

Szóste wymieranie

Agata Kowalewska

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
agata.kowalewska96@interia.pl

Tutor: dr Ewa Szymczak

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,
Zakład Geologii Morza

Słowa kluczowe – *masowe wymieranie organizmów, wymieranie tła, zmiany klimatu, antropocen*

Wstęp

Żaden gatunek nie jest wieczny. Jeden pojawia się, inny bezpowrotnie ginie. Przyjmuje się, że to proces całkowicie naturalny. Czasem jednak gatunki zaczynają nagle i masowo wymierać, co wywołane jest np. przez gwałtowne zmiany klimatu, wielkie kataklizmy. Większość naukowców uważa, że w historii Ziemi miało miejsce pięć wielkich wymierań. To właśnie podczas nich wyginęły m.in. trylobity i dinozaury. Tymczasem od kilkudziesięciu lat znów obserwuje się podwyższone tempo wymierania gatunków (Ceballos i in., 2015). Wśród specjalistów trwają dyskusje dotyczące oszacowania tempa, prawdopodobnie jest to przynajmniej kilka tysięcy rocznie. W związku z tym niektórzy z nich zastanawiają się czy świat nie jest na progu szóstego masowego wymierania.

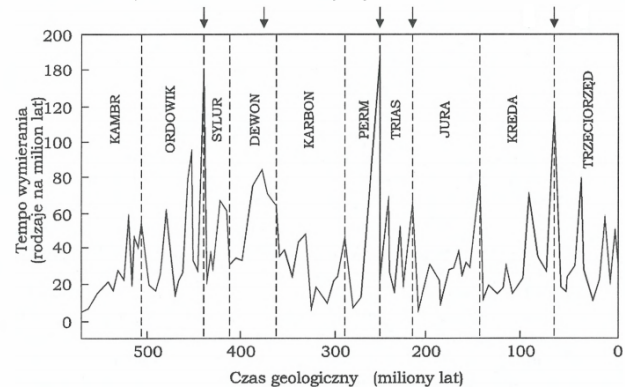
Wymierania w historii Ziemi

Terminem „masowe wymieranie” określa się takie wymieranie gatunków, które w skali geologicznej jest gwałtowne i ma szeroki zasięg. Przyjmuje się, że aby móc mówić o wielkim wymieraniu, powinno ono przekraczać tempo tzw. wymierania tła, czyli naturalnego i ciągłego procesu zanikania gatunków, które związane jest m.in. z selekcją naturalną, czy też powolnymi zmianami zachodzącymi w środowisku. Z reguły jest to do 20 rodzajów na milionlat. Dla porównania, podczas wymierania permskiego tempo wynosiło ponad 180 rodzajów na milion lat (Peryt, 1996) (Ryc. 1). Z kolei na poziomie gatunkowym o wielkich wymieraniach mówi się, gdy w danym epizodzie wymiera około ponad 20% gatunków (mineralienatlas.de) (Ryc.2).

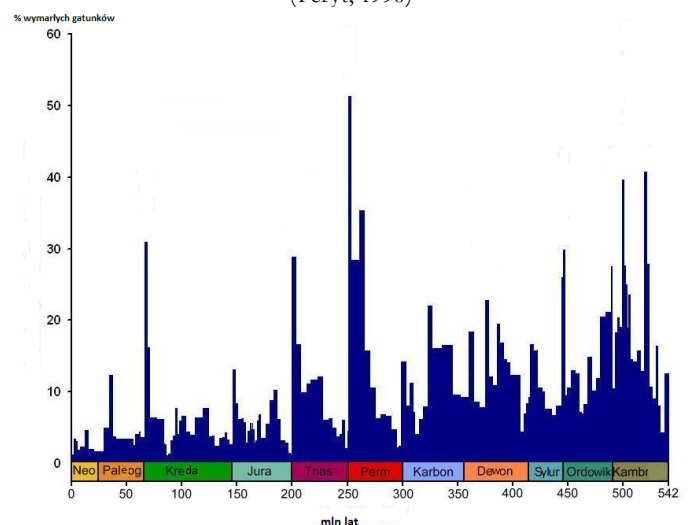
Wymieranie ordowickie

Pierwszym wielkim wymieraniem w historii Ziemi było ordowickie, które nastąpiło w późnym ordowiku, a dokładnie hirnancie. Wymarło wówczas około 60% rodzajów i 85% gatunków. Najbardziej dotknęło ono koralowce, ramienionogi, łodzikowate, trylobity, graptolity, mszywioly i konodonty. Prawdopodobnie wywołane było gwałtownymi zmianami klimatu. W tym czasie nastąpiło istotne ochłodzenie klimatyczne, które spowodowało zlodowacenie Gondwany,

a w konsekwencji obniżenie poziomu morza (Clarkson, 2007). W drugim etapie wraz z deglacją Gondwany wskutek wzrostu temperatury nastąpiło podniesienie poziomu morza (Stanley, 2002). Możliwe także, że do wymierania ordowickiego przyczynił się wybuch supernowej albo rozbłysk gamma, który zniszczył warstwę ozonową (nasa.gov).



Ryc. 1. Tempo wymierania organizmów w czasie geologicznym (Peryt, 1996)



Ryc. 2. Wymieranie gatunków (%) (mineralienatlas.de dostęp: 25.07.2019)

Wymieranie dewońskie

Kolejne wielkie wymieranie nastąpiło w późnym dewonie na granicy fanu i famenu. Wyginęło wówczas około 40% ro-

dzajów (Stanley, 2002) i około 80% gatunków m.in. 75% rodzajów ramienionogów (Clarkson, 2007). Prawie całkowicie wymarły stromatoporoidy – rafotwórcze gąbki, powszechne w dewonie. Dotknęło ono także sporą część koralowców, trylobitów, amonitowatych i akritarchów. Wśród kręgowców częściowo wymarło wiele grup tzw. ryb, wśród nich ryby plakodermowe i akantody należące do szczękowców. Całkowicie zanikło wiele grup prymitywnych bezszczętkowców, wśród nich anapsydy, telodonty i pteraspidomorfy (Ginter, 2012). Za główną przyczynę uważa się epizody anoksydacyjne w głębokich częściach oceanów, utrwalone w warstwach Kellwasser. Wymieranie dotknęło również faunę płytszych stref mórz, czego prawdopodobną przyczyną było ochłodzenie wód, a skutkiem zanik powszechnych w dewonie struktur rafowych (Stanley, 2002). Niektórzy naukowcy wskazują także na wpływ uderzenia meteorytu przed kryzysem Kellwasser (pierwszy epizod wymierania dewońskiego, związany m.in. z anoksją, nazwa pochodzi od warstw Kellwasser tworzących się w okresie wysokiego poziomu morza na granicy franu i famenu (Clarkson, 2007).

Wymieranie permskie

Trzecie masowe wymieranie miało miejsce na przełomie paleozoiku i mezozoiku, pod koniec permu. Określane jest jako największe w historii Ziemi. Obecnie dzieli się ono na dwa epizody, które łącznie spowodowały śmierć około 80% rodzajów i 90% gatunków fauny bezkręgowej i kręgowej. Wówczas wyginęły bezpowrotnie trylobity, koralowce czteropromienne, denkowce, pączkowce, fuzulinidy. Kryzys osiągnął także małże i ślimaki, ale w znacznie mniejszym stopniu. Przetrwały tylko nieliczne amonitowate, ramienionogi, mszywioly, szkarłupnie. Wśród kręgowców redukcji uległa duża część płazów i gadów, zaś we florze część widlaków, skrzypów i paproci. Przyczyn wymierania permskiego mogło być bardzo dużo. Jedną z nich mógł być bardzo intensywny wulkanizm i duża emisja trujących gazów, o czym świadczą rozległe trapy syberyjskie. Ogromne znaczenie miały liczne kolizje paleozoicznych kontynentów, czego skutkiem było powstanie superkontynentu Pangei i zanik licznych mórz szelfowych. Inną konsekwencją ruchu płyt litosferycznych była kontynentalizacja klimatu (Stanley, 2002). W ostatnich latach coraz częściej mówi się także o upadku ciała niebieskiego (space.com). Wymierania permskiego, podobnie jak pozostałych, nie można jednak postrzegać wyłącznie negatywnie, bowiem zapoczątkowało ono pojawienie się licznych nowych linii ewolucyjnych.

Wymieranie triasowe

Następne wymieranie miało miejsce pod koniec triasu, na przełomie karniku i noryku. Dotknęło ono zarówno organizmy morskie, jak i lądowe (Clarkson, 2007). Przyjmuje się, że wyginęło w tym czasie około 50% rodzajów i 75% gatunków, w tym 80% gatunków morskich. Wśród morskich bezkręgowców byli to przede wszystkim przedstawiciele małży i amonitowatych, zaś wśród kręgowców m.in. ichtiozaury i plezjozaury. Całkowicie wyginęły konodonty i gady plakodontowe. Wśród zwierząt lądowych nie przetrwały m.in. aetozzaury, fitozzaury oraz rauizuchy (Stanley, 2002). Najbardziej prawdopodobną przyczyną wymierania był efekt cieplarniany spowodowany intensywną działalnością wul-

kaniczną, co skutkowało nagłą zmianą klimatu i rozwojem warunków beztlenowych (Clarkson, 2007).



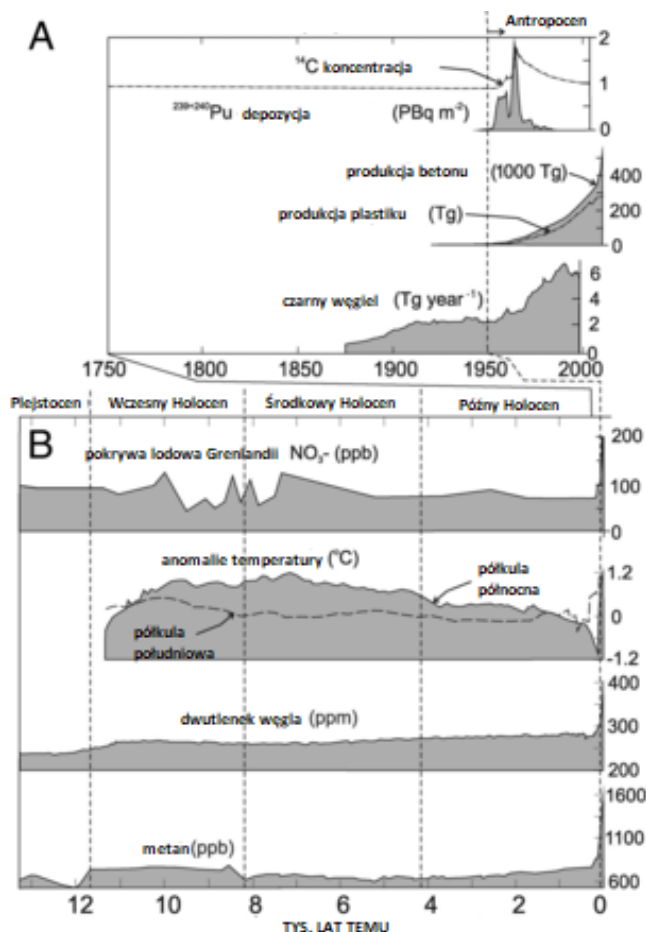
Ryc. 3. Rekonstrukcja krateru Chicxulub (astropolis.pl dostęp 12.07.2019)

Wymieranie kredowe

Co najmniej 50% rodzajów i 75% gatunków żyjących na Ziemi wyginęło podczas wielkiego wymierania kredowego. Prawdopodobnie było ono najbardziej gwałtowne. Zredukowany został zarówno świat zwierzęcy, jak i roślinny. Wśród morskich bezkręgowców całkowicie wymarły m.in. amonity i rudysty, a wśród kręgowców mozazzaury i plezjozaury. Dotknięte wymieraniem zostały także ryby. Z powierzchni Ziemi zniknęło także wiele zwierząt lądowych, m.in. część owadów oraz dużo kręgowców, przede wszystkim dinozaury i część pozostałych gadów, ale również część ssaków, płazów i ptaków. Hipotez odnośnie przyczyn tej katastrofy jest bardzo wiele, ale obecnie przyjmuje się, że główny powód to zderzenie Ziemi z dużą planetoidą na granicy półwyspu Jukatan i Zatoki Meksykańskiej (Ryc. 3), które zapoczątkowało szereg kataklizmów (m.in. wielkie pożary), anomalii i zmian środowiskowych (kwaśne deszcze, ciemności, oziębienie, a następnie ocieplenie). Przedłużająca się zima uniemożliwiała fotosyntezę, a to z kolei zaburzyło łańcuchy pokarmowe (Stanley, 2002). Prawdopodobnie zderzeń z planetoidami było więcej, o czym świadczą liczne kratery podobnego wieku m.in. na Ukrainie, Morzu Północnym, Morzu Arabskim (astrobio.net). Do wymierania z pewnością przyczyniła się także wysoka aktywność wulkaniczna i wylewy lawy bazaltowej. Właśnie w tym czasie powstały trapy bazaltowe w rejonie Indii (Clarkson, 2007). Trzecią istotną przyczyną była regresja morska w mastrychcie związana z obniżoną aktywnością grzbietów oceanicznych. W jej wyniku zredukowane zostały szelfy kontynentalne, zanikły morza epikontynentalne, nastąpiło ocieplenie, a także znacznie zmieniły się siedliska (Li i Keller, 1998).

Antropocen

Zgodnie z obowiązującym podziałem geochronologicznym dziejów Ziemi żyjemy w epoce zwanej holocenem. Niemniej od kilkunastu lat trwają dyskusje nad wydzieleniem nowej epoki – antropocenu (Carey, 2016). Ma to związek z globalnymi zmianami spowodowanymi działalnością człowieka. Jednym z głównych wskaźników przemian jest wzrost zawartości dwutlenku węgla w atmosferze (Ryc. 4). Aktywność gatunku ludzkiego została także zapisana w warstwach tworzących się współcześnie osadów, czy też znacznych zmianach krajobrazu.



Ryc. 4. Zmiany związane z działalnością człowieka A – od 1750 r., B – od kilkunastu tysięcy lat

(opracowano na podstawie Carey, 2016)

Część badaczy twierdzi, że wprowadzenie antropocenu byłoby nadinterpretacją i wyolbrzymieniem wpływu człowieka na Ziemię (Carey, 2016). Kwestią sporną jest czy człowiek dokonuje globalnych zmian. Część naukowców uważa, iż antropocen to termin pasujący bardziej do jednostki kulturowej, jak np. paleolit. Problemem jest również to, że dyskusje związane z jego wprowadzeniem bardzo często nabierają charakteru typowo politycznego. Poza tym o ewentualnym antropocenie powinni raczej zdecydować geolodzy, którzy będą badać Ziemię za kilkadziesiąt lat. Kłopotów przysparza też określenie, kiedy antropocen się rozpoczął. Dolną granicą mogłaby być np. rewolucja przemysłowa w XVIII wieku albo połowa XX wieku, kiedy to nastąpił znaczny wzrost koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze, rozpoczęła się produkcja plastiku, a także podwyższyła się średnia roczna temperatura (Carey, 2016).

Obecne wymieranie

Coraz częściej mówi się, że antropocen związany jest z szóstym wielkim wymieraniem (Bacon i Swindles, 2016). Trwają spory dotyczące terminu rozpoczęcia się tego procesu. Niektórzy są zdania, iż wymieranie paradoksalnie zaczęło się wraz z pojawieniem się człowieka (Ceballos i in., 2015). Inni twierdzą, że trwa ono dopiero od kilkadziesiąt lat (Steffan i in., 2007). Zdarzają się też opinie, iż masowy zanik gatunków nastąpi w przyszłości (kopalniawiedzy.pl). Jeszcze inni uważają, że przesadą jest porównywanie obecnej sytuacji do największych wymierań w historii Ziemi (Bacon i Swindles, 2016).

Dane

Już od XVII wieku dokumentuje się zanik dużych ssaków, ptaków i gadów. Wymarły wtedy m.in. dodo. Jeszcze więcej gatunków ssaków i ptaków zaczęło zanikać od XIX wieku. Z początkiem XX wieku ginie również wiele gatunków płazów i ryb. Nie ulega wątpliwości, że tempo wymierania jest wyższe niż tła, które powinno wynosić 0,1-1 gatunków na milion żyjących gatunków na rok (oznaczane jako E/MSY – wymarłe gatunki/milion istniejących gatunków rocznie). Normy te są jednak różne dla poszczególnych gromad, toteż często zwiększa się dopuszczalne wymieranie tła do 2 E/MSY. Obecnie wymiera od 8 do nawet 100 razy więcej gatunków niż powyższa norma (Ceballos i in., 2015)

Od 1900 roku wyginęło prawie 200 gatunków kręgowców, z czego najwięcej ryb, bowiem aż 66 (Tab. 1). Niewiele niższy wynik dotyczy ptaków – 57 gatunków. Dla porównania, od 1500 roku z powierzchni Ziemi zniknęło 338 gatunków kręgowców, a wśród nich 140 gatunków ptaków. Gdyby jednak wziąć pod uwagę także gatunki, których nie ma już na wolności oraz te, które prawdopodobnie wyginęły, byłoby ich od 1900 roku 477 gatunków z czego aż 158 stanowią ryby, a 146 płazy. Z kolei od 1500 roku wyginęło 617 gatunków. Wyższe tempo wymierania płazów i ryb jest obserwowane od początku XX wieku. Wśród płazów, które liczą około 7300 gatunków, ponad 100 wyginęło zaledwie od 1980 roku (Ceballos i in., 2015), m.in. ropucha złota. W ostatnich latach pożegnaliśmy także żółwia olbrzymiego z Pinty (Ryc. 5), koziorożca europejskiego, nosorożca czarnego zachodniego (iucnredlist.org).

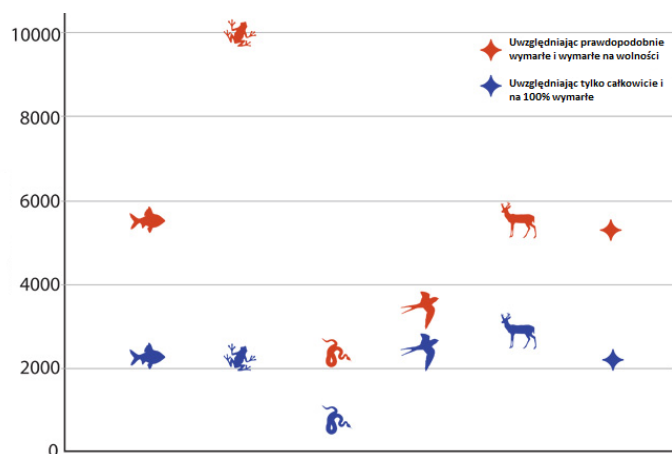


Ryc. 5. Żółw olbrzymi z Pinty (wikipedia.org dostęp 12.07.2019)

Gdyby miało miejsce naturalne wymieranie tła wynoszące 2 E/MSY to od 1900 roku powinno wyginać tylko 9 gatunków kręgowców. Gatunki, które wymarły w ubiegłym wieku wymierająby przynajmniej przez 800, a nawet 10 000 lat (ryc. 6). Problemem w szacunkach jest przede wszystkim to, iż nie znamy dokładnej liczby istniejących gatunków na Ziemi. Możliwe także, że wiele zwierząt zdążyło wyginać zanim je odkryliśmy (Ceballos i in., 2015). Porównywanie do dawnych wymierań również jest problematyczne, ponieważ nie jesteśmy w stanie określić jaka dokładnie część organizmów podczas nich zanikła, gdyż nie wszystkie mogły zachować się w formie skamieniałości. W zapisie kopalnym znajdują się przede wszystkim te, które miały duży potencjał fosylizacyjny oraz występowały dość licznie i charakteryzowało je znaczne rozprzestrzenienie.

Tab. 1 Liczba wymarłych gatunków poszczególnych grup zwierząt
(opracowano na podstawie Ceballos i in., 2015)

	Gatunki wymarłe		Gatunki wymarłe oraz prawdopodobnie wymarłe i wymarłe na wolności	
	Od 1500 r.	Od 1900 r.	Od 1500 r.	Od 1900 r.
Kręgowce	338	198	617	477
Ssaki	77	35	111	69
Ptaki	140	57	163	80
Gady	21	8	37	24
Plazy	34	32	148	146
Ryby	66	66	158	158



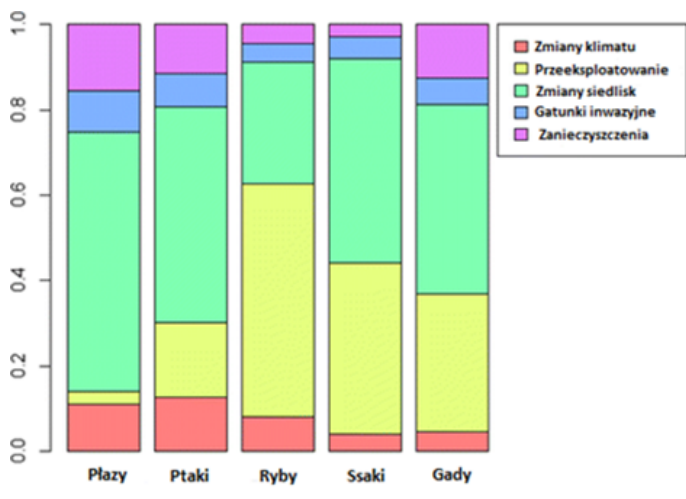
Ryc. 6. Czas potrzebny do wyginięcia gatunków wymarłych w ubiegłym wieku, gdyby uwzględnić wymieranie tła 2 E/MSY (opracowano na podstawie Ceballos i in., 2015)

Niepokoje napawają przewidywania naukowców. Przyjmuje się, że w ciągu 1000 lat może wyginać połowa gatunków ssaków. Jeśli te, które są zagrożone, faktycznie będą ginęły, masowe wymieranie nawet jeżeli jeszcze się nie zaczęło, to może nastąpić już za kilka stuleci (kopalniawiedzy.pl). Bardzo narażone są gatunki występujące w lasach tropikalnych. Ginie ich nawet 10% na dekadę. Z kolei globalne ocieplenie dziesiątkuje faunę arktyczną. W niebezpieczeństwie są m.in. niedźwiedzie polarne (ziemianarozdrozu.pl). Jeśli wziąć pod uwagę duże grupy taksonomiczne występujące na całym świecie to Międzynarodowa Unia Ochrony Przyrody za najbardziej zagrożone uznała plazy, które tracą swoje siedliska, a oprócz tego są wrażliwe na zanieczyszcze-

nia, promieniowanie oraz zmiany temperatur. Obecnie 40% gatunków płazów jest na czerwonej liście m.in. abystoma meksykańska, żaba gigant, salamandra olbrzymia chińska (iucnredlist.org). Problem dotyczy również bezkręgowców. Przyjmuje się, że w najbliższym czasie wyginać może około 40% gatunków owadów. Szczególny spadek zaobserwowano wśród motyli, pszczół, a także owadów wodnych, które potrzebują czystych zbiorników. Dla owadów niebezpieczne są też pestycydy, gatunki inwazyjne, pasożyty, choroby oraz niszczenie siedlisk, m.in. wycinanie lasów (Bayo i Wyc-khuys, 2019). Zagrożone mogą być również rafy koralowe, którym nie służą zmiany klimatu. Wysoka temperatura prowadzi do zaburzenia symbiozy z glonami, a w efekcie do bielenia koralowców (ziemianarozdrozu.pl).

Przyczyny

Przyjmuje się, że główną przyczyną współczesnego wymierania gatunków jest antropopresja. Wiele grup współczesnych organizmów nie jest w stanie przystosować się do nagłych zmian wywołanych działalnością człowieka, a także wszechobecnymi zanieczyszczeniami (nawozy sztuczne, plastik, gazy związane z industrializacją, odpady elektroniczne, jednorazowe opakowania itd.). Wyliczono, że zmiany ewolucyjne potrzebują około 25 pokoleń aby mogły w pełni się rozwinąć (Pelletier i Coltman, 2018), ale jest to duże uogólnienie, gdyż organizmy tachyteliczne ewoluują w tempie kilku milionów lat, horoteliczne 10 razy wolniej, a bradyteliczne 100 razy wolniej (Clarkson, 2007).



Ryc. 7. Pięć głównych przyczyn współczesnego wymierania i ich wpływ na poszczególne grupy zwierząt (opracowano na podstawie Pelletier i Coltman, 2016)

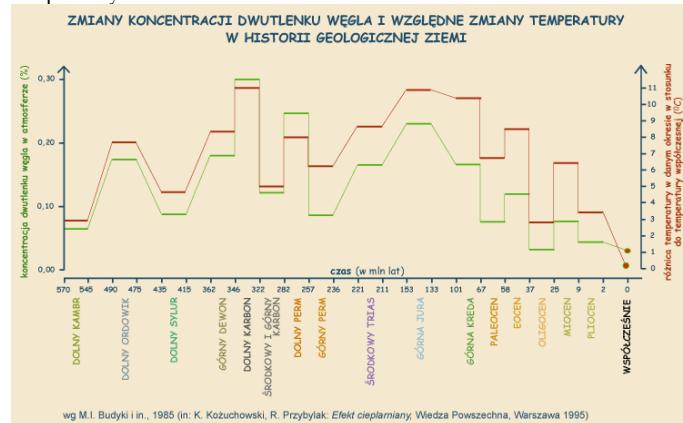
Wyróżnia się pięć głównych przyczyn szóstego wymierania (Ryc. 7). Należą do nich nadmierna eksploatacja (polowania, rybołówstwo itp.), niszczenie naturalnych siedlisk (m.in. wycinanie lasów, zaburzenie naturalnych wędrówek zwierząt przez np. budowę autostrad), zmiany klimatu (przesuwanie się stref biogeograficznych, inny okres wegetacji roślin), zanieczyszczenia oraz obecność gatunków inwazyjnych. Zdaniem Pelletiera i Coltmana (2018) największe znaczenie mają dwie pierwsze przyczyny, ale można zauważyć różnice wśród poszczególnych grup taksonomicznych. Nadmierna eksploatacja szczególnie dotyka ryb, ssaków i gadów, a w niewielkim stopniu płazów. Zmiany związane z siedliskami są dotkliwe praktycznie dla wszystkich rozpatrywanych grup, w mniejszym stopniu dla ryb. Zanieczyszczenia są problemem przede wszystkim dla płazów, gadów i ptaków. Zmiany klimatu najbardziej odczuwają ptaki i płazy, z kolei gatunki inwazyjne najbardziej zagrażają płazom, a najmniej rybom (Pelletier i Coltman, 2018). Niektórzy naukowcy sugerują jednak, że obecnie rozróżnienie między gatunkami rodzimymi a inwazyjnymi jest trudne. Nie wiadomo czy osobniki, które zmieniają siedliska na skutek zmian klimatu lub niszczenia ich rodzimych siedlisk są inwazyjne. Trzeba zatem zdecydować, czy o inwazyjności decyduje konkretny obszar, czy też warunki i rodzaj siedliska, w którym dany gatunek żyje (Hill i Hadly, 2018).

Dyskusja

Do tej pory naukowcy nie potrafią dojść do wspólnego stanowiska w kwestii szóstego wymierania. Przeciwnicy kolejnego wymierania twierdzą, iż nie wymarło więcej niż 35% gatunków, a podczas wielkich wymierań ginęło ponad 70%. Inni z kolei twierdzą, że tempo stale rośnie, a czas obecnego wymierania jest bardzo ograniczony. Wcześniej takie epizody trwały miliony lat, a obecny zauważalny jest już w przeciągu kilkudziesięciu lat (Bacon i Swindles, 2016).

Sporna jest także rola człowieka w procesie współczesnego wymierania. Nie ulega wątpliwości, że bardzo ingeruje on w naturę i w krótkim czasie modyfikuje krajobraz i niszczy siedliska m.in. poprzez wycinanie lasów, budowanie autostrad, osiedli, wprowadza nowe substancje, zanieczyszcza wodę, powietrze, glebę, wyjaławia ją, generuje hałas, niszczy szatę roślinną itd. Roślinom i zwierzętom nie sprzyja turystyka,

urbanizacja, a nawet rolnictwo i hodowla zwierząt. Trudno jednak stwierdzić czy organizmy zdołają przystosować się do tych zmian. Dla przykładu, wykazano, iż ryby mają stosunkowo dużą zdolność adaptacji do różnego rodzaju zanieczyszczeń. Mikroewolucję jest bardzo trudno badać i poza tym wymaga to czasu. Nie można zatem już dziś stwierdzić, że większość gatunków wyginie, bo nie zdąży przystosować się do zmian (Pelletier, 2018). Bez wątpienia jednak w gorszej sytuacji są gatunki bardzo wyspecjalizowane. Te o szerszej tolerancji np. termicznej mają większe szanse na przeżycie.



Ryc. 8. Zmiany koncentracji dwutlenku węgla i względne zmiany temperatury w historii geologicznej Ziemi (museum.pgi.gov.pl dostęp 12.07.2019)

Problemem jest również to, iż trwają spory dotyczące stopnia ocieplenia klimatu. Badania wykazały, że od 1880 roku dwutlenek węgla w atmosferze wzrósł o 130 ppm, a temperatura o 1° (Bacon i Swindles, 2016). Dla porównania, podczas wymierania permskiego dwutlenek węgla wzrósł o 2000 ppm, temperatura o 8°. Z kolei wymieranie triasowe charakteryzowało się wzrostem dwutlenku węgla o 1500 ppm i wzrostem temperatury o 4° (Bacon i Swindles, 2016). Były to wartości znacznie wyższe niż obecnie (Ryc. 8). Współcześnie jeszcze nie zaobserwowano takiego wzrostu, ale nie jest on wykluczony, bowiem temperatura na Ziemi ma tendencję rosnącą. Szacuje się, że tempo ocieplania wzrasta do 0,5° na dekadę. Poza tym dane te różnią się w zależności od źródeł. Pytanie także czy wyłącznie człowiek jest przyczyną ocieplenia klimatu. Wpływ na zmiany może mieć chociażby aktywność słoneczna.

Podsumowanie

Bez wątpienia w ostatnich kilkudziesięciu latach tempo wymierania gatunków jest bardzo duże. Wydaje się jednak, że proces ten jest obserwowany w zbyt krótkim odcinku czasu, aby mówić o szóstym wielkim wymieraniu. Można za to uznać, że stanowi zagrożenie, szczególnie biorąc pod uwagę tempo zachodzących zmian. Warto mieć świadomość tego, że jesteśmy w stanie spowolnić ten proces. Różnorodne formy ochrony przyrody pozwalają ratować zagrożone gatunki. Ogrody zoologiczne starają się zwiększać populacje tych zwierząt, które są na skraju wyginięcia. Poza tym inwestowanie w ekologiczne rozwiązania spowoduje mniejszy stopień zanieczyszczeń, mniejszą ingerencję w naturalne siedliska itp. Człowiek nie powinien być obojętny na giniecie gatunków, bowiem kiedyś może się okazać, że zagrożony jest również on.

Literatura

- Bacon, K., Swindles, G. T., 2016, Could a potential Anthropocene mass extinction define a new geological period?, *Anthropocene Review*, 3 (3), 208-217.
- Bayo, F., Wyckhuys, K., 2019, Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers, *Biological Conservation*, vol. 232, 8-27.
- Carey, J., 2016, Are we in the „Anthropocene”?, *PNAS*, vol. 113, no. 15, 3908-3909.
- Ceballos, G., Ehrlich, P., Barnosky, A., Garcia, A., Pringle, M., Palmer, T., 2015, Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction, *Science Advances* 1 (5).
- Clarkson, E. N. K., 2007, *Invertebrate Palaeontology and Evolution*, Blackwell Science.
- Ginter, M., 2012, *Ryby kopalne*, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego
- Hill, A. P., Hadly, E. A., 2018, Rethinking „Native” in the Anthropocene, *Frontiers in Earth Science*, vol. 6 (2018)
- Li, L., Keller, G., 1998, Abrupt deep-sea warming at the end of the Cretaceous, *Geology*, vol. 26, no. 11, 995-998.
- Pelletier, F., Coltman, D. W., 2018, Will human influences on evolutionary dynamics in the wild pervade the Anthropocene?, *BMC Biology*, (2018) 16:7.
- Peryt, D., 1996, Wielkie wymierania we fanerozoiku, *Kosmos*, 45 (4), 769-781.
- Stanley, S. M., 2002, *Historia Ziemi*, Warszawa.
- Steffan, W., Crutzen, P., McNeill, J., 2007, The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the 335 Great Forces of Nature, *A Journal of the Human Environment* 36(8), 614-621.
- <https://www.astrobio.net/meteoritescomets-and-asteroids/multiple-impacts/> (dostęp 25.07.2019)
- https://www.nasa.gov/vision/universe/starsgalaxies/gammaray_extinction.html (dostęp 12.07.2019)
- <https://www.space.com/2452-giant-crater-tied-worst-mass-extinction.html> (dostęp 12.07.2019)
- <https://www.iucnredlist.org/> (dostęp 12.07.2019)
- <https://kopalniawiedzy.pl/masowe-wymieranie-gatunkow-Ziemia-Anthony-Barnosky,12635> (dostęp 12.07.2019)
- <https://ziemianarozdrozu.pl/encyklopedia/96/masowe-wymieranie-gatunkow> (dostęp 12.07.2019)
- <https://www.mineralienatlas.de/> (dostęp 25.07.2019)

Notatka o Autorze

Absolwentka geologii, zainteresowana przede wszystkim paleontologią oraz procesami endogenicznymi Ziemi. W wolnych chwilach czyta książki i próbuje pisać własne teksty. Chętnie podróżuje, szczególnie w polskie góry..