populacja ludzka osiągnęła największą wysokość w dziejach i nie mówimy o tzw. przeeksploatowaniu środowiska. Choć wielkość populacji rzeczywiście jest problemem, ale to już inne zagadnienie. Na etapie jednak, wielokrotnie mniejszej gęstości zaludnienia tezy o nadmiernej eksploatacji środowiska są bezzasadne. Możemy raczej poszukiwać innych czynników regresu w rozwoju cywilizacji, w tym i zmiany klimatyczne (susze), ale ówczesny poziom gospodarki nie miał w tamtym okresie nic wspólnego ze zmianami klimatycznymi (w każdym razie wpływ człowieka na ówczesny klimat miał znaczenie śladowe, prawie żadne).

I w tym okresie dochodziło do erupcji wulkanicznych, ich skala jednak była stosunkowo niewielka (poza wybuchem wulkanu na pograniczu dzisiejszych Chin i Korei) i ich wpływ na panujące wówczas temperatury był stosunkowo nieznaczny, a w każdym razie stosunkowo krótkotrwały. Warto tu wspomnieć o jednej z takich erupcji, jednak nie z powodów zmian klimatycznych, ale w celu uświadomienia sobie tego, w jaki sposób ówcześni ludzie reagowali na tego rodzaju kataklizmy.

Badając próbki z rdzeni lodowych i pierścieni drzew z tego okresu ustalono, że około 939 roku doszło do erupcji wulkanu Eldgjá na Islandii. Skutki żywiołu dotknęły nie tylko Islandię, ale również sporą część świata, doprowadzając do ochłodzenia klimatu na półkuli północnej. Na powierzchnię wypłynęło ponad 20 kilometrów sześciennych lawy. Do atmosfery musiały dostać się ogromne ilości związków siarki i pyłów. Ich obecność spowodowała mgły, przez które zaobserwowano czerwony blask Słońca. Ofiarą kataklizmu padła głównie południowa część wyspy. Nastąpiły długie i surowe zimy, a latem wyspę częściej nawiedzały susze, które spowodowały głód, doprowadzając do wyludnienia wielu osad. W 874 roku pierwszymi mieszkańcami Islandii byli potomkowie Celtów i skandynawscy osadnicy. Wydarzenie zostało opisane w jednym z średniowiecznych islandzkich poematów – „Völuspa” (Przepowiednia wieszczki, Wróżba Wólwy) z 961 roku. Jest to jeden z pierwszych i najbardziej znanych utworów spośród szesnastu mitologicznych pieśni Eddy Starszej. Opisuje początek i koniec świata oraz wygląd świata po apokalipsie. W „Völuspie” znajdziemy fragment opisu erupcji wulkanu: *„Słońce zaczyna zamieniać się w czerń, ląd tonie w morzu, gwiazdy rozpraszają się po niebie, a w górę unosi się para wodna i płomienie, które sięgały ku niebiosom”*. Wiersz wspomina również o zimnym lecie, a na końcu opisuje gwałtowny zmierzch dawnych pogańskich bogów, a z chaosu powstaje zmartwychwstały bóg. *Najbardziej przekonujący jest styl niemal naocznego świadka erupcji przedstawionej w poemacie* Interpretacja utworu jako proroctwa końca pogańskich bogów i zastąpienia ich przed jednego Boga wskazuje, że wspomnienie kataklizmu przywoływano celowo, by wspierać chrystianizację Islandii. Autor i miejsce powstania utworu są nieznane. Ze względu na wyraźne chrześcijańskie elementy czas powstania

pieśni szacuje się na wiek X–XI, czyli początki chrystianizacji Islandii i Norwegii. Zdaniem uczonych, celowe wspomnienie kataklizmu przyczyniło się do stopniowego porzucania dawnych pogańskich wierzeń przez mieszkańców wyspy i ich przejście na chrześcijaństwo. Skutki tego kataklizmu dotknęły nie tylko Islandię, ale objęły również sporą część świata. Na podstawie analizy pierścieni drzew dowiedziono, że doszło do czasowego ochłodzenia klimatu na półkuli północnej, a lato w 940 roku było jednym z najchłodniejszych lat w ciągu ostatnich 1500 lat. *Ochłodzenie było najbardziej odczuwane w Europie Środkowej, Skandynawii, kanadyjskich Górach Skalistych, na Alasce i w Azji Środkowej, gdzie średnie letnie temperatury obniżyły się o 2 stopnie.* Świadectwa tamtego kataklizmu znajdujemy w średniowiecznych kronikach z Irlandii, Niemiec, Włoch i Chin, gdzie autorzy wspominają o mgle i czerwonym blasku słońca.

Wspomniana wyżej erupcja wulkanu z pogranicza Chin i Korei, Changbaishan, uwolniła prawie trzy razy więcej materiału niż Krakatau w 1886 roku. Ch'ŏnji (dosł. „Niebiański Staw”) jest obecnie jeziorem na granicy Korei Północnej i Chin, które leży na wysokości 2194 m n.p.m. i zajmuje powierzchnię 9,28 km², ma objętość ok. 2 km³ a jego głębokość maksymalna sięga 373 m. Kaldera, w której znajduje się obecnie jezioro, powstała w wyniku erupcji w roku 969, która osiągnęła siódmy, przedostatni, punkt w Indeksie Eksplozywności Wulkanicznej (VEI). Popiół wulkaniczny będący wynikiem tej erupcji pokrył Półwysep Koreański ponad metrową warstwą popiołu. Jezioro stanowi część największego chińskiego rezerwatu przyrody Changbaishan.

Pisząc o erupcjach wulkanicznych i ich wpływach na zmiany klimatyczne mam świadomość, że wciąż poruszamy się w świecie hipotez, że nasza wiedza w tym zakresie jest jeszcze bardzo mała, a przede wszystkim nieuporządkowana. Niedawno dowiedzieliśmy się na przykład, że w 1100 roku dostrzeżono niezwykle zjawisko „zaćmienia księżyca” (zachmurzenia pyłami). Podobne zjawiska miały miejsce po erupcji wulkanu Samalas w 1257 roku i Krakatau w 1883 roku. Dziś przyjmuje się, że za „zaćmienie księżyca” w 1100 roku odpowiadała erupcja wulkanu Asama w Japonii, która rozpoczęła się pod koniec sierpnia i trwała do października 1008 roku. Analizy słoików z tego okresu potwierdzają panujące w tym czasie ochłodzenie, co również związane jest z erupcjami wulkanicznymi. Ślady tej erupcji odkryto w czasie badań chronologii osadów grenlandzkich rdzeni lodowcowych.

Wpływ zmian klimatycznych i nierównomierność temperatur w ówczesnym świecie był bardzo zróżnicowany i trudno opisać go w jednej pracy. Wielu badaczy, a zwłaszcza publicystów, niestety, dokonuje tu znacznych uproszczeń. Pisze np. Leszek Marks, że w czasie ocieplenia średniowiecznego (900–1400 r.) temperatura była wyższa o około 0,5 – 1°C od obecnej. Nastąpiła wówczas recesja lodowców, umożliwiającą działalność rolniczą wysoko w Alpach, a w Niemczech winnice występowały ponad 200 m wyżej niż obecnie. Zmniejszenie zasięgu lodu morskiego sprzyjało Wikingom w kolonizowaniu Islandii i Grenlandii oraz dotarciu do Nowej Funlandii. Dostatek żywności w Europie doprowadził do dwukrotnego wzrostu zaludnienia i powstania sieci transportowej, nadmiar siły roboczej zatrudniano do budowy klasztorów, kościołów i uniwersytetów. Nastąpiła wówczas maksymalna ekspansja arabska

oraz niespotykany wcześniej rozwój kultury i nauki. To, pomijając kwestię uogólnienia w kwestii temperatur, zbyt uproszczone spojrzenie.

Pisząc o tak długim okresie, musimy mieć świadomość, że musiało w tym czasie dochodzić do znacznych zmian. Na początku 1200 roku mieszkańcy Bagdadu zwrócili uwagę na fakt, że z Egiptu przybywa do ich wielu wycieńczonych i niezwykle wychudzonych ludzi. Większość z nich przybywało pieszo. Przyczyną ich ucieczki była susza, brak opadów i obniżenie poziomu wody w Nilu. Wśród mieszkańców Egiptu zaczął się straszny głód i pomór. W tym czasie w Egipcie z głodu zmarło prawdopodobnie 100 tysięcy ludzi (a w samej Mekce – 200 tysięcy). Susza trwała przez trzy lata.

Naukowcy spekulowali wcześniej, że Mongołowie wyprawili się w świat, bo ich kraj nawiedziło mocniejsza niż zwykle susza. Z najnowszych badań wynika jednak, że było wręcz przeciwnie. Ich wędrówkę i podbój świata spowodowała większa niż poprzednio (znaczna) fala opadów. Dowodem na to są badania dendrologiczne (słoi drzew). Przyrosty słoi drzew z tego okresu były znacznie większe od poprzednich. Dzięki opadom znacznie wzrosła populacja Mongołów i ich zamożność. Mieli, bowiem pod dostatkiem trawy dla swoich koni. Szacuje się, że każdy wojownik mongolski dysponował pięcioma wierzchowcami. Najazdy mongolskie w XIII wieku skłoniły do przesiedlenia masy koczowników turkmeńskich do przeniesienia się w głąb Azji Mniejszej. Doprowadziło to w konsekwencji do przeludnienia Anatolii i wzmogło napór Turków na ziemie Cesarstwa Bizantyjskiego.

Rozdział XIX

Mała epoka lodowa 1300 – 1850?

W tytule tego rozdziału postawiłem znak zapytania. Widnieje on zaraz po datach i mógłby się odnosić tylko do nich, choć można go postawić i do jego całości. Dziś, bowiem podważane są zarówno nazwa epoki, jak i przyjmowane dla niej chronologie. Jako jej datę początkową przyjmuje się rok 1275 (kiedy to doszło do erupcji wulkanu Samalas), rok 1300, a nawet dopiero rok 1400. Czytamy np. w Wikipedii: *Okolo 1400 roku doszło do kolejnego ochłodzenia, które z krótkimi okresami względnego ocieplenia trwało aż do 1850 r. i nosi nazwę „mała epoka lodowcowa”, która zaznaczyła się między innymi rozwojem lodowców alpejskich.*

Podobnie, jak i w przypadku określenia poprzedniej epoki, tak i w tym wypadku używając określenia „mała epoka lodowcowa” musimy mieć świadomość, że ma ono dziś charakter wyłącznie historyczny. Badania prowadzone na przełomie XX i XXI wieku wykazały, że zmiany temperatur i w tym okresie nie były globalne. Podsumowujący te badania raport IPCC stwierdza, że obecne dowody naukowe nie popierają globalnie synchronicznych okresów nietypowego oziębienia lub ocieplenia w tym przedziale czasowym, a konwencjonalne terminy „mała epoka lodowa” i „średniowieczne optimum klimatyczne” okazują się mieć ograniczoną użyteczność w opisywaniu trendów hemisferycznych lub globalnych zmian temperatury w ostatnich stuleciach.

Glacjologicznie okres ten trwał od 1300 do 1850 r. – w tym czasie lodowce górskie w wielu obszarach górskich miały nieprzerwanie większy zasięg niż w okresie poprzedzającym MEL (czyli w średniowiecznym optimum klimatycznym) i po tym okresie, czyli obecnym ociepleniu. Klimatycznie okres ten trwał od 1570 do 1900 r. Cechowało go ochłodzenie klimatu półkuli północnej, gdzie średnie temperatury na spadły o około 1 °C. Miało to znaczący wpływ na życie gospodarczo-społeczne, a także zmiany polityczne szczególnie w obszarze Północnego Atlantyku, tj. Europy i Ameryki Północnej.

Spotykamy jednak i inne próby ustalania cezur dla tego okresu. Niektórzy historycy przyjmują, że tzw. Mała Epoka Lodowcowa rozpoczęła się w XVI wieku. Christopher Duncan i Susan Scot piszą, że w 1506 roku odnotowano w południowej Francji ciężką zimę i Morze Śródziemne zamarzło w okolicach Marsylii, a główny okres ochłodzenia rozpoczął się w 1560 roku.

W Alpach podczas tzw. małej epoki lodowcowej lodowce osiągnęły maksima w trzech głównych etapach: XIV w. (ok. 1350), XVII w. (1600–1660) i XIX w. (1820–1850 r.).

Jednak trzeba zaznaczyć, że zarówno zmiany klimatyczne, jak i awanse lodowców w różnych regionach Ziemi podczas tego okresu nie były synchroniczne. Mimo że najwięcej dowodów na znaczące awanse lodowców omawianego okresu znajduje się na półkuli północnej (głównie w Alpach,

Skandynawii i górach Ameryki Północnej), nieliczne badania na półkuli południowej także świadczą o ich większym zasięgu. W Alpach Południowych ostatnie dwa holocenyjskie maksima, lodowce osiągnęły w 1725–1740 i 1860–1890/95. Podobnie w Andach patagońskich największym holocenyjskim awansem lodowców była Mała Epoka Lodowcowa, i podobnie jak w Alpach, lodowce osiągnęły tam trzy maksima, co potwierdzają badania dendrochronologiczne. Od 1850 roku (czyli maksimum zasięgu lodowców podczas MEL) do 2000 roku lodowce w Alpach straciły średnio 50% swojej powierzchni, a linia wiecznego śniegu w tych górach podniosła się o około 150 m. Czoło największego lodowca alpejskiego Grosser Aletsch wycofało się w tym czasie o ok. 3,4 km.

W 1305 roku Morze Północne zamarzło na 3 mile od brzegów. W roku 1364 na 4 metry w głąb zamarzł Rodan. W 1323 roku po morzu Śródziemnym pływały ogromne bryły lodu. W 1408 roku Paryż cierpiał od zimna. W 1420 roku panowała znaczna śmiertelność od zimna i wilki pożerały trupy u wrót Paryża. W 1434 roku panował mróz we Francji, nawet w kwietniu. W 1458 roku 40-tysięczna armia rozłożyła się obozem na Dunaju. W 1507 roku port w Marsylii zamarzł, ludzie i zwierzęta ginęły od chłódów. W XVI. wieku wynaleziono termometr i od tej pory ściśle zaczęto oznaczać stopień zimna. W r. 1665 w Paryżu było 22 i pół stopnia niżej zera. W r. 1769 panowała zima nadzwyczaj surowa: kanał La Manche i morze Śródziemne zamarzły, w Paryżu było 23 stopni zimna i zamiecie trwały 60 dni, Sekwana była zamarzniętą dwa miesiące. W roku 1788 po kanale La Manche pływały lody. Następnie odznaczyły się zimnem lata: 1795, 1830, 1840 i 1846. W 1858 roku zamarzły wszystkie rzeki w Europie. Warto zauważyć, że wspomniane powyżej informacje dotyczą dat rocznych. Zmiany temperatur na poszczególnych obszarach nie miały charakteru ciągłego. Temperatury ulegały zmianom (nawet znacznym) w różnych odstępach czasu. Nie znamy dziś źródeł tych zmian, tylko niektóre z nich potrafimy powiązać np. z konkretnymi erupcjami wulkanów. Istnieją dowody, że okres ten charakteryzował się spadkami temperatur w Chinach i Ameryce Południowej, jednak najbardziej doświadczył ich Stary Kontynent. W górskich dolinach szybko rozszerzające się lodowce niszczyły całe wsie i miasteczka.

Randy Cerveny datuje „małą epokę lodowcową” na lata między rokiem 1500 a 1850. Przez część badaczy datowana jest ona na zaledwie 200 lat pomiędzy 1600 a 1800 rokiem naszej ery, kiedy w Europie panowały wyjątkowe chłody, a lodowce alpejskie poważnie się powiększyły. (Wzrost lodowca alpejskiego o 300 metrów rocznie – odległość strzału z muszkietu). Inni klimatolodzy traktują lata 1600 – 1800 jako ekstremalny fragment epoki, która w całości obejmowała lata 1300 – 1850. Od około roku 1850 średnia temperatura zaczęła powoli wzrastać zbliżając się do poziomu obecnego.

Wulkanizm

Dotychczas uważano, że Małą Epokę Lodowcową zapoczątkował wulkanizm, zmiany w aktywności słonecznej lub jedno i drugie. Zdaniem naukowców z Boulder, przyczyną gwałtownego spadku temperatur w ciągu

zaledwie 25 lat był wulkanizm, wskazali też przyczynę utrzymania się niższych temperatur Ziemi przez kilkaset lat, również znajdując ją w erupcjach kolejnych wulkanów. Badania węglem radioaktywnym zamarzniętych roślin z Ziemi Baffina, rdzeni lodowych oraz osadów z biegunów i Islandii oraz symulacje zjawisk klimatycznych pozwoliły stwierdzić, że Mała Epoka Lodowcowa rozpoczęła się od czterech wielkich erupcji wulkanicznych, które wystąpiły w tropikach w ciągu 50 lat. Do zamarzania wspomnianych roślin dochodziło w latach 1275 – 1300. Dochodziło wówczas często do przerwania procesu wegetacji, rośliny nagle zamarzły, a ich korzenie zostały nienaruszone. Drugi okres nagłego spadku temperatury, wskazujący na nagłe zmiany, miał miejsce około roku 1450. Badania roślin zostały potwierdzone obserwacjami osadów z islandzkiego jeziora Langjökull. Pokazują one, że pod koniec XIII wieku warstwy wskazujące na erupcje wulkaniczne nagle stały się znacznie grubsze. Ponowne zwiększenie grubości zauważono w warstwach z XV wieku. W tych samych okresach można obserwować zwiększoną erozję powodowaną przez lodowce. To pozwoliło połączyć dane i stwierdzić, że wybuchy wulkanów ochłodziły klimat.

Naukowcy wykorzystali Community Climate System Model do sprawdzenia wpływu nagłego ochłodzenia wywołanego wielkimi erupcjami na klimat. Symulacje wykazały, że gwałtowne ochłodzenie północnych części Europy oraz Grenlandii mogło spowodować szybki rozrost grenlandzkich lodowców. W końcu te znajdujące się na wschodnim wybrzeżu, dotarły do Północnego Atlantyku, gdzie zaczęły się topić. Woda z lodowców niemal nie zawiera soli, jest mniej gęsta od wody słonej. Z tego też powodu lodowce topiąc się w zetknięciu z cieplejszymi od nich wodami Atlantyku, uwalniały olbrzymie ilości zimnej słodkiej wody, która nie mieszała się z wodą oceanu. Tworzyła na jego powierzchni rodzaj zimnej kołdry. To spowodowało z kolei, że wody Atlantyku nie uwalniały ciepła w okolicach arktycznych, zatem nie ogrzewały Grenlandii. Tak powstał samopodtrzymujący się system chłodzący, dzięki któremu epoka lodowcowa trwała na długo po wygaśnięciu aktywności wulkanicznej. Symulacje pokazały, że erupcje wulkaniczne mogą mieć głęboki wpływ chłodzący. Mogą rozpocząć reakcję łańcuchową tak zmieniając prądy oceaniczne i pokrywę lodową, że niższe temperatury utrzymują się przez wieki. Na potrzeby symulacji komputerowych ustawiono stały poziom aktywności słonecznej. To pozwoliło stwierdzić, że do wywołania ochłodzenia wystarczyła sama aktywność wulkanów, ilość ciepła docierającego ze Słońca wcale nie musiała być mniejsza niż zwykle. Zdecydowano się nie uwzględniać wpływu naszej gwiazdy, gdyż szacunki dotyczące zmian aktywności pokazują, że jest ona niewielka. Obecnie uważa się, że w ciągu kilku ostatnich tysiącleci aktywność Słońca zmieniła się w mniejszym stopniu, niż zmienia się podczas jego 11-letniego cyklu.

Początki ochłodzenia tego okresu współcześni badacze wiążą z erupcją indonezyjskiego wulkanu Samalas, która miała miejsce w 1258 roku. Naukowcy prześledzili stare zapiski, także te z wyspy Lombok (o upadku lokalnego królestwa), na której znajduje się wulkan, dane z rdzeni lodowych wydobytych na Antarktydzie i Grenlandii (w których znaleźli ślady erupcji), a także przeanalizowali wyniki badań dendrochronologicznych. Porównali też ślady popiołów wydobyte z rdzeni lodowych z próbkami pobranymi z okolic wulkanu. Wulkan Samalas jest częścią kompleksu wulkanicznego Rinjani znajdującego

się na środku wyspy Lombok. Według szacunków wznosił się na około 4200 m n.p.m. Wspomniana erupcja miała miejsce między majem a październikiem 1257 roku. Erupcja o skali VEI-7 rozerwała stożek wulkanu i uformowała kalderę o wymiarach 6 × 8,5 km. Badacze obliczyli, że erupcja wulkanu wyrzuciła na wysokość nawet 40 km od 35 do 40 km³ gazów i pyłów, w tym związki siarki (od 35 do 40 materiału).

Erupcja Gunung Samalas zniszczyła stolicę królestwa Lombok, Pamatan i uśmierciła setki ludzi. Być może ruiny tej stolicy znajdują się głęboko pod warstwami popiołu i materiałów piroklastycznych wyprodukowanych przez wulkan. Obecnie aktywnym centrum erupcyjnym w kalderze Rinjani jest stożek Barujari. Pyły wulkaniczne przykryły niebo welonem odbijającym światło słoneczne i w rezultacie spowodowały krótkotrwałe globalne ochłodzenie. Ochłodzenie związane z katastrofalną erupcją zostały odnotowane w kronikach w roku 1258. Dzisiaj jego potężny krater wypełnia jezioro. Bliźniaczy wulkan Rinjani, przylegający do Samalasa od strony wschodniej przetrwał katastrofę, choć jego zachodnie zbocza również się zapadły.

Erupcja Samalasa była na tyle silna, że wpłynęła przejściowo na światową pogodę. Pierścienie drzewne, a także źródła historyczne i archeologiczne wskazują, że w Północnej Hemisferze doszło do katastroficznych powodzi, klęski nieurodzaju, a lato 1258 roku było niewiarygodnie zimne. Skutkiem erupcji było obniżenie się temperatury i intensywne deszcze m.in. w Europie. Obfite opady z lata 1258 roku przyczyniły się w tu do niskich plonów, które sprowadziły głód. Możliwe też, że erupcja ta była pierwszą w tej serii. Przeprowadzone na początku XXI wieku badania rdzeni lodowych oraz drzew rosnących w pobliżu Samalasa (chemiczny skład złóż pumeksu z erupcji pasował do szklistych okruchów znalezionych w grenlandzkich i arktycznych rdzeniach lodowych), a także lektura spisanej na palmowych liściach Babad Lombok, pozwoliły jednoznacznie powiązać ten wulkan z anomaliami pogodowymi w Europie z 1258 roku.

Wydaje się jednak, że tylko jedna erupcja o skali VEI-7 nie mogła spowodować ochłodzenia, które miało trwać kilkadziesiąt lat. Śledząc skutki poprzednich erupcji wulkanów mogliśmy zauważyć, że ich bezpośrednie oddziaływanie miało miejsce w roku wybuchu, ewentualnie przy większych erupcjach trwało dwa lata. W tym czasie pyły wulkaniczne, które dotarły do stratosfery zdążyły opaść i na Ziemię promieniowanie słoneczne ponownie oddziaływało w stopniu takim jak przed erupcją. Wzrost wulkanów w ciągu roku, dwóch lat był jeszcze na tyle nieznaczny, że nie mógł na długo utrzymywać chłodniejszego klimatu, tym bardziej, że te w wyniku ponownego ocieplenia zmniejszały swój zasięg. Ochłodzenie mogło ulec przedłużeniu wówczas, gdyby doszło do kolejnych erupcji o podobnej skali, lub nawet nieco mniejszych, ale gdy ich ilość była stosunkowo znaczna. Dlatego też postanowiłem prześledzić przebieg wulkanizmu dla całej, tzw. Małej Epoki Lodowcowej, a skutki tej najbardziej odczuwalne były w Europie.

Wcześniej ówczesne ochłodzenie klimatu wiązano z erupcjami wulkanów w Meksyku, Ekwadorze i na Nowej Zelandii. Podejrzanych wulkanów było kilka: kaldera Quilotoa w Ekwadorze, wulkan El Chichon w Meksyku, kaldera

Okataina w Nowej Zelandii, ale wszystkie te wulkany zostały wyeliminowane na drodze datowania radiowęglowego czy chemicznej analizy porównawczej złóż post-erupcyjnych.

Dzięki pracy islandzkiego pioniera tefrochronologii Sigurðura Þórarinssona (1912–1983) wiemy, że najwięcej wulkanów holocenówskich o udokumentowanych erupcjach znajduje się na terenie Islandii. Pierwsze wzmianki o erupcjach pochodzą z roku 1000 – wówczas wybuch wulkanu miał miejsce podczas debaty Althingu w Thingvellir. W XII i XIII wieku odnotowano 12 erupcji rocznie, w XV wieku 9, w XVII wieku 15. Odnotowujemy takie erupcje również dla wieku XVIII i XIX. Szacuje się, że od roku 1500 z islandzkich wulkanów wydostała się ilość lawy równa ok. jednej trzeciej ilości lawy ze wszystkich innych erupcji w tym okresie na całym świecie. Częstotliwość erupcji wulkanicznych to ponad 20 na sto lat, a produktywność to 5 km³ magmy na sto lat.

Jednym z najbardziej aktywnych w Islandii jest Hekla (isl. „kaptur, czepek, płaszcz z kapturem”; 1491 m n.p.m.). Znajduje się w południowo-zachodniej Islandii, 115 km na wschód od stolicy kraju, Reykjavíku. Hekla jest stratowulkanem, który powstał w rezultacie wylewów o charakterze liniowym z kilku szczelinowych kraterów, rozsianych na obszarze kilkunastu kilometrów. W czasie erupcji wulkan wyrzuca duże ilości różnych produktów wulkanicznych: bomby, popioły, gazy oraz lawę. Dlatego zalicza się go do wulkanów eksplozywno-efuzywnych typu wezuwiańskiego.

Ważniejsze erupcje w czasach przedhistorycznych to: 6600 p.n.e., 4000 p.n.e., 2800 p.n.e. oraz ok. 860 r. n.e. W czasach historycznych odnotowano wybuchy Hekli w latach: 1104, 1158, 1206, 1222, 1300, 1341, 1389, ok. 1440, 1510, 1597, 1636, 1693, 1766, 1845, 1878, 1947–48, 1970, 1991 i 2000. Erupcjom towarzyszą najczęściej lekkie trzęsienia ziemi oraz spływy gwałtownie topniejących lodów tzw. jökulhlaupy (w czasie erupcji 1947/48 w jednej fali spłynęło około 3 km³ wody). Hekla produkuje głównie dacyty oraz andezyty bazaltowe. Wybuchy Hekli zazwyczaj nie przynosiły bezpośrednio strat w ludziach czy gospodarce, jako że jego okolice są słabo zaludnione. Największym problemem jest jednak opad popiołów, które osiadając na roślinach wywoływały straty w hodowlach zwierząt, które były podstawą islandzkiego rolnictwa.

Hekla często pojawiała się w literaturze europejskiej, już od średniowiecza. Wielokrotnie pojawiał się motyw Hekli jako „wrót piekieł”. Wulkan ten, zlokalizowany kilkaset mil od północnego krańca kontynentu europejskiego, ma niekorzystny wpływ na klimat. Ostatnie badania dotyczące Hekli wykazały, że zbiornik magmy znajduje się tylko 4 mile pod powierzchnią ziemi. Jak się okazuje lawa znajduje się tuż pod skorupą ziemi.

Zlokalizowany pod czapą lodową lodowca Vatnajökull wulkan Bárðarbunga wznosi się na wysokość 2009 m n.p.m. Wulkan ten jest zlokalizowany pod północno-zachodnią częścią lodowca Vatnajökull, na północny zachód od Grímsvötn. Posiada, ukrytą pod lodowcem, kalderę o średnicy 700 m. Ze szczelin należących do systemu tego wulkanu w holocenie wydobywały się

olbrzymie ilości lawy, w tym największy holoceniowy wypływ lawy Þjórsá (ponad 21 kilometrów sześciennych). Wulkan ten ma długą historię erupcji z epizodami większej aktywności; w XVIII wieku wybuchał 15 razy. Ostatnią pewną erupcję w XX wieku odnotowano w 1910.

W południowej Islandii, na północ od lodowca Mýrdalsjökull i na południe od jeziora Þórisvatn położony jest kompleks wulkaniczny Torfajökull. Jego najwyższy wierzchołek wznosi się na 1280 m n.p.m. W kompleksie wyróżnia się kaldera o szerokości 12 km, która uformowała się w plejstocenie. Ostatnią erupcję na tym terenie odnotowano w 1477 roku w północnej części kaldery. Wewnątrz kaldery ma miejsce wzmożona aktywność geotermiczna na obszarze o powierzchni 130 – 140 km². Południowo-wschodni fragment kompleksu częściowo przykrywa czapa lodowca również noszącego nazwę Torfajökull. Powierzchnia lodowca to 15 km² i jest to dwunasty pod względem wielkości lodowiec Islandii.

Na klimat Europy wpłynęły też erupcje wulkanu Örafajökull, które miały miejsce w latach 1727–1728. Z powodu zachmurzonego nieba nad kontynent nie docierała dostateczna ilość promieni słonecznych, co spowodowało ochłodzenie, a w konsekwencji nieurodzaj i głód. Powstały tsunami pustoszące wybrzeża, na powierzchnię wydostała się woda z podlodowych jezior, których powierzchnie odtajały. Wybuch wulkanu Örafajökull miał miejsce również w roku 1362. Örafajökull znajdujący się w Parku Narodowym Skaftáfell otoczonym lodowcami Vatnajökull, Skeiðarárjökull, Skaftafellsjökull, jest najwyższym szczytem na Islandii – jego najwyższy punkt nosi nazwę Hvannadalshnúkur (2110 m n.p.m.).

Między 1783 a 1788 r. wybuchały kilkakrotnie islandzkie wulkany Laki i Grimsvötn. Ich erupcja uwolniła wiele tysięcy ton dwutlenku siarki, który bardzo skutecznie pochłania promieniowanie słoneczne. Prawdopodobnie zaburzyło to klimat w Europie na kilka lat.

Wulkan szczelinowy Laki Laki (isl. *Lakagígar* – Kratery Laki) wchodzi w skład kompleksu wulkanicznego Grímsvötn. Znajduje się поблизу miasteczka Kirkjubæjarklaustur, na południowy zachód od lodowca Vatnajökull. Osiąga wysokość 818 m n.p.m. Kratery tworzą pasmo górskie ciągnące się na długości ponad 25 km. Należy do systemu wulkanicznego Katla, współtworzonego przez znany z dużej erupcji w roku 934 system szczelin Eldgjá. Erupcja wulkanu Laki trwała od 8 czerwca 1783 do lutego 1784. Lawa wydostawała się z systemu szczelin ze 130 kraterów, rozciągających się z południowego zachodu na północny wschód. Wydostało się z nich łącznie 14–15 km³ lawy, która rozlała się na powierzchni 565 km². Była to największa odnotowana w historii ilość lawy, jaka kiedykolwiek wydostała się podczas jednej erupcji. Oprócz tego, w powietrze wyrzuconych zostało 12,3 km³ materiału piroklastycznego. Fontanny lawy, sięgające setek metrów wysokości były widoczne z daleka. Lawa wypłynęła na odległość 80 km od szczeliny, pokrywając obszar 580 km² i zalewając koryto rzeki Skaftá. Chmura gazów (wielkiej ilości SO₂) i popiołów, które zasypały większą część wyspy, dotarła także do kontynentalnej części Europy.

Erupcja przyczyniła się do obniżenia średniej temperatury powietrza na półkuli północnej o około 1 °C, a w samej Islandii o 5 °C. Nad znaczną częścią półkuli północnej przez kilka miesięcy utrzymywała się sucha mgła. W Ameryce Północnej nastąpiła mroźna zima – można było zaobserwować nawet kry lodowe, spływające rzeką Missisipi aż do Zatoki Meksykańskiej. Lato w 1783 roku było najchłodniejsze od przeszło 400 lat. Według niektórych uczonych, klęska głodu spowodowana erupcją wulkanu doprowadziła do niemal całkowitego wyginięcia eskimoskiego plemienia Kauwerak z północnego zachodu Alaski. Toksyczny obłok spowodował, że w ciągu jednej nocy uschły liście wzdłuż rzeki Ems w Niemczech. W Wielkiej Brytanii liście drzew pokruszyły się, a warzywa zwiędły. Podobne zjawiska obserwowano na terenie obecnych krajów, takich jak Finlandia, Francja, Holandia, Norwegia, Rumunia, Słowacja, Szwecja, Węgry, Włochy. Trującą mgłę zauważono w Portugalii, Tunezji, Syrii, Rosji, Nowej Fundlandii, a także na zachodzie Chin. Erupcja Laki była największą klęską żywiołową, jaka kiedykolwiek spotkała Islandię. Z powodu następstw wybuchu (takich jak: śmierć bydła, koni, owiec oraz głód) zmarło około 10000 osób, czyli około 20–25% ludności kraju.

To właśnie informacje o erupcji Laki w połączeniu z wiadomością o erupcji wulkanu Asama w Japonii uświadomiła Benjaminowi Franklinowi, że za naprzemiennym cyklem zimnych i ciepłych faz stoi więcej niż jedna siła sprawcza. Wielu zwraca się ku pogładowi, że również erupcje wulkaniczne mają przemożny wpływ na temperaturę. Franklin przypuszczał, że za wyjątkowo mroźnymi zimami w latach 1783 – 1784 stały właśnie erupcje wulkaniczne wulkanów Asma w Japonii i Laki w Islandii.

W okresie tzw. Małej Epoki Lodowcowej uaktywniły się również wulkany Italii. W 1500 roku doszło do wybuchu Etny na Sycylii. Nie wiemy, jaka była skala tego wybuchu. Kolejny jej wybuch w 1669 roku stał z powierzchni ziemi 12 wsi i całą zachodnią część Katanii. Ówczesna erupcja tego wulkanu trwała od 4 do 8 miesięcy i zupełnie zmieniła wygląd wybrzeża oraz wpłynęła na życie ponad 100 tysięcy osób. Zniszczonych lub bardzo poważnie uszkodzonych zostało ponad 40 miejscowości, kilkadziesiąt tysięcy ludzi pozostało bez dachu nad głową. W 1538 roku doszło do erupcji Campi Flegri.

W 1586 doszło do erupcji wulkanu Kelud (indonez. Gunung Kelud; Kelut) na Jawie w Indonezji. Skutkiem tej erupcji było ponad 10000 ofiar.

W Ameryce Południowej odnotowujemy dla omawianego okresu m.in. erupcję stratowulkanu El Chichon w 1300 roku. W XV wieku miała miejsce erupcja stratowulkanu El Misti, znanego również jako Putina lub Guagua Putina w południowym Peru, w pobliżu miasta Arequipa. El Misti ze swoim sezonowo zaśnieżonym, symetrycznym stożkiem, stoi na wysokości 5822 metrów (19101 stóp) nad poziomem morza i leży między górą Chachani (6075 m lub 19931 stóp) a wulkanem Pichu Pichu (5669 m lub 18599 stóp). Odnotowano również erupcję tego wulkanu w 1787 roku. Od XVI wieku doszło do co najmniej, dwudziestu mniejszych erupcji stratowulkanu Galeras (wysokość: 4276 m n.p.m.) w południowo-zachodniej Kolumbii; ostatnia w 1886 roku. Również od XVI wieku udokumentowana jest aktywność w czasach historycznych, zwykle w postaci niewielkich wybuchów, wulkanu Santa Ana (Ilamatepec) w Zachodnim

Salwadorze.

Do znacznego wzrostu ochłodzenia doszło u progu XVII wieku. Dziś wiąże się je z wybuchem położonego na wulkanicznej wyżynie w południowym Peru stratowulkanu Huaynaputina (keczua: Młody wulkan), Waynaputina. Jego wybuch 19 lutego 1600 był największą erupcją w Ameryce Południowej w czasach historycznych, szacowany jest na szósty stopień VEI. Erupcja ta przyczyniła się do zniszczenia miast Arequipa oraz Moquengua. Wulkan wyrzucił wówczas do atmosfery od 16 mln do 32 mln ton pyłu, w szczególności dwutlenku siarki. Popiół wulkaniczny (a także błoto i skały) zasypał okoliczne tereny docierając nawet do oddalonego o 120 km wybrzeża Pacyfiku. Według niektórych raportów fala pyłu dotarła na odległość 250 – 500 km na tereny południowego Peru (obecnie Chile). Gospodarka rolna regionu potrzebowała 150 lat, aby w pełni się zregenerować po skutkach kataklizmu. Następstwem erupcji było zjawisko tzw. zimy wulkanicznej, czyli zjawiska obniżenia się temperatury na skutek przysłonięcia Słońca przez popiół wulkaniczny i kropelki kwasu siarkowego. W wyniku kataklizmu bezpośrednio zginęło około 1500 ludzi, ale jego globalne skutki były straszniejsze. Skutki wybuchu wulkanu były odczuwalne przez kolejne lata również na innych kontynentach, gdzie zaobserwowano ochłodzenie klimatu, co w konsekwencji prowadziło do klęsk nieurodzaju i fali głodu – śmierci milionów ludzi.

W XVII wieku warto jeszcze odnotować erupcje stratowulkanu Mayon w 1616 i Krakatau, która miała miejsce w 1680 roku. Wspominam o tych erupcjach, gdyż o wulkanach tych usłyszymy ponownie w XIX i XX wieku.

W pierwszych latach XVIII wieku ponownie dla tej epoki doszło do wybuchu wulkanu o skali VEI-7, była to erupcja wulkanu Changbaishan (na granicy Chińsko Koreańskiej) w 1702 roku. Spowodowała wyrzucenie materiałów wulkanicznych na odległość ponad 1200 km. Po eksplozji powstała olbrzymia kaldera o średnicy 4,5 km i głębokości kilometra. Obecnie w zagłębieniu po wulkanie znajduje się jezioro. W 1770 na jego południowych stokach powstał nowy wulkan Izalco, który podczas trwających nieomal nieustannie przez dwa wieki erupcjach utworzył stożek o wysokości 650 m.

Do dalszego wzrostu ochłodzenia doszło pod koniec pierwszej i w początkach drugiej dekady XIX wieku. Dla tego czasu obserwujemy też cały cykl znacznych erupcji. W rdzeniach lodowych wydobytych z Antarktydy i Grenlandii zapisały się także ślady ciągle tajemniczego wybuchu wulkanicznego z 1809 roku.

W 1808 roku doszło do erupcji stratowulkanu Agung w Indonezji, na wyspie Bali (najwyższy szczyt tej wyspy o wysokości 2997m n.p.m. Krater ma średnicę 500 m i głębokość 200 m.).W czasie późniejszych erupcji tego wulkanu odnotowywano także aktywność fumaroliczną, co mogło wpłynąć na przedłużenie okresu ochłodzenia spowodowanego tą erupcją.

W 1812 roku doszło do wybuchu wulkanu La Soufrière (Soufrière Saint Vincent) na Karaibach, na wyspie Saint Vincent, wchodzącej w skład wyspiarskiego państwa Saint Vincent i Grenadyny na Morzu Karaibskim.

Wulkan, stanowiący najwyższy szczyt wyspy, położony jest w jej północnej części. Pierwsza historyczna erupcja wulkanu miała miejsce w 1718 roku. Gwałtowne wybuchy wulkanu Soufrière miały miejsce ponadto w latach 1812, 1902, 1971 i 1979. Erupcja z 1812 roku, podobnie jak erupcja w 1718 roku, była dość krótkotrwałą erupcją wybuchową, która zakończyła się w ciągu kilku dni.

1 lutego 1814 roku doszło do wybuchu wulkanu Mayon na Filipinach, w wyniku tej erupcji doszło do zniszczenia wielu okolicznych miejscowości; spowodował on ponad 1200 ofiar śmiertelnych. Erupcje tego wulkanu są notowane do 1616 roku.

Wreszcie w 1815 roku na indonezyjskiej Sumbawie w ówczesnych Holenderskich Indiach Wschodnich (dzisiejsza Indonezja) doszło do erupcji wulkanu Tambora. Erupcja ta uważana jest za najsilniejszy wybuch w czasach historycznych.

Do ostatniej erupcji wulkanu o sile 7 w skali VEI doszło w kwietniu 1815 roku, kiedy wybuchł wulkan Tambora na indonezyjskiej wyspie Sumbawa zabijając przynajmniej 71 000 ludzi i powodując szereg anomalii klimatycznych w roku 1816 zwanym Rokiem Bez Lata.

Gunung Tambora przed feralną erupcją z 1815 roku uchodził za wulkan wygasły. Pierwszymi oznakami jego przebudzenia były głośne dudnienia i niewielkie emisje popiołu, które rozpoczęły się w 1812 roku. Wyraźnie wskazywały na to, iż magma przemieszcza się ku powierzchni. Pierwsza większa erupcja Gunung Tambora nastąpiła wieczorem 5 kwietnia 1815 roku i trwała przez blisko dwie godziny. Oszacowana wysokość chmury erupcyjnej z dnia 5 kwietnia 1815 roku wyniosła 33 kilometry ponad poziom morza. Do drugiej (tym razem trzygodzinnej) erupcji Tambora doszło 10 kwietnia 1815 roku. Erupcja ta spowodowała wyrzucenie ok. 100 km³ materiału wulkanicznego, obniżając górę z 4300 m (co przed erupcją, czyniło z Gunung Tambora najwyższym szczytem w Indonezji), do 2850 m. Słup wybuchu miał wysokość około 44 km. Popiół został rozrzucony w promieniu 1300 km, a pył w odległości 900 km miał centymetrową warstwę. Centralna kolumna erupcyjna zapadła się, formując spływy piroklastyczne, które zrównały z ziemią wioskę Sanggir, „wyrываяc z korzeniami największe drzewa i unosząc je w powietrze wraz z ludźmi, końmi i bydłem”. Powstała okazała kaldera o szerokości 6 km i głębokości 1 km. Pomiędzy rokiem 1847 a 1913 w kalderze uformowała się kopuła lawowa Doro Api Toi, co oznacza, że zachodzące tam procesy wulkaniczne wkrótce znów mogą dać znać o sobie. Erupcja była słyszana z ponad 2000 km. W ciągu kolejnych 3 – 4 dni spływy pumeksu zniszczyły wioski Tambora i Pekate. Paroksyzmalną fazę erupcji Tambora zaobserwowali członkowie statku płynącego z Timoru. Podnóże wulkanu zdawało się być otoczone przez płomienie, a jego wierzchołek otaczały ciemne chmury, przez które przebijały się ogniste kolumny. W mieście Bima zapadła ciemność, która utrzymywała się do południa 12 kwietnia. Opad popiołu zawałał dachy i niszczył uprawy. Eksplozje targające wulkanem w nocy z 10 na 11 kwietnia były słyszane w Benkulen na Sumatrze (odległość 1800 km od Tambora), Mukomuko (Sumatra, 2000 km) oraz Trumon (Sumatra, 2600 km). W domach wschodnich dystryktów Jawy trzęsły się okienne szyby.

W Banyuwangi na wschodnim wybrzeżu Jawy warstwa popiołu osiągnęła grubość 23 centymetrów. Komandor statku „Benares” zacumowanego w porcie Macassar opisywał gęstniejącą ciemność i ciągły opad popiołu. Słońce stało się słabo widoczne dopiero po południu 12 kwietnia. Kiepska widoczność utrzymywała się do 15 kwietnia. Spływy piroklastyczne z wulkanu dotarły do morza, generując fale tsunami o maksymalnej wysokości 4 metrów. Tsunami dotarło do wyspy Moyo, wyrządziło także szkody w Sanggar i Bima, zatapiając domostwa i wy-rzucając zacumowane łodzie na ląd. Około północy 11 kwietnia fale tsunami o wysokości 1 – 2 metrów dotarły do Besuki i Surabaya (wschodnia Jawa). Wskutek uderzenia fal tsunami mogło zginąć 4600 osób. Po wodach Zatoki Saleh i Morza Flores pływały pumeksowe tratwy o średnicy dochodzącej do 5 km i pniaki połamanych drzew, które znacznie utrudniały żeglugę. 1 i 3 października 1815 roku załoga statku „Fairlie” zauważyła tratwę pumeksu na Oceanie Indyjskim w pobliżu Kalkuty. Gunung Tambora wykazywał aktywność erupcyjną jeszcze do sierpnia 1819 roku. W trakcie paroksyzmu erupcyjnego z 1815 roku magma spod wulkanu została wydrenowana, co spowodowało jego zapadnięcie się.

W wyniku kataklizmu zginęło 71000 osób, a kolejny 1816 rok nazwano „Rokiem bez lata”. W całej Europie i Ameryce Północnej wystąpiła klęska nieurodzaju i głodu, pociągając za sobą kolejne ofiary, zaś średnia temperatura obniżyła się o ok. 3 – 4 °C. Dane szacunkowe, co do ilości ofiar śmiertelnych erupcji wulkanu Tambora nie są wiarygodne. Według Zollingera (1855) bezpośrednim skutkiem wybuchu Gunung Tambora była śmierć 10000 ludzi – mogły ją spowodować spływy piroklastyczne. Następnie na Sumbawie 38000 ludzi zmarło z głodu i chorób, kolejne 10000 zmarło z tych powodów na sąsiedniej wyspie Lombok. Choroby i głód mogły także dziesiątkować ludzi na wschodniej Jawie i na Bali. Wulkanolog Clive Oppenheimer podaje łączną liczbę 71000 ofiar śmiertelnych erupcji Tambora z 1815 roku. Być może była ona nawet wyższa.

Wulkanizm miał miejsce aż do końca omawianego w tym rozdziale okresu. W 1843 roku doszło do wybuchu wulkanu Agung z wyspy Bali w Indonezji. W 1846 roku miała miejsce erupcja stratowulkanu Cerro Azul (nazywany też *Quizapú*), uważana za jedną z największych erupcji w historii Ameryki Łacińskiej. Warto odnotować aż trzy erupcje wulkanu Llullaillaco, który jest najwyższym czynnym wulkanem na Ziemi (6739 m n.p.m.). Stratowulkan znajduje się w Ameryce Południowej w Andach Środkowych na granicy Argentyny i Chile, na obszarze Puna de Atacama. Zanotowano jego erupcje w latach: 1854, 1868, 1877.

Meteoryty

W omawianym w tym rozdziale okresie nie odnotowano większych impaktów. Jeśli nawet takie następowały uderzając w oceany, to ówczesne metody badawcze nie pozwalały na ich ujawnienie. Zanotowano dla tego okresu wiele mniejszych upadków meteorytów, które jednak ze względu na ich skalę, przypuszczalnie nie miały wpływu na środowisko i zmiany klimatyczne.

Choć można postawić pytanie, czy wstrząs wywołany uderzeniem np. dziesięciotonowego meteoridu nie mógł wpłynąć na erupcję pobliskiego wulkanu?

W XV wieku odnotowano kilka spadków kamieni z nieba, m.in. w Czechach, Francji i Włoszech. Do najbardziej znanych należy historia z 16 listopada 1492 r., gdy w godzinach przedpołudniowych wielu ludzi w pobliżu niewielkiego miasteczka Ensisheim w Alzacji (obecnie region Francji) usłyszało głośny huk, podobno słyszany w promieniu 150 km, a wkrótce potem w pole pszenicy na oczach pewnego chłopca uderzył w Ziemię ważący 127 kg czarny kamień, wybijając dół o głębokości 1,5 metra. Mieszkańcy okolicznych gospodarstw wydobyli go i przenieśli do miejscowego kościoła. Z czasem powstał spór, czy ów kamień jest darem od Boga, czy od szatana. Meteoryt został nawet przewieziony do miasteczka i przykuty łańcuchami, by nie odleciał do swego diabelskiego pana. Ostatecznie spór ten rozstrzygnął król Maksymilian I Habsburg, syn cesarza Fryderyka III Habsburga, który nakazał przenieść go ponownie do kościoła i tam pozostawić. Meteoryt ten przetrwał do dziś, choć niestety tylko częściowo i znajduje się w XVI-wiecznym Pałacu Regencji w Ensisheim. Jego masa wynosi obecnie 55,7 kg. Wiele mniejszych fragmentów znajduje się również w muzeach i prywatnych kolekcjach na całym świecie.

W 1600 roku doszło do upadku meteorytu żelaznego (typ IIIA) o wadze 10 100 kg w Morito w Meksyku. Inne większe meteoryty dla tego okresu to: Krasnojarsk 1794 w Rosji – żelazno-kamienny, typ PMG – 700 kg; Chupaderos I 1852 rok w Meksyku – meteoryt żelazny, typ IIIAB – 14 114 kg; Chupaderos II 1852 rok w Meksyku – meteoryt żelazny, typ IIIAB – 6 767 kg; Agpalilik – CY 1863 rok w Grenlandii – meteoryt żelazny, typ IIIAB – 20 100 kg; Bacubirito 1863 rok w Meksyku – meteoryt żelazny – 22000 kg; Brenham 1882 w USA – żelazno-kamienny, typ PMG 650 kg; Bendegó 1784 rok w Brazylii – meteoryt żelazny, typ IC – 5 360 kg.

9 czerwca 1866 roku na Ukrainie/Węgrzech doszło do upadku meteorytu Knyahinya (chondryt zwyczajny L/LL5, TKW, o wadze ok. 500 kg). Kulę ognia dostrzeżono w północnych Węgrzech nad miastem Liptovský Mikuláš, po przeleceniu około 220 km na wschód wybuchła nad miastem Knyahinya tworząc czarne chmury. Następnie pośród hałasu spadł deszcz kamieni. Chmura zszarżała i przemieszczając się na południe została rozproszona przez wiatr. Około 1200 kamieni spadło na obszar 7×4 km w pobliżu miejscowości: Zboj (obecnie Słowacja), Nova Stuzhitsya, Knyahinya i Strychava (obecnie Ukraina), nikt nie został ranny. Węgierska Akademia Nauk skierowała w ten rejon komisję. Największy znaleziony okaz ma około 279,8 kg (obecnie znajduje się w Muzeum Historii Naturalnej w Wiedniu), drugi co do wielkości (46 kg) został kupiony za 750 florenów dla Węgierskiego Muzeum Narodowego (zniszczonego w 1956 roku przez pożar; okaz zaginął!).

Skutki ochłodzenia (fal ochłodzeń) między końcem XIII wieku a drugą połową wieku XIX

Dokładne badania nad gospodarką Europy, prowadzone po 1930 roku wykazały, że okres pomiędzy końcem X a XIII wiekiem to lata szybkiego, a nawet gwałtownego wzrostu we wszystkich dziedzinach. Dzięki względnemu dobrobytowi i łagodnej pogodzie nastąpił wzrost liczby ludności. Większość nawet wysoko położonych gruntów została przeznaczona pod uprawę. Później jednak nastąpiło załamanie, rozmaicie przebiegające w różnych krajach.: w jednych wcześniej, w innych później, łagodniej bądź ostrzej. Dno tego kryzysu przypada na drugą połowę XIV wieku. Kryzys gospodarczy nierozzerwalnie związany był z fermentem społecznym i kataklizmami politycznymi (np. wojna stuletnia).

Średniowieczni kronikarze odnotowali, że lato 1258 roku było w Europie wprost okropne – zimne i bardzo deszczowe z wieloma powodziami. Ziarnogniło na polach, czasem w ogóle nie można było siać. Cen żywności bardzo szybko wzrosły. Nie można było wykarmić zwierząt, a więc i ludzie nie mieli co jeść. Coraz częściej zapadali na wiele chorób, nawet bogacze mieli trudności ze zdobyciem pożywienia. Gwałtownie wzrastał niepokój społeczny; gangi głodnych wieśniaków przemieszczały się w poszukiwaniu żywności; w niektórych miejscach zdarzały się przypadki kanibalizmu. W Londynie tysiące ludzi pochowano w masowych grobach. W latach dwudziestych XIV wieku na terenie całej Europy porzucano ziemie i wioski, a liczba ludności gwałtownie spadła, w niektórych regionach więcej niż o połowę. Była to niezwykle gwałtowna zmiana; nastąpiła podczas życia jednego pokolenia, w czasie, kiedy średnia długość życia była o połowę niższa niż obecnie. W kilkadziesiąt lat później pierwsza fala zarazy, słynna czarna śmierć nawiedziła osłabioną Europę. Jej ludność, szczególnie w zatłoczonych dzielnicach miast, została zdziesiątkowana przez straszliwą chorobę. Osady Wikingów na Grenlandii chyliły się ku upadkowi wreszcie zostały opuszczone przez mieszkańców, kiedy klimat stał się całkowicie nieprzyjazny, ludzie, którzy wciąż zamieszkiwali te tereny byli dużo niżsi od swych poprzedników. W XIII i XIV wieku gwałtowne sztormy niszczyły duże obszary upraw w nisko położonych przybrzeżnych regionach Niemiec, Danii i Holandii. Szacuje się, że życie straciło wtedy przeszło 100 tysięcy osób. W Alpach lodowce zaczęły obejmować farmy i pastwiska, które powstały we wcześniejszym, cieplejszym okresie.

Nie jesteśmy do końca pewni, czy za – wspomnianą wyżej – śmierć ludzi w Londynie odpowiada erupcja wulkanu Samalas, ale na pewno jego wybuch doprowadził do znacznego pogorszenia warunków życia na całym świecie.

Pisze prof. Małowist: *w drugiej połowie XIV wieku i u jego schyłku daje się zaobserwować ostry kryzys struktur państwowych na Bliskim i Środkowym Wschodzie z terytorium Złotej Ordy włącznie. Należy dodać, że w tym samym okresie załamało się w Chinach władztwo mongolskiej dynastii Juan, zastąpionej od roku 1639 przez chińskich Mingów. [nastąpił] zupełny rozkład irańskiego państwa ilchanów, bardzo poważne osłabienie Złotej Ordy oraz objawy głębokiej depresji w Egipcie i Syrii, której towarzyszyło osłabienie państwa mameluków. W chwili obecnej niepodobna jeszcze powiedzieć, czy była to przypadkowa zbieżność. Warto może przypomnieć, że również i Europa Zachodnia weszła w tym samym okresie w fazę ostrego kryzysu gospodarczego i społecznego, który miał bardzo poważne implikacje polityczne.*

Czyżby więc przełom XIV i XV wieku był świadkiem wielkiego kryzysu ekonomicznego i społecznego, i to w skali niemalże całej półkuli? Jest to tylko spostrzeżenie, a nawet nie hipoteza (...) Na razie należy zwrócić uwagę na jeden czynnik kryzysu wspólny zarówno dla Bliskiego i Środkowego Wschodu, jak i dla Europy. Był nim cykl epidemii, poczynając od „czarnej śmierci” w połowie lat czterdziestych XIV wieku i towarzyszący mu gwałtowny spadek liczby ludności. Był on tak wielki, że wywołał dezorganizację struktur gospodarczych i chaos polityczny. Zaostrzył wszystkie sprzeczności społeczeństw feudalnych i półfeudalnych, wzmógł walkę o źródło bogactw, które się kurczyły, spotęgował konflikty i antagonizmy między państwami. W Azji Mniejszej oparła mu się tylko Turcja osmańska, rozwijając swe podboje kosztem coraz słabszego Bizancjum i małych emiratów tureckich.

Kryzys XIV wieku dotknął w wielkim stopniu klasę panującą, a zwłaszcza niższe jej warstwy, którym trudno było przywrócić zachwianą dotkliwie równowagę ekonomiczną własnej egzystencji. Ruina drobnego rycerstwa doprowadziła do powstania procederu „bandytyzmu rycerskiego, rozwijającego się w Niemczech od XIII w., we Francji w XIV wieku; w Anglii w XV wieku. Raubitterzy niemieccy trudnili się przeważnie rozbojem na szlakach handlowych, ale nie gardzili też napadami na chaty chłopskie; we Francji w czasie wojny stuletniej powstawały natomiast bandy wojskowe, liczące setki ludzi i często uderzające nawet na klasztory i miasta.

Znaczna część rycerstwa, uważając zwykły rozbój za uwłaczający swej czci, szukała ratunku w wyprawach wojennych. Stąd ekspansja Plantagenetów we Francji spotkała się w XIV wieku z ogromnym poparciem rycerstwa angielskiego. Podobną rolę odegrały w Niemczech walki między Habsburgami, Wittelsbachami i Luksemburgami. Wreszcie znaczna część rycerstwa szukała szczęścia u boku krzyżaków w walce z ludami bałtyjskimi, gdzie na nowych terenach można było jeszcze uzyskać skąpo, co prawda, przez zakon nadzielane lenna. Z upadkiem Jerozolimy zamknęły się natomiast możliwości uzyskania sławy i majątku na Wschodzie. W tej trudnej sytuacji, kiedy dochody z renty feudalnej topniały, część świeckiego i duchownego możnowładztwa sięgnęła do innego środka. Starła się wywrzeć nacisk na chłopów i zmusić ich do zwiększenia powinności. Nie było to łatwe, bo zwiększanie czynszów skłaniało chłopów do ucieczki, a możliwości objęcia nowego gospodarstwa w epoce wielkich pustek nie brakło. Sytuacja chłopów uległa znacznie poprawie, gdyż spadek cen zbóż umożliwił im wzrost własnej konsumpcji. Trudności w zbywaniu nadwyżek dotyczyły i ich, ale większa elastyczność ich ekonomiki ułatwiała im przetrwanie. Rosnąc w zamożność chłopci nabierali świadomości swego znaczenia i wartości swej pracy. Po całej Europie krążył szyderczy dwuwiersz:

*Kiedy Ewa przędła, Adam rył,
Kto wtedy jaśnie panem był?*

Próby ze strony panów podwyższenia czynszów chłopskich przy poparciu i presji państwa, tendencje do przywiązania ich do ziemi oraz silniejszego podporządkowania osobie pana, spotykały się z potężnym oporem, przeradzającym się w krwawe powstania. Doszło do nich w XIV wieku we

Francji i w Anglii.

Jednym z namacalnych dowodów kryzysu była w XIV wieku depresja demograficzna. Według najnowszych szacunków ludność Europy z 73 mln około roku 1300 spadła do 45 mln około roku 1400. Wśród epidemii przyciągała uwagę historyków szczególnie wielka epidemia dżumy (od 1348 r.). Objawy kryzysu na wiele lat wyprzedzały czarną śmierć. W XIV wieku niezwykle zaraźliwa dżuma dotknęła Europę Azję i Afrykę. Przyszła z Indochin, gdzie zmarło na nią 50 mln ludzi. Nie znano przyczyn pojawienia się tej choroby i sposobu jej przenoszenia. Jeszcze w XX wieku powtarzano niesprawdzone teorie. Pisali np. Nadieżda Jonina i Michaił Kubijew nie powołując się zresztą na żadne źródło: *Zginęły też i konie, które zaczęły gnić, porzucone na pastwę losu. Zerwał się silny wiatr, który rozniósł zgniliznę po świecie. Jeśli fetor wydzielany przez trupy wdychał człowiek, z całą pewnością musiał umrzeć.* W Egipcie w tym czasie umierało do 20000 osób dziennie. Większość ciał dostarczano do mogił, a właściwie do wspólnych rowów, na deskach, drabinach i skrzydłach drzwi. W prowincjach egipskich zginęli niemal wszyscy wieśniacy – nie pozostał nikt, kto mógłby zebrać plony. Na drogach było tyle trupów, że gniły od nich drzewa. Szczególnie okrutnie dżuma szalała w Kairze. W ciągu 2 tygodni w grudniu 1348 r. ulice i place tego miasta wypełniły się ciałami nieżyjących ludzi. Zmarła znaczna część wojskowych, opustoszały warownie. Do stycznia 1349 roku miasto wyglądało jak pustynia. Przed wrotami jednego z meczetów w ciągu dwóch dni zebrano 13 800 ciał. Dżuma dotarła do Aleksandrii, gdzie początkowo co dzień ginęło 100 osób, później 200, a w jeden piątek zmarło nawet 700 osób. Choroba ogarnęła całe Włochy, dotarła później do Francji. W Marsylii w ciągu kilku miesięcy zmarło 56000 osób. Pod koniec 1348 roku dżuma przeniknęła na terytorium dzisiejszych Niemiec i Austrii. W 1349 roku dotarła do Anglii. Tylko w samym Londynie zmarła połowa jego mieszkańców.

W 1351 roku epidemia przeniknęła do Polski i Rosji. W Egipcie i Syrii wielkie epidemie, które wybuchły w latach 1347 – 1348 i powtarzały się później co kilka lub kilkanaście lat. Ludność Egiptu wynosząca przed wymienionymi katastrofami 3 mln ludności spadła o połowę (lub do dwóch trzecich tej liczby). W latach 1346 – 1347 i w roku 1361 Złotą Ordę nawiedziły wielkie epidemie dżumy, które wywołały ogromne spustoszenie wśród ludności tego państwa, zwłaszcza na rozwiniętym południu. Spowodowało to powszechną dezorganizację i spadek dochodów chanów i arystokracji. Na przełomie lat trzydziestych i czterdziestych XIV wieku „czarna śmierć” epidemia dżumy nawiedziła Iran.

Sytuacja uległa zmianie mniej więcej w połowie XV wieku. Od tego czasu aż do końca XVI wieku obserwujemy objawy ekspansji demograficznej. Na początku XVI i ponownie na początku XVII wieku zanotowano wyraźny wzrost temperatury, po czym następował powrót do o wiele większego chłodu. Kolejny kryzys rozpoczął się w pierwszych latach XVII wieku. Jego przyczyną były znów zmiany klimatyczne, ponowny wzrost ochłodzenia spowodowany wspomnianym wyżej wybuchem peruwiańskiego wulkanu Huaynaputina w 1600 roku.

Potężna erupcja pliniańska wulkanu Huaynaputina w Peru. rozpoczęła się 19 lutego 1600 roku. Była to najpotężniejsza erupcja wulkaniczna w Ameryce

Południowej w czasach historycznych (6 w skali VEI). Kolumna erupcyjna nad wulkanem sięgnęła wysokości 34-46 km. Erupcja trwała do 6 marca 1600 roku. Zabiła 1000-1500 osób i wywołała przejściowe zjawisko wulkanicznej zimy. Fale chłodu dotknęły wiele krajów w Europie, Azji i w obu Amerykach, miały miejsce wybuchy epidemii, powodzie, niepokoje społeczne.

Skutki tej erupcji odczuł niemal cały świat. Długa i ostra zima i późniejsze ochłodzenie doprowadziło do klęski głodowej w Europie. W 1601 roku Rosję nawiedziła najzimniejsza od sześciu wieków zima. Głód zabił 100.000 mieszkańców Moskwy i prawie jedną trzecią mieszkańców ówczesnej Rosji. Szacuje się, że w samej Rosji zginęło łącznie 2 miliony ludzi. Ta sama klęska głodu zabiła około połowy populacji Estonii. Skutki odczuwalne były także na Litwie, w Szwajcarii. Kraje te nawiedziły wyjątkowo srogie zimy. We Francji oraz Niemczech mieszkańcy musieli zmierzyć się z klęskami nieurodzaju, podobnie było w Chinach.

Do spowolnienia wzrostu wszystkich organizmów opartych na fotosyntezie doszło wcześniej w 1601 roku po potężnej erupcji wulkanu Huaynaputina w Peru. Europa wciąż dochodziła do siebie po wojnach napoleońskich, tymczasem niskie temperatury i ulewne deszcze spowodowały klęskę upraw i brak żywności, szczególnie dotkliwy w Europie Zachodniej. W wielu miejscach wybuchały zamieszki. We Francji, Holandii i Szwajcarii rozruchy głodowe. Ceny żywności na obu kontynentach poszybowały w górę. Ponieważ ziarno było drogie, szwankował też transport konny, dodatkowo pogarszając zaopatrzenie w żywność. Prawdopodobnie to właśnie zainspirowało Karla Dreissa do wynalezienia alternatywnej metody transportu – roweru. W Niemczech wprowadzono w celu ochrony zapasów żywności zakaz destylacji. Pojawiły się epidemie będące wynikiem niedożywienia. W jakiejś mierze miało to wpływ na wynalezienie nawozów sztucznych. Gdy nastąpił „rok bez lata”, Justus von Liebig nazywany ojcem nawozów sztucznych miał 13 lat. Głód, który panował w Niemczech, był szczególnie dotkliwy, i to doświadczenie skłoniło go do zainteresowania się rolnictwem i chemią. W 1840 r. opublikował pracę, w której twierdził, że chemia może zrewolucjonizować rolnictwo, zwiększyć plony i obniżyć koszty upraw. Jego praca przetłumaczona na wiele języków była szeroko komentowana i krytykowana. Stała się jednak podstawą współczesnej chemii nawozów sztucznych.

Naukowcy znaleźli również dokumenty świadczące o tym, że znaczne ochłodzenie klimatu dotknęło Francję i Japonię. W tym samym czasie doszło też do kryzysu w Chinach, którego następstwem było powstanie chłopskie i najazd Mandżurów. Jednym z ekonomicznych skutków erupcji okazał się również następujący fakt: wskutek zmiany kierunku wiatru statki płynące z Meksyku na Filipiny po roku 1600 przeplwały ten odcinek drogi o wiele szybciej niż wcześniej. Analiza danych historycznych z tego okresu z innych krajów przyniesie być może dalsze informacje na temat skutków wybuchu wulkanu dla światowej gospodarki.

To klęski nieurodzaju mogły dać podstawę do ekspansji ludów Skandynawii, gdzie wcześniej miał miejsce gwałtowny wzrost populacji, dla której nagle zaczęło brakować żywności. Doszło do całej serii wojen szwedzkich.

W okresie tym w wielu państwach następuje odejście od systemu wojskowo-lennego na rzecz systemów państwowych ze scentralizowaną administracją. Najpierw w krajach Europy, później i na innych kontynentach. Efektem było powstanie monarchii absolutnych i powrót idei imperializmu.

W latach pomiędzy 1625 a 1720 nastąpiło znaczne ochłodzenie klimatu. Dowodzą tego np. słoje drzew z tego okresu wykazujące w tym okresie bardzo małe przyrosty. W tym czasie występowały skoki temperatury np. w Anglii najzimniejsza zima została odnotowana pomiędzy rokiem 1683 i 1684 a jedna najcieplejszych zaledwie dwa lata później. Mała epoka lodowcowa nie dla wszystkich okazała się nieprzyjazna. Holandia zyskała na migracji ryb na południe do Morza Północnego. Holendrzy na skutek stałego zalania wybrzeży podczas gwałtownych sztormów, jakie występowały w XVI i XVII wieku, wypracował metodę osuszania i odsalania obszarów przybrzeżnych. Podczas *małej epoki lodowcowej* zawsze ryzykowna produkcja żywności na własny użytek stała się zupełnie nieopłacalna. Zaczęto, więc skłaniać się ku większej specjalizacji, szczególnie w Wielkiej Brytanii. Istnieją pewne podstawy do przypuszczeń, że te fluktuacje klimatu nie pozostawały bez wpływu na migrację dorszy i częste klęski głodu, i związane z nimi kryzysy polityczne. Marne zbiory, niesprzyjająca pogoda oraz nadzieja lepszego życia zainicjowały emigrację ze Szkocji, która trwała potem przez wieki. Przyrost lodowców alpejskich wpłynął na emigrację ludności Szwajcarii z zajmowanych przez nie terenów. Szwajcarzy zostawali żołnierzami wielu monarchów, Szwajcarki stały się guwernantkami europejskich elit. Jednym z ubocznych skutków ówczesnego ochłodzenia były stosunkowo niewielkie przyrosty drzew. Jako ciekawostkę warto tu wspomnieć o tym, że miało to związek z powstaniem skrzypiec Stradivarius. Drewno użyte do ich powstania miało większą od przeciętnej spoistość.

Skutki zmian klimatycznych możemy też rozpatrywać nieco szerzej, uwzględniając możliwości adaptacyjne różnych organizmów, a także zdolności przystosowawcze człowieka. Zmiany klimatyczne wpływały na ruchy ludności, których konsekwencją często były wojny. Wojny religijne lub szerzej, wojny z XVII wieku spowodowały zmianę struktury armii. Odejście od rycerstwa (szlachty) do zawodowych armii było przyczyną powstania monarchii absolutnych. Monarcha dysponując armią mógł narzucić reszcie społeczeństwa swą władzę.

Przypuszczalnie liczba ludności Europy z około 120 mln w 1700 roku wzrosła do około 190 mln w 1800 roku, a więc o 58%. We Francji z 20 mln w 1700 do 27 w 1800. Ekspansja demograficzna rozpoczęta około 1730 roku, nieprzerywana już regresami trwa do dziś. Najlepiej znane jest zaludnienie Japonii, które wykazywało w latach 1721 – 1846 wybitną statyczność (wahania w granicach 25 – 27 mln), co było następstwem dzieciobójstwa stosowanego na szeroką skalę w tym gęsto zaludnionym kraju. Ludność Indii wynosiła w 1800 roku około 150 mln, ale przypuszcza się, że ulegała ona stosunkowo małym zmianom od starożytności. Moim zdaniem, przypuszczenia te są dyskusyjne. I tu musiały być zarazy, moim zdaniem zmiany, więc były. Źródła fiskalne z Chin wskazują, że ok. 1690 roku liczyły one 150 mln, a w 1780 roku około 270 mln. Według innych źródeł ludność Chin podwoiła się między rokiem 1661 (105 mln a 1812 (220 mln).

Zaraza nadciągnęła z Azji. W ciągu 12 lat, od 1703 do 1719 spustoszyła wielkie obszary północnej i środkowej Europy, atakując kraje dotknięte w tym czasie innym nieszczęściem: od 1700 do 1721 roku trwała wielka wojna północna, w której Szwecja zmagala się z Rosją, Prusami, Saksonią, a także Danią i Norwegią. W 1709 roku dżuma zabiła w Gdańsku co trzeciego mieszkańca. W liczącym wówczas 64 tys. mieszkańców Gdańsku w całym 1709 roku zmarło 24,5 tys. ludzi, z czego na dżumę aż 22,7 tys. W pierwszych miesiącach 1710 roku dżuma zaczęła ustępować. Liczba ofiar – w mieście, na przedmieściach oraz w miejscowościach należących do jurysdykcji gdańskiej – wyniosła 33 453 ludzi.

Najszybciej wzrastała w XVIII wieku ludność społeczeństw europejskich, poza Europą. Społeczeństwa te były zasilane dopływem imigrantów, głównym czynnikiem był jednak niezwykle wysoki przyrost naturalny (rodzina mająca powyżej dziesięciorga dzieci była częstym zjawiskiem). W 1657 przybyło do Kraju Przylądkowego 50 holenderskich osadników, w 1700 było ich 1300, a w 1795 w Afryce Południowej zamieszkiwało 15 tys. Holendrów. Liczba Francuzów kanadyjskich wzrosła z 16 tys. w 1706 do 130 tys. w 1784. W angielskich koloniach Ameryki Północnej było 375 tys. ludności białej w 1715 roku, w roku zaś 1800 Stany Zjednoczone liczyły 4300 tys. ludności. W tym samym czasie liczba Murzynów wzrosła z 60 tys. do 1 mln. Brak danych o ludności Indian amerykańskich, w każdym razie wiadomo, że ich ilość szybko malała (do ok. 10% z końcem XVIII wieku). Natomiast w Ameryce Południowej Indianie stanowili znaczną większość ludności i po katastrofalnym wyludnieniu w XVI wieku (spowodowanym przywleczonymi z Europy chorobami), od drugiej połowy XVII wieku uczestniczyli w ogólnym przyroście populacji. Charakterystycznym dla tego kontynentu było mieszanie się ludności. Przybysze z Europy (głównie Portugalczycy – w Brazylii, i Hiszpanie) łączyli się z Indianami i Murzy-nami. Ich potomków określano mianem Mulałów i Metysów. Przyjmuje się, że w drugiej połowie XVIII wieku zaludnienie Ameryki Południowej i Środkowej wzrosło z 11 do 19 mln i że pod koniec stulecia znajdowało się tam 3 – 4 mln ludzi pochodzenia europejskiego.

W roku 1785 r. we Francji zbiory były tak obfite, że doprowadziło to do klęski urodzaju, a niezwykle niskie ceny żywności przyczyniły się do zubożenia chłopów. Po urodzajnym roku przyszło kilka ostrych zim i nieurodzajnych lat, co wpędziło chłopów w jeszcze większą biedę i mogło być jedną z wielu przyczyn wybuchu rewolucji w 1789 roku. W 1798 roku Thomas Malthus biorąc za przykład Amerykę Północną obliczył, że ludzkości grozi głód z powodu nadmiernego przyrostu naturalnego. W tym samym czasie chiński myśliciel Hong Liang Ki (1746 – 1809) podobnie dowodził, że ludności wzrasta w szybszym tempie niż wzrost wydajności ziemi. Postęp rolnictwa (nawożenie), techniki i medycyny odsunęły te obawy na bardzo długo. Pojawia się znowu pod koniec XX wieku.

Efektom wzrostu demograficznego, a co za tym idzie przeludnienia były różnego rodzaju migracje. Przykładem jest exodus francuskich kalwinistów, który trwał od 1685 roku aż po pierwsze dziesięciolecie XVIII wieku. W jednym z punktów etapowych wychodźstwa, we Frank-furcie nad Menem, zarejestrowano

w latach 1685 – 1701 przepłynęło 35 tys. emigrantów, w latach 1705 – 1725 jeszcze 27 tys. Masa wychodźców (ok. 200 – 300 tys.) rozproszyła się od Ameryki Północnej, po Petersburg i Stambuł. Poza wychodźstwem religijnym opuszczała Francję emigracja zarobkowa. W całej Europie spotykano francuskich guwernerów i guwernantki, perukarzy, modystki, kucharze, lokai i ogrodników, a także ludzi pióra, nauki i sztuki. W eksporcie talentów wyprzedzała Francję Italia dostarczając Europie architektów, aktorów, tancerzy, scenografów i dekoratorów, śpiewaków i muzyków, a także dyplomatów. W środkowej i wschodniej Europie ruchliwym elementem byli niemieccy oficerowie, technicy i naukowcy. We Francji osiadła grupa emigrantów ze Szkocji (jakobitów). Szczególne miejsce w ruchach migracyjnych zajmowała Szwajcaria. Z tego niewielkiego państwa emigrowali pedagodzy, lekarze, sekretarze i powiernicy możnych tego świata. Pęd wykształconych Szwajcarów do szukania lepszego losu poza ojczyzną wypływał z przeludnienia tego kraju i pozostawał w związku ze starą tradycją migracji zarobkowej. Przyczyną emigracji były również zmiany klimatyczne. Główną formą emigracji było wynajmowanie się w formie zaciężnych żołnierzy. W osiemnastym wieku migracja wojskowa Szwajcarów ogromnie się nasiliła (w ciągu stulecia 300 – 350 tys. ludzi). W 1748 roku regimenty szwajcarskie za granicą (zwłaszcza we Francji, w Holandii, Hiszpanii, Królestwie Sardynii i Królestwie Neapolu i Sycylii) liczyły ok. 80 tys. ludzi. W 1787 roku liczba ta spadła do 40 tys., a rewolucja francuska przyniosła kres zaciężnym regimentom szwajcarskim. Obok Szwajcarów do służby wojskowej za granicą wynajmowali się masowo Irlandczycy, a także Szkoci i Niemcy, którzy nie tylko służyli w cudzoziemskich regimentach, ale na szeroką skalę zaciągali się indywidualnie do obcych armii. Ludność z terenów dzisiejszych Niemiec była też bardzo czynnym elementem emigracji chłopskiej. Wychodźców z Palatynatu, Hesji, Frankonii, Szwabii, Bawarii określano wspólnym mianem Szwabów. Na zachód, poza Ameryką, kierowali się oni do Holandii, głównym jednak kierunkiem ich emigracji była Europa środkowa i wschodnia. Po wyludnieniu spowodowanym wojną północną wielu z nich osiedliło się w Wielkopolsce i na polskim Pomorzu. Często występowali tu jako tzw. olędrzy (nazwa ta nawiązywała do form organizacyjno-prawnych pierwotnego osadnictwa holenderskiego). Za panowania Fryderyka II na terenie państwa pruskiego osiedlono 300 tys. kolonistów (głównie na Śląsku). W drugiej połowie XVIII wieku około 100 tys. Szwabów sprowadzono do monarchii habsburskiej, najwięcej do Galicji i na Bukowinę. Na początku panowania Katarzyny II około 25 tys. Niemców (zwłaszcza Hesów) osiadło w zwartej grupie nad Wołgą. W XVIII wieku ruchy migracyjne miały też miejsce na Bałkanach. Szczególnie ruchliwi byli tu Serbowie (na Węgry i w Rosji, tzw. Nowa Serbia), Bułgarzy (osadnictwo w Serbii i Macedonii) i Albańczycy (osadnictwo w Grecji). Przesunięciom ludów bałkańskich towarzyszyło przechodzenie od gospodarki pasterskiej do rolniczej. Na Kretę i Peloponez napływali Turcy. Na północy Europy Szwedzi penetrowali głąb Finlandii. W drugiej połowie XVIII wieku napływ około 65 tys. Szwedów w sposób istotny i trwały zmienił strukturę narodowościową tego rzadko zaludnionego kraju.

Wielki ruch osadniczy, zmieniający rozmieszczenie ludności wewnątrz Rosji (przesunięcie z północy na południe), z wolna przesuwał się poza wschodnią granicę Europy. Rosyjskie osady na terenie Syberii miały jeszcze charakter garnizonów i ośrodków administracyjnych oraz punktów oparcia dla

wędrownych myśliwych i handlarzy futrami. Czyniło jednak postępy i osadnictwo rolnicze, a zwłaszcza rozwijały się kopalnie i huty, w regionach: jekaterynburskim i altajskim.

Na terenie Azji największym ruchem migracyjnym była penetracja Chińczyków, kierująca się w XVIII wieku już nieco ku zachodowi (Mongolia, Turkiestan, Tybet), głównym szlakiem wędrówek Chińczyków było południe (Birma, Wietnam, Syjam, Półwysep Malajski i wyspy Indonezji).

Za Katarzyny II około pół miliona zamieszkujących Syberię Rosjan było już większą grupą od ludności rodzimej na Syberii. W Australii dopiero w 1788 roku osadzono pierwszą grupę kilkuset deportowanych. W 1657 r. przybyło do Kraju Przylądkowego 50 *holenderskich osadników*, w 1700 r. było ich 1300, a w 1795 r. w Afryce Południowej zamieszkiwało 15 tys.; w Ameryce Północnej europejską prowincją stała się Nowa Francja; w Kanadzie doszło do zmajoryzowania Indian przez przyrost Francuzów kanadyjskich z 16 do 130 tys.). Przede wszystkim dynamicznie rozwijającym się społeczeństwem europejskim były brytyjskie kolonie w Ameryce Północnej. Kiedy William Penn zakładał Filadelfię (1683), w koloniach mieszkało ok. 200 tys. ludzi pochodzenia europejskiego, z końcem XVIII wieku w Stanach Zjednoczonych było już 4 300 tys. białej ludności (i 1 mln Murzynów). W Ameryce Południowej i Środkowej emigracja europejska (głównie hiszpańska i portugalska – Brazylia) została zmajoryzowana przez Indian, Metysów, Murzynów, Mulałów. Skupiskami żywiołu iberyjskiego były tu w XVIII wieku miasta portowe.

Wzrost ludności świata powodował zmianę struktury zamieszkania miastowiesi. Powstawały wielkie metropolie. Największym miastem świata w XVIII wieku był Pekin, który u schyłku stulecia liczył 3 mln mieszkańców. W Chinach, Japonii i Indiach wiele miast przekraczało 300 – 400 tys. mieszkańców. Na granicy Europy Sambu liczył 600 tys. mieszkańców już od XVI wieku. W XVIII wieku zdystansował go Londyn. Największe miasto Ameryki Łacińskiej Rio de Janeiro, osiągnęło w 1800 roku 100 tys. mieszkańców, w Ameryce Północnej Filadelfia liczyła wraz z przedmieściami około 25 tys. mieszkańców. Granica między miastem a wsią nie była ścisła. W Europie w 1700 roku granicę 50 tys. mieszkańców przekraczało 30 miast (w tym 10 powyżej 100 tys. mieszkańców). Paryż w 1700 roku liczył 400 tys. a w 1800 roku 500 tys. mieszkańców. Od XVIII wieku możemy zacząć mówić o gospodarce światowej, z tym jednak zastrzeżeniem, że wymiana handlowa dotyczyła głównie wybrzeży i miast, słabo penetrując głębokie wnętrza kontynentów.

Na początku 1795 roku francuska armia opanowała znaczną część Holandii, ale nadal stała w obliczu morskiej potęgi tego kraju. W tamtym okresie zimno małej epoki lodowcowej znacznie utrudniało wszelkie działania wojskowe. To właśnie atak zimy całkowicie unieruchomił holenderską marynarkę wojenną, skuwając lodem wody wokół wyspy Texel w pobliżu wybrzeża. Piętnaście liniowców, dwa okręty towarowe i kilka mniejszych jednostek z działkami zostało uwięzionych w lodzie. Bezbronne okręty zostały zajęte przez niewielki regiment francuskich kawalerzystów pod dowództwem Louisa Josepha Lahure'a, których po otrzymaniu informacji o zaistniałej sytuacji poderwał do walki ten francuski generał. Cała flota została zdobyta przez stu

dwudziestu francuskich, którzy przybyli w jej pobliże po zamrożonym morzu.

Przypuszczam, że ostra zima w Rosji 1812 roku, która przyczyniła się do klęski napoleońskiej armii, była ubocznym wynikiem erupcji wulkanu Soufrière, Saint Vincent. To jego erupcja w kwietniu tego roku spowodowała ochłodzenie na półkuli północnej.

Szczególnie drastyczne były skutki gospodarczo-społeczne erupcji wulkanu Tambora. Następnego roku po erupcji Gunung Tambora (1816 r.) charakteryzowały ulewne deszcze, niskie temperatury oraz opady śniegu latem. Doszło do obniżenia średnich temperatur Ziemi (w stosunku do roku 1815 o ok. 3 – 4 °C). W Ameryce Północnej jeszcze w sierpniu można było obserwować zamrożone rzeki i jeziora, wymrożone zostały prawie całe uprawy roślin. Ciepla zazwyczaj Zatoka Meksykańska była tego roku skuta lodem. Dochodziło do znacznych wahań temperatury, która w ciągu kilku godzin potrafiła spadać z 35 °C do zera. W Stanach Zjednoczonych i Kanadzie czerwcowe mrozy i opady śniegu przerzedziły zbiory i także wywołały głód, prawdopodobnie przyczyniając się do masowej migracji na zachód kontynentu. Drzewa rosnące w Stanach Zjednoczonych w 1816 roku cechowały się zmniejszonym wzrostem pierścieni. Latem 1815 roku mieszkańcy Londynu mieli okazję zobaczyć iście spektakularne zachody Słońca. Zmierzchy odznaczały się czerwonym bądź pomarańczowym blaskiem blisko horyzontu, a purpurą przechodzącą w róż ponad nim. Latem 1816 roku w Europie padał czerwony śnieg (znajdował się w nim pył wulkaniczny), a niebo nad Ameryką Północną przybierało podczas zachodów Słońca dziwne, nienaturalnie żółte barwy. Wiosną i latem 1816 roku w północno-wschodnich Stanach Zjednoczonych pojawiła się tzw. sucha mgła, która zaczerwieniała i przyciemniała Słońce, co umożliwiało obserwację słonecznych plam. Był to stratosferyczny całun aerozoli siarkowych. Burze śnieżne w czerwcu, mróz niszczący uprawy w maju oraz ofiary śmiertelne mrozu i zamieci w lipcu – tak wyglądała rzeczywistość latem 1816 roku. W czerwcu warstwa śniegu osiągała w Europie i Ameryce kilkadziesiąt centymetrów, a wiele jezior i rzek pozostawało zamrożonych jeszcze w sierpniu. Na dodatek ludzi dręczyły szalone wahania temperatur. Słupek rtęci osiągał chwilami prawdziwie letnie rejestry, np. 35 °C, po czym gwałtownie, w ciągu kilku godzin, opadał do wskazań poniżej zera. 6 czerwca 1816 roku w Albany (stan New York) oraz w Dennysville (Maine) spadł śnieg, a siarczasty mróz nawiedził Fairfield w stanie Connecticut. 6 i 8 czerwca opad śniegu zarejestrowano w kanadyjskim Montrealu; od 6 do 10 czerwca warstwa śniegu o grubości 30 cm nagromadziła się w pobliżu Quebec City. Temperatura wielokrotnie spadała wówczas poniżej zera, choć powinna oscylować wokół 20 °C. Na tropikalnych terenach Azji – np. na Tajwanie – padał śnieg. W Europie dodatkowo sytuację komplikowały obfite opady i wylewające rzeki. Temperatura na terenie Polski nie przekraczała tamtego lata zera! *Rok bez lata* (jak określa się te klimatyczne anomalie) najdotkliwiej doświadczył mieszkańców wschodnich wybrzeży Stanów Zjednoczonych i Kanady oraz północnej Europy. Europa i tak osłabiona po okresie wojen napoleońskich, cierpiała z powodu nasilającej się przestępczości. We Francji grupy żebraków napastowały osoby przyjezdne. Wzrastała przestępczość, wybuchały niepokoje społeczne. Rządy niektórych państw zaczęły wprowadzać w życie politykę protekcjonistyczną. W handlu wprowadzono taryfy i bariery handlowe. W Anglii, Szkocji i Walii do

opanowania masowych demonstracji wezwano wojsko. Dochodziło do wybuchów epidemii. Pomiedzy rokiem 1816 a 1819 w południowo-wschodniej Europie i w niektórych rejonach śródziemnomorskich wybuchła epidemia tyfusu. W latach 1816 – 17 w Bengalu szalała epidemia cholery. W Nowej Anglii zimą 1816 – 17 umierały z głodu zwierzęta hodowlane. Złodzieje nieustannie próbowali plądrować magazyny ze zbożem. Jego ceny w Stanach Zjednoczonych wzrosły nawet dziesięciokrotnie, padło wiele zwierząt hodowlanych, ginęli też ludzie, którzy z powodu głodu i zimna w krótkim czasie zaczęli chorować. Z powodu kiepskich plonów owsa, pszenicy i pomidorów głód szerzył się także w północnej i południowo-zachodniej Irlandii. W Walii całe rodziny przenosiły się z miejsca na miejsce, błagając o jedzenie. Drastycznie wzrosły ceny chleba. W Niemczech miały miejsce masowe demonstracje. W niektórych regionach wybuchały zamieszki, dochodziło do napadów, kradzieży, plądrowania magazynów ze zbożem i piekarni, podpaleń. Zdesperowani ludzie niszczyli młocarnie. Szerzyły się choroby zakaźne. W samej Irlandii epidemie tyfusu i czerwonej uśmierciły 44 300 ludzi. Tyfus szerzył się również w licznych wsiach i miastach Anglii oraz Szkocji. Chłody, migracja tysięcy głodnych ludzi za chlebem, włączęgostwo i wszechobecna nędza sprzyjały rozwojowi chorób w latach 1816 – 19. W 1816 roku plony były słabe i zaczął szerzyć się głód. Trudne warunki pogodowe zmusiły wielu mieszkańców wschodnich wybrzeży Ameryki Północnej do migracji na zachód w poszukiwaniu cieplejszych i bardziej stabilnych warunków do uprawiania ziemi. Ponieważ napotkali tam żyzniejsze gleby, w krótkim czasie zasiedlili tzw. Środkowy Zachód Stanów Zjednoczonych. Ponieważ mrozy zniszczyły większość azjatyckich upraw ryżu, masowo głodowali również Chińczycy.

Mniej globalne, ale jednak widoczne i wyraziste efekty miał rok bez lata w kulturze – prawdopodobnie to szczególne kolory nieba wywołane obecnością wulkanicznych popiołów zostały uwiecznione na obrazach Williama Turnera. Za szczególnie charakterystyczne dla angielskiego malarza uważa się używanie odcieni żółci w pejzażach. Jako przykład ilustrujący specyficzne zjawiska pogodowe roku bez lata podaje się często obraz „Chichester Canal”. Pomarańczowe czy czerwone nieboskłony inspirowały nie tylko tego brytyjskiego malarza-pejzażystę, ale i Caspara Davida Friedricha, wybitnego malarza z Niemiec. Wpływy kataklizmu dostrzeżemy też w powstającej wówczas literaturze. Pod wpływem surowości lata 1816 roku brytyjski poeta Lord Byron napisał słynny poemat „Ciemność” (przełożony na polski przez Adama Mickiewicza). Mokre lato i nieustający deszcz skłoniły Mary Shelley, towarzyszkę Lorda Byrona, do wymyślenia w okolicach Genewy słynnej powieści gotyckiej „Frankenstein” (1818). W trakcie pamiętnego spotkania Lorda Byrona, przyszłych małżonków Percy & Mary Shelley i Johna Williama Polidori w Villa Diodati w Szwajcarii, ten ostatni przygotowując szkic „Wampira” wprowadził postać krwio pijcy do literatury romantycznej.

Rozdział XX

Zmiany klimatyczne od drugiej połowy XIX do czasów współczesnych

W porównaniu z poprzednimi poniższy, ostatni w mojej pracy rozdział, obejmuje okres najkrótszy. Właściwie nie doszło jeszcze do jego wyodrębnienia, nie pojawiła się dla niego żadna nazwa, a w każdym razie taka nie została jeszcze powszechnie przyjęta. Rozwój nauki od XIX wieku był już na tyle znaczny, że wszelkie erupcje wulkaniczne i impakty meteorytów, czy asteroid nie tylko zostają dostrzegane, ale też jesteśmy w stanie znacznie dokładniej opisać ich przebieg i bezpośrednie oraz długofalowe skutki.

Przez ostatnie 150 lat obserwujemy w skali globalnej stopniowe, lecz nie jednostajne, ocieplenie. Od początku XX wieku temperatura powierzchni globu podniosła się o około $0.7 - 0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, a do połowy bieżącego stulecia może wzrosnąć o dalsze $1.5 - 4\text{ }^{\circ}\text{C}$. W czasie tzw. *Małej Epoki Lodowcowej* globalna temperatura była niższa o średnio 1 stopień Celsjusza, a górskie lodowce na całym świecie osiągały swoje maksima, od początku XX wieku lodowce w Alpach straciły aż 50 proc. swojej powierzchni. Wykres zmian temperatury pokazuje, że szczególnie szybki wzrost jest obserwowany w ciągu ostatnich 20 lat. Szczególnie ciepłym okresem okazała się druga połowa XX wieku i pierwsza dekada XXI w. Na półkuli północnej był to najcieplejszy okres na przestrzeni 1300 lat. Najwyraźniej zmiany zaznaczyły się w wysokich szerokościach geograficznych w okresach zimowym i wiosennym. Podawanie jednak danych średnich jest nieco złudne, zapominamy o tym, że wzrost taki nie jest jednostajny i że w ciągu tego stulecia temperatury roczne ulegały znacznym wahaniom. Według Hadley Centre, najcieplejszym rokiem był 1998, według NASA (i NOAA) najcieplejszym rokiem był 2005, a 1998 i 2007 *ex aequo* zajęły drugie miejsce. Te rozbieżności mogą wynikać z faktu braku pokrycia przez sieć pomiarową Had CRUT 3 regionów polarnych, w których temperatury rosną ostatnio najszybciej. Od momentu rozpoczęcia regularnych pomiarów w 1850 roku aż 12 spośród ostatnich 13 lat było najcieplejszymi w historii pomiarów.

Skutkiem wzrostu średniej globalnej temperatury powietrza i temperatury oceanu są powszechne topnienie śniegu i lodu oraz podnoszenie się globalnego średniego poziomu morza. Natężenie wzrostu temperatury jest zróżnicowane przestrzennie – tempo ocieplenia jest wyższe w wysokich szerokościach geograficznych półkuli północnej. Wieloletnie dane obserwacyjne wskazują, że obszary lądowe na obu półkulach ocieplają się szybciej niż oceany. W ostatnich dwóch dziesięcioleciach tempo wzrostu temperatury powietrza było dwukrotnie wyższe nad lądem niż nad oceanem i wynosiło odpowiednio $0.27\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ na dekadę. Globalny trend zmian temperatury sprzyja powiększaniu się obszarów objętych suszą lub pustynnieniem – z jednej, a wzrostowi częstotliwości występowania ekstremalnych opadów – z drugiej strony. Na wielu większych obszarach zaznaczyła się długookresowa tendencja zmian wysokości opadów

atmosferycznych, choć zmiany te są bardzo zróżnicowane przestrzennie i czasowo. W latach 1900 – 2005 wysokość opadów wzrosła znacząco we wschodnich częściach Ameryki Północnej i Południowej, północnych regionach Europy, w północnej i centralnej Azji. Opady istotnie zmalały natomiast na obszarze Sahelu, w basenie Morza Śródziemnego, południowej Afryce oraz w części południowej Azji. Na wielu obszarach znacząco zwiększyła się intensywność opadów, a deszcze o dużym natężeniu częściej występowały nawet na terenach o zmniejszonej całkowitej sumie opadów. Wzrostowi temperatury towarzyszy podnoszenie się poziomu morza, który w latach 1961 – 2003 podnosił się średnio o 1,8 mm/rok, w latach 1993 – 2003 wzrastał już w tempie 3,1 mm/rok. W dużym stopniu przyczyniły się do tych zmian wody z topniejących lodowców Grenlandii, Alaski, Arktyki i obszarów górskich Azji, ale również – a może przede wszystkim – rozszerzalność cieplna wody. Średni roczny zasięg lodu morskiego w Arktyce zmniejszał się od roku 1978 w tempie 2,7% na dziesięciolecie, że znacznie silniejszym spadkiem w okresie lata w tempie – 7,4%. Średnia grubość lodu morskiego w środkowej części Arktyki zmniejszyła się aż o 1 m w dekadzie 1987 – 1997.

Wulkanizm

Omawiając wulkanizm w czasie ostatnich stu pięćdziesięciu lat muszę zacząć od największej erupcji w tego okresu – erupcji wulkanu Krakatau. Była to erupcja dość znaczna (VEI-6), jednak jej skala była mniejsza niż te, które rozpoczynały okresy lodowcowe. Wpłynęła na krótkotrwałe ochłodzenie i jej skutki gospodarcze były dość znaczne jednak, ponieważ nie nastąpiły po niej równie duże erupcje, ocieplenie klimatu w niej zostało powstrzymane na dłużej.

Erupcję Krakatau 1883 r. poprzedziło odczuwane już od 1878 roku coraz częstsze i silniejsze trzęsienia ziemi w rejonie zatoki, zachodniej Jawy i wschodniej Sumatry. Wyspa Krakatau ze swoim olbrzymim, 813-metrowym wulkanem nie była zamieszкана. 1 września 1880 silne trzęsienie ziemi uszkodziło latarnię morską „First Point” na zachodnim brzegu Jawy (70 km na południowy wschód od Krakatau). Kolejne wstrząsy odczuwane były pomiędzy 9 – 10 oraz 15 – 20 maja 1883 roku w Katimbang. 20 maja 1883 rozpoczęła się erupcja z krateru Perbuwatan. Drobny popiół i para oraz gazy wydobywały się stale w ciągu kolejnych 3 miesięcy. W tym czasie otworzyło się kilkanaście, stale aktywnych, ujść gazów w obrębie wulkanu. Do tego czasu erupcja powtarzała się cyklicznie. Po okresie aktywności wulkan zamierał. W tym czasie woda morska przedostawała się szczelinami i pęknięciami w głąb wulkanu i była źródłem pary. 11 sierpnia gwałtowna erupcja uniosła chmurę popiołu i gazów z krateru Perbuwatan i Danan, a także z wielu powstałych wówczas otworów i szczelin. Erupcje nasiliły się 24 sierpnia 1883 roku. Wreszcie 27 sierpnia 1883 roku doszło do jednej z największych odnotowanych erupcji tego wulkanu. Huk było słychać z odległości 3200 km. Rozpoczęła się 26 sierpnia o godzinie 12:53 lokalnego czasu. W nocy wybuchy słyszane były z odległości 4325 km. Słup dymu, popiołu i gazów osiągnął 27 km wysokości. Pokłady statków znajdujących się w Cieśninie Sundajskiej były zasypywane popiołem, pyłem oraz kawałkami pumeksu o średnicy około 10 cm. Pomiedzy godz. 18:00 a 19:00 niewielkie fale tsunami rozeszły się koncentrycznie i uderzyły w

wybrzeża odległe nawet o 40 km. 27 sierpnia o 5:30, 6:42 i 8:20 czasu lokalnego nastąpiły kolejne erupcje. Każda z nich spowodowała katastrofalne fale tsunami. Ostatnia eksplozja nastąpiła o 10:02. Wulkan wyrzucił w powietrze 19 km^3 (niektóre źródła podają wartości nawet 25 km^3) popiołów na wysokość 55 km, czyli do stratosfery. Na wyspie Rodrigues na Oceanie Indyjskim, oddalonej o 4800 km, mieszkańcy widzieli na horyzoncie popioły i błyski. Fala uderzeniowa powstała przy eksplozji przemieszczała się z prędkością ponad 1100 km/h. Szacuje się, że poziom natężenia dźwięku w odległości 160 km od epicentrum wynosił ponad 180 decybeli. 2/3 wyspy zniknęło z powierzchni ziemi, a na jej pozostałej części (Rakata) życie zostało całkowicie zniszczone. Fala tsunami o wysokości do 40 metrów i prędkości ponad 700 km/h zmyła miejscowe wioski na pobliskim lądzie i obiegła połowę Ziemi, zanim zupełnie zanikła. Fala sejsmiczna obiegła Ziemię 7 razy. Zginęło prawdopodobnie około 40 tysięcy ludzi (nie istnieją dokładne dane). Unoszące się na powierzchni oceanu ciała ofiar odnajdywane były jeszcze kilka tygodni po katastrofie. Gazy uwolnione do atmosfery sprawiły, że przez około 3 lata słońce miało zabarwienie zielone, a księżyc niebieskie. Ocenia się, że wybuch miał siłę ok. 200 megaton trotylu i w sumie wyrzucił 46 km^3 pyłów, które opadając pokryły 70% powierzchni globu. Przyczyną tsunami były prawdopodobnie spływy piroklastyczne, które przemieszczały się po zboczach wulkanu i wpadały do morza. Każda z pięciu eksplozji powodowała spływ piroklastyczny, który wpadając do morza powodował wyparcie takiej samej objętości wody, czyli kilku km^3 każdy. Odnaleziono ślady podwodnych spływów piroklastycznych w odległości 15 km od Krakatau. Dodatkowo ostatnie badania naukowców niemieckich dowodzą, że poruszający się z dużą prędkością materiał spływu piroklastycznego przedostając się nad morze w postaci popiołu i gazu o temperaturze nawet 1200°C unosi się na parze wodnej jak na poduszce. W ten sposób najprawdopodobniej została zniszczona część wybrzeża Sumatry odległa o ok. 40 km od wyspy. Czarna chmura pogrążyła region w zupełnych ciemnościach na dwa i pół dnia. Mniejsze erupcje odnotowywano do lutego 1884 r. Cały świat odczuł skutki Krakatau. Materiał wulkaniczny unoszący się wysoko w atmosferze pochłoniął światło słoneczne, powodując globalny spadek temperatury o $1,2^\circ\text{C}$. Z wulkanem wiąże się rekordowe powódzie, które rok po erupcji nawiedziły zachodnie wybrzeże Stanów Zjednoczonych. Popiół wulkaniczny, który mógł nawet utrzymywać się w powietrzu przez pięć kolejnych lat, powodował nadzwyczajne zachody Słońca. Brytyjski poeta Gerard Manley Hopkins pisał, że wieczorne niebo wyglądało jakby płonęło żywym ogniem. W Poughkeepsie w Nowym Jorku strażacy zostali wysłani po tym, jak jeden mieszkaniec pomylił zachód słońca z pożarem w oddali. Po erupcji wyspa Krakatau oraz okoliczne uległy zniszczeniom lub znacznym przeobrażeniom. Większość Krakatau podczas kataklizmu została zniszczona; po wybuchu Krakatau w 1883 roku pozostały trzy wyspy. Kolejna wyspa – Anak Krakatau, czyli dziecko Krakatau, zaczęła powstawać w 1927 roku i kilkakrotnie wybuchła. Anak Krakatau jest w stanie „półciągłej aktywności erupcyjnej” i rośnie dzięki erupcjom co dwa trzy lata (w 2017 roku miała ok. 400 m wysokości).

Niewiele wiadomo o faunie i florze wyspy Krakatau przed 1883. Erupcja zniszczyła na wyspie wszystkie organizmy żywe. Tak wysterylizowany obszar stał się obiektem zainteresowania biogeografów. Od maja 1884 francuska ekspedycja naukowa rozpoczęła poszukiwanie życia na Rakacie. W tym roku

odkryto tylko jednego pająka o bardzo małych rozmiarach. Z czasem, drogą wodną do brzegów wyspy zaczęły się przedostawać kraby. Około 1899 z pobliskich wysp przedostał się waran paskowany (*Varanussalvator*), a nieco później pyton siatkowy (*Pythonreticulatus*). W latach 80. XIX w. biolodzy wykazali, że Rakata i Anak Krakatau są systematycznie zasiedlane przez rozmaite gatunki stawonogów wchodzących w skład aeroplanktonu. Stwierdzono obecność 72 gatunków. W kolejnych latach wyspy były kolonizowane przez różne grupy roślin i zwierząt, przy czym kolejność ich pojawiania się była przypadkowa. W 1928 w okolicach Krakatau było już prawie 300 gatunków traw i krzewów. Wiele gatunków zwierząt, zwłaszcza kręgowców, wyginęło wkrótce po przybyciu na Rakata. W latach 1984 – 1985 stwierdzono 30 gatunków ptaków lądowych, 11 – ssaków (w tym 9 gatunków nietoperzy), 9 – gadów i ponad 600 gatunków bezkręgowców. Bioróżnorodność osiągnęła pod względem ilościowym poziom porównywalny z poziomem na innych wyspach tego typu po około 100 latach po erupcji w 1883 roku, jednak skład gatunkowy cechuje się mniejszą stabilnością. Badania nad odradzaniem się fauny i flory prowadzone po raz pierwszy po wybuchu Krakatau mogą okazać się pomocne do zrozumienia podobnych procesów w przeszłości, mogą nam też pomóc w odbudowywaniu życia na zniszczonych kataklizmami obszarach w przyszłości.

W 1886 roku w południowo-zachodniej Kolumbii doszło do erupcji wulkanu Galeras, kolejna – w wyniku, której zginęło dziewięć osób – miała miejsce 14 stycznia 1993, następna 24 listopada 2005, w wyniku tej niewielkiej erupcji Miasto Pasto zostało pokryte trzycentymetrową warstwą popiołu; 13 lipca 2006 kolumna gazu osiągnęła 8 kilometrów wysokości, opad popiołu nastąpił w wielu municypiach: La Florida, Ancuya, Sandoná, Samaniego i Linares. Stwierdzono opad materiału piroklastycznego w miastach tak dalekich jak Consacá, 11,4 kilometrów na zachód od głównego krateru; 17 stycznia 2008 roku doszło do erupcji o charakterze eksplozywnym, pojawił się słup pary wodnej i popiołów o wysokości około 8 km, erupcji towarzyszyły też materiały piro-klastyczne i fala uderzeniowa, która była odczuwalna w dużej części Mia-sta Pasto i niedalekich wsiach; 14 lutego 2009 – brak ofiar, ewakuowano ok. 8 tys. mieszkańców; 13 marca 2009 roku wulkan wybuchł dwa razy. Popiół opadł na Pasto i pobliskie miejscowości i 8 czerwca 2009 roku, kiedy to nastąpiły kolejne dwa wybuchy.

W 1902 doszło do kilku erupcji wulkanicznych, m.in.: wulkanu La Soufrière na wyspie Saint Vincent), którego erupcja z 6 maja 1902 roku pochłaniła 1680 ofiar. Co ciekawe, erupcja ta miała miejsce kilka godzin przed równie tragiczną erupcją wulkanu Montagne Pelée na Martynice (miała siłę 4 VEI). W czasie erupcji Montagne Pelée całkowitemu zniszczeniu uległa, położona prawie 7 km od wierzchołka wulkanu, ówczesna stolica wyspy Saint-Pierre, a życie straciło między 28 tys. a 40 tys. ludzi. Wyciągnięto wnioski z błędów popełnionych w latach 1902 – 1905. Przykładowo, kiedy wulkan znowu wybuchł w 1929 roku, ludność natychmiast ewakuowano. Ponadto na górze zlokalizowano obserwatorium wulkaniczne. Montagne Pelée zalicza się obecnie do najlepiej zbadanych i obserwowanych wulkanów na świecie.

Trzecią erupcją odnotowaną w tym roku był wybuch wulkanu Santamaría (Santa María, hiszp. *Volcán Santamaría*) w południowo-zachodniej Gwatemali. Wulkan powstał prawdopodobnie około 30 tys. lat temu. Przez kilka tysięcy lat

erupcje wulkanu były częste, ale niewielkie, później jednak zmieniły charakter. Wulkan był uśpiony przez kilkaset, być może kilka tysięcy lat, po czym dochodziło do dużego wybuchu. Jego pierwsza erupcja w czasach historycznych miała miejsce w 1902. Jej przebieg był bardzo gwałtowny. Już w styczniu 1902 odczuwalne były niewielkie wstrząsy związane przemieszczaniem się magmy. Erupcja wulkanu w październiku – listopadzie 1902 trwała 19 dni, choć największą siłę osiągnęła w pierwszych trzech dniach (24 – 26 października). Była to erupcja typu pliniańskiego, czyli charakteryzująca się gwałtownością eksplozji. Wybuch zniszczył południowo-zachodnią część stożka, a w jej czasie uwolnionych zostało 5,5 km³ lawy. Dymy i popioły wulkaniczne zostały wyrzucone na wysokość 28 km, a kawałki pumeksu opadały na obszarze 273 tys. km². W wyniku wybuchu zginęło bezpośrednio około 5 tys. osób.

Jedną z największych erupcji wulkanu Taal zanotowano w 1911 roku, kiedy na jeziorze powstało tsunami, które wylewając się na położone nad jego brzegami wioski, spowodowało śmierć 1334 osób. Od tego czasu wulkan jest stale monitorowany, zarówno z uwagi na trzęsienia ziemi, jak i temperaturę wód jeziora.

W dwudziestowiecznej Ameryce Północnej największym kataklizmem wulkanicznym była erupcja Mount Katmai (wulkanu Novarupta) w 1912 roku. Jej skala była, większa od wybuchu Mont Peleé i aż dziesięć razy pokaźniejsza od erupcji Góry Świętej Heleny w 1980 roku. Indeks Eksplozywności Wulkanicznej (VEI) określa ją wysokim – 6 stopniem. Popiół wulkaniczny z Katmai wypełnił częściowo pobliską dolinę, a wy-rzucony z Katmai pył, o objętości ok. 7 mil sześciennych, utworzył warstwę przynajmniej calowej grubości na obszarze ponad 46000 mil kwadratowych, cieńsza powłoka leżała na jeszcze większej powierzchni. Chmury drobnego pyłu rozniosły się po całym świecie, zmniejszając ilość promieniowania słonecznego mierzonego w Algierii o 20 procent. Gwałtowna eksplozja Novarupty była tak zwaną erupcją plinijską polegającą na wyrzuceniu w górę kolumny pyłu, tak jak podczas wybuchu Wezuwiusza w 79 roku. Wulkan wypłuł ogromne ilości popiołu i rozgrzanego do czerwoności pumeksu, a w skałach utworzyły się szczeliny. Po wyrzuceniu kolumny popiołu wulkan zalał wszystko w promieniu 15 mil olbrzymią warstwą lawy. Erupcja popiołu, lawy i gazów trwała przez kilka dni. Rodney Castleden pisząc o erupcji tego wulkanu nie pisze wyraźnie o jego wpływie na globalny klimat. Swoje rozważania kończy słowami: *erupcja Katmai w 1912 roku była wielkim naturalnym kataklizmem, który zmienił krajobraz i pozostawił w nim trwały ślad. Jeśli zdarzyłby się w pobliżu jakiegoś miasta, z pewnością zostałoby zniszczone i pogrzebane (co sprawił wybuch Santorini). Szczęśliwie erupcja miała miejsce w odległym, opuszczonym rejonie na Alasce, daleko od ludzkich skupisk. Nie było ani jednej ofiary.* Autor ten wcześniej pisze też, że była to (erupcja Katmai) ostatnia większa erupcja przed wybuchem Pinatbuo, a od 1912 roku globalna temperatura atmosferyczna stale się powiększa. Zdarzały się też mniejsze erupcje, np. Mount Spurr koło Anchorage na Alasce w 1953 r. albo na Kamczatce w 1956 r., ale ich skutki były ograniczone. Natomiast erupcje Mont Triden niedaleko Katmai w 1963 r. i Agung na Bali, w tym samym roku, mogły się przyczynić do zauważalnej fali ochłodzenia w połowie lat sześćdziesiątych. Erupcja Agung wyrzuciła popiół nad Oceanem Spokojnym, a

utworzona chmura pyłu wysokości 15 mil zaciemniła niebo nad stanem Kolorado na kilka miesięcy. Kwestia *stałego* zwiększania się globalnej temperatury jest bardzo dyskusyjna. W ciągu XX wieku były też długie okresy ochłodzenia klimatu, pamiętam nawet rozważania klimatologów o *powrocie epoki lodowcowej*. Wielu badaczy zbyt wcześnie wyciąga zbyt radykalne wnioski na bazie tylko wyrwykowych obserwacji.

Kolejne większe erupcje po 1912 roku to: wybuch wulkanu Lassen Peak na obszarze kontynentalnych Stanów Zjednoczonych, który miał miejsce 22 maja 1915 roku. Silna erupcja Lassen Peak doprowadziła do dewastacji okolicznych terenów, a deszcz popiołu wulkanicznego opadał aż do 350 km na wschód od wulkanu. W 1919 roku doszło do erupcji wulkanu Kelud (indonez. *Gunung Kelud*; Kelut) znajdującego się na Jawie w Indonezji (ponad 5000 ofiar). W 1920 roku doszło do erupcji wulkanu Santa Ana (Iamatepec) w zachodnim Salwadorze. W 1926 roku doszło do erupcji wulkanu Mauna Loa na Hawajach. Hawajskie wulkany cechują się jednak małą aktywnością oraz stosunkowo nieszkodliwymi eksplozjami. Zasadowa lava przebywa zwykle długi dystans zanim zakrzepnie, wskutek tego zbocza wzniesieni są łagodne, ale wyloty przeważnie pozostają wyraźne. Nie zdarzają się niszczące i gwałtowne eksplozje.

W 1932 doszło do kolejnej (poprzednia miała miejsce w 1846 roku) erupcji wulkanu Cerro Azul w Andach w Chile. Wulkan ten dał o sobie znać ponownie w XXI wieku.

Myśląc o wpływach wulkanizmu na zmiany klimatyczne w Świecie zastanawiałem się, czy nie można znaleźć takiej erupcji, która odpowiadałaby za mroźną zimę w Rosji w 1943 roku, która w znacznej mierze przyczyniła się do klęski armii niemieckiej pod Stalingradem. Znalazłem informację, że w 1943 roku doszło do erupcji wulkanu Paricutin. Jest to wulkan leżący 200 mil na zachód od Meksyku. To najmłodszy z 1400 otworów wulkanicznych, które znajdują się na polu wulkanicznym Michoacan-Guanajuato. Powstał właśnie w 1943 roku i po raz pierwszy w historii naukowcy mieli możliwość obserwować proces jego powstawania. Do wybuchu doszło 20 lutego 1943 roku. Powstawanie opisali mieszkańcy wioski, opodal której doszło do pierwszej erupcji. Poprzedzało ją podziemne trzęsienie ziemi. Po kilku dniach na polu w pobliżu wioski ziemia uniosła się na kształt wielkiego pęcherza, który wreszcie otworzył się i doszło na jego szczycie do uformowania się szczeliny o szerokości ośmiu stóp. Towarzyszył temu wyziew dymu i śmierdzących oparów kwasu siarkowego. W ciągu kilku godzin wzgórze to stało się małym wulkanem, którego erupcja doprowadziła do spalenia pobliskiej fermy i zasypania wioski. W ciągu 24 godzin na miejscu wzgórza ukształtował się stożek o stromych zboczach wysokości 150 stóp, a w ciągu tygodnia jego wysokość podwoiła się. Kiedy materiał piroklastyczny spadł na rosnący wulkan, lżejszy od reszty popiół spadł na wioskę. W marcu erupcja stała się jeszcze bardziej dynamiczna – formacje tryskającej lawy sięgały kilku mil, sporadycznie występowały eksplozje podobne do ostrzału artyleryjskiego, przedzielone okresami spokoju. W szczytowym momencie erupcji, w lecie 1945 r. wulkan wyrzucał z siebie 116 tysięcy ton materiału każdego dnia, z czego około 16 tysięcy ton pary wodnej i 100 tysięcy ton lawy o kwaśnym odczynie. Znaczyło to, że krzepła w kontakcie z powietrzem i nie spływała tak szybko jak zasadowe lawy wulkanów na

Hawajach. Kiedy erupcja ostatecznie dobiegła końca w 1952 r., nowa góra osiągnęła imponującą wysokość 1300 stóp. Moim zdaniem to właśnie ten wybuch mógł mieć wpływ na zimę 1943 roku (Stalingrad) i kolejne ostre zimy w tym okresie – zamarzanie Bałtyku!

Ciągle dawały o sobie znać wulkany Islandii. Erupcja Hekli była pierwszą po 1913 roku, kiedy po eksplozji strumienie lawy zdołały sięgnąć jedynie wschodniej części góry, na wysokości Mundafit i Lambafit. Erupcja 29 marca 1947 roku sięgała 19 mil. Kolejna erupcja miała miejsce w 1991 roku. Najbardziej znanym punktem na islandzkiej wyspie Heimaey (Vestmannaeyjar) przed 1973 był sięgający 200 metrów n.p.m. stożek wulkaniczny Helgafell, powstały w wyniku erupcji około 5000 lat temu. Nazwa wulkanu oznacza w języku islandzkim *Ognistą Górę*. Powstał on w wyniku niespodziewanej erupcji 23 stycznia 1973 roku. Istnieje prawdopodobieństwo, że wcześniej dwukrotnie, w 1637 i 1896, miały miejsce w rejonie Heimaey erupcje podwodne. Naukowcy rozważali możliwość wzrostu aktywności wulkanicznej w archipelagu na skutek rozszerzania się na południe strefy ryftu przecinającego Islandię. Potoki lawy zniszczyły wówczas dużą część Heimaey i zagroziły zatoce, w której mieści się port. Wybuch spowodował poważny kryzys na wyspie, nieomal doprowadzając do jej całkowitej ewakuacji. Pokrywający wyspę popiół wulkaniczny zniszczył wiele domów, a potok lawy zagroził odcięciem portu rybackiego, będącego głównym źródłem dochodu zajmujących się rybołówstwem mieszkańców. W wyniku natychmiastowych działań, polegających na chłodzeniu lawy pompowaną z morza wodą, udało się zapobiec za-blokowaniu zatoki portowej. Po ustaniu erupcji mieszkańcy wyspy wykorzystali energię pochodzącą z powoli stygnącej lawy do ogrzewania wody i generowania elektryczności. Wykorzystano również materiał piroklastyczny, który posłużył do powiększenia pasa startowego miejscowego lotniska oraz do wyrównania terenu przeznaczonego pod nowe osiedle mieszkaniowe liczące 200 domów. Do chwili zakończenia erupcji Eldfell osiągnął wysokość około 220 metrów nad poziomem morza. Od tego czasu jego wysokość zmniejszyła się o 18 – 20 metrów z powodu osunięć i kompresji żwirowatego materiału oraz erozji spowodowanej wiatrem. Mieszkańcy wyspy obsiali trawą dolne części nieosłoniętych zbocz, w celu ich ustabilizowania i zapobieżenia dalszej erozji. Przewiduje się, że ostatecznie większa część wulkanu pokryje się trawą, tak jak sąsiedni wulkan Helgafell lub Helgafjell (*holymountain* – święta góra) wygasły około 6000 lat temu) wulkan (73 m n.p.m.).

Erupcje wulkaniczne na Islandii są nieprzewidywalne, ale stosunkowo regularne. Od przełomu XIX i XX wieku nie minęła dekada bez erupcji, ale to czy kolejna zdarzy się niedługo, nie jest do przewidzenia w stu procentach. Pod koniec XX i na początku XXI wieku miało miejsce wiele erupcji islandzkich wulkanów; wybuchła m.in. Katla, ponownie Hekla (1991, 2000), Grímsvötn (1996, 1998 i 2004). Wulkan Grímsfjall miał krótką erupcję w 2011 r., a bardziej znany – Eyjafjallajökull spowodował wiele problemów w 2010 r. To właśnie jego erupcja zatrzymała ruch lotniczy nad Europą. Stosunkowo głośno było też o erupcji w Holuhraun, w islandzkim interiorze w 2014 roku. Jeszcze silniejsza była erupcja wulkanu Bárðarbunga (od sierpnia 2014 do lutego 2018 roku). Objętość lawy bazaltowej, która wydostała się na powierzchnię wskutek tej erupcji oceniono na 1,4 km³, ponad ośmiokrotnie więcej niż wyrzuciła erupcja

Eyjafjallajökull w 2010 roku, ale w odróżnieniu od niej nie spowodowała zakłóceń w ruchu lotniczym.

Jedną z największych i najbardziej niszczycielskich erupcji w historii Indonezji (VEI-5) była erupcja wulkanu Agung w lutym i marcu 1963 roku. 18 lutego 1963 r. miejscowi mieszkańcy usłyszeli głośnie wybuchy i zobaczyli chmury wznoszące się z krateru góry Agung. 24 lutego lawa zaczęła spływać po północnym zboczu góry, ostatecznie pokonując 7 km w ciągu następnych 20 dni. 17 marca wybuchł wulkan wysyłając szczątki od 8 do 10 km w powietrze i generując ogromne przepływy. Przepływ piroklastyczny spustoszył wiele wiosek, zabijając około 1100 – 1500 osób. Zimne lahary spowodowane silnymi opadami deszczu po erupcji zabiły dodatkowe 200 osób. Druga erupcja 16 maja doprowadziła do piroklastycznych przepływów, które zabiły kolejnych 200 mieszkańców. Nastąpiły niewielkie wybuchy i przepływy, które trwały prawie rok. Erupcja miała globalny wpływ na temperatury.

Erupcja wulkanu Taal na Filipinach w 1965 roku spowodowała śmierć 5 tys. osób, które nie zdołały na czas opuścić stoków wulkanicznych. Kolejna erupcja tego wulkanu miała miejsce w 1977 roku. Mimo że Taal zaliczany jest do wulkanów aktywnych, jest jednak porośnięty roślinnością i zamieszkany.

W ciągu XX wieku dwukrotnie aktywny był wulkan Cumbre Vieja (hiszp. *Stary Szczyt*), na wyspie La Palma, jednej z wysp archipelagu Wysp Kanaryjskich, należących do Hiszpanii, wybuchając w 1949 i 1971 roku. Łańcuch górski Cumbre Vieja usytuowany jest w kierunku północ-południe oraz pokrywa 2/3 południowej strony wyspy. Na grzbiecie i zboczach Cumbre Vieja zlokalizowanych jest kilka kraterów wulkanicznych. Jego znaczenie jest o tyle istotne, gdyż wśród amerykańskich naukowców panuje pogląd, iż ewentualny obryw skalny zboczy wulkanu, może doprowadzić do gigantycznego tsunami. Może ono spowodować podtopienia znacznych terenów wschodnich wybrzeży Ameryki Północnej i Południowej.

Jedną z bardziej rozpoznanych XX-wiecznych erupcji wulkanicznych jest erupcja stratowulkanu St. Helens (2550 m n.p.m.) w stanie Waszyngton w Stanach Zjednoczonych. Wulkan ten jest jednym ze 160 wulkanów pacyficznego pierścienia ognia. Erupcja wulkanu St. Helens (5 VEI), która rozpoczęła się w niedzielę 18 maja 1980 roku była jedną z pierwszych erupcji przewidzianych przez służby wulkanologiczne. Poprzedziło ją powstanie wybrzuszenia na północnym stoku i liczne trzęsienia ziemi. Jedno z nich spowodowało osunięcie się całego północnego boku góry, co było największym zarejestrowanym osuwiskiem w historii. Z większej części dawnego zbocza Mount St. Helens został tylko stos gruzu osiągający długość 27 km przy średniej grubości 46 m. Oderwane fragmenty wulkanu o grubości 1,6 km dotarły do zachodniego brzegu jeziora Spirit. Woda, wyparta z jeziora przez obsuniętą ziemię spowodowała falę o wysokości 180 metrów, która zderzyła się ze szczytem sąsiadujących gór usytuowanych na północ. 90 metrów gruzu znalazło się na dnie zbiornika tym samym podnosząc taflę wody o około 60 m. Woda, wracając z powrotem do jeziora, niosła za sobą tysiące drzew powalonych przez przepływ piroklastyczny mający miejsce kilka sekund przed obsunięciem terenu. Wywołane tym zmniejszenie ciśnienia zapoczątkowało

erupcję, która wyrzuciła w powietrze prawie jedną trzecią objętości góry i jak się oblicza miała siłę około 400 megaton trotylu. W jej rezultacie wulkan stracił 400 m wysokości, pozostawiając duży krater o wysokości od 2 do 3 m i głębokości 640 m oraz wielki otwór na jej północnym krańcu. Kolumna popiołu wzniosła się do atmosfery i następnie opadła na obszar jedenastu stanów USA. W tym samym czasie, śnieg i lód z kilku lodowców znajdujących na szczycie góry zaczął się topić powodując rozległe masy błota (lahar – spływ popiołowy), które osiągnęły koryto rzeki Columbia. Zginęło także tysiące zwierząt. Prawie trzy miliardy metrów sześciennych skał (równoważne objętości sześcianu o krawędzi 1400 m) stoczyło się wraz z lawiną w dół północnego zbocza wypełniając znaczną część rzeki Toutle. 380 km² powierzchni lasów zostało zniszczonych, a ich miejsce zastąpiły szaro-jałowe wzgórza. Podczas 9 godzin gwałtownej i intensywnej erupcji około 540.000.000 ton popiołu zostało rozsypanego na powierzchni 60000 km². Całkowita objętość popiołu, zanim została zamoczona przez deszcz, wynosiła 1,3 km³. Spowodowała też całkowite zniszczenie ponad 600 km² lasu, a kolejnych 300 nieodwracalnie zmieniła. Słup popiołu miał wysokość 18 kilometrów, 800 tys. metrów sześciennych pyłu i popiołu spadło tylko na samo miasto Yakima. Dzięki zainstalowanym instrumentom pomiarowym i badawczym erupcję przewidziano na ponad dwa tygodnie wcześniej, udało się ewakuować prawie całą okolicę i w jednej z największych katastrof naturalnych XX wieku zginęło tylko 57 osób, a zniszczeniu uległo ok. 200 domów, 47 mostów, 24 km linii kolejowych i 300 km dróg. Ponadto zostało uszkodzonych lub zniszczonych ponad 9,4 milionów drzew, jednak do końca 1980 roku około jednej czwartej uszkodzonego lasu udało się przywrócić do stanu naturalnego. Na terenach zasłoniętych przez wulkan od wiatru, nagromadziły się grube warstwy popiołu. Zostało zniszczonych wiele plantacji rolnych produkujących pszenicę, jabłka, ziemniaki czy lucernę. Zginęło około 1500 łosi i 5000 jeleni. Szacuje się, że wyginęło 12 mln łososi Chinook i Coho w związku z dewastacją hodowli ryb. W wyniku tej erupcji został naruszony światowy układ klimatyczny. Ogromna objętość popiołu, nawiana do stratosfery przez wiatry na dużej wysokości, spowodowała obniżenie średniej temperatury na półkuli północnej o 0,1 °C. Poza tym atmosfera została zanieczyszczona przez emisję 20 milionów ton dwutlenku siarki i to także przyczyniło się do globalnego ochłodzenia o pół stopnia Celsjusza przez następne dwa lata.

Latem oraz jesienią 1980 roku, Mount St. Helens eksplodowała jeszcze pięć razy. W ciągu pierwszych miesięcy doszło do 21 erupcji. Wulkan wznowił swoją aktywność w roku 2004. Było to dużym zaskoczeniem, gdyż od zakończenia ostatniej erupcji w 1986 roku nie odnotowano żadnych trzęsień ziemi. We wczesnych godzinach 23 września 2004 seria małej skali (magnituda poniżej 1), płytkich trzęsień ziemi (pomiędzy 1 km a 0,5 km pod powierzchnią) rozpoczęła się pod kopułą wulkaniczną z lat 1980/86. W okresie kolejnych siedmiu dni częstotliwość i wielkość trzęsień wzrosła. W dniu 26 września 2004, wzrost aktywności skłonił naukowców do wydania ostrzeżenia o zwiększonym ryzyku eksplozji lawy. Od początku października przez 10 kolejnych dni nastąpiły wybuchy popiołów wulkanicznych oraz gazów. Wypływ lawy i tworzenie nowej kopuły wulkanu rozpoczęło się 11 października 2004 roku. Aktywność w latach 2004 – 2008 charakteryzowała się dużym wypływem lawy; do końca stycznia 2008 roku wypłynęło 92 miliony metrów sześciennych lawy

tworząc nową 460 m kopułę wulkaniczną.

Za największą katastrofę związaną z wulkanizmem w XX wieku (największe zniszczenia przyniósł wybuch Montagne Pelée) uważana jest erupcja wulkanu Nevado del Ruiz ("Uśpiony Lew"), położonego w Kordylierze Środkowej (Andy) w Kolumbii, do której doszło 13 listopada 1985 roku. Strumienie piroklastyczne stopiły pokrywę lodowcową na szczycie. Powstałe lawiny błotne spłynęły w dół stoku z dużą prędkością, pokrywając obszar do 100 km od epicentrum, w niektórych miejscach po-nad 50 metrową warstwą. Katakлизм zniszczył wiele domów i miast, m.in. miasto Armero, w którym zginęło około 21000 osób (spośród 28700 ofiar), zostało całkowicie pokryte warstwami gorącego mułu. Rannych zostało 25000 osób, ponad 60000 straciło dach nad głową.

W 1981 roku nastąpiła erupcja stratowulkanu Semeru (indonez. *Gunung Semeru*) we wschodniej części Jawy w Indonezji. Jego wysokość wynosi 3676 m n.p.m., jest to najwyższy szczyt Jawy. Wspomniana erupcja przyniosła ponad 250 ofiar śmiertelnych i 16 zniszczonych wsi.

W 1985 roku miała miejsce erupcja stratowulkanu El Misti (lub Guagua-Putina) w południowym Peru, w pobliżu miasta Arequipa. Wydarzyło się to 198 lat po jej poprzedniej udokumentowanej erupcji w 1787 roku. Misti ze swoim sezonowo zaśnieżonym, symetrycznym stożkiem, stoi na wysokości 5822 metrów (19101 stóp) nad poziomem morza i leży między górą Chachani (6075 m lub 19 931 stóp) a wulkanem Pichu (5669 m lub 18599 stóp).

W 1990 roku doszło do erupcji wulkanu Kelud w Indonezji, w wyniku, której zdewastowany obszar 35 km² wokół krateru; lahary zniszczyły 1546 budynków, drogi i mosty, ok. 25 tys. ha ziemi uprawnej, ok. 6400 ha lasów; zginęło 35 osób.

W czerwcu 1991 roku doszło do najmłodszej w historii erupcji wulkanu Pinatubo o sile VEI-6, której skutki odczuwalne były na wszystkich kontynentach. Do pierwszej erupcji doszło 12 czerwca 1991 roku. Potężne wybuchy powtarzały się jeszcze 13 i 14 czerwca. Za pierwszym razem słup popiołów sięga 24 km, za drugim – 21 km. 15 czerwca 1991 roku Pinatubo wybuchł po raz kolejny, w dodatku erupcja ta była najpotężniejsza ze wszystkich dotychczasowych. Trwała przez dziewięć godzin, wytwarzając 5 kilometrów sześciennych magmy. Popioły wzniosły się na wysokość 34 kilometrów i tam rozszerzyły się, rozprzestrzeniając się wokół całego globu. Potężne spływy piroklastyczne (mieszanina gorących gazów i popiołów) docierały na odległość 16 km. Wskutek opadania popiołów na centralnych terenach wyspy Luzon zapadły ciemności. Popioły opadły na część Morza Południowo-chińskiego, a także na obszary Wietnamu, Kambodży i Malezji. Wierzchołek wulkanu zapadł się, formując kalderę o średnicy 2,5 km, w której pojawiło się jezioro kraterowe o szerokości ok. 2,5 km. Pinatubo „maleje” – z początkowych 1745 m n.p.m. pozostaje 1485 m n.p.m. Choć podjęta w porę ewakuacja tysięcy ludzi z okolic wulkanu została okrzyknięta wielkim sukcesem wulkanologii, w wyniku erupcji Pinatubo zginęło 847 osób, w dużej mierze z powodu zawałania się na ich głowy zasypanych mokrym popiołem dachów domów. Opad popiołu zniszczył liczne uprawy ryżu i projekty związane z

zalesianiem. Umarło 800 tys. zwierząt hodowlanych i drobiu. Kompletnemu zniszczeniu uległo 8000 domów, a uszkodzeniu 73 tys. W okresie między czerwcem a grudniem 1991 roku ze zboczy Pinatubo zeszło jeszcze ponad 200 dużych laharów, które uszkodziły wiele domów, mostów, dróg i ferm. Zdevastowane zostały dwie amerykańskie bazy: lotnicza Clark i morska Subic Bay. Erupcja wyemitowała 20 milionów ton dwutlenku siarki i szacunkowo 11 km sześciennych tefry (pyłów). Pyły i aerozol siarkowy pochodzące z chmury erupcyjnej trafiły do stratosfery, czego rezultatem był spadek średnich globalnych temperatur w 1992 roku o 0,5 °C spowodowany pochłanianiem promieni słonecznych przez aerozol siarkowy. Niegdyś bujne lasy i szerokie doliny u stóp Pinatubo zostały pokryte warstwą popiołu i Pu-meksu o grubości 50 – 200 metrów. Dalszą konsekwencją tej erupcji było obniżenie średniej temperatury na ziemi, która spadła o 0,5 – 0,6 °C na okres około 3 lat.

W 1995 po długim okresie uśpienia, uaktywnił się stratowulkan Soufrière Hills (na wyspie Montserrat na Morzu Karaibskim) niszcząc południową część wyspy, w tym jej stolicę Plymouth. W czasie długotrwałej erupcji wyspę opuściło ponad 2/3 ludności. Do największej erupcji doszło w 1997, kiedy zginęło 20 osób. Wybuch wulkanu Soufrière Hills spowodował olbrzymie straty na wyspie i doprowadził do załamania jej gospodarki, opierającej się na rolnictwie i turystyce.

Po roku 2000 wybuchło już kilkanaście wulkanów o skali 4 VEI: w tym Eyjafjallajökull (2010) i Puyehue-Cordón Caulle (2011).

8 czerwca 2004 miała miejsce erupcja stratowulkanu Bromo (indonez. *Gunung Bromo*) we wschodniej części Jawy w Indonezji. Bardzo aktywny, w czasie silnej erupcji zginęły 2 osoby.

1 października 2005 doszło do erupcji wulkanu Santa Ana (Ilimatepec) w zachodnim Salwadorze (2 ofiary śmiertelne). Wulkan Santa Ana, osiągający wysokość 2381 m n.p.m., to najwyższy szczyt wulkaniczny tego kraju. W 1770 roku na jego południowych stokach powstał nowy wulkan Izalco, który podczas trwających nieomal nieustannie przez dwa wieki erupcjach utworzył nowy stożek o wysokości 650 m.

W maju 2008 roku odnotowano erupcję wulkanu Cerro Azul (1640 m n.p.m.) na wyspie Isabela w archipelagu Galapagos. Wznosi się na wysokość 1640 m n.p.m. Położony jest na południowo-zachodnim krańcu wyspy Isabela. Jego kaldera o wymiarach 4 x 5 km ma głębokość 650 m, a po jej południowo-zachodniej i zachodniej stronach znajdują się terasy. W kalderze znajduje się również wielki stożek tufu wulkanicznego świadczący o erupcjach freatycznych. W zachodniej części kaldery wytworzyły się liczne stożki wulkaniczne. Zastygłe potoki lawy znajdują się na północno-wschodnich i północno-zachodnich stokach. W kalderze aktywne są fumarole.

Uaktywnił się wulkan Etna, którego erupcja miała miejsce w 2002 roku, a spore erupcje charakteryzujące się wystrzeliwanymi na kilkaset metrów fontannami lawy wystąpiły w 2013 roku. Etna jest najbardziej aktywnym wulkanem w Europie i jednym z najaktywniejszych na świecie, dlatego ludzi

zwykle nie dziwi to, że w jego obrębie dochodzi do erupcji. Wulkan Etna mierzy obecnie 3329 metrów nad poziomem morza. Znane są przypadki jego katastrofalnych erupcji z przeszłości. Najbardziej warta wspomnienia wydaje się wybuchowa erupcja z marca 1669 roku. Trwała on od 4 do 8 miesięcy i zupełnie zmieniła wygląd wybrzeża oraz wpłynęła na życie ponad 100 tysięcy osób.

W lutym 2009 roku miała miejsce erupcja aktywnego wulkanu w środkowej części Honsiu, głównej wyspy Japonii – Góry Asama. Obecnie wysokość tego wulkanu wynosi 2568 m. n.p.m. Na wschodnim stoku znajduje się obserwatorium wulkaniczne należące do Uniwersytetu Tokijskiego.

Wulkany na Mount Kirishima w Japonii nie są szerzej znane opinii publicznej, ale figurują wśród najbardziej aktywnych w Kraju Kwitnącej Wiśni. Składają się z serii stożków, których erupcje są dokumentowane od 742 r. Jedną z nich, w 2011 r. (Mont Shinmoedake), była jedną z najsilniejszych od 50 lat. W październiku 2017 r. wulkan ten wybuchł ponownie, wyrzucając słup gazu i popiołu na wysokość ponad 200 m.

W czerwcu 2011 roku miała miejsce potężna erupcja (5 w skali VEI) wulkanu Puyehue Cordón Caulle w Chile. Chmura popiołu nad wulkanem sięgnęła wysokości 10 km. Ewakuowano 600 mieszkańców okolic wybuchającego wulkanu, popiół opadł na Bariloche w Argentynie. Wojska argentyńskie zostały wysłane do pomocy w usuwaniu popiołu. Od bez mała pół roku PuyehueCordón Caulle pozostaje aktywny, co rusz zakłócając transport lotniczy nad Chile i Argentyną.

Tavurvur czynny stratowulkan w pobliżu miasta Rabaul na Nowej Brytanii w Papui-Nowej Gwinei. Wulkan leży wewnątrz kaldery o rozmiarach 8 na 14 km, powstałej w wyniku potężnego wybuchu w połowie VI wieku n.e. Tavurvur to jeden z najbardziej aktywnych wulkanów w tamtym rejonie świata. W ostatnich latach erupcje występowały wielokrotnie, w latach: 2013, 2011, 2010, 2006, 2005 i 2002. Największe zniszczenia wulkan wyrządził w 1994 roku, gdy zniszczył stolicę wyspy, Rabaul. Po tamtym wydarzeniu stolicę przeniesiono do Kokopo. Do kolejnej erupcji doszło 29 sierpnia 2014. To jeden z najbardziej aktywnych wulkanów w tamtym rejonie świata.

21 czerwca 2015 roku doszło do eksplozja wulkanu Telica w Nikaragui, który wyrzucił w powietrze wysoki słup popiołu i gazów, sięgający do wysokości 3400 m. Obłok erupcyjny o wysokości 1 km, spowodował opad popiołu w odległości 10 km od krateru (Los Manglares, Las Marías, Pozo Viejo, El Porvenir i Monte de Los Olivos).

We wrześniu 2017 roku miała miejsce erupcja wulkanu Mount Agung. Na tym obszarze doszło do 844 trzęsień ziemi wulkanicznych, osiągając poziom od 300 do 400 trzęsień ziemi 26 września. Częstotliwość i intensywność tych wstrząsów wywołały duży niepokój wśród sejsmologów, ponieważ historycznie wiadomo, że podobne wulkany wybuchają z jeszcze mniejszą liczbą znaków ostrzegawczych. Poziom alarmowy został podniesiony do najwyższego poziomu i około 122 500 osób zostało ewakuowanych ze swoich domów wokół wulkanu. Indonezyjski krajowy organ ds. Zarządzania katastrofami ogłosił 24

września strefę wykluczenia wokół wulkanu o długości 12 km. Ewakuowani zebrali się w halach sportowych i innych budynkach społecznych wokół Klungkung, Karangasem, Buleleng i innych obszarów. Pod koniec października 2017 r. Aktywność wulkanu znacznie spadła, co doprowadziło do obniżenia najwyższego stanu wyjątkowego w dniu 29 października. 21 listopada aktywność ponownie wzrosła. Nastąpiła erupcja, a szczyt chmury pyłu osiągnął 3842 metrów (12605 stóp) nad poziomem morza. Tysiące ludzi natychmiast uciekło z tego obszaru, a według doniesień ponad 29000 tymczasowych uchodźców przebywało w ponad 270 lokalizacjach w pobliżu. 25 listopada, rozpoczęła się erupcja. Doniesiono, że powstały pióropusz erupcji wznosi się około 1,5–4 km nad kraterem szczytu, dryfując w kierunku południowym i odkurzając otoczenie cienką warstwą ciemnego popiołu, co skłania niektóre linie lotnicze do odwołania lotów do Australii i Nowej Zelandii. Później w nocy wokół krateru zaobserwowano pomarańczowy blask, co sugeruje, że świeża magma rzeczywiście osiągnęła powierzchnię. Kolejna erupcja miała miejsce w dniu 26 listopada 2017 roku, druga w niecały tydzień później. Międzynarodowy port lotniczy Ngurah Rai został zamknięty, co spowodowało, że wielu turystów utknęło w martwym punkcie. Ponad 100.000 ludzi w promieniu 10 km (6 mil) wulkanu otrzymało polecenie ewakuacji. Australijskie Biuro Meteorologii poinformowało 27 listopada, że popiół z erupcji zaobserwowano na wysokości 9144 m. Na początku grudnia wybuch zredukował się do niewielkiej emisji pary i dymu.

Od początku 2018 roku obserwujemy znaczne zwiększenie aktywności wulkanicznej niemal na całym świecie. Śledząc wzrosty aktywności w okresach wcześniejszych, można było ją przewidzieć, zazwyczaj występowała po dłuższym czasie ocieplenia. Wciąż aktywny pozostaje wulkan Kilauea na Hawajach, który wyrzucił z siebie olbrzymie ilości lawy. Zniszczyła ona ponad 600 zabudowań, hektary lasów i drogi. Jedna osoba została ranna, a tysiące trzeba było ewakuować. W międzyczasie z największą siłą od ponad 40 lat wybuchł wulkan Fuego w Gwatemali w Ameryce Środkowej. Zginęło przeszło 300 osób, spośród których tylko 1/3 udało się odnaleźć w lawinach błota, kamieni i popiołów wulkanicznych. Volcán de Fuego to najbardziej aktywny wulkan w Ameryce Środkowej. Wybuch Fuego w 1773 roku spowodował trzęsienie ziemi, które zniszczyło miasto Antigua Guatemala (ok. 20 km na północny wschód od Fuego). Od 1524 roku zanotowano 59 erupcji (ostatnia w 1979 roku). Kolejny okres wzmożonej aktywności miał miejsce od kwietnia 2013 do lipca 2014 roku. Od drugiego lutego 2017 roku ponownie nastąpił okres wzmożonej aktywności. Zaobserwowano wybuchy z częstotliwością co 5 – 15 minut a pyły wulkaniczne wznosiły się na wysokość od 400 do 1100 metrów ponad krater i dotarły do miasta Antigua Guatemala. Gwałtowne wybuchy i towarzyszące im trzęsienia ziemi utrzymywały się do końca miesiąca z kulminacją w dniu 25 lutego 2017 roku, kiedy pióropusz pyłów uniósł się na wysokość około 4500 metrów i wypłynęły trzy strumienie lawy o długości 1600, 1300, 1200 metrów. Do ponownej erupcji wulkanu doszło 3 czerwca 2018 roku.

Anak Krakatau, który przebudził się 19 czerwca 2018 roku i wyemitował wówczas obłok popiołu sięgający wysokości kilkuset metrów, ale już dwa dni później zaprzestał aktywności erupcyjnej. Ponownie uaktywnił się w

październiku i grudniu; po raz ostatni 22 grudnia. Erupcja wulkanu z 22 grudnia doprowadziła do zapadnięcia się krateru, w wyniku czego Anak Krakatau zmniejszył swą objętość o 150 – 180 milionów metrów sześciennych. Wynosi ona obecnie 40 – 70 milionów metrów sześciennych. W wyniku wybuchu i zapadnięcia się krateru doszło do tragicznego w skutkach tsunami. Fale tsunami o wysokości dochodzącej do 5 metrów uderzyły w wybrzeża obu wysp i spowodowały śmierć co najmniej 429 osób. Ponad 1485 osób odniosło cięższe lub lżejsze obrażenia, a 154 uznaje się za zaginione. Tsunami pozbawiło dachu nad głową ponad 16 tysięcy ludzi, a także zniszczyło blisko 900 budynków, ponad 70 hoteli i ponad 400 łodzi. Kraj ten nie ma systemu wczesnego ostrzegania przed tsunami a jedynie przed trzęsieniami ziemi. W 2004 roku potężne trzęsienie ziemi o magnitudzie 9,1 stopnia spowodowało tsunami w wyniku, którego poniosło śmierć aż 226 tysięcy ludzi na północnym wybrzeżu Sumatry i w 14 krajach regionu Azji Południowej, w tym ponad 120 tysięcy w samej Indonezji. Indonezja położona jest w aktywnym sejsmicznie rejonie tak zwanego ognistego pierścienia otaczającego Ocean Spokojny. Pacyficzny pierścień ognia Anak Krakatau to jeden z najaktywniejszych wulkanów na świecie. Erupcja wulkanu, położonego w Cieśninie Sundajskiej między wyspami Jawa i Sumatra, spowodowała zapadnięcie się krateru i wstrząsy dna morskiego.

Wciąż aktywny był inny indonezyjski wulkan Sinabung, który w 2010 roku przebudził się po około 400 latach drzemki. W maju 2017 roku podczas kolejnej jego erupcji zginęło 7 osób. Erupcja tego wulkanu w 2018 roku nie była zbyt wielka, według odnotowań sejsmografów trwała zaledwie 5 minut. Nie wiadomo jednak, czy nie poprzedza on dłuższej i intensywniejszej erupcji.

W 2018 roku ponownie (po ostatnich erupcjach w 2013 i 2015 roku) z umiarkowaną siłą wybuchł wulkan Telica w Ameryce Środkowej. Materiał wulkaniczny gnany wiatrem opadł w odległości około kilometra od krateru. Stratowulkan Telica, który wznosi się 1061 metrów nad poziomem morza, znajduje się w prowincji Leon na zachodzie Nikaragui i jest jednym z najbardziej aktywnych wulkanów w tym kraju. Jego ostatnia gwałtowna erupcja nastąpiła w 1948 roku.

W 2018 roku uaktywnił się wulkan Shinmoedake (jego wysokość wynosi 1421 m) wchodzący w skład kompleksu wulkanicznego Kirishima w Japonii. W styczniu zwiększona aktywność erupcyjna tego wulkanu wyrzuciła popiół nad okolicę. 1 lutego jeszcze większa erupcja wysłała w powietrze kolumnę dymu o długości do 2,5 km (1,6 mi) i rzuciła bomby wulkaniczne na odległość do 1,5 km (4,900 stóp) od wylotu. 6 marca duża erupcja wyrzuciła skały i popiół na wysokość 4,5 km. Grubość warstwy popiołu w pobliskich miejscowościach wyniosła kilka centymetrów. Na miejscowych lotniskach odwołano loty. W dniu 22 czerwca 2018 roku, 4 dni po trzęsieniu ziemi o mocy 6,1 MW, które nawiedziło Osakę w dniu 18 czerwca, miała miejsce kolejna erupcja wysyłając dym i skały tysiące metrów w powietrze. W wyniku tej erupcji doszło do zamknięcia czterech linii kolejowych, zostały też odwołane niektóre linie lotnicze. Była to największa erupcja Shinmoedake od 1959 r. W lutym 2011 r. w kraterze Shinmoedake uformowała się kopuła lawy. Zdaniem naukowców, wulkan Shinmoedake powstał między 7,300 a 25,000 lat

temu.

Obecnie za najaktywniejszy wulkan na Filipinach uważany jest Mayon o wysokości 2463 metrów n.p.m. Tworzy stożek wulkaniczny o zboczach nachylonych pod kątem 35–40°. Na szczycie znajduje się niewielki krater. Ostatnia jego erupcja miała miejsce w 2018, kiedy to w ciągu dwóch tygodni wyrzucił 1,5 mln metrów sześciennych pyłu. Jego wcześniejszy wybuch z 1 lutego 1814 zniszczył wiele okolicznych miejscowości i spowodował ponad 1200 ofiar śmiertelnych. Erupcje tego wulkanu są notowane od 1616.

W grudniu 2018 roku doszło do erupcji aktywnego wulkanu Popocatepetl w Meksyku. Kolejne erupcje nastąpiły w czerwcu 2019 roku. Według danych Electroverse maksymalna wysokość emisji osiągnęła 11,3 km. To największa erupcja wulkaniczna w ostatnich latach. Zagrożenie popiołem zostało ogłoszone w 15 gminach w trzech stanach Meksyku. Cząsteczki wyrzucane na wysokości powyżej 32 800 stóp (10 km) mają bezpośredni wpływ na ochłodzenie planety.

W 2019 roku uaktywnił się wulkan na wyspie Stromboli w archipelagu Wysp Liparyjskich (część Włoch) na Morzu Tyrreńskim, o powierzchni blisko 12,4 km². Wyspę tworzy czynny wulkan o wysokości 926 m, wznoszący się z głębokości ok. 2300 m. Pod koniec maja 2019 r. Erupcja wyrzuciła lawę i skały na około 3 km, a niektóre popioły spadły na pobliskie wioski, doszło też do tymczasowego przerywania lotów międzynarodowych. 3 czerwca wulkan ponownie rzucił kilka kolumn popiołu, który opadł na pobliskie osiedla. Według danych Electroverse maksymalna wysokość emisji osiągnęła 11,3 km. To największa erupcja wulkaniczna w ostatnich latach. Zagrożenie popiołem zostało ogłoszone w 15 gminach w trzech stanach Meksyku. W ciągu ostatnich 24 godzin odnotowano 37 emisji wulkanu Popocatepetl, którym towarzyszyła para i gaz. Kolejna eksplozja miała miejsce 3 lipca. Wybuchy Stromboli często mają postać seryjną (co 10–12 min) i wyrzucają w powietrze lapille, bomby wulkaniczne i popioły. Warto wspomnieć, że w 2003 osunięcie się do morza lawy ze ściany wulkanu (*Sciara del Fuoco*) spowodowało lokalne tsunami.

Trwający już kilka dziesięcioleci proces ocieplenia, topnienie lodowców i związany z nim zwiększony nacisk wód oceanów na płyty tektoniczne wpływają na zwiększenie wulkanizmu. Przypuszczam, że tu też możemy szukać przyczyny kolejnej wielkiej erupcji do jakiej doszło 15 stycznia 2022 roku, wybuchu wulkanu Hunga Tonga.

Hunga Tonga to wulkaniczna wyspa o wielkości 200 ha na Oceanie Spokojnym położona 45 km na północny zachód od stolicy Tonga – Nuku'alofa, powstała w grudniu 2014 w wyniku erupcji podwodnego wulkanu o tej samej nazwie. Początkowo uważano, że wyspa ulegnie zatopieniu w ciągu kilku miesięcy od powstania, jednak podczas zjazdu Stowarzyszenia Amerykańskich Geofizyków w grudniu 2017 ogłoszono, że nastąpi to w latach 2040–2050. Wulkan wznosi się z dna oceanicznego na wysokość ok. 2 km w miejscu subdukcji płyty pacyficznej, która wsuwa się pod płytę australijską z prędkością 24 cm na rok.

15 stycznia 2022 na wyspie doszło do erupcji, w wyniku której powstał słup pyłu wysoki na 55 kilometrów (dolne warstwy mezosfery). Jednocześnie erupcja wyrzuciła do stratosfery ok. 150 mln ton pary wodnej. Na zdjęciach satelitarnych zarejestrowano pojawienie się w pyle i zachmurzeniu kręgów świadczących o rozchodzeniu się fal grawitacyjnych. Fale związane z erupcją obieły cały glob – związane z nimi zaburzenia ciśnienia zarejestrowano na wielu stacjach meteorologicznych, także w Polsce w Warszawie i na Kasprowym Wierchu. Na podstawie danych o wzroście ciśnienia spowodowanych przez falę Sam Rigby z Uniwersytetu Sheffield i Jorge Díaz z Uniwersytetu Indiany obliczyli energię wybuchu na 61 megaton trotylu. Erupcja wywołała także fale tsunami sięgające 2 metrów. Fale tsunami odnotowano między innymi na wyspach Tonga, Fidżi, Samoa Amerykańskim oraz w Japonii³⁸.

Początkowo, nie wiedząc, że erupcja wulkanu Hunga Tonga była erupcją podwodną (około 150 metrów pod powierzchnią oceanu), myślałem, że powinna ona mieć chłodzący wpływ na klimat. Jednak później dowiedzieliśmy się, że erupcja wyrzuciła do atmosfery ogromne masy pary wodnej (naukowcy szacują, że do atmosfery dostało się około 146 teragramów pary wodnej, czyli 146 milionów ton wody). Eksplozja była tak silna, że różne pyły i para wodna i gazy zostały wyrzucone 53 kilometry nad powierzchnię Ziemi, głęboko do stratosfery, gdzie znajduje się warstwa ozonowa naszej planety. Chociaż para wodna występuje naturalnie w tej części atmosfery, ale nieco rzadziej - w wyniku eksplozji jej ilość wzrosła o 10 procent.

Para wodna uważana jest za jeden z gazów cieplarnianych, tak wielki jej wzrost wpłynął zapewne na ocieplenie klimatu i późniejsze powodzie. Z czasem zapewne opadnie, nieco później (z powodu wagi) opadną – znajdujące się wskutek tej erupcji w stratosferze – różne gazy w tym związki siarki. Przypuszczam, więc, że za jakiś rok, może dwa, dojdzie jednak do ochłodzenia.

14 stycznia 2024 r. na Islandii doszło do kolejnego wybuchu wulkanu. Spływająca lava zniszczyła kilka domów znajdujących się na obrzeżach miasta Grindavik, na południowy zachód od Reykjavíku. Science Alert zwraca uwagę, że była to piąta erupcja wulkanu na półwyspie Reykjanes w ciągu niecałych trzech lat. Wcześniej przez stulecia ten obszar pozostawał spokojny³⁹.

Powyżej ukazałem, że w ciągu ostatnich prawie 150 lat wulkanizm był wciąż dość znaczny (zapewne wiele z erupcji tego czasu pominąłem), warto jednak zauważyć, że były to erupcje stosunkowo niewielkie, maksymalnie do 6 VEI (takich zresztą było stosunkowo niewiele), w związku z czym ich wpływ na klimat w skali globalnej był bardzo nieznaczny i krótkotrwały. Ocena taka jest jednak subiektywna, nie wiemy, jaka byłaby obecnie średnia temperatura Ziemi, gdyby nie te erupcje. Przypominam, że różnica o jeden stopień w skali VEI oznacza, że wybuchy te były większe, lub mniejsze aż dziesięciokrotnie.

³⁸ Hunga Tonga, Wikipedia.

³⁹ Karolina Modzelewska, *Rośnie aktywność wulkanów na Islandii. Czy erupcje mogą wpłynąć na resztę świata?* <https://tech.wp.pl/rosnie-aktywnosc-wulkanow-na-islandii-czy-erupcje-moga-wplynac-na-reszte-swiata,6985780800330400a>

Podobnych wulkanów jest bardzo wiele, widzieliśmy też, że nagle mogą z morza lub na lądzie wyłonić się nowe. Nasza wiedza na temat ich aktywności jest wciąż jeszcze bardzo szczątkowa. Zapewne jeszcze przez dziesiątki, a może i setki lat nie będziemy w stanie jej przewidywać i tym bardziej przeciwdziałać. Początki jednak zostały już poczynione. Nie potrafimy też jeszcze wyjaśnić bezdyskusyjnie, jakie są przyczyny wulkanizmu, jak powstawały wulkany? Nie wykluczam, że i magma wulkaniczna to pozostałość asteroid. Jak wiemy, powstawała też w tzw. pasie asteroid i stamtąd mogła trafić na Ziemię przed miliardami lat, a nawet w ostatnim miliardzie (komory magmowe wulkanów Islandii są stosunkowo płytko pod pokrywą ziemi). Nie można wykluczyć, że upadki asteroid w początkach kształtowania się skorupy ziemskiej mogły być znacznie większe i częstsze niż dotąd przypuszczano.

Upadki (asteroid) meteorytów

Przez ostatnie 150 lat, podobnie zresztą jak w całym ostatnim tysiącleciu, nie odnotowano wielkich kataklizmów spowodowanych upadkiem asteroid lub komet. Z drugiej strony takie czynniki jak: zagęszczenie zaludnienia, pojawienie się nowych narzędzi badawczych (w tym sputników) pozwala na coraz dokładniejsze śledzenie wszelkich, nawet bardzo niewielkich impaktów.

W pobliżu Porvoo 12 marca 1899 roku, na zamarzniętą powierzchnię Morza Bałtyckiego u wybrzeży Finlandii spadł meteoryt Bjurböle. Uderzenie było tak silne, że słyszeli je nawet mieszkańcy Helsinek. Zdaniem ekspertów Bjurböle był podobnej wielkości co meteoryt z Czelabińska. Meteoryt Bjurböle należy do chondrytów zwyczajnych. Jego masę ocenia się na ponad 300 kg. W chwili upadku rozkruszył się na wiele fragmentów. Największy okaz waży 80 kg.

Jednym z głośniejszych upadków był upadek asteroidy w Syberii. Jego rozpad w atmosferze doprowadził do tzw. Katastrofy tunguskiej. Wydarzenie to miało miejsce w dniu 30 czerwca 1908, w tajdze w środkowej Syberii nad rzeką Podkamienna Tunguzka, na północ od jeziora Bajkał na obszarach niezamieszkanym. Doszło tam wówczas do ogromnej eksplozji, która powaliła drzewa w promieniu 40 km, widziana była w promieniu 650 km, słyszana w promieniu 1000 km, zaś niezwykle silny wstrząs zarejestrowały wówczas sejsmografy na całej Ziemi, a wreszcie – dzięki szczególnemu położeniu Słońca w okresie przesilenia letniego, wskutek odbijania światła przez pył, będący efektem eksplozji – w wielu europejskich miastach zaobserwowano zjawisko „białej nocy”. Uderzenie było tak silne, że ówczesne rosyjskie magnetometry pokazywały w jego rejonie drugi biegun północny. Ciało niebieskie leciało z prędkością ok. 1,3 km/s z południowego wschodu w kierunku północno-zachodnim i eksplodowało w odległości 65 km na zachód ówczesnej faktorii Wanawara, na wysokości kilku kilometrów nad powierzchnią Ziemi. Jest wiele niejasności dotyczących tej katastrofy, które nie pozwalają na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków. Wciąż do końca nie wiadomo, co wywołało tak potężny wybuch. Kolejną tajemnicę stanowi fakt istnienia trzech wywałów drzew na terenie katastrofy, co także zdaje się potwierdzać, iż katastrofa tunguska nie była dziełem jednego obiektu. Obiekty te mogły mieć do 50 m średnicy.

W 1922 roku w Rosji doszło do spadku deszczu meteorytów, pozostałością tego upadku jest największy kamienny meteoryt europejski Tsarev (~284 kg).

W 1930 roku w USA doszło do upadku meteorytu Paragould z (chondryt zwyczajny LL5 – 371 kg). Po pojawieniu się kuli ognia ze świecącym ogonem nad Missouri, Illinois i Kansas, po detonacjach i dudnieniu nastąpił upadek dwóch kamieni SE z Paragould. Mniejszy kamień (36,3 kg) znaleziono w ciągu kilku godzin. Jednak większy kamień (371,9 kg) został odzyskany dopiero miesiąc później po wyciągnięciu go z otworu o głębokości około 2,5 metra. Próbkę są zwykle ciemne, ale obecne są zarówno jasne, jak i ciemne obszary, a liczne żyły są widoczne w różnych skalach zarówno za pomocą soczewki ręcznej, jak i mikroskopu. Żyłki zdefiniowane i zdeformowane chondrule znajdują się w ciemnej, drobnoziarnistej, ziarnistej, ale czasem szklistej matrycy. Średni skład oliwinu (Fa27.6) i piroksenu (Fs22.9) jest charakterystyczny dla chondrytów LL, ale zmienność w obrębie różnych krzemianów (szczególnie) piroksenu i plagioklasy jest znacząca. Ziarna metalu Fe-Ni i troilitu znajdują się między chondrami relikwii, jako łańcuchy chrzęstne chondrule i jako pęcherzyki w matrycy. Oliwki mozaikowane i pęknięte, mętna masa gruntowa, maskelinit i żyły są zgodne z silnym wstrząsem (poziom S4), który prawdopodobnie nastąpił w pewnym momencie po nagrzaniu metamorficznym, które zmiękło, zaciemniło i stwardniało w oryginalne tekstury chondrulne. Wiek ekspozycji Paragoulda na promieniowanie kosmiczne (CRE) wynoszący 14,3 Ma jest podobny do wieku wielu chondrytów LL o wieku około 15 Ma CRE. Połączenie wieku CRE i silnego szoku sugeruje przynależność do możliwej podgrupy chondrytów LL spowodowanej katastrofalną kolizją około 15 milionów lat temu. Chondryty LL są najmniejszą grupą zwykłych chondrytów (~ 10% wszystkich w pełni sklasyfikowanych świadków upadków). Sam Paragould jest drugim co do wielkości masywem chondrytu 88 LL, którego świadkami są spadki obecnie wymienione w bazie danych biuletynów meteorologicznych (kwiecień 2016 r.). Główna masa większego kamienia została zachowana w Field Museum of Natural History (Chicago), a główna masa mniejszego kamienia została zachowana w Muzeum Narodowym Stanów Zjednoczonych (Waszyngton).

W dniu 12 lutego 1947 roku w górach Sikhote-Aliń w rejonie usurskim w Rosji doszło do spadku deszczu meteorytów obejmującego teren elipsy o wymiarach 4 km na 12 km. Jak dotąd zebrano w sumie 27 ton materiału meteorytowego, na miejscu spadku naliczono 122 krater. Największy fragment Sikhote-Alin (meteoryt żelazny należący do oktaedrytów bardzo gruboziarnistych typu II B lub heksaedrytów) ważył 1745 kg. W skład chemiczny meteorytu wchodzi: żelazo 93,5%, nikiel 5,27%, kobalt 0,47%, fosfor 0,20% i śladowe ilości siarki. Wewnątrz występują duże ziarna kamacytu poprzedzielane cienkimi paskami taenitu. Struktura wewnętrzna nie jest mocno spojona, co tłumaczyć może rozpad meteorytu w atmosferze. Małe fragmenty meteorytu mogą zawierać tylko kamacyt.

W 1948 roku po ukazaniu się kuli ognia i głośnym hałasie bardzo duży deszcz meteorytów spadł na obszar hrabstwa Norton (Kansas) i hrabstwa Furnas (Nebraska) w Stanach Zjednoczonych. Pozostałością tego upadku jest m.in. meteoryt Norton County (aubyryt o wadze 1070 kg).

Drugim co do wielkości zaobserwowanym uderzeniem po meteorze Tunguskim był podmuch powietrza o sile 1,1 megatony w 1963 r. w pobliżu Wypł Księcia Edwarda między Afryką Południową a Antarktydą, który został wykryty tylko przez czujniki infradźwiękowe.

Meteoryt kamienny Allende należący do chondrytów węglistych C3 spadł w postaci deszczu meteorytowego 8 lutego 1969 roku w Meksyku w prowincji Chihuahua. Obszar spadku meteorytu Allende obejmował teren o długości 50 km i szerokości 10 km. Ogólną masę zebranych kamieni ocenia się na 2 tony. Największy ważył 110 kg. Meteoryt okazał się bardzo rzadkim typem pierwotnego meteorytu. Wcześniej znane były tylko odłamki o gramowych masach. Przy tak dużej ilości materiału z meteorytu możliwe były badania niszczące. Z otaczającej skały wydobyto białe kryształy bogate w wapń i glin. Znalaziono w nich produkty rozpadu promieniotwórczego glinu²⁶, co wskazywało, że te kryształy powstały w zewnętrznych częściach otoczek gwiazd, które później wybuchły jako supernowe. Później kryształy te były zawarte w materii planetarnej.

W meteorycie Allende odkryto aż dziewięć wcześniej nieznanych na Ziemi minerałów: Panguite (zatwierdzony w 2010 roku); Allendeite (zatwierdzony w 2007 roku), Davisite (zatwierdzony w 2008 roku), Grossmanite (zatwierdzony w 2009 roku), Hexamolibdenum (zatwierdzony w 2007 roku). Znalaziony również w innym meteorycie węglisty M CV3 – NWA 1934, IMA 2009-027 (zatwierdzony w 2009 roku), Kangite (zatwierdzony w 2011 roku), Monipite (zatwierdzony w 2007 roku), Tistarite (zatwierdzony w 2008 roku).

Największe szanse na dotarcie do powierzchni Ziemi mają meteoryty żelazne. Na drugim miejscu plasują się pallasyty, po nich chondryty, z których na szarym końcu są meteoryty węgliste.

W 1976 roku w Chinach odnotowano upadek meteorytu Jilin (inna nazwa: Kirin, chondryt zwyczajny H5, meteoryt kamienny należący do chondrytów oliwinowo-bronzytowych). Spadł w postaci deszczu meteorytowego w pobliżu chińskiej miejscowości Jilin. Największy znaleziony fragment meteorytu ważył 1770 kg; w 2000 roku również w Chinach w regionie autonomicznym Sinciang w Chinach w pobliżu miasta Fukang spadł meteoryt Fukang (żelazno-kamienny należący do pallasytów, typ PMG – 1000 kg). Z miejsca spadku pozyskano ok. 1000 kg materii meteorytowej.

W 1998 roku miał miejsce spektakularny upadek meteorytu Kunya-Urgench, który został zaobserwowany przez setki mieszkańców wsi Dashkhowus Velayat. Ogromne światło dzienne rozjaśniło popołudniowe niebo i rozległ się głośny gwizd, po którym rozległ się trzask. O 17:25 duża pojedyncza masa uderzyła 30 – 50 m od grupy rolników bawelny na polu. Siła uderzenia ukształtowała krater o szerokości sześciu metrów i głębokości 4 metrów. Wiele fragmentów zostało zebranych z wyrzutu, a duża masa 900 kg została wydobyta z dna wykopu. Prezydent Turkmenów, Saparmurat Nijasow, rozkazał przetransportować główną masę do stolicy Aszkkaat, gdzie bezkarnie nazwał meteoryt swoim imieniem „Saparmurat Turkmenbasha”, co można przetłumaczyć jako „Sapamurat, głowa wszystkich Turkmenów”.

Preatmosferyczną masę meteorytu oszacowano na 1,5 – 2,5 t, wiek ekspozycji kosmicznej określono na ~ 42 Ma.

Bardzo wiele informacji dostarczył meteoryt, który spadł 18 stycznia 2000 roku w Kolumbii Brytyjskiej w Kanadzie na zamrożone wody jeziora Tagish, po tym, jak duży meteoroid eksplodował w górnej atmosferze na wysokości 50–30 kilometrów (31). – 19 mil) z szacowanym całkowitym uwolnieniem energii na poziomie około 1,7 kg. Został nazwany Tagish Lake, należał do klasy meteorytów węglistych. Pochodził z prąsłonecznego obłoku, z którego wyłoniło się Słońce i planety. Masę meteorytu przed spadkiem na Ziemię oceniono na 220 ton. Tagish Lake spadł na jezioro pokryte trzymetrową warstwą lodu. Dzięki temu miał szansę się zachować. Po zgłoszonym widzeniu kuli ognia w południowym Jukonie i północnej Kolumbii Brytyjskiej w Kanadzie zebrano ponad 500 fragmentów meteorytu z zamrożonej powierzchni jeziora. Zdjęcia atmosferyczne szlaku pozostawionego przez powiązaną kulę ognistą i informacje satelitarne Departamentu Obrony USA po zdarzeniu doprowadziły do trajektorii meteoru. Większość kamienistych, węglowych fragmentów zatrzymała się na zamrożonej powierzchni jeziora Tagish Lake. Przejście kuli ognistej i eksplozja na dużej wysokości spowodowały uruchomienie szerokiej gamy czujników satelitarnych oraz sejsmografów.

Miejscowi mieszkańcy opisali zapach powietrza po wybuchu jako siarkowy i wielu po raz pierwszy pomyślało, że podmuch został spowodowany przez pocisk. Szacuje się, że meteoroid z Tagish Lake miał 4 metry średnicy i 56 ton masy, zanim dostał się do atmosfery ziemskiej. Szacuje się jednak, że po ablacji w górnej atmosferze i kilku zdarzeniach fragmentacji pozostało tylko 1,3 tony, co oznacza, że około 97% meteorytu odparowało, głównie zamieniając się w pył stratosferyczny, który był widziany jako nocne chmury na północny zachód od Edmonton o zachodzie słońca około 12 godzin po wydarzeniu. Spośród 1,3 ton rozdrobnionej skały znaleziono i zebrano nieco ponad 10 kilogramów (22 funtów) (około 1%). Tagish Lake jest klasyfikowany jako węglowy chondryt, niepodzielony na typ C2. Kawałki meteorytu jeziora Tagish są od ciemnoszarego do prawie czarnego z małymi jasnymi inkluzjami i maksymalnym rozmiarem ~ 2,3 kg. Z wyjątkiem szarawej skorupy fuzyjnej, meteoryty mają wygląd brykietu z węgla drzewnego. Fragmenty zostały przetransportowane w stanie zamrożonym do ośrodków badawczych po tym, jak zostały zebrane przez miejscowego mieszkańca pod koniec stycznia 2000 r. Wstępne badania tych świeżych fragmentów przeprowadzono we współpracy z naukowcami z NASA. Opady śniegu pokrywały pozostałe fragmenty do kwietnia 2000 r., Kiedy to wysiłki poszukiwawcze podjęli badacze z University of Calgary i University of Western Ontario. Te późniejsze fragmenty okazały się w większości zatopione w lodzie o kilka cm do ponad 20 cm i musiały zostać zebrane z otworów w wodzie ze stopu lub pocięte w lodowe bloki z zamrożonej powierzchni jeziora Tagish.

Fragmenty świeżego, „nieskazitelного” meteorytu Tagish Lake o łącznej wartości ponad 850 g znajdują się obecnie w zbiorach w Royal Ontario Museum i University of Alberta. Analizy wykazały, że fragmenty z jeziora Tagish są prymitywnego typu, zawierające niezmiennione granulki pyłu gwiazdnego, które mogły być częścią chmury materiału, który stworzył nasz Układ Słoneczny i

Słońce. Meteoryt ten wykazuje pewne podobieństwa do dwóch najbardziej prymitywnych typów chondrytów węglowych, chondrytów CI i CM; jest jednak zupełnie różny od jednego z nich. Meteoryt Tagish Lake ma znacznie niższą gęstość niż jakikolwiek inny rodzaj chondrytu i składa się z dwóch nieco różnych rodzajów skał. Główną różnicą między tymi dwiema litologiami jest obfitość minerałów węglanowych; jeden jest ubogi w węglany, a drugi jest w nich bogaty. Meteoryt zawiera mnóstwo materiałów organicznych, w tym aminokwasów. Substancje organiczne meteorytu mogły pierwotnie powstać w ośrodku międzygwiazdowym i / lub słonecznym protoplanetarnym dysku, ale zostały następnie zmodyfikowane w asteroidalnych ciałach macierzystych meteorytów. Część węgla w meteorycie Tagish Lake zawarta jest w tak zwanych nanodiamentach – bardzo małych ziarnach diamentu o wielkości co najwyżej kilku mikrometrów. W rzeczywistości jezioro Tagish zawiera więcej nanodiamentów niż pozostałości po jakikolwiek innym meteorycie. Podobnie jak w przypadku wielu chondrytów węglowych a w szczególności próbek typu 2, Tagish Lake zawiera wodę. Meteoryt zawiera wodoroziarniste krzemiany warstwowe serpentynitu i saponitu; znaleziono gips, ale może to być wietrzenie siarczków meteorytowych. Woda z Tagish Lake różni się izotopowo od wód na Ziemi. Wiek meteorytu szacuje się na około 4,55 miliarda lat, co stanowi pozostałą część okresu powstawania Układu Słonecznego. Dalsze badania widma odbicia meteorytu wskazują, że najprawdopodobniej pochodzi on z 773 Irmintraud, asteroidy typu D.

Jak dotąd najlepiej obserwowanym uderzeniem w był upadek meteorytu w Czelabińsku z 15 lutego 2013 r. Asteroida o długości 20 m (66 stóp) eksplodowała w pobliżu tego rosyjskiego miasta z równoważną wydajnością wybuchu 400–500 kiloton. Obliczona orbita asteroidy przed uderzeniem jest podobna do orbity planetoidy Apollo 2011 EO40, co czyni ją możliwym ciałem macierzystym meteorytu. Mianem „Meteor Czelabiński” określamy przelot superbolidu o średnicy około 17–20 metrów i masie wynoszącej do 10 tysięcy ton, obserwowany nad południowym Uralem 15 lutego 2013 roku. Po wejściu w atmosferę Ziemi bolid rozpadł się po 32,5 sekundach lotu na wysokości 29,7 kilometrów nad powierzchnią Ziemi nad obwodem czelabińskim. Obiekt rozpadł się na tej wysokości w wyniku ogromnego nacisku atmosfery, do której dostał się z dużą prędkością. Rozpad był prawdopodobnie ułatwiony przez obfite „żyłki szoku”, które przechodzą przez skałę, a powstały miliony lat temu przez zderzenia z innymi obiektami i osłabiły strukturę skały. Eksplozja miała równowartość około 600 tysięcy ton trotylu, 150 razy więcej niż uderzenie meteorytu Mill Sutter'a w Kalifornii w 2012 roku.

Przelot bolidu widziany był także z obwodów tiumeńskiego i swierdłowskiego oraz z przylegających regionów Kazachstanu. Eksplozja meteoroidu i wywołana przez nią fala uderzeniowa spowodowała znaczne straty w promieniu 90 km. Uszkodzonych zostało ponad siedem i pół tysiąca budynków w sześciu miastach znajdujących się w pobliżu trasy przelotu meteoroidu; najczęściej były to zniszczone okna. W niektórych wypadkach zniszczenia były poważniejsze, np. zawalenie się dachu fabryki cynku w Czelabińsku i uszkodzenie hali widowiskowo-sportowej Traktor Arena. Władze okręgu oszacowały straty materialne na co najmniej 1 miliard rubli (ponad 103 miliony złotych). Do placówek medycznych w okręgu czelabińskim zgłosiło się około

1500 osób. Większość osób odniosło powierzchowne obrażenia spowodowane przez szkło z szyb rozbitych przez falę uderzeniową, jednak 112 osób odniosło rany wymagające ich hospitalizacji.

W tym samym dniu, 15 godzin później, w pobliżu Ziemi przeleciała planetoida 2012 DA₁₄ (obecna nazwa to (367943) Duende) o średnicy około 50 metrów, odkryta w 2012 roku; bliski przelot tej planetoidy i upadek meteorytu czelabińskiego nie były jednak ze sobą powiązane. Obiekt, którego przelot obserwowano jako meteor czelabiński był największym znanym obiektem kosmicznym, jaki zderzył się z Ziemią od czasu katastrofy tunguskiej w 1908. Meteoroid, który wleciał w atmosferę należał do obiektów bliskich Ziemi i należał do grupy Apolla. Obiekt nie został dostrzeżony przez astronomów przed jego upadkiem. Jego rozmiary były zbyt małe, aby była duża szansa na odkrycie go w ramach kosmicznych programów obserwacyjnych, śledzących ruchy obiektów bliskich Ziemi i potencjalnie niebezpiecznych obiektów (niemniej w 2008 odkryto 2-metrowy meteoroid 2008 TC₃ na około 20 godzin przed jego uderzeniem w Ziemię). Ponadto meteoroid przyleciał od strony Słońca, przez co trudniej było go dostrzec w trakcie zbliżania się do Ziemi. Modelowanie spadku meteorytu wskazało, że zderzenie było spowodowane przez pojedynczy, 20-metrowy fragment skały, która rozpadła się na wysokości 30 kilometrów (meteoroid jest oryginalnym obiektem, natomiast meteor to „spadająca gwiazda”, meteoryt zaś to kamień, który pozostał po upadku). Jasność meteoru była największa na wysokości 29,7 km, kiedy doszło do eksplozji. Dla pobliskich obserwatorów na krótko wydawał się jaśniejszy niż Słońce i spowodował u niektórych poważne oparzenia słoneczne.

Dzięki analizie kątów, pod jakimi wykonane zostały nagrania ognistej kuli zespół wyliczył, że meteoroid wszedł w ziemską atmosferę z prędkością nieco ponad 19 kilometrów na sekundę. Szacuje się, że około trzy czwarte meteoroidu odparowało w tym momencie. Większość pozostałej części została zamieniona w pył, a tylko niewielka część (4000 do 6000 kg, czyli mniej niż 0,05%) spadła na ziemię jako meteoryty. Chmura pyłu była tak gorąca, że świeciła pomarańczowym blaskiem. Największy fragment o masie około 650 kg został w październiku wydobyty z dna jeziora Czerbakul przez zespół z Uralskiego Uniwersytetu Federalnego pod kierownictwem profesora Wiktora Grochowskiego.

W momencie wejścia w atmosferę Ziemi średnica obiektu wynosiła około 17–20 m. Znalezione w meteorycie czelabińskim fragmenty jadeitu wskazują na to, że około 290 milionów lat temu meteoroid o średnicy około 150 metrów zderzył się ze znacznie większym meteoroidem z prędkością wynoszącą około 0,4–1,5 km/s. W momencie zderzenia doszło do wyzwolenia znacznej energii i temperatura bolidu wzrosła miejscami do przynajmniej 1700–2000 °C, co doprowadziło do powstania między innymi jadeitu.

Przeprowadzone zostały chemiczna i izotopowa analiza składu meteorytu, zmierzone zostały jego własności magnetyczne oraz wykonana została rentgenowska tomografia komputerowa. Po połączeniu wszystkich wyników udało się potwierdzić, że meteoryt w Czelabińsku był chondrytem zwyczajnym

mającym 4,5 miliarda lat, który przeżył swoje ostatnie zderzenie 115 milionów lat po powstaniu Układu Słonecznego.

Nastąpiło to o wiele później niż w przypadku innych znanych chondrytów. tego typu. Jenniskens obliczył, że obiekt może pochodzić z rodziny planetoidy Flora w pasie planetoid, ale fragment, który uderzył w powierzchnię Ziemi w pobliżu Czelabińska najwyraźniej nie został rozbity w pasie planetoid. Naukowcy z Uniwersytetu w Tokio i Uniwersytetu Waseda w Japonii odkryli, że skała była narażona na promieniowanie kosmiczne tylko przez około 1,2 miliona lat, niezwykle krótko, jak na skałę pochodzącą z rodziny Flora.

Pojawiają się spekulacje, że Czelabińsk należał do większego „stosu gruzu”, pochodzącego z planetoidy która rozpadła się 1,2 miliona lat temu w wyniku prawdopodobnie bliskiego spotkania z Ziemią. Reszta tych gruzów może być jeszcze w pobliżu jako część populacji planetoid bliskich Ziemi.

Naukowcy zauważają, że tak duże uderzenia meteorytów, jak Katastrofa Tunguska lub ten z Czelabińska, występują częściej niż myślimy. Dowodem na tak postawioną hipotezę są na przykład, cztery tony materiału wydobyto po deszczu meteorytów w Jilin, w Chinach, w 1976 roku.

7 października 2008 r., 19 godzin po swojej pierwszej obserwacji, asteroida o średnicy 4 m (13 stóp) 2008 TC 3 wybuchła w atmosferze ziemskiej 37 km (23 mil) nad pustynią Nubijską w Sudanie. Po raz pierwszy zaobserwowano asteroidę, a jej uderzenie przewidywano przed wejściem do atmosfery jako meteor. Po zderzeniu odzyskano 10,7 kg meteorytów. Do podobnego, również przewidywanego wcześniej, wydarzenia doszło 2 stycznia 2014 r., zaledwie 21 godzin po odkryciu pierwszej asteroidy. Do jej wybuchu doszło w atmosferze ziemskiej nad Oceanem Atlantyckim, z dala od jakiegokolwiek lądu. Eksplozję meteorytu zaobserwowały tylko trzy detektory infradźwięków Organizacji Traktatu o kompleksowym zakazie prób jądrowych. Zderzenia meteorytów z Ziemią nie są rzadkością. Szacuje się, że codziennie w atmosferę Ziemi wpada około 274 ton materiałów kosmicznych (ok. 100 tys. ton w skali rocznej), ale większość tego typu wydarzeń pozostaje niezauważona, ponieważ są to bardzo małe ziarenka skalne.

Większe meteoroidy o średnicy do dziesięciu metrów zderzają się z Ziemią co około godzinę, ale i te wydarzenia zazwyczaj pozostają niezauważone, chyba że następują nad gęsto zamieszkanymi terenami. Zderzenia meteoroidów takiej wielkości, jak meteor czelabiński zdarzają się statystycznie [?] według różnych szacunków co kilkadziesiąt do 100 lat, a o rozmiarach większych niż 100 metrów – nie częściej niż co tysiąc lat. Astronomowie szacują, że w samej grupie Apolla znajduje się około 80 milionów obiektów wielkości meteoroidu, który rozpadł się nad Rosją.

Dziś wiemy też, że każdego dnia na ziemię spada ok. 100 ton pyłu i cząstek meteorytów wielkości piasku. Pojawia się w związku z tym pytanie czy oznacza to, że masa Ziemi wzrosła w geologicznej skali czasu? Czy ważyłbym mniej eony temu? Ziemia zyskuje około 40 000 ton w ciągu jednego roku (inne źródła mówią o 52 000 ton); większość z nich w postaci pyłu, który po prostu opada w

dół i nikt tego nie zauważa⁴⁰. To wydaje się dużo... dopóki nie zaczniesz myśleć w procentach. W ciągu miliona lat Ziemia staje się cięższa o jedną część na sto milionów. Inaczej mówiąc, od czasu powstania Ziemia stała się o 0,004% cięższa. Zdaniem badaczy, mimo tego masa Ziemi maleje. Chociaż pozyskujemy masę z meteorów (około 40 000 ton rocznie), tracimy więcej masy w wyniku ulatniających się lekkich gazów, takich jak wodór i hel. Każdego roku tracimy 95 000 ton wodoru i 1600 ton helu. Niektóre badania mówią, że wczesna Ziemia miała atmosferę zawierającą około 40% wodoru i od tego czasu ulega ona redukcji.

To ciekawe obliczenia, nie uwzględniają one jednak ważnego rozróżnienia. Masy całej Ziemi od grubości jej skorupy. Pisze inny badacz: *Tak, ale nie jest to coś, co można by zauważyć. Chociaż 100 ton może wydawać się dużo (i nie jestem pewien co do dokładnej liczby), w ogólnym ujęciu jest to nieistotne - 100 ton dziennie to 36 500 ton rocznie lub 36×10^{12} ton w miliardach lat. Biorąc pod uwagę, że masa Ziemi wynosi około 6×10^{21} ton, pył nagromadzony przez miliardy lat stanowi jedynie około jednej miliardowej jej masy. Kilcumilimetrowa warstwa pyłu.*

Uważa się, że około 4,6 mld lat temu, po zderzeniu Ziemi z Theą, skorupa ziemską miała zaledwie kilka kilometrów, dziś sięga 70 kilometrów. W tym czasie z pasa asteroid między Marsem a Jowiszem ubyło 99% będących tam wcześniej planetoid i asteroid. Zapewne w ciągu wspomnianych 4,6 miliardów lat częstotliwość upadków asteroid była zmienna, w przeszłości zapewne znacznie większa. Przecież jedna z bardziej prawdopodobnych hipotez zakłada, że np. wraz z asteroidami przybyła na Ziemię woda. Naukowcy szacują, że nie zidentyfikowaliśmy dotychczas aż 70 proc. małych kraterów uderzeniowych powstałych tylko w okresie holocenu. Czyli w ciągu ostatnich ok. 11,7 tys. lat. Jednak jest szansa, że wkrótce to się zmieni⁴¹.

Wpływ kataklizmów na klimat i wydarzenia polityczne ostatnich 150 lat

Zimą 1941 roku armie niemiecką pod Moskwą powstrzymał mróz dochodzący do -40°C . W latach 1938 – 40 i w 1941 roku miały miejsce erupcje wulkanu Krakatau. Czy istniał tu jakiś związek? Moim zdaniem, tak. Podobnie możemy znaleźć wulkaniczne przyczyny zimy 1943 roku. W ten

⁴⁰ Ile kosmicznego pyłu trafia co roku na Ziemię? <https://geekweek.interia.pl/raport-kosmos/news-ile-kosmicznego-pylu-trafia-co-roku-na-ziemie,nld,5166643>; Ponad 5 tys. ton kosmicznego pyłu spada na Ziemię. To odłamki komet i meteorytów, opr. Karolina Modzelewska. <https://tech.wp.pl/podnad-5-tys-tona-kosmicznego-pylu-spada-na-ziemie-to-odlamki-komet-i-meteorytow,6627245473938144a>

⁴¹ Magdalena Salik, Gdzie w Ziemię uderzają mordercze asteroidy? Dzięki odkryciu polskich naukowców można lepiej to oszacować, <https://www.national-geographic.pl/artukul/jak-czesto-ziemie-bombarduja-mordercze-asteroidy-dzieki-odkryciu-polskich-naukowcow-mozna-lepiej-to-oszacowac-220905040852>. 07.09.202

sposób możemy zauważyć wpływ wulkanów na ważne wydarzenia polityczne XX wieku. Spowodowane nimi zmiany klimatyczne oddziaływały na gospodarkę, ale również wpłynęły na działania militarne. Postęp cywilizacji od XVIII/XIX wieku jest już jednak na tyle znaczący, że ludzkość odczuwa skutki zmian klimatycznych w stopniu znacznie mniejszym niż w poprzednich okresach. Klęski nieurodzaju zostały powstrzymane przez tzw. „zieloną rewolucję”. Odkryliśmy odmiany roślin odporne na zimno, nawozy sztuczne, antybiotyki zwalczające niszczące roślinność bakterie itp. Dzięki postępowi medycyny powstrzymaliśmy większość chorób zakaźnych. Wpłynęło na to przede wszystkim odkrycie szczepionek przeciwko śmiertelnym dotychczas chorobom zakaźnym, głównie dżumie, gruźlicy, ospie, dyfterii czy tyfusowi. To w znacznej mierze dzięki temu mimo zmian klimatycznych nie dochodzi do spadku populacji. Po raz pierwszy w dziejach liczba ludności na całym obszarze świata wzrosła w ciągu niespełna stu lat ponad czterokrotnie. Początki eksplozja demograficznej sięgają końca XVIII. Liczba ludności świata osiągnęła pierwszy miliard w 1830 roku, drugi w 1930, trzeci w 1960, czwarty w 1978, a piąty już tylko po dziewięciu latach w 1987 roku. Dziś ludność Świata liczy już ok. 7,5 miliarda. Tak znaczny wzrost umożliwiła niewątpliwie tzw. zielona rewolucja – inaczej mówiąc, kolejny postęp w rozwoju technik rolnych. W ciągu jednej minuty przychodzi na świat jednocześnie 200 dzieci, a dziennie liczba ludności świata wzrasta o 250 tys. osób. Na przełomie XX i XXI wieku przyrost ludności świata został nieco zahamowany. Urodzenie „6 miliardowego człowieka” ogłoszono w 1999 roku, a więc po 12 latach od przekroczenia magicznej liczby 5 miliardów. W 2002 roku liczba ludności świata wyniosła 6,2 mld. Wyniki badań naukowych dotyczących zmian demograficznych wskazują jednoznacznie, że chociaż w XX wieku liczba ludności wzrosła czterokrotnie, to w ciągu XXI wieku może ona ulec, co najwyżej podwojeniu. Przewiduje się, że znacznie mniejsza się liczba urodzeń oraz nastąpi dalsze wydłużenie się przeciętnego trwania życia człowieka.

Z początkiem XXI wieku, a może już pod koniec XX wieku w kręgach naukowych, a zwłaszcza w publicystyce pojawiła się teoria o gwałtownym ociepleniu klimatu. Diagramy pomiarów wskazują, że doszło w tym czasie do wzrostu średnich temperatur rocznych o 0,5 °C. Świadectwem zmian klimatycznych są m.in. fala upałów w Europie w 2003 roku, częste pożary lasów, susza w Chinach w 2006 roku. Obserwuje się też cofanie się wielu lodowców. Jako wyjaśnienie tego zjawiska przyjmuje się zazwyczaj – by ująć to jak najprościej – efekt cieplarniany wywołany działalnością człowieka, czyli zatrzymywanie w atmosferze wciąż wzrastających ilości promieniowania słonecznego przez dwutlenek węgla, którego stężenie w atmosferze nieustannie wzrasta. Pisał np. jeden z publicystów: *Ludzie nie po raz pierwszy przyczynili się do emisji dwutlenku węgla, kiedy zaczęli rozpalać ogień do gotowania i ogrzewania. Potem, z nadejściem rewolucji około 1750 roku, proces ten nabrał większego tempa i obecnie jest już bardzo zaawansowany – 7 gigaton węgla pochodzącego z CO₂ przedostaje się rocznie do atmosfery... Winien jest zatem postęp gospodarczy, którego początek wyznacza rewolucja przemysłowa.* Pierwsza sentencja mówiąca o wpływie działalności człowieka na klimat przed 1750 rokiem może po prostu bawić, dalsze uwagi cytowanego autora są dyskusyjne, choć warte zastanowienia. Uważam jednak, że nasza działalność na klimat ma wpływ wciąż jeszcze bardzo niewielki. Oczywiście nie

potrafimy też przewidzieć w jakim tempie postępować będzie ocieplenie. Wszelkie obliczenia przyszłej średniej temperatury Ziemi są niemożliwe do przeprowadzenia. Zresztą szybko okazuje się, że ta zmienia się czasami corocznie.

Po alarmujących artykułach o globalnym ociepleniu pojawiła się i teza przeciwna. Czy globalne ocieplenie przystopowało? – pytają inni publicyści. Ci, którzy tak myślą, sugerują, że może to być efektem działalności wulkanicznej, która ostatnio się nasiliła. Światowe media obiegała w ostatnim czasie opinia naukowców z Lawrence Livermore National Laboratory w Kalifornii, którzy za przystopowanie globalnego ocieplenia obwiniają wzrost aktywności wulkanicznej. Są oni zdania, że kilka większych erupcji doprowadziło do znacznego wzrostu ilości aerozoli i kwasu siarkowego w atmosferze, co zaowocowało zwiększonym odbijaniem promieni słonecznych i w efekcie obniżeniem się średnich temperatur na Ziemi. Odpowiedzialnością obarczają wulkany Etna, Chaiten, Eyjafjallajökull, Puyehue-Cordón Caulle, a także Kelut, który wybuchł na Indonezji. Przeciwnicy tej teorii wskazują na dane pochodzące z satelitów meteorologicznych, które ujawniły, że kalifornijscy naukowcy nie mają pełnej racji. Owszem, po erupcji wulkanu Kelut do atmosfery dostały się spore ilości dwutlenku siarki i aerozoli, jednak w ciągu zaledwie kilku dni "zmieszały" się one z pozostałymi gazami w atmosferze, co w efekcie przyczyniło się do ich zobojętnienia.

Moim zdaniem, krytycy wpływu wulkanizmu się mylą. Wydaje mi się, że wpływ wulkanizmu na ochłodzenie klimatu nie powinien już dziś podlegać dyskusji. Pozostaje tylko do rozpatrzenia jak wielki jest to wpływ i jak rozkłada się w czasie. Wulkanizm, który obserwujemy w XXI wieku ma wciąż jeszcze niewielką skalę (nie doszło jeszcze do erupcji powyżej 4 VEI. Pierwsze wydanie tej książki miało miejsce w 2019 roku). Wynika to z tego, że i średnia temperatura na Ziemi wzrosła jak dotąd stosunkowo nieznacznie i proces topnienia lodowców nie jest zbyt gwałtowny, poziom wód mórz i oceanów podnosi się stosunkowo wolno. Myślę, że to właśnie aktywność wulkaniczna wpływa na łagodzenie procesu ocieplenia. Jeśli nie dojdzie do kolejnego wielkiego impaktu meteorytu, który może spowodować nawrót epoki lodowcowej, to za kilkaset, a może kilka tysięcy lat, temperatura panująca na Ziemi wzrośnie, być może nawet o kilka stopni. Stopnieją wszystkie lodowce, zapewne podniesie się poziom oceanów. Przyroda, fauna i flora, oczywiście i my ludzie, będziemy musieli dostosować się do nowych warunków. Proces ten będzie przebiegać wystarczająco wolno właśnie dzięki aktywności wulkanicznej, która opóźnia ocieplenie. Cały kosmos, ekosystem jest rodzajem wielkiego organizmu, którego elementy są z sobą powiązane ogromną ilością wzajemnych zależności.

Znaczący wzrost średniej temperatury powietrza na Ziemi, który notuje się od około pięćdziesięciu lat, większość naukowców (ale nie wszyscy) wiąże ze wzrostem zawartości dwutlenku węgla w atmosferze, czego przyczyną jest działalność człowieka, a przede wszystkim rozwój gospodarki w ostatnich dwu wiekach. Ogromne ilości paliw kopalnych zużywają przede wszystkim przemysł i transport, emitując do atmosfery CO₂. Ja, jak moi czytelnicy zdążyli już

zapewne zauważyć za zmiany klimatu obwiniam wulkanizm. CO_2 nie jest głównym gazem powodującym efekt cieplarniany. Największy udział w efekcie cieplarnianym zawdzięczamy parze wodnej, która do atmosfery dostaje się dzięki parowaniu ze zbiorników wodnych (oceany, morza, jeziora i rzeki) oraz z gleby. Niewielki udział w efekcie cieplarnianym mają jeszcze inne gazy: metan, tlenek azotu, ozon, niektóre węglowodory, ich znaczenie jest jednak wyraźnie mniejsze. Do dość znacznego ocieplenia już ocieplenie o charakterze globalnym doszło w okresie 1998 – 2008. W latach 2018 – 2019 słyszymy o płonących lasach m.in. Syberii i Alaski. Proces ten jednak nie musi być nieodwracalny. Tak jak w przeszłości, ocieplenie powoduje topnienie lodowców, co wpływa na podniesienie ich poziomu morza i... – jak pisałem już wielokrotnie – nacisk wody na płyty tektoniczne spowoduje wulkanizm i co za tym idzie ponowne ochłodzenie. Myślę, że proces ten będzie trwać aż do czasu wyczerpania magmy w komorach wulkanicznych, a później już temperatura naszej planety wzrośnie o kilka stopni.

Na zakończenie chciałbym podzielić się osobistą refleksją. Na wpływ kataklizmów na zmiany klimatyczne zwróciłem szczególną uwagę kilka lat temu. Zamyśl napisania tej książki pojawił się dopiero w maju tego roku. Zeszłe lato było w Polsce niezwykle upalne, pisząc tę książkę obserwowałem klimat. Wiedziałem, że wpływają nań w dużej mierze erupcje wulkaniczne. W początkach lipca doszły do mnie wiadomości o erupcjach wulkanicznych mających miejsce w ciągu ostatniego roku. Nie były to erupcje o znacznej skali, a jednak lato 2019 roku było w Polsce chłodniejsze od lata roku poprzedniego, jesień zaś była szczególnie zimna. Takiej nie pamiętałem od lat. Myślę, że mamy tu do czynienia głównie ze skutkami dwóch erupcji: Anak Krakatau 22 grudnia 2019 roku i wulkanu Popocatepetl na Wyżynie Meksykańskiej w czerwcu i kolejnych miesiącach tego roku. Zima okazała się jednak stosunkowo ciepła. Jak jednak wspominałem wspomniane erupcje, miały stosunkowo niewielką skalę VEI, więc ich wpływ nie mógł być zbyt znaczny, a spowodowane nimi ochłodzenie trwało stosunkowo krótko. W każdym jednak momencie może dojść do znaczniejszej erupcji, gdyż w wyniku topnienia lodowców rośnie poziom wód oceanów i mórz. Czy jesteśmy w stanie temu przeciwdziałać? Myślę, że tak. Należy w skali globalnej podjąć próbę zatrzymania wody na lądach, przez budowę zapór retencyjnych i zasadzanie lasów.

Zakończenie

Podjmując prezentowany w tej książce temat początkowo sądziłem, że zajmie mi on niewiele czasu, że w większości podejmowane tu zagadnień zostały już dawno opracowane. Nie zdawałem sobie sprawy z tego jak wielkiego postępu dokonała nauka w ostatnich latach, jak naszą wiedzę zmieniły badania satelitarne, jak wiele informacji przyniosły poszukiwania geologiczne itp. Mało tego uświadomiłem sobie również i to, jak bardzo nasza wiedza jest jeszcze hipotetyczna, jak niewiele w wielu dziedzinach nauki jeszcze wiemy. Moje poszukiwania już istniejących i dostępnych na podobny temat publikacji wskazują, że moja praca ma w pewnym sensie charakter pionierski. Wydaje mi się, że wiele postawionych tu hipotez zostało tak przedstawione po raz pierwszy. Aż dziw, że tak wiele zagadnień pozostało dotąd sferą zainteresowania głównie amatorów. A przecież efekty badań mogą przynieść wiele ciekawych odkryć. Oczywiście zdaję sobie sprawę z tego, że sam będąc w wielu dziedzinach tylko amatorem, mogłem popełnić w mojej pracy wiele błędów. Wynika to z tego, że być może niezbyt dogłębnie przyjrzałem się wielu spośród informacji, które tu przytaczam, a także i z tego, że moja wiedza na temat wielu zagadnień (a praca ma charakter interdyscyplinarny) jest bardzo ograniczona. Myślę, że z czasem powstaną kolejne (doskonalsze) opracowania na ten temat i że będą one wynikiem prac całych zespołów badawczych. Być może na różnych uczelniach dojdzie do powstania specjalnych wydziałów, których praca zaowocuje uporządkowaniem naszej wiedzy w tym zakresie. Jest to konieczne, gdyż właśnie tylko patrząc w przeszłość możemy wytyczać kierunki na przyszłość.

Dziś, dla wielu badaczy jest rzeczą wręcz oczywistą, że wymaga weryfikacji wiele wcześniejszych założeń z zakresu geologii. Na przykład, badania prowadzone nad pierwszym znanym i zarazem jedynym z najmłodszych, ziemskich kraterów impaktowych, kraterem *Meteor Crater* (lub *Krater Barringer*) w Arizonie, naprowadziły naukowców na trop, który pozwolił rozwikłać zagadkę niezwykle bogatych złóż metali w pobliżu innych kraterów impaktowych na świecie. Do czasów badań nad kraterem *Meteor Crater* podobne formy terenu na Ziemi uważano głównie za twory geologiczne, powstałe na skutek wybuchu wulkanu lub gwałtownej erupcji pary wodnej, którą spowodowało wdarcie się magmy do podziemnego zbiornika wody gruntowej (tzw. maar). Amerykański geolog i astronom Gene Shoemaker obserwując krater po próbnym eksplozjach nuklearnych doszedł do wniosku, że podobnie jak krater w Arizonie zawierają one dziwne szkliste struktury krystaliczne. Dziś wiemy, że to stiszowit, rodzaj metamorficznej formy kwarcu (dwutlenku krzemu), do którego powstania konieczna jest temperatura 1200–1400 °C i ciśnienie rzędu 160 tys. atm. Dodatkowo obszar wokół krateru w Arizonie usiany był odłamkami prawie czystego żelaza, które w tej formie nie występuje praktycznie na Ziemi. Kazało mu to przypuszczać, że spadł tam olbrzymi meteor. Uderzenie asteroidy w powierzchnię Ziemi wyzwala olbrzymią energię, która oprócz wydrążenia krateru i zasypania kilkuset kilometrów kwadratowych pyłem i odłamkami, powoduje stopienie okolicznych skał. Uderzenie tak dużego ciała w skorupę ziemską należy traktować, więc jako wydarzenie geologiczne. Nie sposób udowodnić, że w warstwie skorupy ziemskiej od 4,5 mld lat do czasów

obecnych zachodziły takie procesy (powstanie temperatury i ciśnienia), które mogły doprowadzić do powstania w niej wielu minerałów, gazów czy ropy. Takie musiały mieć miejsce poza Ziemią lub w wyniku zderzenia z nią asteroid, lub komet. Wiele wskazuje, że trafiły one na Ziemię wraz z asteroidami. Do ich utworzenia doszło w pasie asteroid, być może kolejne ich zderzenia prowadziły do dalszych zmian, do takich mogło dochodzić również w wyniku wejścia w atmosferę ziemską i uderzenia w Ziemię.

W uderzeniach ogromnych meteorytów, obok zmian klimatu w wyniku kolejnych fal ochłodzeń, a co za tym idzie zmian poziomu wód oceanów i mórz, poszukuję również przyczyn przesuwania się kontynentów, a co za tym idzie również orogenezy.

Analiza przemian klimatycznych w dziejach naszego globu wskazuje na ich ogromną zmienność. Zmiany te wiązały się z różnymi kataklizmami, a ich wynikiem były przemiennie następujące okresy zlodowaceń i ociepleń (często obejmujące tylko część Ziemi). Wyniki dotychczasowych badań geologicznych skłoniły badaczy (geologów) do podziału historii Ziemi na epoki, dostrzegano też okresy masowego wymierania wielu gatunków. Jak się jednak okazuje do znacznych zmian klimatycznych dochodziło również w trakcie wyodrębnionych epok, tzw. epoki lodowcowe były znacznie częstsze. Dla wielu tych zlodowaceń jesteśmy w stanie już dziś wskazać poprzedzające je kataklizmy (uderzenia planetoid czy meteorytów oraz erupcje wulkanów – mega wulkanów). Związek między zmianami klimatycznymi a tymi kataklizmami wydaje się więc oczywisty.

Wiedza o zachodzących zmianach klimatycznych skłaniała niektórych badaczy do poszukiwania pozornych odpowiedzi, za takie uważam próby określania tzw. cykliczności tych zmian. Profesor Leszek Marks przytacza np. teorię tzw. zimnych wydarzeń Bonda, który uznał, że w rejonie pół-nocnego Atlantyku stwierdzono w holocenie cykliczne raptowne ochłodzenia, powtarzające się co 1470 ± 500 . Zdaniem „odkrywców” tych cykli, Bonda, ich przyczyny nie są jednoznaczne; przyjmuje się, że mogły być spowodowane m.in. zmianami radiacji słonecznej, reorganizacją cyrkulacji atmosferycznej, wpływem cyklu księżycowego oddziałującego na wielkość pływów albo zmianą cyrkulacji w północnym Atlantyku. Podobno wydarzenia Bonda stwierdzono szczególnie w rejonie północno-go Atlantyku, ale są one synchroniczne również z okresami osłabienia monsunów azjatyckich, okresami suszy na Bliskim Wschodzie oraz transformacją zbiorowisk roślinnych w Ameryce Północnej. Wyróżniono 9 wydarzeń Bonda (oznaczonych liczbami od 8 do 0), które powiązano z wyraźnymi, globalnymi zmianami klimatu oraz rozwojem i upadkiem cywilizacji.

Moim zdaniem to zupełnie nieracjonalna koncepcja. Podobnie należy ocenić, również przytoczoną przez profesora Marksa koncepcję okresów klimatyczno-roślinnych von Posta. Może powinienem w mojej pracy uwagi na temat tych „odkrywców”, „badaczy”, pominąć, podobnie jak i wcześniejsze uwagi innych autorów, poszukiwaczy Atlantyd czy śladów „Potopu”, których pomysły wydają się jeszcze mniej racjonalne, uznałem jednak, że warto ukazać choćby w zakończeniu i taki kierunek, w którym podążają nasze myśli, a to dlatego, by

pokazać, że często zbaczają one na manowce. Wielu nie potrafi powiedzieć tych dwóch prostych słów: nie wiem. Próby podziału dziejów, w tym zmian klimatycznych na okresy towarzyszą badaniom dziejów od zarania. Granice między tymi okresami są jednak bardzo umowne, trudno określić je dla całego globu. Odrzucam wszelkie koncepcje zmierzające do określania jakiejś cykliczności zmian klimatycznych. Te były i są nieregularne, i wciąż jeszcze nieprzewidywalne.

Warto również podkreślić i to, że zmiany klimatyczne zachodzące w świecie nie przebiegały równomiernie. W takim wypadku należy odrzucić tu aktywność Słońca jako główną ich przyczynę.

Gwałtowne zmiany klimatyczne i związane z nimi zmiany ekosystemów wiąże głównie z kataklizmami naturalnymi (uderzeniami planetoid lub komet oraz erupcjami wulkanów). Możemy zauważyć, choć nie dostrzegamy i tu żadnej regularności, że z czasem kataklizmy te były coraz mniejsze. Dowodzi tego wielkość zachowanych kraterów powstałych w wyniku upadku asteroid lub meteoroidów z poszczególnych okresów oraz skala pozostałości wulkanicznych.

W każdym z wyodrębnionych przez geologów okresów klimat często ulegał zmianom, ochłodzeniu towarzyszyło powstawanie lądolodów i zwiększenie wilgotności (na niższych szerokościach geograficznych). Okresom ociepleń towarzyszyło topnienie pokryw lodowych (całkowite lub częściowe) oraz pustoszczenie obszarów równikowych. Zmiany klimatyczne już od czasów prehistorycznych wpływały na rozwój i dzieje naszego gatunku. Konieczność dostosowania się do zmieniającego się środowiska wpływała zarówno na konieczność pozyskiwania nowych źródeł żywności i zmianę diety, a co za tym idzie ewolucję biologiczną, jak też na rozwój szeroko rozumianej kultury. Z czasem stały się też jedną z ważnych, obok zmian demograficznych, przyczyn migracji społeczeństw ludzkich.

Myślę, że ukazane tu zmiany klimatyczne, nie tylko w czasie od powstania Ziemi, ale nawet tylko w ciągu ostatnich stu tysięcy lat ukazują, że wpływ na nie człowieka był jak dotąd bardzo, bardzo niewielki. Uważam, że i nasza obecna aktywność również wpływa na klimat w stopniu bardzo małym. Zanieczyszczenia, które wytwarzamy mają zasięg bardzo lokalny. Pył z kominów dociera stosunkowo nisko (na pewno nie dociera do stratosfery, do tego potrzebna jest siła wybuchu wulkanicznego) i jest absorbowany przez okoliczne rośliny, ale i ludzi. Na globalny klimat wpływa nie tyle ilość emisji szkodliwych substancji, lecz jej zasięg. Spalanie węgla, emisja innych gazów wytwarzanych w procesie pozyskiwania koniecznej dla naszego bytu energii lub produkcji dóbr jest bardzo szkodliwa i powinniśmy na wszelkie możliwe sposoby ograniczać negatywne skutki naszej działalności, ale jej wiązanie z globalnym klimatem jest niewątpliwą przesadą.

W prezentowanej książce przytoczyłem opis ważniejszych katastrof naturalnych, do jakich doszło na Ziemi. W tak rozległym czasie można dostrzec wzajemne związki między tymi katastrofami a naszym losem i rozwojem naszej cywilizacji. Oczywiście obok katastrof na jej rozwój wpływało również bardzo wiele innych czynników. Do około stu tysięcy lat temu głównie naturalnych

(szeroko pojęte środowisko przyrodnicze, roślinność, ilość opadów, cały ekosystem), a później i kulturowych, w tym również wypracowane i przyjęte przez człowieka idee (np. idea wojny, podboju, imperializmu, niewolnictwa, ale i demokracji, praw człowieka i wiele innych). Mogliśmy obserwować, jak od czasu powstania naszego gatunku toczyła się walka o przetrwanie. Początkowo intuicyjna, w wypadku wielkich kryzysów (kataklizmów) pierwsi ludzie chowali się w jaskiniach, później próbowali nawet przetrwać czas kryzysu w budowanych przez siebie podziemnych miastach (Kapadocja), wreszcie doszliśmy nawet do tego, by nie tylko próbować po-wstrzymywać skutki kataklizmów (schładzanie lawy), ale nawet z nich korzystać (wykorzystywanie ciepła stygnącej latami lawy). Dostrzegamy też wpływ zaistniałych kataklizmów na powstawanie lub rozwój już istniejących religii. Służyła ona swego rodzaju „oswajaniu” tych wydarzeń w świadomości człowieka.

Niestety, w naszych dziejach były również okresy regresu, za które odpowiadały nie tyle siły natury, co my sami, przyjmowane przez nas idee. Na przykład idee wojny, imperializmu i rewolucji, w wyniku, których traciliśmy pamięć wielu wcześniejszych osiągnięć, wiele czasu musiało minąć byśmy wreszcie osiągnęli poczucie jedności i wreszcie zaczęli w skali globalnej porządkować posiadaną przez nas wiedzę.

Wiedza, którą dziś posiadamy jest ogromna. Jeden człowiek nie jest w stanie ogarnąć jej całości nawet tylko w jednej dziedzinie. Jeszcze w czasach renesansu niektórym mogło się wydawać, że są w stanie ogarnąć całą wiedzę (stąd dziś określenie „renesansowy umysł”), ale już w czasach Oświecenia jeden z myślicieli stwierdził, że lepiej wiedzieć „coś o wszystkim niż wszystko o jednym”. Dziś nawet to ostatnie jest niemożliwe. Tym bardziej, że wciąż jeszcze – moim zdaniem – po-zyskiwaniu wiedzy poświęcamy zbyt mało środków. Na przykład w zakresie podejmowanych tu zagadnień bardzo długo trwało uzyskanie pewności, że krater Barringera powstał w wyniku impaktu meteorytu, mało tego dowód na prawdziwość tej tezy uzyskany został przypadkowo. W 1953 roku w Szwecji podczas prób laboratoryjnych wynaleziono materiał o nazwie coesite, który był identyczny, jak minerały znalezione na obrzeżach krateru. Wytworzenie tego minerału wymagało ciśnienia i temperatur, jakie nie istnieją na ziemi w żadnych warunkach, włączając w to nawet wulkany. Do dziś jednak nie jesteśmy w stanie precyzyjnie określić czasu kataklizmu, w wyniku, którego powstał krater Barringera. Rozwój techniki umożliwia jednak doskonalenie metod badawczych i nasza przeszłość staje się dla nas coraz bardziej rozpoznawalna. Na szczęście też wytworzyliśmy takie narzędzia, które umożliwiają nam gromadzenie i przekazywanie wiedzy. W jaki sposób ją systematyzujemy i w jaki sposób z niej korzystamy to już inna sprawa.

Czy jesteśmy w stanie przeciwdziałać przyszłym kryzysom klimatycznym, jeśli – jak wykazałem – są one nieodłączną częścią natury? Dotychczasowe dzieje cywilizacji pokazały, że człowiek podejmował takie próby do dawna, były to jednak działania polegające na próbach dostosowania się, a nie przeciwdziałania. Początkowo dostosowanie to miało charakter genetyczny, później cywilizacyjny. Dostosowywanie narzędzi, migracje, melioracja, a w XX wieku „zielona rewolucja”. To stosunkowo łatwe zadania, choć w związku z doprowadzeniem do nadpopulacji doszło do znacznego zachwiania równowagi

biologicznej i zanieczyszczenia środowiska. Nie są to jednak problemy nie do odrobienia, powinniśmy tylko rozwiązując je zachować spokój, nie działać pochopnie, pośpiesznie. Rozwiązania rewolucyjne niosą z sobą zbyt wielkie ryzyko błędów. Czy dzisiejsza technika umożliwia przeciwdziałanie kataklizmom? Jeśli chodzi o przyszłe impakty meteoroidów, to jesteśmy już dziś w stanie rozpoznać ich obecność w pobliżu Ziemi stosunkowo wcześnie. Czy potrafimy zmienić ich orbitę lub rozbić je na mniejsze (mniej niebezpieczne) fragmenty przed ich upadkiem na Ziemię? Nie wiem. Powinniśmy jednak podejmować działania w tym kierunku. Wydaje się również, że nie powinniśmy na nie skąpić środków. Jest to zagrożenie całkiem realne i jak pokazała przeszłość bardzo znaczne. W grudniu 2016 roku Zgromadzenie Ogólne ONZ ustanowiło 30 czerwca Międzynarodowym Dniem Planetoid z intencją upowszechniania świadomości zagrożeń, jakie mogą stanowić zderzenia obiektów bliskich Ziemi z naszą planetą. Na wagę tych działań mogą wskazywać informacje tylko z sierpnia 2019 roku. Obserwacje prowadzone przez NASA wskazują, że sierpień będzie intensywnym miesiącem pod względem liczby planetoid mijających Ziemię. Pierwsza asteroida, która zbliży się do Ziemi, nosi nazwę 2019 ON. Według CNEOS (Center for Near Earth Object Studies) ma ona ponad 84 metry długości i porusza się z prędkością 16 tys. kilometrów na godzinę. Minie Ziemię 1 sierpnia w odległości 2,6 mln kilometrów. Trzecia asteroida to 454094 2013 BZ45. Jej wielkość wynosi prawie 250 metrów. 454094 2013 BZ45 porusza się z prędkością ponad 29 tys. km na godzinę. Minie się z Ziemią 13 sierpnia w odległości ponad 6 mln kilometrów. Następna to 2018 PN22, zbliży się do Ziemi już 17 sierpnia na odległość 6 mln kilometrów. Zdaniem naukowców jej wielkość to blisko 19 metrów. Prędkość, z jaką się porusza, to ponad 8 tys. kilometrów na godzinę. W sierpniu obok naszej planety znajdzie się również PD1 2016. Asteroida ma wielkość 110 metrów i minie Ziemię prędkością 21 tys. kilometrów na godzinę. Według NASA znajdzie się koło naszej planety 26 sierpnia w odległości około 5 mln kilometrów. Dwa dni później do Ziemi zbliży się 2002 JR100. Eksperci z NASA uważają, że ma blisko 82 metry długości i porusza się z prędkością 30 tys. kilometrów na godzinę. Przeleci koło Ziemi w odległości 7,5 mln kilometrów. Ostatnią z asteroid będzie 2019 OU1 o wielkości 150 metrów, która minie Ziemię z prędkością 48 tys. kilometrów na godzinę 28 sierpnia, kilka godzin po 2002 JR100. Będzie to planetoida, która przeleci najbliżej naszej planety. Minie ją w odległości około miliona kilometrów. Wielu badaczy przypuszcza, że prawdopodobieństwo, że w nieodległej przyszłości (ok. 100 lat) Ziemia zostanie uderzona przez asteroidę jest prawie 100-procentowe. By temu zapobiec, w ciągu najbliższych dni, ESA zorganizuje kilka spotkań, na których omówi plan działania w wypadku zaistnienia takiego kryzysu. W dniach 16 i 17 września w Darmstadt w Niemczech odbędą się również warsztaty reagowania kryzysowego z udziałem agencji ochrony ludności z 6 krajów, w tym Niemiec, Szwajcarii i Stanów Zjednoczonych, a także z Biura ONZ ds. Przestrzeni Kosmicznej.

Wiele przytoczonych w tej pracy informacji każe przypuszczać, że jeśli uda nam się uchronić przed kolejnymi impaktami, to temperatura panująca na Ziemi będzie wzrastać (może nawet wzrosnąć o kilka stopni), proces ten powstrzymywać będą kolejne erupcje wulkaniczne, ale i te będą coraz słabsze. Grozi nam znaczne podniesienie poziomu wód oceanów i mórz. Czy jesteśmy

w stanie i temu przeciwdziałać? Myślę, że tak. Przecież można znaczną część tej wody zatrzymać na łąkach. Budować zapory retencyjne i inne zbiorniki wodne, które pozwolą nam dodatkowo na rekultywację wielu obszarów, nawet pustynnych. Czynimy tak już dziś, w Afryce i w Chinach wokół pustyń tworzone są szerokie na kilkanaście kilometrów pasy lasów. Dzisiejsza technika daje ogromne możliwości. Dysponujemy też wystarczającymi środkami. Powinniśmy tylko, jako ludzkość, zwiększyć naszą świadomość realnych zagrożeń i potrzeb. Zadania stojące przed nami wymagają międzynarodowej współpracy. Odrzućmy idee wojny, imperializmu, rewolucji. Mamy ważniejsze zadania przed sobą.

Na zakończenie chciałbym dodać, że dopiero pracując nad tą książką zdałem sobie sprawę z tego, że i ja ulegałem uproszczeniom, schematom, że i moja wizja katastrof naturalnych (impaktów meteorytów i erupcji wulkanów), a zwłaszcza ich skutków obarczona była błędem „spłaszczenia”, ujmowania całościowego. Impakt meteorytu, nawet o ogromnej skali bezpośrednio dotykał tylko części naszego globu. Po kilku, kilkudziesięciu, stu, dwustu latach, a może i po dłuższym okresie na zniszczone tereny wracało jednak życie. Dopiero w czasie pisania pracy zrozumiałem, że pisząc o kolejnych impaktach muszę zaznaczyć, jakich ówczesnych kontynentów (prakontynentów) one dotyczyły. Nawet dzisiejsza wiedza wystarczy (przez porównanie choćby do skutków kataklizmu w Grenlandii około 12,8 tys. lat temu), by zrozumieć przebieg podobnych wydarzeń w nawet bardzo odległej przeszłości.

Kończąc, chciałbym jeszcze raz podkreślić ogromną hipotetyczność wielu stawianych w mojej pracy założeń. Nie wykluczam tego, że nawet w najbliższym czasie niektóre z nich zostaną podważone, może wydarzyć się i tak, że zostaną odkryte nowe ślady impaktów meteorytów, lub działalności wulkanicznej w przeszłości (warto podkreślić, że większość z nich zostało rozpoznanych dopiero w ostatnich pięćdziesięciu latach). Zajmujący się badaniem rzetelności prac naukowych John Ioannidis zauważył w 2010 roku w artykule opublikowanym w czasopiśmie „Atlantic”, że wyniki wielu badań w dziedzinie medycyny, mimo że przeprowadzone zgodnie ze standardami naukowymi, okazują się błędne. W zależności od rodzaju studiów błędnymi może okazać się od 10 do ... 80% wyników. (...) Żadna nauka nie wytwarza prawdy przez duże P ze zbyt dużą częstotliwością – podsumował Justin Logan. Dotyczy to również moich badań.

Chciałbym tu zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt przytaczanych w mojej pracy rozważań. Przecież upadki asteroid następowały nie tylko na Ziemię, ale też na księżyc, Marsa i inne planety oraz Słońce. Stąd np. i na Marsie powinna znajdować się woda. Temat ten jednak znacznie wykracza poza zakres tej pracy.

Wiele ukazanych w mojej pracy hipotez wymaga jeszcze sprawdzenia, być może kolejne odkrycia i badania, a nawet takie, do których nie udało mi się dotrzeć, pozwolą na stworzenie kolejnych prób wyjaśnienia przyczyn zmian naszego klimatu, czy też powstawania skorupy ziemskiej, myślę jednak, że ukazany tu obraz przemian klimatycznych w okresie rozwoju naszego gatunku jest dość spójny i że udało mi się zaciekać czytelników tej książki. Sądzę też,

że powiązania między zmianami klimatycznymi a naszymi dziejami nie tylko mnie wydają się oczywiste.

Bibliografia:

- Boeker Egbert, Grondelle Rienk van, *Fizyka środowiska*. Warszawa 2002.
- Bukowski Zbigniew, Dąbrowski Krzysztof, *Śladami kultur azjatyckich*, cz. 1, *Od Jerycha do Pomostu Beringa*, Warszawa 1978.
- Cerveny Rodney, *Wielkie katastrofy i anomalie klimatyczne w dziejach*, przekład: Irena Stąpor, Warszawa 2008.
- Castleden Rodney, *Największe katastrofy w dziejach*, przełożył Bogusław Solecki, Warszawa 2009.
- Chmielewski Waldemar, *Zarys pradziejów Afryki*, Ludy myśliwsko-zbierackie, pasterskie i rolnicze przed wprowadzeniem metali, [w:] *Historia Afryki. Do początku XIX wieku*, pod red. Michała Tymowskiego, Wrocław 1996.
- Chorańczewski Waldemar, *Klimat jako przedmiot refleksji humanistycznej w Polsce XV-XVII wieku. Zarys problemu*, [w:] *Historia, klimat, przyroda. Perspektywa antropologiczna*, por. red. Magdaleny Mordawskiej, Toruń 2018.
- Desmond Clark J., *Prahistoria Afryki*, Warszawa 1978
- Duncan Christopher, Susan Scot, *Czarna śmierć. Epidemie w Europie od starożytności do czasów współczesnych*, przełożyła Agnieszka Siennicka, Warszawa 2008.
- Clark David, *Zarazki, geny a cywilizacja*, przełożył Adam Olesiejuk, Katowice 2011.
- Drössler Rudolf, *Wenus epoki lodowej*, przełożyli Bolesław i Tadeusz Baranowscy, Warszawa 1983.
- Dżuma, ospa, cholera, w trzechsetną rocznicę wielkiej epidemii w Gdańsku i na ziemiach Rzeczypospolitej w latach 1708-1711*, pod red. E. Kozika, Gdańsk 2012.
- Geologia historyczna*. Henryk Makowski (red.). Warszawa 1977.
- Graniczny Marek, Mizerski Włodzimierz, *Katastrofy przyrodnicze*, Warszawa 2009.
- Gunilow Lew Nikołajewicz, *Dzieje dawnych Turków*, Warszawa 1972.
- Gunilow Lew Nikołajewicz, *Dzieje etosów wielkiego stepu*, M. Małowist, Tamerlan i jego czasy, Warszawa 1985.
- Historia Gdańska*, pod red. E. Cieślaka, t. 3, 1655-1783, Gdańsk 1993.
- Jażdżewski Konrad, *Pradzieje Europy Środkowej*, Wrocław 1981.
- Jonina Nadieżda, Kubijew Michaił, *Wielkie katastrofy*, tłumaczenie: Małgorzata Leczycka, Warszawa 2010.
- Jonina Nadieżda, Kubijew Michaił, *Wielkie katastrofy w dziejach świata*, tłumaczenie: Małgorzata Leczycka, Warszawa 2015.
- Kotlarz Piotr, *Narodziny cywilizacji*, Gdańsk 2019.
- Kozłowski J. K., Kozłowski S. K., *Epoka kamienia na ziemiach polskich*, Warszawa 1977.
- MacDougall Doug, *Zmarznięta ziemia. Historia dawnych i przyszłych epok lodowcowych*, przełożyła Zofia Łomnicka, Warszawa 2008.
- Mallegni F., *Zarys ewolucji biologicznej człowieka – od najstarszych hominidów do człowieka współczesnego*, [w:] *Wielka historia Świata*, pod red. Joachima Śliwy, t. 1, Kraków 2005, s. 100.
- Mizerski Włodzimierz, Orłowski Stanisław, *Geologia historyczna*, Warszawa

2017.

Mizerski Włodzimierz, *Geologia kontynentów*, Warszawa 2015 (wyd. 2).

Mizerski Włodzimierz, Orłowski Stanisław, *Geologia historyczna dla geografów*, Warszawa 2005.

Pilski Andrzej, *Nieziemskie skarby*, Warszawa 1999.

Pradzieje ziem polskich, pod red. Jerzego Kmiecińskiego, t. 1. *Od paleolitu do środkowego okresu lateńskiego*, cz. 1. *Epoka kamienia*, Warszawa 1989.

Reichholf H. Josef, *Zagadka rodowodu człowieka*, Warszawa 1992.

Riezanow Igor A., *Wielkie katastrofy w historii Ziemi*, przełożył: Włodzimierz Mizerski, Warszawa 1986.

Rosalak Maciej, *Tsunami historii. Wpływ żywiołów przyrody na dzieje świata*, Warszawa 2016.

Rola małej epoki lodowcowej w przekształcaniu środowiska przyrodniczego Tatr, pod red. Adama Kotarby, Warszawa 2004.

Rostworowski Emanuel, *Historia powszechna wiek XVIII*, Warszawa 1984.

Słownik stratygraficzny, zespół autorów: Jadwiga Czaplicka et al., Warszawa 1968.

Stanley Steven M., *Historia Ziemi*, Warszawa 2005.

Strakel L., *Paleografia i klimat późnego plejstocenu i holocenu*, [w:] *Człowiek i środowisko w pradziejach*, pod red.: Janusza K. Kozłowskiego, Stefana K. Kozłowskiego, Warszawa 1983.

Artykuły prasowe:

Antczak Mateusz, *Zagadka wymierania kredowego*, „Wszechświat”, t. 115, nr 7 9/2014, s. 206-208.

Czajka Wiesław, *Wybrane zagadnienia porównawcze spadków Campo del Cielo i Morasko*, „Meteoryt” grudzień 2015, nr 4/96, s. 3.

Dzik J., Niedźwiedzki G., Sulej T., Zaskakujące uwieńczenie ery gadów ssakokształtnych, „Ewolucja” 2008 nr 3, s. 2–22.

Kościelny Robert, *Kto by pomyślał, Kto by uwierzył? Między nauka a magią*, „Warszawska Gazeta” 5-11 lipca 2019.

Małecki Andrzej, *Globalne ocieplenie – kilka niewygodnych prawd*, „Biuletyn Polskiego Stowarzyszenia Wodoru i Ogniw Paliwowych - Forum dyskusyjne” 2009, nr 4.

Telecka Małgorzata, *Znaczenie ekonomiczne kraterów meteorytowych*, *Przegląd Geologiczny*, vol. 62, nr 5, 2014, s. 243.

Wąs M., *Gdańsk w czasach zarazy*, „Gazeta Wyborcza” – „Ale historia” 2014, nr 22 (124) s. 6-7.

Westermarck K., *Wulkany i wędrówki Majów*, „Poznaj Świat”, nr 4/1982, s. 20-22.

Artykuły w Internecie:

Berg Przemek, *Czy oceany spadły z nieba?* <https://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/nauka/1505460,1,czy-oceany-spadly-z-nieba.read>.

Błoński Mariusz, *Odkryto nieznana linię przodków Europejczyków*, PAP Nauka w Polsce 18.11.2015 | <https://wolnemedi.net/odkryto-nieznana-linie-przodkow-europejczykow/>

Bogucka Natalia 13.09.19 (07:25), *Eksperci ostrzegają. W Ziemię może uderzyć aż 900 asteroid*, <https://www.o2.pl/artykul/eksperci-ostzegaja-w-ziemie-moze-uderzyc-az--asteroid-6423730175498369a>.

Burda Katarzyna, *Życiodajne bombardowanie*, Data publikacji: 19.09.2018, 20:56 Ostatnia aktualizacja: 21.06.2009, 22:02 <https://www.newsweek.pl/wiedza/zyciodajne-bombardowanie/t0n3m30>.

Hamann Agnieszka, *Czy uderzenie komety zabiło megafaunę i ludzi Clovis?* [przedkolumbem.blogspot.com/2015/3/]

Iwaszkiewicz Agnieszka, *Na terenie Wielkiej Brytanii odkryto miejsce, gdzie 1,2 mld lat temu spadł potężny meteoryt*, <https://epochtimes.pl/na-terenie-wielkiej-brytanii-odkryto-miejsce-gdzie-12-mld-lat-temu-spadl-poteczny-meteoryt/>, The Epoch Times 15.06.2019 15.06.2019. Wyniki badań opublikowano 9 czerwca w „Journal of the Geological Society”.

Jackowicz Elżbieta, *Zmiany klimatu*, <https://www.jednaziemia.pl/zagrozenia-ziemia/77-zagrozenia-wulkany/3933-wulkany-zmiany-klimatu.html> 18.04.2013.

Kłóskowicz Małgorzata, *Czy wulkany były przyczyną wielkich wymierań w historii*, [http://przystaneknauka.us.edu.pl/artykul/czy-wulkany-byly-przyczyna-wielkich-wymieran-w-historii-ziemi] 23.05.2018 Opublikował: RK. *Rozmowa opublikowana została pod tytułem "Wulkanizm jako główna przyczyna pięciu wielkich wymierań" na stronie internetowej Uniwersytetu Śląskiego. Artykuł ukaże się drukiem w czasopiśmie "Geology" 6 czerwca 2018 r.*

Kościelny Robert, *Kto by pomyślał, Kto by uwierzył? Między nauką a magią*, „Warszawska Gazeta” 5-11 lipca 2019, s. 42. Muszer Jolanta, Hajdukiewicz Joanna, *Meteority a masowe wymierania w historii Ziemi*, „ACTA SOCIETATIS METHEORITICAE POLONORUM” vol. 2, 2011, file:///C:/Users/czytelnik/Downloads/ASMP-v2-s-Muszer1.pdf

Krawczyk Bartłomiej, *Tambora- wulkan, który spowodował zimę na Ziemi*. 29 /01/2017 ExtraNatura.

Marks Leszek, *Zmiany klimatu w holocenie*, [https://www.jednaziemia.pl/planeta-dzieje/43-dzieje/zmiany-klimatu/3847-holocen-ostatnie-11700-lat.html] 15. 10. 2014.

Modzelewska Karolina, *NASA: 7 asteroid minie się z Ziemią w sierpniu*, 01.08.2019, <https://tech.wp.pl/nasa-7-asteroid-minie-sie-z-ziemia-w-sierpniu-6408874993661569a>. Źródło: International Business Times;

Pastuszka Wojciech, *Wulkaniczna zima, która miała sprowadzić ludzkość na skraj zagłady, prawdopodobnie w ogóle nie miała miejsca – wynika z badań naukowców z Wielkiej Brytanii i USA*. Wyniki badań ukazały się w PNAS. [http://odkrywcy.pl/kat,116794,title,Nieuchwytna-wulkaniczna-zima-ktora-miala-zdziesiatkowac-ludzkoosc,wid,15729779,wiadomosc.html?smg4sticaid=618dba. [Artykuł o kosmicznej katastrofie sprzed 12 tysięcy lat opublikowano w czasopiśmie „Proceedings Journal of National Academy of Sciences”].]

Pastuszka Wojciech, *Kometa zdziesiątkowała ssaki Ameryki Północnej?* 23 maja 2007 Posted in: Ameryka, Paleontologia, Prehistoria. Zderzenie Ziemi z kometą 13 tysięcy lat temu odpowiada za wyginiecie mamutów. Autor: admin (2015-03-07 08:19). [http://zmiany.naziemia.pl/wiadomosc/zderzenie-ziemi-kometa-13-tysiecy-lat-temu-odpowiada-za-wyginiecie-mamutow]

Pastuszka Wojciech, *Pięściaki...*, „Archeowieści” – 1 września 2011. Za: Christopher J. Lepre, Hélène Roche, Dennis V. Kent, Sonia Harmand, Rhonda L. Quinn, Jean-Philippe Brugal, Pierre-Jean Texier, Arnaud Lenoble & Craig S. Feibel (2011), An earlier origin for the Acheulian, Nature 477, 82–85 (01

September 2011) doi:10.1038/nature10372.

Pawłowska Danuta, *Perseidy, czyli noc spadających gwiazd. Zobacz na mapie ślady po wszystkich meteoroidach, które spadły na Ziemię*, „Wyborcza.pl.” z dnia 12.08.2019 r.

<http://biqdata.wyborcza.pl/biqdata/7,159116,23742618,meteory.html?disableRedirects=true>

Popkiewicz Marcin, *Klimat zmieniał się zawsze... cz. 20 Wielkie wymieranie*, <https://ziemianarozdrozu.pl/artukul/1673/klimat-zmienial-sie-zawsze-cz-20-wielkie-wymieranie> Opublikowano: 3 stycznia 2011.

Skubik Michał, *Sahara zamieniła się w pustynię dużo szybciej, niż sądzono*, http://wyborcza.pl/1,75400,17387255,sahara_zamienila_sie_w_pustynie_duzo_szybciej_niz.html#ixzz3SIIBXrbC.

Sochaczewski Jan, *Wybuch wulkanu na Alasce przyczynił się do upadku Republiki Rzymskiej. Nowe badanie*. <https://www.focus.pl/artukul/wybuch-wulkanu-przyczynil-sie-do-upadku-republiki-rzymskiej> 23.06.2020.

Speili Jerzy, *Czy zmiany klimatu Ziemi są czymś niezwykłym?* Eduscience17 października 2014, 11:00; <https://mlodytechnik.pl/technika/28953-koniec-klimatu-jaki-znamy-wystarczy-kilka-stopni>

Ulanowski Tomasz, *Dlaczego Czyngis-chan podbił pół świata? Bo miał mokro*, „Gazeta Wyborcza” 12.03. 2014. [Za edycją internetową]

Ulanowski Tomasz, *Czy jesteśmy potomkami najeźdźców*, „Gazeta Wyborcza” 03 marca 2017 | 07:00. [http://wyborcza.pl/7,75400,21446456, czy-jestesmy-potomkami-najezdzcow.html](http://wyborcza.pl/7,75400,21446456,czy-jestesmy-potomkami-najezdzcow.html)

Winter Hanna, *Epoka lodowcowa w plejstocenie*, <https://www.jednaziemia.pl/planeta-dzieje/43-dzieje/zmiany-klimatu/3848-zmiany-klimatu-w-plejstocenie.html> 24.04.2014.

Wolniewicz Paweł, *Komety przyniosły wodę na Ziemię?* Paź 14, 2011 | Dzieje Ziemi. <https://zywaplaneta.pl/komety-przyniosly-wode-na-ziemie/>.

Zdziebłowski Szymon, *Pierwsi rolnicy i narzędzia - krakowscy archeolodzy są w Grecji już 25 lat*, PAP - Nauka w Polsce 15 stycznia 2018.

Wykaz map i ilustracji:

Aktualna mapa prądów morskich (źródło: NOAA za: Wikipedia: Hasło – Prąd morski)

Wulkany na kuli ziemskiej

(<https://procesylitosfery.wordpress.com/procesy-endogeniczne/wulkanizm/>)

Atmosfera Ziemi (https://pl.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_Ziemi)

Vaalbra (Eoarchean) 3,6-2,7 Ga. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów.

Ur (Paleoarcheizm) 3,1 gal. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów.

Kenorland (Neoarcheański) 2,7 gali. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów

Arktyka (Neoarcheański) 2,565 gali. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów. [Rekonstrukcja kontynentów ziemskich w okresie środkowego Siderianu, około 2400 mln lat temu.]

Względne położenia kratonów około 1,5 miliarda lat temu wg pracy: Rogers i Santosh, 2002. Kratony: Atlantika 1-pn.-zach. Afryka 2-pn.-wsch. Ameryka Południowa Ur 3-Kalahari 4-Zimbabwe 5-Madagaskar 6-Indie 7-Australia 8-wsch. Antarktyda Nena 9-Ameryka Północna 10-Grenlandia 11-Syberia 12-Bałtyka. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów.

Superkontynent Rodina (<https://es.wikipedia.org/wiki/Rodinia>)

Pannotia. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów.

Gondwana na 420 mln lat. Widok skupiony na biegunie południowym. Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów.

Mapa paleogeograficzna: perm, 260 mln lat temu. <https://zywaplaneta.pl/poznan/przewodnik/mapa-perm-260-mln-lat-600px/>

Mapa przedstawiająca ułożenie lądów sprzed około 230 mln lat (Wikipedia – Trias) <http://encyklopedia.naukowy.pl/Trias>

Superkontynent Pangea we wczesnym mezozoiku (przy 200 mA).

Z Wikimedia Commons, bezpłatnego repozytorium multimediów

Skutki wybuchu Laacher See (Mapa za: <https://tech.wp.pl/laacher-see-ostatni-raz-wybuchl-13-tys-lat-temu-naukowcy-twierdza-ze-wulkan-sie-budzi-6349033512265857a>. Przyjęte przez autorów ilustracji kołowe zaznaczenie zasięgu oddziaływania tej erupcji wulkanu Laacher jest

dyskusyjne. Nie uwzględnia ówczesnych warunków klimatycznych, wiatru itp.)

Wprowadzenie do drugiego wydania	3
Wstęp	4
Rozdział I	12
I. Dlaczego zmienia się klimat?	12
Rozdział II	22
Wpływ katastrof naturalnych na klimat	22
Asteroidy i komety	22
Wulkany i ich rozmieszczenie	29
Wpływ wulkanów na klimat	32
Rozdział III	36
Najstarsze ślady kataklizmów w historii Ziemi i ich skutki	36
Wielki kataklizm sprzed 800 mln lat	60
Sylur	71
Wymieranie dewońskie	76
Asteroidy	81
Wymieranie permskie	81
Wulkanizm	87
Skutki wymierania permskiego	88
Wymieranie późnotriasowe	89
Asteroidy	94
Jura	95
Rozdział IV	99
Kreda	99
Asteroidy	101
Wulkanizm	104
Wymieranie kredowe	106
Rozdział V	111
Paleogen (66 – 23,03 mln lat temu)	112
Paleocen (66-59,2 miliony lat temu)	113
Eocen (56 – 37,8 lub 34 miliony lat temu)	114
Wulkanizm	116
Oligocen (33,9 – 27,8 miliony lat temu)	116
Neogen (23,03 mln lat temu – 2,58 mln lat temu)	117
Miocen (23,3 – 7,2 miliony lat temu)	118
Asteroidy	119
Wulkanizm	120
Pliocen (od 5,33 do 2,58 mln lat temu)	120
Rozdział VI	122
Plejstocen	122
Upadek planetoidy Eltanin	123

Wulkanizm	124
Ewolucja ssaków	128
Pierwsze migracje hominidów	134
Rozdział VII	135
Ochłodzenie (ok. 900.000 lat temu)	135
Asteroidy	136
Wulkanizm	138
Rozdział VIII	139
Kolejna erupcja Yellowstone	139
Zlodowacenia między 500.000 a 80.000 lat temu	141
Rozdział IX	145
Powstanie kolejnej „epoki lodowcowej”	145
Upadki asteroid i komet	145
Wulkanizm	146
Kolejne ocieplenie	153
Rozdział X	154
Kolejne ochłodzenie około 40.000 lat temu	154
Wulkanizm	154
Upadki asteroid	161
Rozdział XI	164
Inne upadki asteroid i komet	177
Rozdział XII	181
Początki holocenu (od 11,7 tys. lat temu)	181
Rozdział XIII	187
Wulkanizm	189
Upadki asteroid i komet	191
Wpływ zmian klimatycznych na rozwój cywilizacji	192
Rozdział XIV	194
Katakлизmy „morskie”	194
Rozdział XV	199
Zmiany klimatyczne pod koniec III tysiąclecia p.n.e. Młodszy holocen (ostatnie 3500 lat)	199
Rozdział XVI	207
Zmiany klimatyczne i kulturowe w świecie od II tysiąclecia p.n.e. do połowy I tysiąclecia n.e.	207
Upadki asteroid i komet	207
Wulkanizm	209
Subkontynent Indyjski (od roku 2000 p.n.e. do X wieku p.n.e.)	215
Ocieplenie klimatu od ok. 1300 p.n.e. do V wieku n.e.	216
Erupcja wulkanu Omok	217

Skutki wulkanizmu w czasach starożytności	219
Upadki asteroid	220
Rozdział XVII	222
Katakлизmy w pierwszej połowie VI wieku i ich następstwa	222
Wulkanizm	223
Upadki asteroid i komet	226
Skutki zmian klimatycznych	227
Rozdział XVIII	230
Optimum klimatyczne lat od 800 do 1300 roku	230
Rozdział XIX	236
Mała epoka lodowa 1300 – 1850?	236
Wulkanizm	237
Meteority	245
Skutki ochłodzenia (fal ochłodzeń) między końcem XIII wieku a drugą połową wieku XIX	246
Rozdział XX	257
Zmiany klimatyczne od drugiej połowy XIX do czasów współczesnych	257
Wulkanizm	258
Wpływ kataklizmów na klimat i wydarzenia polityczne ostatnich 150 lat	280
Zakończenie	284
Bibliografia:	291
Wykaz map i ilustracji:	295

