



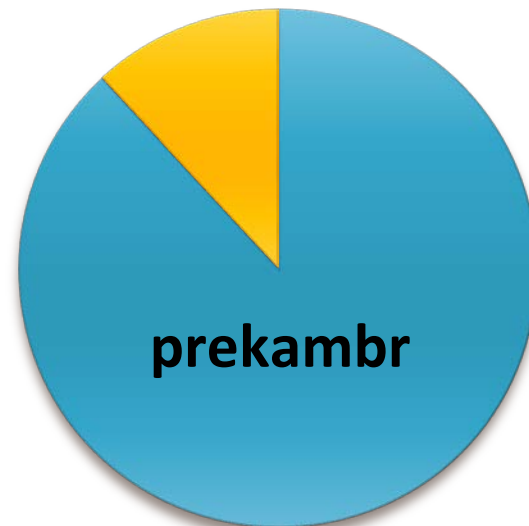
Wykład II

PREKAMBR
(4560-541
mln lat temu)

Podstawowe problemy

	Eonothem Eon	Erathem Era	System Period	Age Ma	GSSP GSSA	
Precambrian	Proterozoic	Neo-proterozoic	Ediacaran	542		
			Cryogenian	~635	🔑	
			Tonian	850	🕒	
		Meso-proterozoic	Stenian	1000	🕒	
			Ectasian	1200	🕒	
			Calymmian	1400	🕒	
		Paleo-proterozoic	Statherian	1600	🕒	
			Orosirian	1800	🕒	
			Rhyacian	2050	🕒	
			Siderian	2300	🕒	
		Archean	Neoarchean	2500	🕒	
			Mesoarchean	2800	🕒	
	Paleoarchean		3200	🕒		
	Eoarchean		3600	🕒		
	Hadean (informal)		4000	🕒		
					~4600	

- prekambr obejmuje ok. 90% historii Ziemi;
- niewielka liczba odstępów, skały w większości silnie zaburzone;
- większość granic jednostek chronostratygraficznych ma charakter arbitralny.



Występowanie skał prekambryjskich

Tarcza to rozległy obszar występowania prekambru na powierzchni.

Platforma (1) to rozległy obszar występowania prekambru na niewielkiej głębokości pod przykryciem skał osadowych lub (2) rozległy obszar o stabilnym tektonicznie podłożu, skonsolidowanym w prekambrze lub paleozoiku.



Najstarsze skały na Ziemi

1. **Acasta Gneiss complex** – kompleks gnejsów Acasta, wiek protolitu: ok. 4,03 mld lat;
2. **Isua greenstone/supracrustal belt** – pas zieleńcowy Isua, wiek ok. 3,82-3,65 mld lat.

Powstanie Wszechświata

Gorący model Wielkiego Wybuchu:

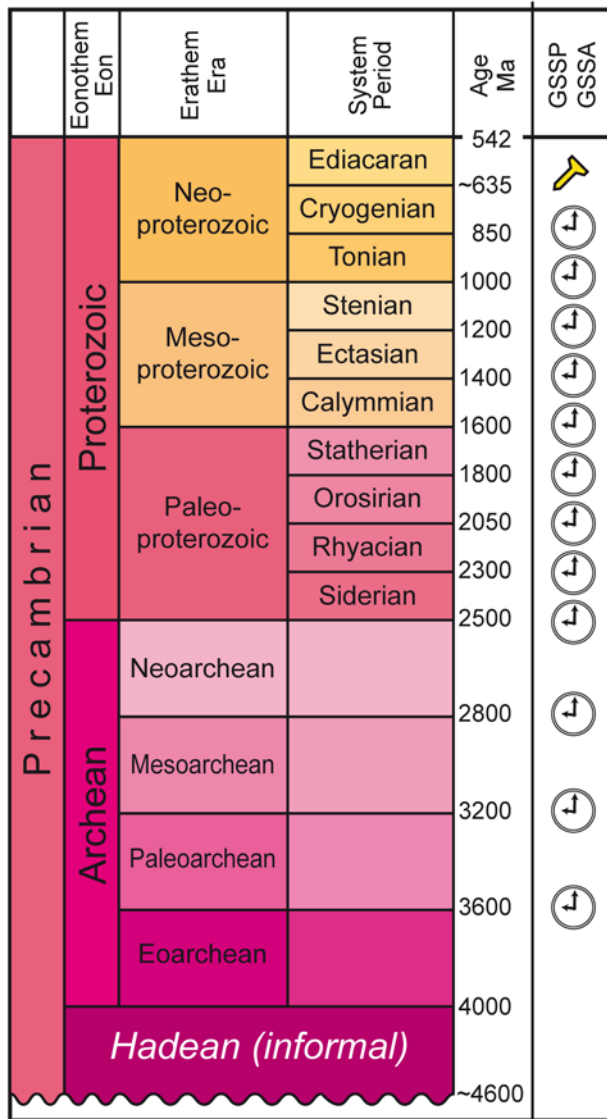
- t_0 (ok. **13,7 mld lat temu**) - nieskończenie małe rozmiary, nieskończenie wysoka temperatura, nieskończenie wielka gęstość;
- $t = 1$ s; rozszerzanie się Wszechświata – temperatura 10^{10} °C; fotony, pary elektron-antyelektron, neutrino-antyneutrino, protony i neutrony;
- $t = 100$ s – temperatura 10^9 °C; dalsze rozszerzanie się Wszechświata – powstawanie jąder wodoru, deuteru i helu;
- ...
- $t = 1$ mln lat – temperatura rzędu 10^3 °C; początek formowania galaktyk oraz gwiazd;
- $t =$ **ok. 4,6 mld lat temu** – powstanie Słońca i Układu Słonecznego.

Chondryty

Fragmenty najstarszych skał w Układzie Słonecznym:

- fragmenty większych ciał powstałych we wczesnych okresach istnienia Układu Słonecznego;
- na powierzchni Ziemi pojawiają się jako meteoryty;
- klasyfikowane jako meteoryty kamienne;
- zawierają chondrule zbudowane w przewodzie z minerałów ultramaficznych;

Wiek Układu Słonecznego



Badania radiometryczne wieku inkluzji w chondrytach:

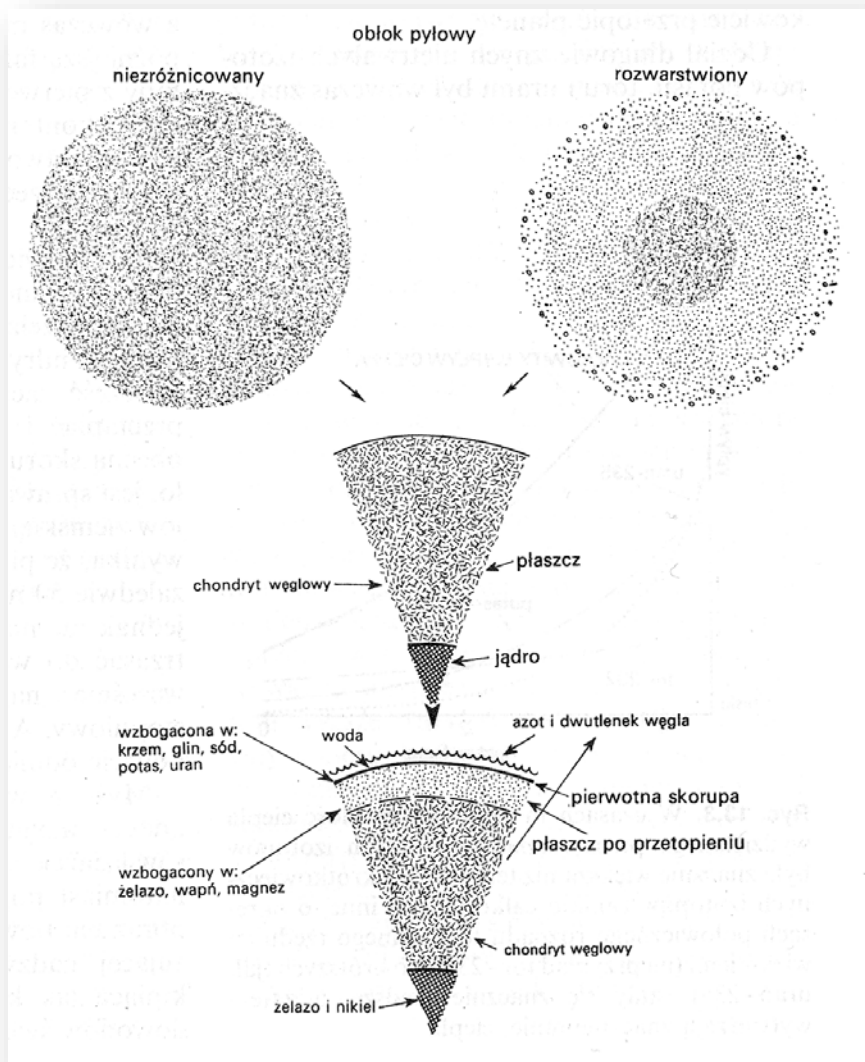
^{207}Pb - ^{206}Pb :

4567 mln = ~4,6 mld lat

Początek okresu hadejskiego:

~4,6 mld lat

Powstanie Ziemi



Wczesne przetopienie materii ziemskiej doprowadziło do rozwarstwienia planety na jądro, płaszcz i skorupę.

Źródła energii:

- energia grawitacyjna;
- rozpad promieniotwórczy;
- bombardowanie kosmiczne.

Powstanie Księżyca

Datowania skał księżycowych oraz dane izotopowe wskazują, że:

- Księżyc powstał ok. 4,5 mld lat temu, nie wcześniej niż ok. 30 mln lat po akrecji Ziemi;
- W Ziemię uderzył obiekt o masie mniejszej (zbliżonej do Marsa) lub porównywalnej z Ziemią – nazywany Theia;
- W wyniku kolizji w przestrzeń wyrzucony został materiał pochodzący z Thei;
- Część budulca Thei mogła zostać włączona w Ziemię;
- Niewielki i lekki Księżyc powstał z akrecji wyrzuconego materiału.

Vredefort Dome, RPA



Krater impaktowy zlokalizowany w Republice Południowej Afryki, na kratonie Kaapvaal;

- średnica: ok. 80 km;
- wypiętrzenie w wyniku uderzenia wielkiego meteorytu ok. 2,02 mld lat temu.

Powstanie litosfery

- Z jakich skał zbudowana była pierwotna skorupa ziemska?

Powstanie litosfery

- Z jakich skał zbudowana była pierwotna skorupa ziemska?
- Kiedy pojawiła się najstarsza skorupa typu kontynentalnego?

Powstanie litosfery

- Z jakich skał zbudowana była pierwotna skorupa ziemiska?
- Kiedy pojawiła się najstarsza skorupa typu kontynentalnego?
- Czy tektonika płyt była obecna na Ziemi od początku istnienia litosfery?

Pasy zieleńcowe – *greenstone belts*

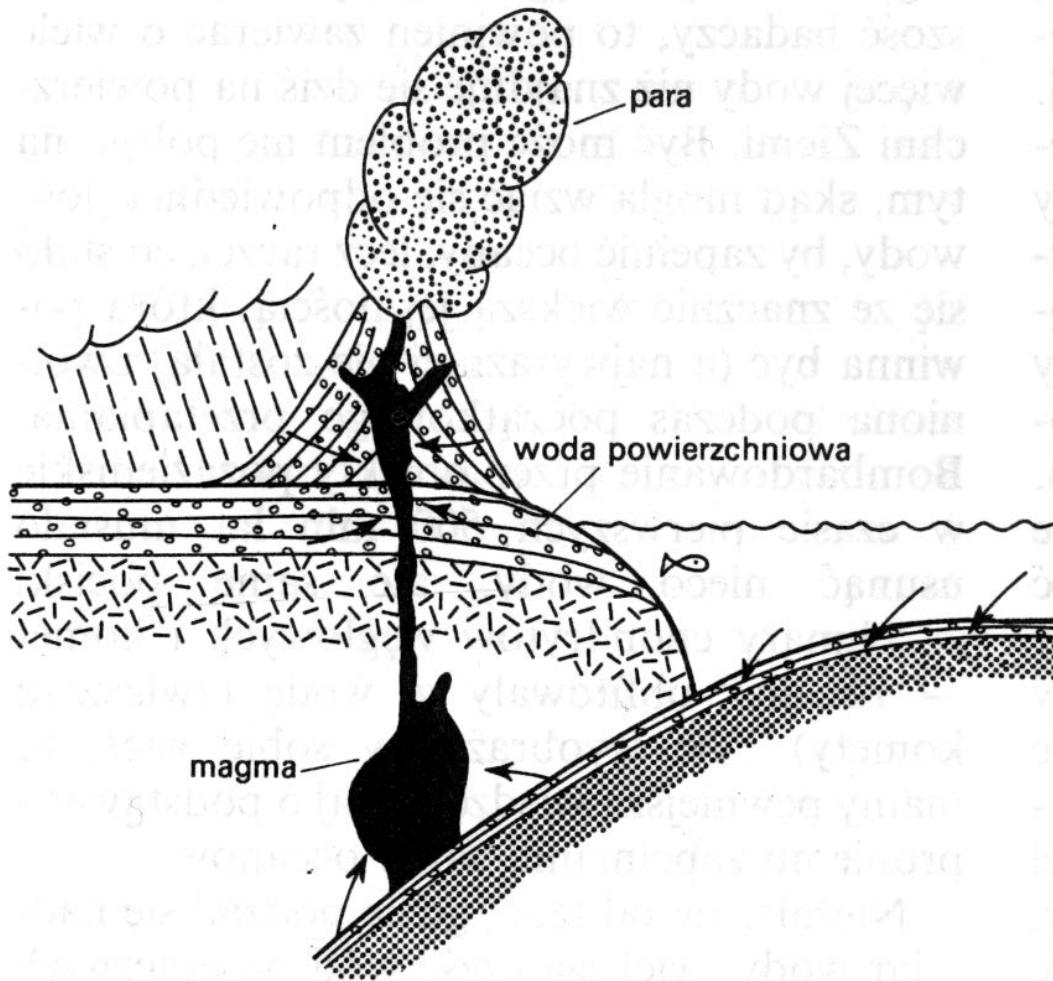
- Linijne struktury o symetrii synklinalnej spotykane w skałach archaicznych;
- Zbudowane ze skał wulkanicznych oraz osadowych przeobrażonych w facji zieleńcowej;
- Najlepiej zachowany przykład: pas zieleńcowy Barberton, RPA (Barberton greenstone belt, 3,5-3,2 Ga);
- inne przykłady: Zimbabwe, Kanada, etc.

Erupcje komatytowe

Komatyt (*komatiite*):

- Wylewna skała ultramaficzna spotykana w spągowych częściach pasów zieleńcowych;
- Brak współczesnego odpowiednika!
- Podwyższona zawartość MgO, tekstura spinifeksowa;
- Krystalizacja z wyjątkowo gorących law o niskiej lepkości.

Powstanie hydrosfery



Woda obecna na Ziemi została w całości uwolniona z płaszczka planety w wyniku **odgazowania** oraz wskutek działania **procesów magmowych**.

Wstęgowane formacje żelaziste



Alternatywne nazwy w literaturze polskiej:

- wstęgowe rudy żelaza;
- żelazista formacja wstęgowa;
- jaspility żelaziste;
- rogowce żelaziste;
- żelaziaki warstwowe.

Nazwa angielska:

banded iron formations (BIF).

Wstępowane formacje żelaziste



- Skąły osadowe o genezie chemicznej, złożone z naprzemiennych warstw zasobnych i ubogich w żelazo; warstwy o niskiej zawartości żelaza są zasobne w krzemionkę;
- Powstawały głównie w późnym archaiku i paleoproterozoiku, ok. 2,7-1,8 Ga.

Wstępowane formacje żelaziste



Skład mineralny:

- krzemionka (nie detrytyczna, 40-50% objętości);
- żelazo (Fe^{2+} , Fe^{3+} ; 20-40% objętości), w postaci tlenków, krzemianów oraz węglanów;
- minerały niskiego stopnia metamorfizmu.

Wstępowane formacje żelaziste

- nazwa litologiczna używana na określenie cienkoławicowych lub laminowanych skał osadowych o genezie chemicznej, złożonych z naprzemiennych warstw drobnoziarnistego kwarcu, tlenków, węglanów i/lub krzemianów żelaza;
- typowy skład BIF to ok. 20-40% żelaza i 40-50% krzemionki;
- stanowią największe i najwydajniejsze źródło żelaza na Ziemi;
- powstawały w prekambrze, od ok. 3,8 Ga do ok. 545 Ma, największe objętości tych skał przypadają na okres 2,7-2,4 Ga;
- występują na wszystkich kontynentach, a ich genezę wiąże się z fundamentalnymi przemianami chemizmu atmosfery i hydrosfery na Ziemi, a być może także ze wzrostem bioróżnorodności w oceanach.

Wstępowane formacje żelaziste

- BIF klasyfikuje się na podstawie składu mineralnego, pozycji tektonicznej i środowiska sedymentacji;
- pod względem zasięgu geograficznego i litologii BIF dzieli się na dwa główne typy: Algoma i Superior;
- Typ Algoma to niewielkie wystąpienia, rzadko przekraczające dziesiątki km rozciągłości; miąższość waha się w zakresie 10-100 m; zawartość żelaza nie przekracza na ogół 10^{10} t; prawdopodobnie powstawały w pobliżu ośrodków wulkanicznych takich jak kominy hydrotermalne, baseny załukowe czy wewnątrzkontynentalne baseny ryftowe.

Wstępowane formacje żelaziste

- BIF klasyfikuje się na podstawie składu mineralnego, pozycji tektonicznej i środowiska sedymentacji;
- pod względem zasięgu geograficznego i litologii BIF dzieli się na dwa główne typy: Algoma i Superior;
- Typ Superior zwykle osiąga miąższości rzędu setek m, powierzchnię rzędu 10^5 km², zawartość żelaza rzędu 10^{13} t. Ich genezę wiąże się z sedymentacją na szelfach pasywnych krawędzi kontynentalnych, prawdopodobnie na głębokościach przekraczających 200 m;
- Dodatkowo wyróżnia się jeszcze typ Rapitan; stanowi on szczególny przypadek BIF powiązany z późnoproterozoicznymi zlodowaceniami (zdarzenia typu „Snowball Earth”).

Wstępowane formacje żelaziste

- Warstwowanie w BIF jest czytelne w różnych skalach, od m do <mm; jest wyrazem cykliczności sedymentacji; najdrobniejsze laminy są porównywane do warw i uważane za roczne warstewki przyrostowe.

Powstanie atmosfery

Gaz	%
N	78,08
O ₂	20,95
Ar	0,93
CO ₂	0,03
Ne	$1,8 \times 10^{-3}$
He	5×10^{-4}
Kr	1×10^{-4}
Xe	1×10^{-5}
H	$<1 \times 10^{-5}$

Duxbury i in. (2002)

Pierwiastki pochodzące z płaszcza Ziemi:

- azot;
- gazy szlachetne;
- para wodna;
- siarka oraz wodór.

Najważniejsze cechy atmosfery ziemskiej ok. 4 mld lat temu:

- bardzo wysokie stężenie CO₂;
- brak wolnego tlenu.

Powstanie atmosfery

Gaz	%
N	78,08
O ₂	20,95
Ar	0,93
CO ₂	0,03
Ne	$1,8 \times 10^{-3}$
He	5×10^{-4}
Kr	1×10^{-4}
Xe	1×10^{-5}
H	$<1 \times 10^{-5}$

Duxbury i in. (2002)

Procesy, które doprowadziły do ukształtowania atmosfery Ziemi:

- odgazowanie płaszcz;
- wietrzenie skał skorupy ziemskiej;
- wymiana gazowa pomiędzy atmosferą o oceanem;
- procesy biologiczne.

Wolny tlen w atmosferze

Gaz	%
N	78,08
O ₂	20,95
Ar	0,93
CO ₂	0,03
Ne	$1,8 \times 10^{-3}$
He	5×10^{-4}
Kr	1×10^{-4}
Xe	1×10^{-5}
H	$<1 \times 10^{-5}$

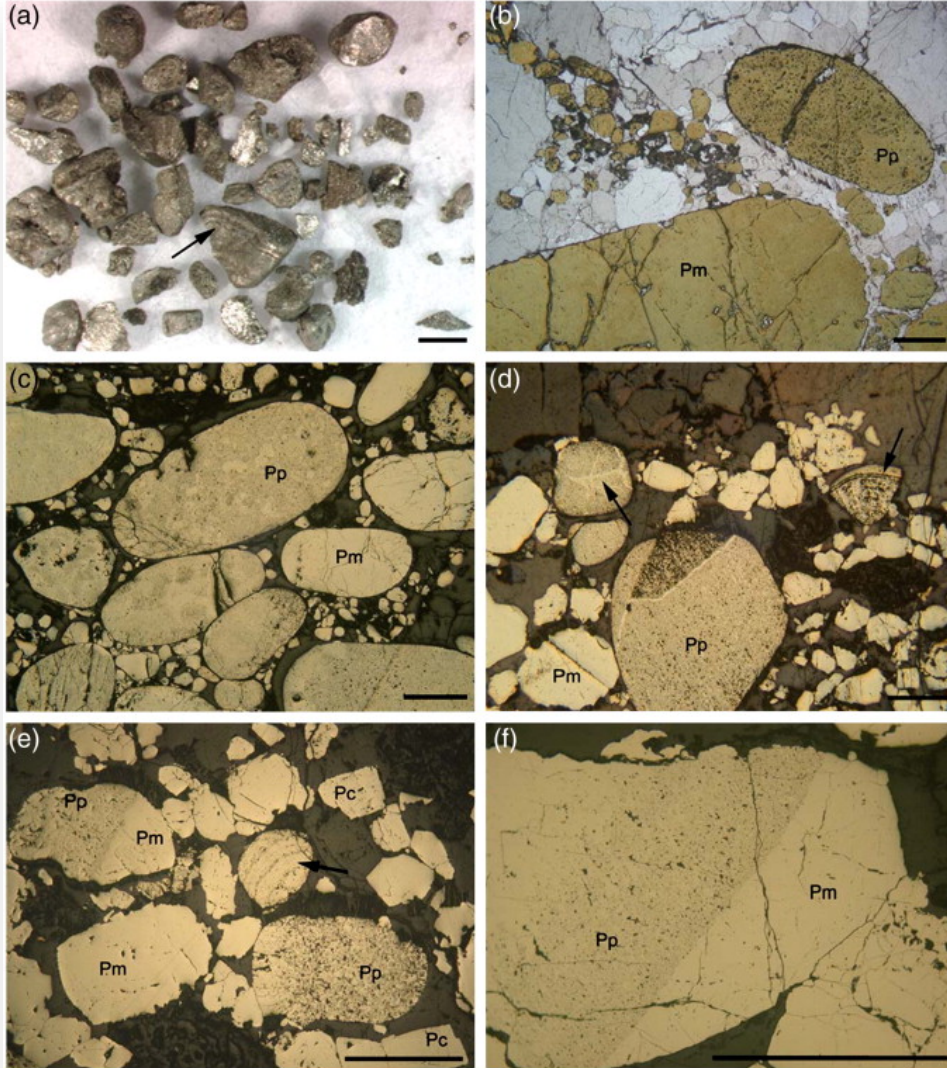
Duxbury i in. (2002)

Procesy, które doprowadziły do ukształtowania atmosfery Ziemi:

- odgazowanie płaszczu;
- wietrzenie skał skorupy ziemskiej;
- wymiana gazowa pomiędzy atmosferą a oceanem;
- procesy biologiczne.

Pojawienie się wolnego tlenu w atmosferze datuje się na ok. 2,45 Ga – tzw. *Great Oxidation Event*.

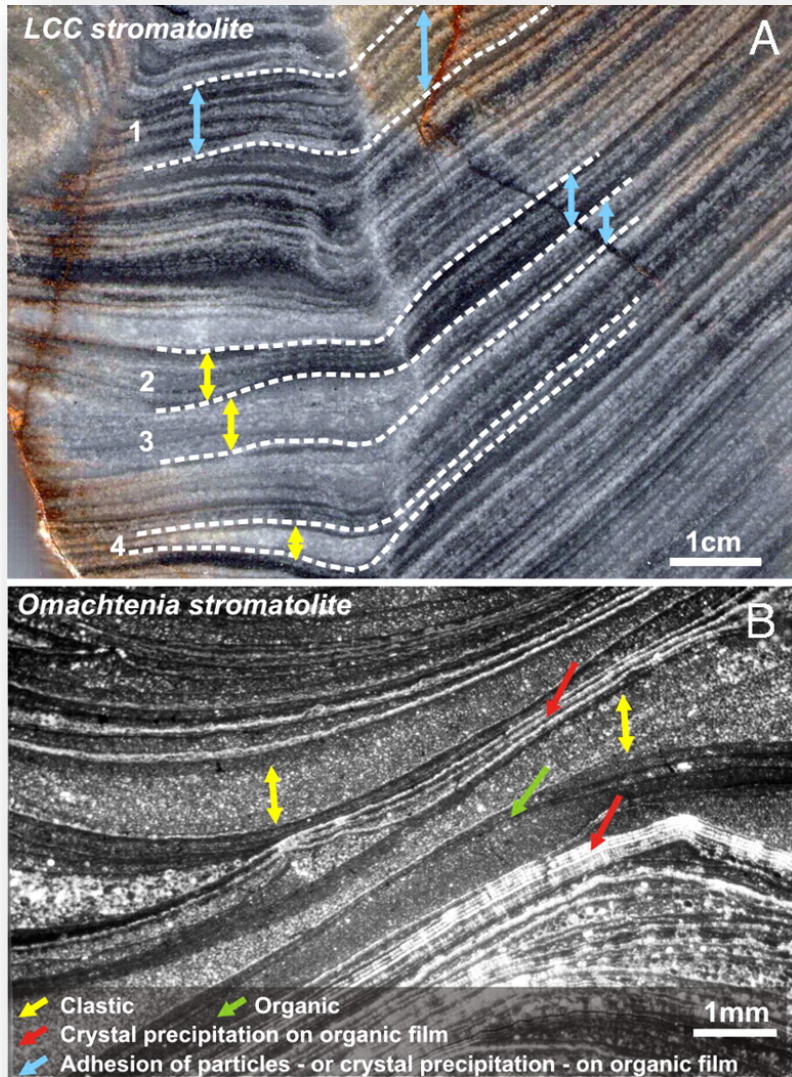
Beztlenowa atmosfera – skąd to wiadomo?



eweb.furman.edu

Detrytyczne ziarna pirytu i uraninitu, Witwatersrand, Republika Południowej Afryki (3,25-2,7 Ga).

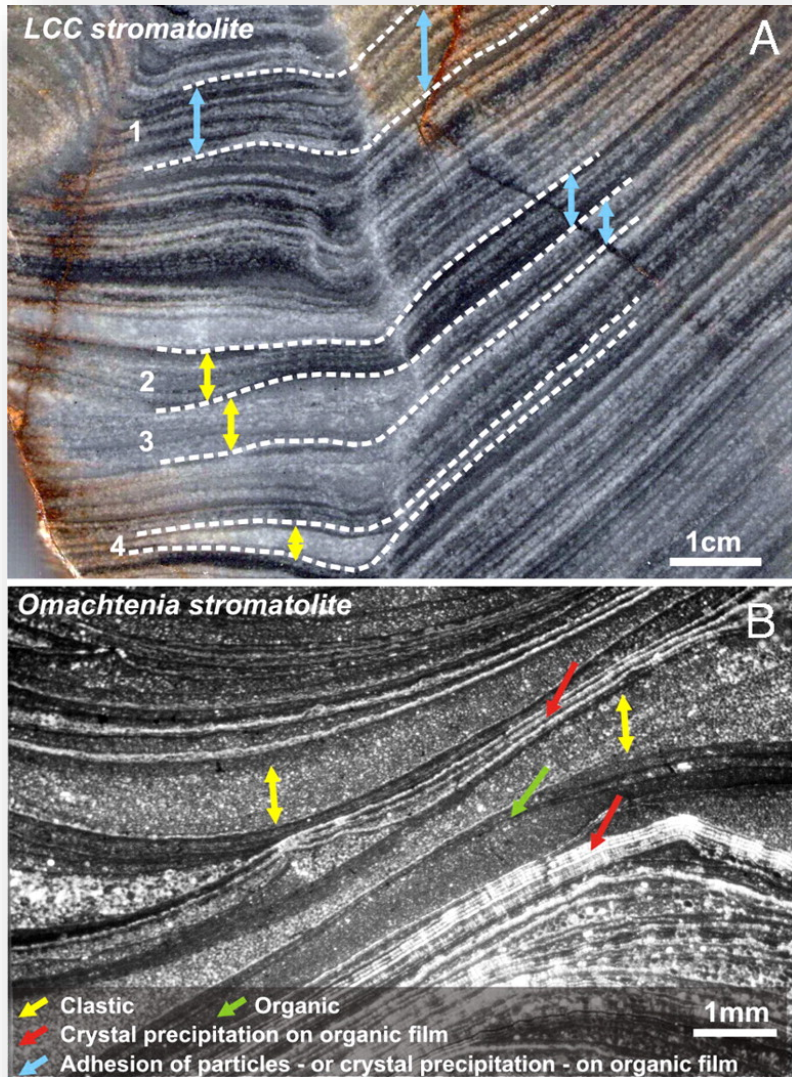
Stromatolity



Laminowane wapienne struktury biosedymentacyjne powstałe w wyniku działalności życiowej prokariotycznych mikroorganizmów fotoautotroficznych.

Współcześnie występują w Shark Bay (Australia) oraz Laguna Mormona (Meksyk). Z zapisu kopalnego znane są formy morskie i jeziorne.

Stromatolity



Laminowane wapienne struktury biosedymentacyjne powstałe w wyniku działalności życiowej prokariotycznych mikroorganizmów fotoautotroficznych.

Kolejne warstwy stromatolitu powstają przez wytrącanie węglanu wapnia w obrębie maty mikrobialnej.

Stromatolity

- Współcześnie głównymi twórcami stromatolitów są sinice – Cyanobacteria, jedyne prokarionty wytwarzające tlen jako produkt uboczny fotosyntezy;
- Pospolite występowanie występowanie stromatolitów w prekambrze oraz zdolność sinic do prowadzenia fotosyntezy oksygenicznej wskazują na to, że wolny tlen w atmosferze Ziemi gromadził się głównie dzięki procesom biologicznym.

Prekambr – zapis osadowy

Mięższe sukcesje osadowe archaiku zachowane do dziś:

1. **pas zieleńcowy Barberton (Barberton Greenstone Belt, BGB):**
wiek ok. 3-3,5 mld lat;
2. **tarcza Pilbara:** wiek ok. 3-3,5 mld lat, miąższość ok. 30 km.

Złóża surowców mineralnych

W skałach prekambryjskich występuje ogromna większość najważniejszych pod względem ekonomicznym złóż surowców mineralnych na świecie, m.in.:

- złóża platynowców (np. Kompleks Bushveld, RPA);
- złóża złota (np. Witwatersrand, RPA);
- złóża manganu (Kalahari, RPA);
- złóża żelaza (wstęgowane formacje żelaziste).

Kompleks Bushveld:

- Termin „kompleks Bushveld” odnosi się do wychodni największej na świecie warstwowanej intruzji magmowej;
- Termin „prowincja Bushveld” odnosi się do bardziej rozległego obszaru kratonu Kaapvaal, objętego magmatyzmem o zbliżonym wieku;

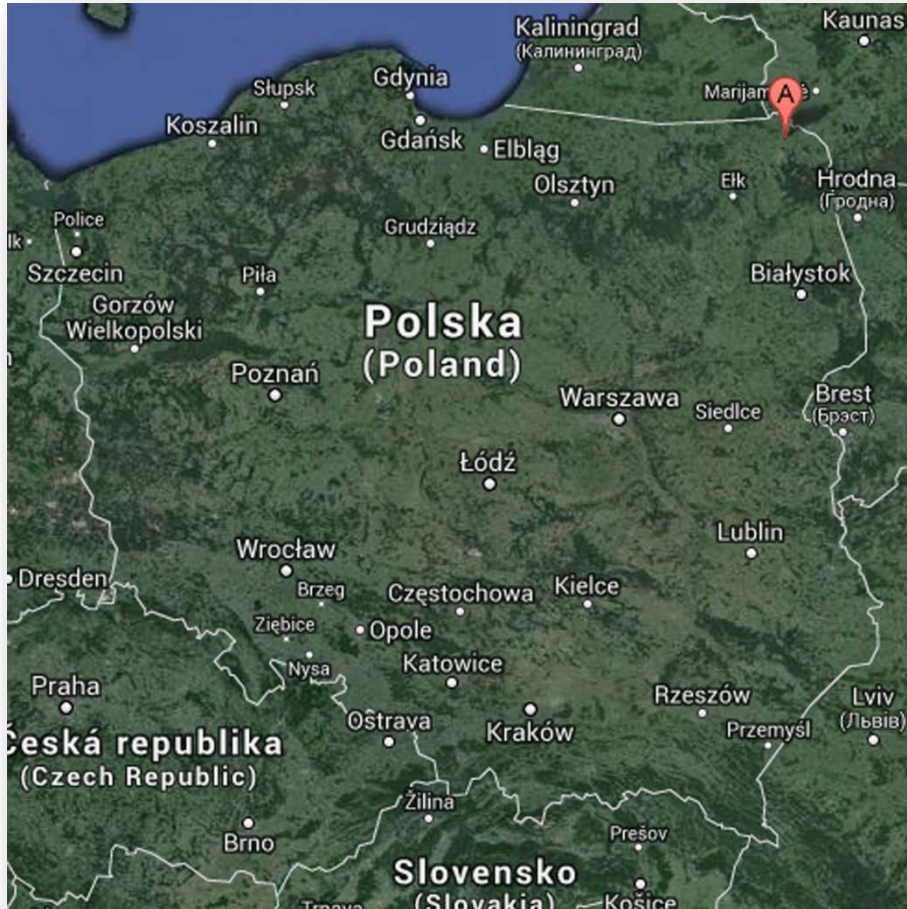
Kompleks Bushveld:

- Termin „kompleks Bushveld” odnosi się do wychodni największej na świecie warstwowanej intruzji magmowej;
- Termin „prowincja Bushveld” odnosi się do bardziej rozległego obszaru kratonu Kaapvaal, objętego magmatyzmem o zbliżonym wieku;
- Kompleks Bushveld rozciąga się na dystansie ok. 350 km N-S i ok. 440 km E-W;
- Składa się z pięciu części składających się na dwa duże wydzielenia: część maficzną i część kwaśną. Reprezentują one dwie fazy geochemiczne tego samego etapu magmatyzmu;
- Kompleks Bushveld stanowi najbogatsze na świecie złożo platynowców i chromu.

Witwatersrand:

- Jeden z najlepiej zachowanych i najlepiej poznanych archaicznych basenów osadowych na świecie;
- Jedno z najbogatszych złóż złota na świecie;
- Basen witwatersrandu rozwinął się jako zapadlisko śródgórskie pod koniec archaiku; jest równowiekowy względem licznych pasów zieleńcowych południa Afryki (m.in. Pas Zimbabwe);
- Stanowi wyjątkowy przykład tektoniki intrakratonicznej z przełomu archaiku i proterozoiku.

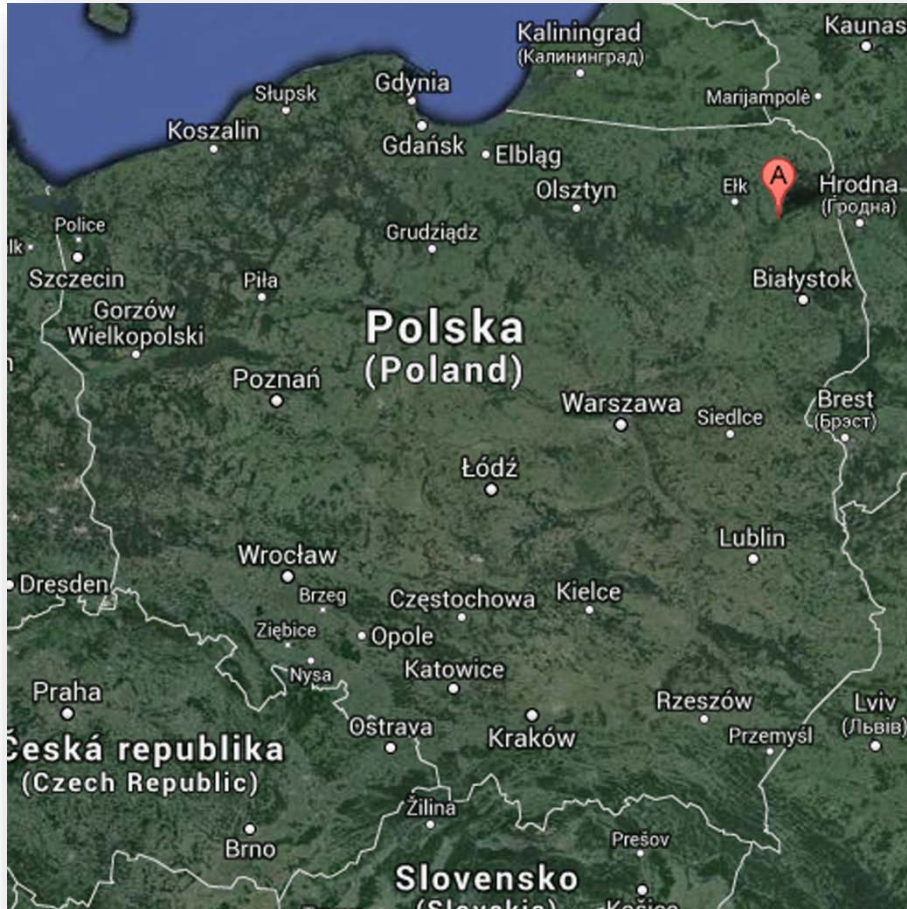
Skąły prekambryjskie w Polsce



maps.google.com

Złoże rud żelaza pochodzenia magmowego o podwyższonej zawartości Ti oraz V: Krzemianka, Udryń oraz Jeleniewo (na północ od Suwałk).

Skąły prekambryjskie w Polsce



Masyw jeziora Tajno
zbudowany ze skał
alkalicznych i
ultrazasadowych pociętych
żyłami **karbonatytu**.

Istnienie życia -

skąd możemy wiedzieć?

- Skamieniałości strukturalne i śladowe?
- Struktury biosedymmentacyjne?
- Wskaźniki geochemiczne?

Istnienie życia -

skąd możemy wiedzieć?

- Skamieniałości strukturalne i śladowe:
 - Apex Chert (Australia, ~3,46 Ga);
 - Strelley Pool (Australia, ~3,4 Ga);
 - Pas zielenicowy Barberton (BGB) (RPA, ~3,2 Ga);
 - Gunflint Chert (Kanada, 1,88 Ga);
 - Torridon Group (Szkocja, ~1 Ga);

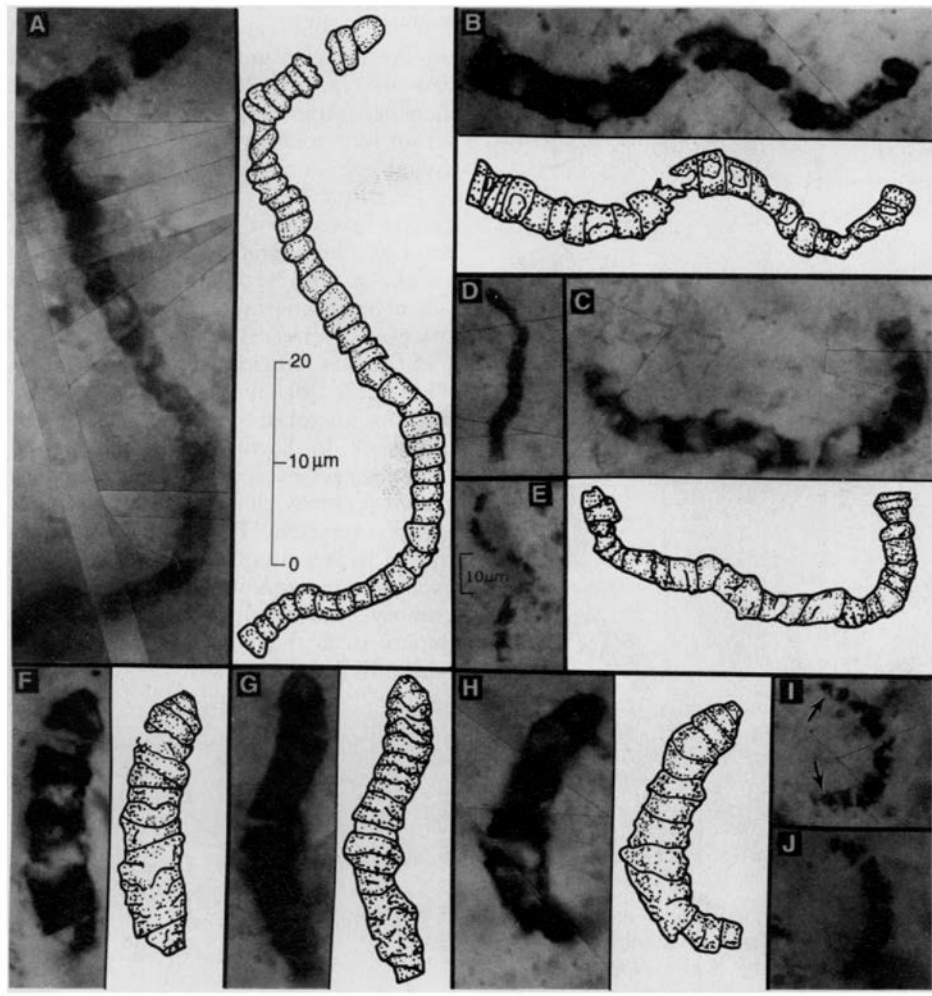
Istnienie życia -

skąd możemy wiedzieć?

- Skamieniałości strukturalne i śladowe:
 - Apex Chert (Australia, ~3,46 Ga);
 - Strelley Pool (Australia, ~3,4 Ga);
 - Pas zieleńcowy Barberton (BGB) (RPA, ~3,2 Ga);
 - Gunflint Chert (Kanada, 1,88 Ga);
 - Torridon Group (Szkocja, ~1 Ga);

**Potencjalne skamieniałości prekambryjskie:
Czy rzeczywiście są pochodzenia biogenicznego?
Czy poprawnie określono wiek?**

Najstarsze skamieniałości?

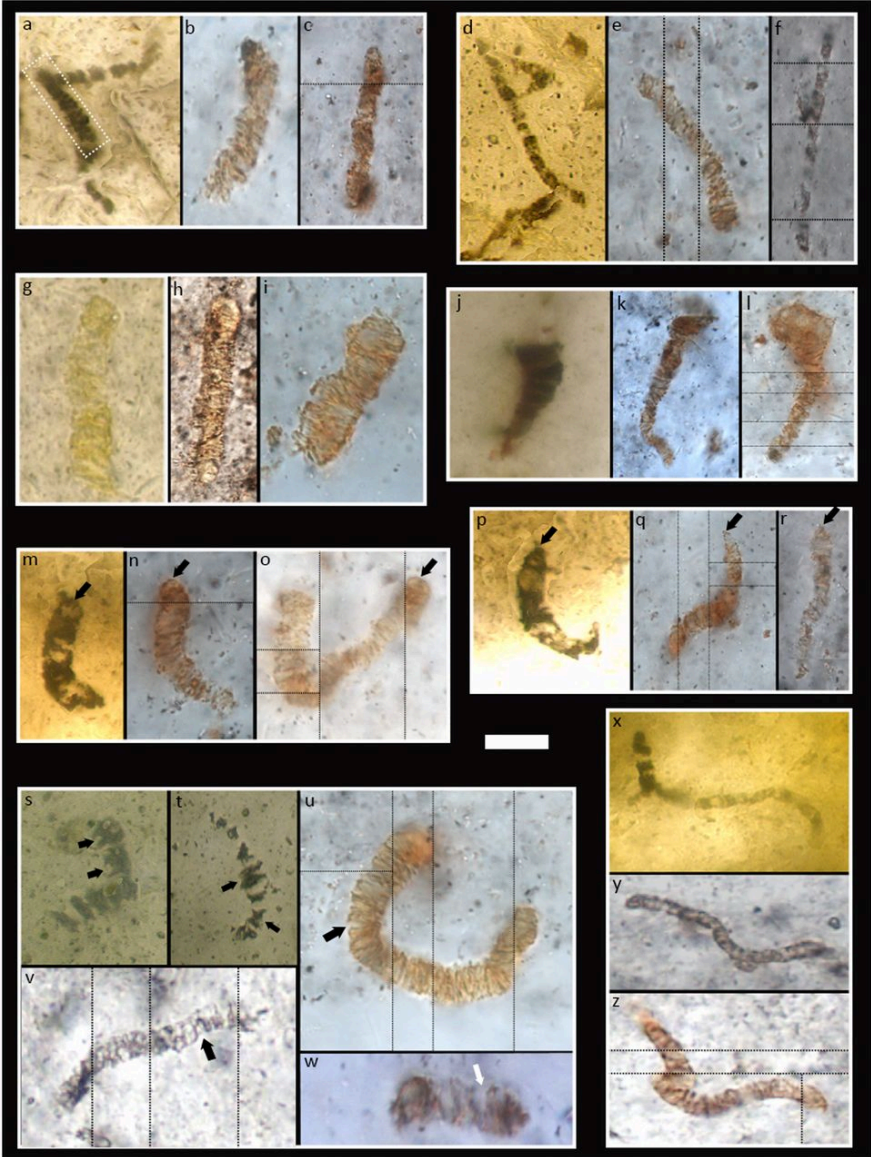


Schopf (1993), Science 260: 643

Struktury z Apex Chert (NW Australia) – Schopf (1993):

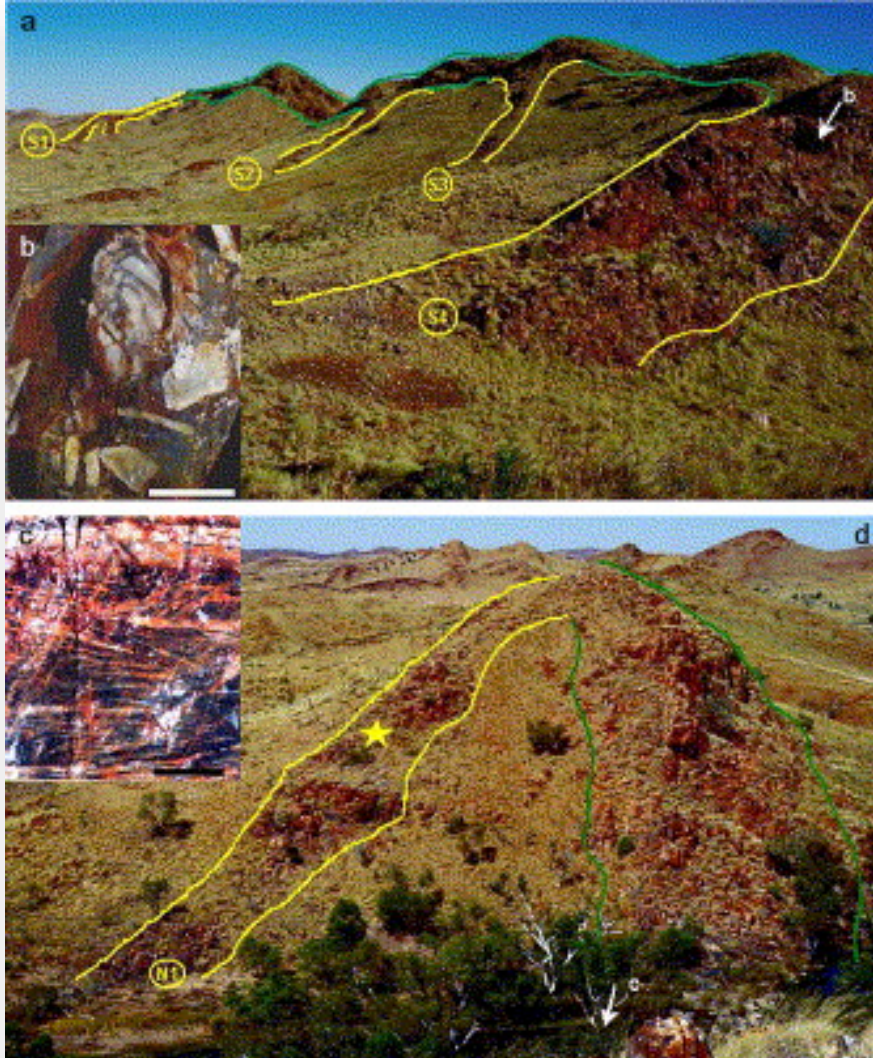
- wiek: $3\,465 \pm 5$ mln lat;
- nitkowate ciągi pęcherzyków zinterpretowane jako prokariotyczne komórki sinicowe lub bakteryjne;
- zbudowane z uwęglonej substancji organicznej;
- współwystępują z detrytusem organicznym, którego skład izotopowy wskazuje na utworzenie w wyniku procesu fotosyntezy.

Apex Chert



Brasier i in. (2015), PNAS 112: 4859–4864

Apex Chert: kontrargumenty



- Czert, z którego pochodzą rzekome mikroskamieniałości ma genezę hydrotermalną, a nie sedimentacyjną;
- Dane molekularne wskazują, że sinice pojawiły się później niż 3,465 mld lat temu;
- „Mikroskamieniałości” Schopfa to agregaty grafitu.

Istnienie życia -

skąd możemy wiedzieć?

- Skamieniałości strukturalne i śladowe?
- Struktury biosedymmentacyjne? - *stromatolity*
- Wskaźniki geochemiczne? – *wskaźniki izotopowe*

Metazoa – zwierzęta tkankowe

- **Zwierzęce organizmy wielokomórkowe** pojawiają się pomiędzy 1 a 0,7 mld lat temu.
- W tym samym przedziale w osadach zaczynają pojawiać się skamieniałości śladowe oraz grudki fekalne.
- Różnicowanie metazoa koreluje się ze spadkiem liczebności stromatolitów.
- Z końcem neoproterozoiku, ok. 600 mln lat temu, przedstawiciele metazoa mają już globalne rozprzestrzenienie.

Fauna ediakarańska

- Najstarszy zespół zróżnicowanych skamieniałości strukturalnych, interpretowanych jako szczątki miękkocielnych zwierząt wielokomórkowych;
- Nazwany od miejsca odkrycia (Ediacara Hills w południowej Australii);
- Pierwotnie opisane jako zespół kambryjskich meduz w latach 40. XX w.;
- Do dziś znalezione w około 30 stanowiskach na całym świecie (poza Antarktydą);
- Występują w drobnoziarnistych osadach pierwotnie stabilizowanych przez maty mikrobialne;

Fauna ediakarańska

- *Interpretacja konserwatywna*

- W tradycyjnej interpretacji w skład fauny ediakarańskiej wchodzi głównie parzydełkowce, reprezentowane przez meduzy i pióra morskie;
- Mniej liczne są organizmy uważane za gąbki, pierścienice oraz stawonogi, w tym formy przypominające trylobity;

Fauna ediakarańska

- *Interpretacja alternatywna*

- Faunę ediakarańską (lub Vendobionta) interpretuje się także jako przedstawicieli wymarłej gałęzi drzewa rodowego, pozbawionej współczesnych przedstawicieli;
- W myśl tej interpretacji skamieniałości nie mają charakteru strukturalnego, lecz śladowy.

Klimat w prekambrze

Liczne słabo poznane epoki lodowcowe we wczesnym i środkowym proterozoiku:

- Montana (2,7 mld lat);
- Witwatersrand (2,8-2,45 mld lat);
- Makganyene (2,3-2,2 mld lat).

Dwa rozległe zlodowacenia w późnym proterozoiku:

- zlodowacenie Sturt (ok. 760-700 mln lat temu);
- zlodowacenie Varanger (ok. 620-580 mln lat temu).