




Metody datowania stosowane w badaniach nad ewolucją

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

A photograph of a fossilized lizard skeleton embedded in a light-colored, textured rock matrix. The skeleton is dark and shows the spine, ribs, and limbs. A dark rectangular box is overlaid on the middle of the image, containing white text.

Metody datowania stosowane w badaniach nad ewolucją

Skamieniały szkielet jaszczurki, mający ok. 240 milionów lat.
Źródło: domena publiczna.

Paleontologia to nauka badająca historię życia na Ziemi na podstawie zachowanych skamieniałych szczątków i śladów życia organizmów roślinnych i zwierzęcych. Skamieniałości bada się, aby ustalić stopień pokrewieństwa między organizmami oraz pomóc w wykreślaniu drzewa filogenetycznego, obrazującego działanie ewolucji w czasie. Dzięki tym badaniom można uzyskać odpowiedzi na takie pytania, jak: „Kiedy pojawiło się życie na Ziemi?”, „Ile lat temu żyły najstarsze organizmy?”, „Jak ewolucja przebiegała w czasie?”.

Twoje cele

- Wyjaśnisz, na czym polega metoda datowania.
- Poznasz metody datowania bezwzględnego i względnego.
- Opiszysz wybrane metody datowania.

Przeczytaj

Dzięki badaniom **paleontologicznym** można – na podstawie znalezionych skamielin i śladów życia organizmów – wyciągnąć wnioski o życiu w przeszłości. Dodatkowo dzięki ciągle doskonalonym metodom datowania naukowcy są w stanie przypisać ramy czasowe poszczególnym zdarzeniom i etapom ewolucji.

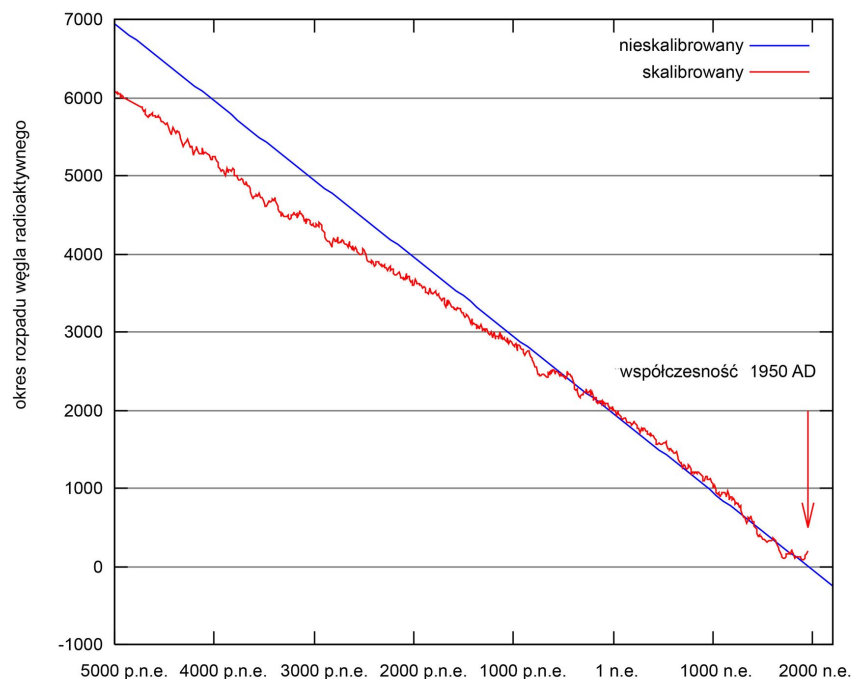
Czym jest datowanie?

To proces przypisywania zdarzeniom z odległej przeszłości czasu (daty), w którym mogły one mieć miejsce. Znanych jest wiele metod datowania. Opierają się one na różnych zmianach zachodzących z upływem czasu w przyrodzie ożywionej i nieożywionej, a także na zmianach charakterystycznych dla danego okresu rozwoju życia na Ziemi.

Określanie wieku materiału biologicznego

W naturze występują trzy **izotopy** węgla. Prawie 99% węgla na Ziemi to izotop ^{12}C , a około 1% stanowi ^{13}C . Najrzadszy izotop ^{14}C jest bardzo ważny w datowaniu obiektów organicznych, np. kości, tkanin, drewna. ^{14}C powstaje wysoko w warstwach atmosfery (w troposferze i stratosferze), gdzie promienie kosmiczne bombardują atomy azotu. Z atmosfery, jako izotopowy dwutlenek węgla, ^{14}C trafia do roślin i pozostałych organizmów żywych. Jest radioaktywny, a co ok. 5730 lat znika (rozpada się) połowa jego pierwotnej ilości.

Tę właściwość wykorzystał noblista Willard Libby w metodzie szacowania wieku próbki organicznej. Skoro ^{14}C występuje tylko w żywych organizmach, które po śmierci już go nie pobierają, to mierząc ilość izotopu w badanej próbce, można określić czas zakończenia życia danego organizmu, np. lnu z którego wykonano tkaninę. Metoda ta jest dość dokładna do około 60 000 lat wstecz. Musiała zostać skalibrowana z powodu wahań poziomu CO_2 w atmosferze.



Krzywa kalibracji datowania radiowęglowego. Rok 1950 jako rok „zerowy” został wybrany arbitralnie, ze względu na datę opublikowania metody. Wiek próbki określony bez kalibracji może być błędny, gdyż na zawartość izotopu ^{14}C w atmosferze wpływa wiele czynników, np. aktywność słońca czy wybuchy wulkanów. Na podstawie wielu badań określono sposób dość dokładnego datowania próbki – krzywą kalibracyjną (czerwona). Jest ona dokładna do 5 tys. lat p.n.e. w odniesieniu do próbek pochodzenia organicznego. Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Występowanie **enancjomerów** (par nienakładalnych na siebie cząsteczek chemicznych, które są wzajemnymi odbiciami lustrzanymi) stało się podstawą metody datowania znacznie dokładniejszej niż przy pomocy ^{14}C . Gdy komórka umiera, prawoskrętne DNA ulega racemizacji, czyli powstaje mieszanina form prawoskrętnych i lewoskrętnych. Podobnie z aminokwasami: po śmierci organizmu formy L zamieniają się w formy D. Badając stopień racemizacji, możemy określić wiek próbki biologicznej.

Łącznikiem pomiędzy związkami organicznymi i nieorganicznymi jest CO_2 – substrat procesu fotosyntezy wchodzący w skład powietrza. Dzięki temu węgiel „wędruje” przez łańcuchy pokarmowe między organizmami, a po ich śmierci trafia z powrotem do środowiska. Źródłem węgla są skały wapienne (kalcyty, węglan wapnia) i dolomity (węglan wapnia i magnezu). Skały te powstały głównie dzięki gromadzeniu i sprasowaniu pod ciśnieniem złóż drobnych szkieletów organizmów. Z kolei skały organiczne ze szczątków roślin to zarazem paliwa kopalne: różne rodzaje węgla od torfu do antracytu, ropa naftowa czy **klatraty** (hydraty) metanu.



Wapień ze skamieniałościami.

Źródło: James St. John, Flickr, licencja: CC BY 2.0.

Różne formy opał w zależności od zawartości czystego pierwiastka

Stopień uwęglania	Cechy charakterystyczne	Zawartość wody [%]	Zawartość węgla [%]	Ciepło spalania [kcal/kg]
Torf	Porowaty, widoczne części roślin, obecność celulozy	75	55-60	3000
Węgiel brunatny miękki (legnit)	Brak celulozy, rośliny sprasowane	35	60-70	4000
Węgiel brunatny błyszczący	Zwarty, szczątki roślin trudno rozpoznawalne	25	70-78	5500
Węgiel kamienny	Twardy, matowy, szczątki roślin nierozpoznawalne	10	78-94	7000
Antracyt	Twardy, błyszczący	1-3	94-98	8650

Podział metod datowania

Metody datowania dzieli się na:

Bezwzględne (absolutne)

Określają czas wystąpienia zdarzenia. Dzięki metodom datowania **bezwzględnego** naukowcy są w stanie podać wiek znaleziska z większym lub mniejszym marginesem błędu.

Względne (relatywne)

Metody datowania bezwzględnego

Metody datowania bezwzględnego dzielą się na:

Izotopowe

Są to między innymi: datowanie radiowęglowe, metoda potasowo-argonowa, metoda argonowa, metoda uranowo-torowa, metoda rubidowo-strontowa, metoda trytowa, datowanie ołowiowe, datowanie renowo-osmowe.

Datowanie izotopowe (radiodatowanie) to metody datowania próbek oparte na zjawisku rozpadu promieniotwórczego, stosowane głównie w naukach geologicznych i archeologicznych.

Inne

Metody datowania względnego

Metody datowania względnego to m. in.: metoda stratygraficzna, metoda lingwistyczna, datowanie pyłkowe, datowanie faunistyczne, metoda typologiczna, metoda porównawcza, metoda numizmatyczna, metoda archeomagnetyczna, metoda kationowa oraz datowanie kości.

Omówienie wybranych metod datowania

Datowanie radiowęglowe (węglowe) to metoda datowania bezwzględnego. Badanie wieku przedmiotów oparte jest na pomiarze proporcji między izotopem promieniotwórczym węgla ^{14}C a izotopami trwałymi ^{12}C i ^{13}C . Metoda ta pozwala na ustalenie wieku różnych obiektów archeologicznych o pochodzeniu biologicznym.

Niektóre z cząstek promieniowania kosmicznego zderzają się z atomami azotu (^{14}N), a ten z kolei przekształca się w izotop węgla ^{14}C , czyli w węgiel promieniotwórczy. Węgiel pod tą postacią jest przyswajany przez

1

roślinność, a zatem dostaje się do pożywienia zwierząt i ludzi, dzięki czemu znajduje się w każdym żywym organizmie. Ponieważ węgiel ^{14}C powstaje w górnych warstwach atmosfery, izotop ten dostaje się do organizmów także wraz z wdychanym powietrzem.

Kluczowy jest fakt, że w czasie całego życia ilość węgla ^{14}C w organizmie utrzymuje się na stałym poziomie – węgiel jest absorbowany przez żywe organizmy i w sposób ciągły uzupełniany w trakcie ich cyklu życiowego. Gdy jednak organizm umiera, proces ten zatrzymuje się. Jądro atomowe ^{14}C (6 protonów, 8 neutronów) jest bardzo niestabilne, średnio po ok. 8 tys. lat powraca do swego pierwotnego stanu i staje się znów jądrem azotu ^{14}N (7 protonów, 7 neutronów), a zawartość ^{14}C w szczątkach powoli się zmniejsza.

Czas rozpadu poszczególnych pierwiastków jest stały dla każdego izotopu. Połowiczny rozpad izotopu ^{14}C wynosi w przybliżeniu 5730 lat. Oznacza to, że jeżeli w danej próbce mamy 2 mln jąder ^{14}C , to po upływie 5730 lat zostanie ich połowa, czyli milion, a po upływie kolejnych 5730 lat ich liczba zmniejszy się do 500 tys.

Mierząc, ile w danej chwili pozostało promieniotwórczego ^{14}C , można ocenić, jak dawno dany organizm zakończył życie. Można pobrać niewielką próbkę materiału organicznego i ustalić jej wiek. Dokonuje się tego przez precyzyjny pomiar natężenia promieniowania ^{14}C .

2

Metoda potasowo-argonowa (K-Ar) to metoda datowania bezwzględne. Opiera się na pomiarze ilości argonu (Ar) – produktu rozpadu radioaktywnego izotopu potasu (K). Izotop ^{40}K rozpada się wewnątrz skały do gazowego ^{40}Ar , który pozostaje wewnątrz skały (dopóki minerał

nie zostanie podgrzany). Ilość argonu w skale świadczy o czasie, który upłynął od powstania tej skały.

Metoda K-Ar została użyta m.in. do określenia kolejności okresów geologicznych na Ziemi, do ustalenia wieku Ziemi na około 4,5 miliarda lat i do datowania stanowisk wczesnych hominidów (rodziny człowiekowatych) w Afryce, pochodzących sprzed blisko 5 mln lat.

Datowanie ultradźwiękowe kości to metoda datowania bezwzględnego. Polega na analizie szybkości rozchodzenia się fal dźwiękowych. Im wolniej rozchodzą się ultradźwięki, tym kości są starsze, ponieważ bardziej zaawansowany jest proces ich mineralizacji.

3

4

Datowanie historyczne to metoda datowania bezwzględnego opierająca się na powiązaniu archeologii z chronologiami i kalendarzami, analizie źródeł pisanych, wykazów królów, dynastii, listów, kronik.

Datowanie historyczne stosowane jest m.in. przy odkryciach archeologicznych. Metoda ta pozwala określić wiek materiału biologicznego. Dzięki niej możliwe jest np. wstępne określenie tożsamości szczątków ludzkich odnalezionych na stanowiskach archeologicznych w Egipcie.

Stratygrafia to nauka zajmująca się badaniem poszczególnych warstw wykopalisk (łac. *stratum* – warstwa) i określaniem czasu ich powstania. Metoda stratygraficzna jest metodą

5

datowania względnego. Opiera się na tzw. prawie superpozycji, które mówi, że warstwa spoczywająca niżej musi być starsza od warstwy spoczywającej wyżej. Analogicznie rozumiemy przez to, iż znaleziska w niższej warstwie są starsze od tych w warstwie wyższej.

Metoda stratygraficzna pozwala np. podać wiek skał w oparciu o analizę ułożenia kolejnych warstw względem siebie, jednak znajduje zastosowanie jedynie w przypadkach, w których skały nie zostały zaburzone, np. ruchami tektonicznymi. Wówczas skały leżące wyżej są młodsze od skał leżących niżej.

Ten względny sposób datowania może nabrać charakteru bezwzględnego, jeśli w danej warstwie znajdzie się jakiś obiekt, którego datowanie jest znane, np. moneta. W takim wypadku wszystko, co znajduje się nad tym obiektem, z dużym prawdopodobieństwem pochodzi z czasów nam bliższych niż odnaleziony obiekt, a wszystko, co znajduje się głębiej – z czasów odleglejszych niż moment powstania odnalezionego obiektu.

6

Metodą porównawczą to metoda datowania względnego, polegająca na wyszukiwaniu analogii i porównaniu znaleziska z obiektem już datowanym.

Przykładowo, jeśli przedmioty odnalezione w jednym miejscu, na jednym stanowisku archeologicznym, wykonane z tego samego materiału, tak samo zdobione – są datowane na VIII w p.n.e., to gdy w innym miejscu odnaleziony zostanie podobny przedmiot, zakłada się, że i on pochodzi z tego samego okresu.

Metodę porównawczą stosuje się także w kladystyce. Po określeniu, które z cech występujących w badanej grupie są prymitywne, a które relatywnie zaawansowane w rozwoju, nowe znaleziska są porównywane do tych już datowanych. Dzięki grupowaniu gatunków o cechach o podobnym stopniu zaawansowania rozwoju możliwe jest klasyfikowanie organizmów i ustalanie ich historii ewolucyjnej.

Datowanie faunistyczne to metoda datowania względnego opierająca się na analizie ewolucji gatunków zwierząt. Polega na porównywaniu szczątków zwierząt kopalnych znajdujących się w warstwie lub towarzyszących datowanemu znalezisku, z fauną innego obszaru o znanym datowaniu warstw.

Datowanie faunistyczne wykorzystano również m.in. przy sprawdzeniu wyników datowań i korelacji stanowisk w Afryce Wschodniej i Południowej, w związku z badaniem teorii wyjścia z Afryki, czyli teorii wyjaśniającej pochodzenie człowieka współczesnego.

7

Słownik

enancjomery

pary nienakładalnych na siebie cząsteczek chemicznych, które są wzajemnymi odbiciami lustrzanymi

izotop

każdy z atomów tego samego pierwiastka chemicznego mających jednakową liczbę protonów, lecz różne liczby neutronów

izotopowe metody datowania

metody datowania próbek oparte na zjawisku rozpadu promieniotwórczego; czas od wystąpienia wydarzenia określa się na podstawie proporcji pomiędzy zawartością określonego izotopu i produktów jego rozpadu

kladystyka

metoda klasyfikacji organizmów i ustalania ich historii ewolucyjnej sformułowana w 1950 r. przez niemieckiego entomologa Williama Henniga; formalną jednostką tej klasyfikacji jest takson; taksony wyodrębnia się na podstawie cech apomorficznych, tj. pojawiających się po raz pierwszy w ewolucji badanej grupy i następnie dziedziczonych przez gatunki potomne

klatraty

(gr. *clathri* – krata); struktura nadcząsteczkowa, w której występuje regularna sieć krystaliczna jednego związku chemicznego, a w jej lukach nieregularnie rozmieszczone są cząsteczki innej substancji; cząsteczki wody tworzą krystaliczny szkielet, w którym uwięzione są cząsteczki gazu, np. metanu

metody datowania bezwzględnego

metody pozwalające określić czas wystąpienia zdarzenia, wiek znaleziska

metody datowania względnego

metody pozwalające określić starszeństwo zdarzeń, znalezisk, gatunków, warstw itp.

paleontologia

nauka z pogranicza biologii i geologii, zajmująca się organizmami kopalnymi, wyprowadzająca na podstawie skamieniałości i śladów działalności życiowej organizmów wnioski ogólne o życiu w przeszłości

Film

Trwa wczytywanie danych..



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1Fbv6wLcLNFS>

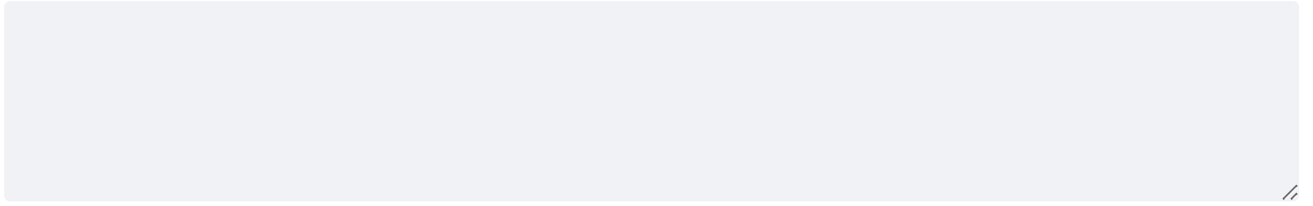
Metody datowania stosowane w badaniach nad ewolucją.

Źródło: reż. Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Nagranie filmowe pod tytułem *Metody datowania stosowane w badaniach nad ewolucją*.

Polecenie 1

Obejrzyj film i wyjaśnij w kilku zdaniach (od trzech do pięciu), co możemy zyskać dzięki datowaniu węglowemu.



Polecenie 2

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Połącz podane niżej terminy z ich prawidłowymi wyjaśnieniami.

metody datowania próbek oparte na zjawisku rozpadu promieniotwórczego, proces przypisywania zdarzeniom czasu (daty) z przeszłości, w którym mogły się one wydarzyć, struktura nadcząsteczkowa, w której występuje regularna sieć krystaliczna jednego związku chemicznego, a w jej lukach nieregularnie rozmieszczone są cząsteczki innej substancji, każdy z atomów tego samego pierwiastka chemicznego mających jednakową liczbę protonów, lecz różne liczby neutronów

izotop	
klatraty	
datowanie	
izotopowe metody datowania	

Ćwiczenie 2



Uzupełnij poniższy tekst odpowiednimi sformułowaniami.

Datowanie bezwzględnewzględne pozwala na podanie wieku znaleziska, z większym lub mniejszym marginesem błędu. Z kolei datowanie względnebezwzględne spośród dwóch zdarzeń określa, które miało miejsce wcześniej, a które później. Datowanie względne nazywane jest również datowaniem relatywnymabsolutnym. Z kolei inna nazwa datowania bezwzględnego to datowanie absolutnerelatywne.

Ćwiczenie 3



Która metoda datowania nie zalicza się do metod datowania względnego?

- metoda izotopowa
- metoda stratygraficzna
- datowanie pyłkowe
- datowanie faunistyczne

Ćwiczenie 4



Poniżej przedstawiono opis pewnej metody stosowanej w datowaniu względnym. Podaj nazwę tej metody datowania.

datowanie pyłkowe, datowanie kości, datowanie węglowe, metoda stratygraficzna, metoda porównawcza, metoda typologiczna, datowanie faunistyczne

Metoda polega na analizie ewolucji gatunków zwierząt i porównywaniu szczątków zwierząt kopalnych towarzyszących datowanemu znalezisku lub znajdujących się w tej samej warstwie z fauną innego obszaru o znanym datowaniu warstw.

Metoda ta to:

Ćwiczenie 5



Oceń, które stwierdzenia na temat metody stratygraficznej są prawdziwe, a które fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Metoda stratygraficzna zajmuje się badaniem poszczególnych warstw kopalisk.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prawo superpozycji mówi o tym, że warstwa leżąca niżej musi być młodsza od warstwy leżącej wyżej.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metoda stratygraficzna znajduje zastosowanie w przypadkach, w których nie doszło do zmian architektonicznych skał, spowodowanych ruchami tektonicznymi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metoda stratygraficzna nigdy nie może nabrać charakteru datowania bezwzględnego.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ćwiczenie 6



Uzereguj podane poniżej formy opału zgodnie ze wzrastającą zawartością węgla.

- torf
- antracyt
- węgiel brunatny miękki
- węgiel kamienny
- węgiel brunatny błyszczący

Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Jedną z metod określania wieku danego znaleziska jest datowanie radiowęglowe.

Metoda ta polega na porównaniu proporcji pomiędzy izotopem promieniotwórczym ^{14}C a izotopami trwałymi, czyli ^{12}C i ^{13}C . Należy zaznaczyć, że czas połowicznego rozpadu izotopu ^{14}C wynosi w przybliżeniu 5730 lat.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Metody datowania stosowane w badaniach nad ewolucją

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IX. Ewolucja. Uczeń:

2) przedstawia podstawowe źródła wiedzy o mechanizmach i przebiegu ewolucji;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XVI. Ewolucja. Uczeń:

2) przedstawia podstawowe źródła wiedzy o mechanizmach i przebiegu ewolucji;

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

Cele operacyjne (językiem ucznia):

- Wyjaśnisz, na czym polega metoda datowania.
- Poznasz metody datowania bezwzględnego i względnego.
- Opiszysz wybrane metody datowania.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z filmem;
- rozmowa kierowana;
- mapa myśli;
- gra dydaktyczna.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda;
- arkusze papieru, flamastry.

Przed lekcją:

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla zawartość sekcji „Wprowadzenie”. Uczniowie wspólnie z nauczycielem omawiają cele lekcji i określają kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu – praca z multimediami.** Nauczyciel wyświetla film na tablicy interaktywnej lub za pomocą rzutnika. Następnie zadaje pytania:
 - Na czym polega datowanie w badaniach nad ewolucją?
 - Czym różni się metody datowania bezwzględnego i względnego?Nauczyciel uzupełnia wypowiedzi podopiecznych, koryguje ewentualne błędy. Uczniowie zapisują ostateczną wersję odpowiedzi na drugie pytanie w formularzu do polecenia nr 2.

Faza realizacyjna:

1. **Praca w grupach z treścią e-materiału.** Nauczyciel dzieli klasę na cztery grupy. Uczniowie w każdym z zespołów omawiają między sobą jedno zagadnienie na podstawie informacji zawartych w e-materiale:

- grupa I – radiowęglowa metoda datowania;
- grupa II – potasowo-argonowa metoda datowania;
- grupa III – ultradźwiękowa i historyczna metoda datowania oraz stratygrafia;
- grupa IV – porównawcza i faunistyczna metoda datowania.

Po omówieniu zagadnień przez każdą z grup nauczyciel miesza uczniów tak, aby w każdym z nowych zespołów było przynajmniej dwóch przedstawicieli starej grupy. Każdy z uczniów przedstawia kolegom partię materiału, którą opracował wcześniej (następuje moment właściwego nauczania).

Nauczyciel prosi o wypisanie na małych kartkach pojęć, jakie uczniowie zapamiętali na dany temat. Grupy porządkują kartki w zbiory, wyszukując połączenia pomiędzy zapisanymi pojęciami. Grupy przyklejają kartki na arkuszu papieru A1, łączą strzałkami, rysują linie i dopisują nowe hasła, tworząc mapę myśli.

Przedstawiciele grup omawiają swoje mapy myśli. Nauczyciel weryfikuje informacje, w razie potrzeby uzupełnia.

2. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 5 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: wymyślają trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie wykonują ćwiczenie nr 4 (w którym mają za zadanie rozpoznać na podstawie opisu metodę stosowaną w datowaniu względnym i podać jej nazwę) z sekcji „Sprawdź się”. Chętne osoby prezentują swoją odpowiedź.
2. Nauczyciel prosi uczniów o rozwinięcie zdań: „Dziś nauczyłem/nauczyłam się...”, „Zrozumiałem/zrozumiałam, że...”, „Zaskoczyło mnie...”, „Dowiedziałem/dowiedziałam się...”.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 3 i od 6 do 8 z sekcji „Sprawdź się”.

Materiały pomocnicze:

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania filmu:

- Film można wykorzystać jako materiał służący powtórzeniu i utrwaleniu wiedzy uczniów.