



III. Atmosfera

4. Opady atmosferyczne. Fronty atmosferyczne

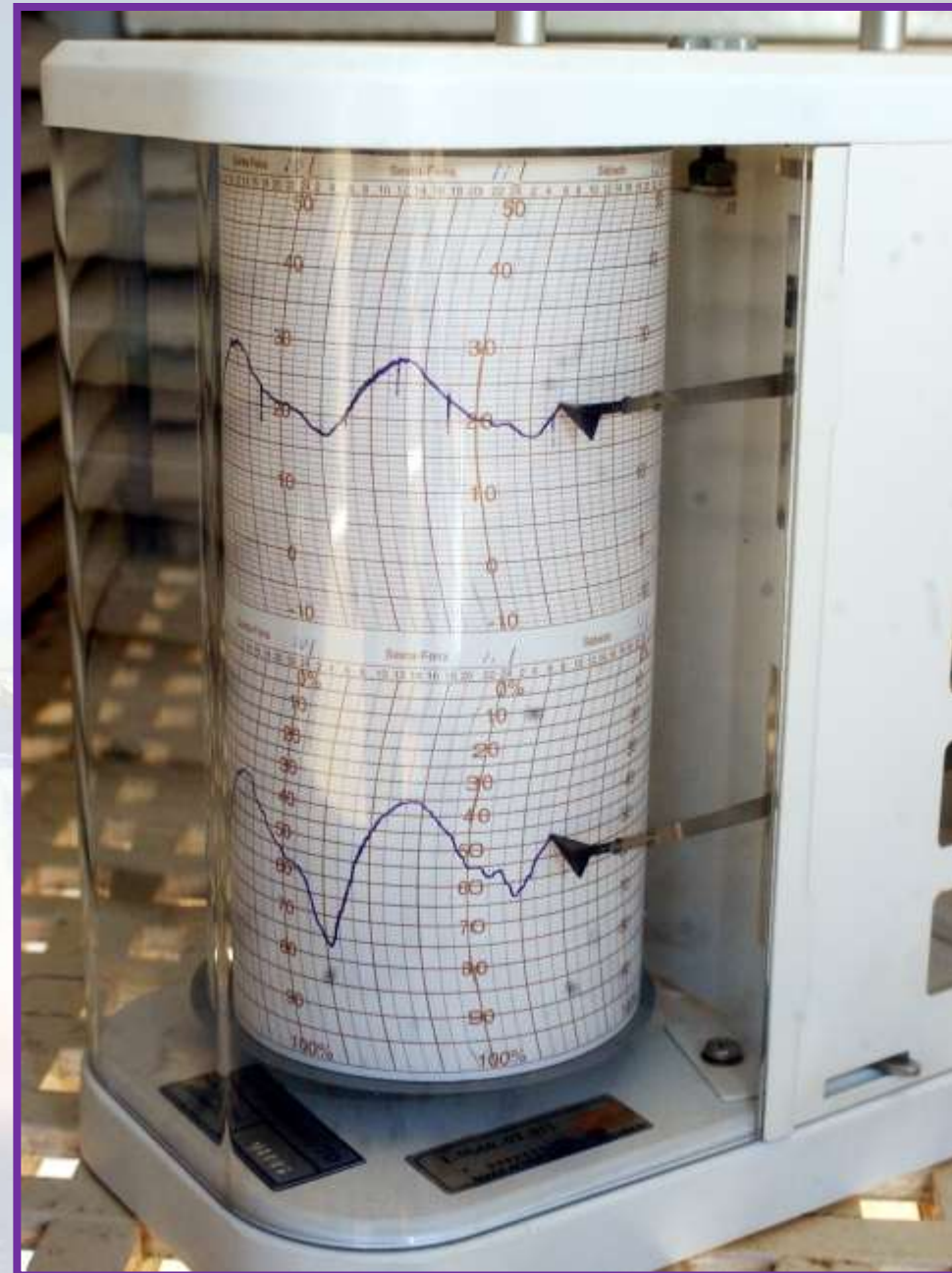
Para wodna i wilgotność powietrza atmosferycznego

- Cała **wilgoć atmosferyczna** pochodzi z **parowania wody** na powierzchni Ziemi, stąd im bliżej tej powierzchni znajduje się powietrze, tym jest wilgotniejsze.
- Najwięcej pary wodnej z reguły występuje w dolnych warstwach troposfery.
 - W wyniku konwekcji termicznej (zwykle najsilniejszej koło południa) może ona bowiem szybko odpłynąć do wyższych warstw troposfery, dzięki czemu staną się one wilgotniejsze od powietrza zalegającego przy podłożu.



Definicja wilgotności i jego rodzaje

- **Wilgotność powietrza** – oznacza zawartość w nim pary wodnej.
 - Zawartość pary wodnej w atmosferze podlega ciągłym zmianom przestrzennym i czasowym.
- **Bezwzględna wilgotność powietrza** – masa pary wodnej zawarta w jednostce objętości powietrza, czyli jest to:
 - ilościowy stosunek masy pary wodnej do objętości powietrza (w g/m^3).
 - Zależy ona od aktualnej temperatury powietrza.
- **Względna wilgotność powietrza** – stosunek ilości pary wodnej zawartej w danej chwili w powietrzu do ilości pary wodnej, jaka maksymalnie może się w nim zmieścić w danej temperaturze i ciśnieniu (wyrażona w %):
 - **powietrze nasycone** – występuje jeżeli wilgotność względna powietrza wynosi 100%.
 - **niedosyt wilgotności** – obecny jest kiedy wilgotność względna jest mniejsza niż 100%.
 - Im większy jest niedosyt wilgotności – tym większe jest parowanie.

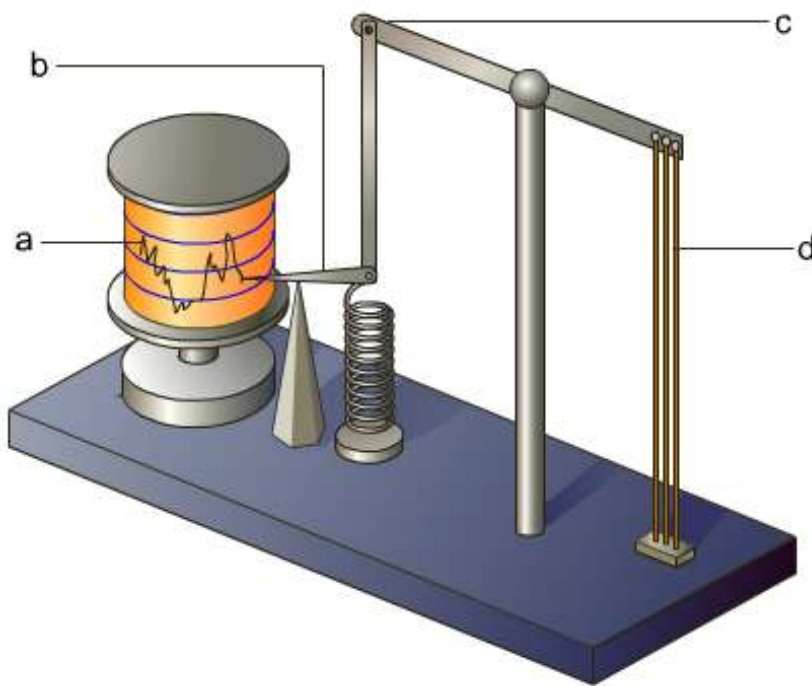


Higrometr = urządzenie do pomiaru wilgotności

- **Higrometr** – to urządzenie służące do określania wilgotności powietrza.
- **Higrograf** – jest odmianą higrometru, która samoczynnie rejestruje stan i zmiany wilgotności powietrza.
- Zapis w tym przypadku jest dokonywany na wyskalowanym papierze nałożonym na obrotowy bęben.

→ Schemat budowy higrografu:

- a – skala wilgotności,
- b – wskaźnik,
- c – dźwignia,
- d – włosy.



Czynniki wpływające na intensywność parowania

- **Intensywność parowania** zależy przede wszystkim od:
 - **temperatury powierzchni parującej:**
 - rośnie wraz z nią;
 - **stopnia nasycenia powietrza parą wodną:**
 - wzrost wilgotności powietrza ogranicza parowanie;
 - **szybkości przemieszczania się powietrza nad powierzchnią parującą:**
 - większe parowanie przy większej prędkości wiatru;
 - **ciśnienia powietrza nad powierzchnią parującą:**
 - rośnie wraz z jego spadkiem;
 - **pokrycia terenu:**
 - rośliny magazynują wodę, którą później oddają do atmosfery;
 - utwory piaszczyste i żwirowe – silnie chłoną wodę, lecz słabo parują;
 - utwory nieprzepuszczalne, np. beton uniemożliwia wsiąkanie, przez co zwiększa parowanie;
 - **ukształtowanie powierzchni:**
 - im większe nachylenie, tym szybszy spływ, a mniejsze parowanie;
 - **ekspozycji stoku:**
 - powierzchnie lepiej nasłonecznione szybciej parują.



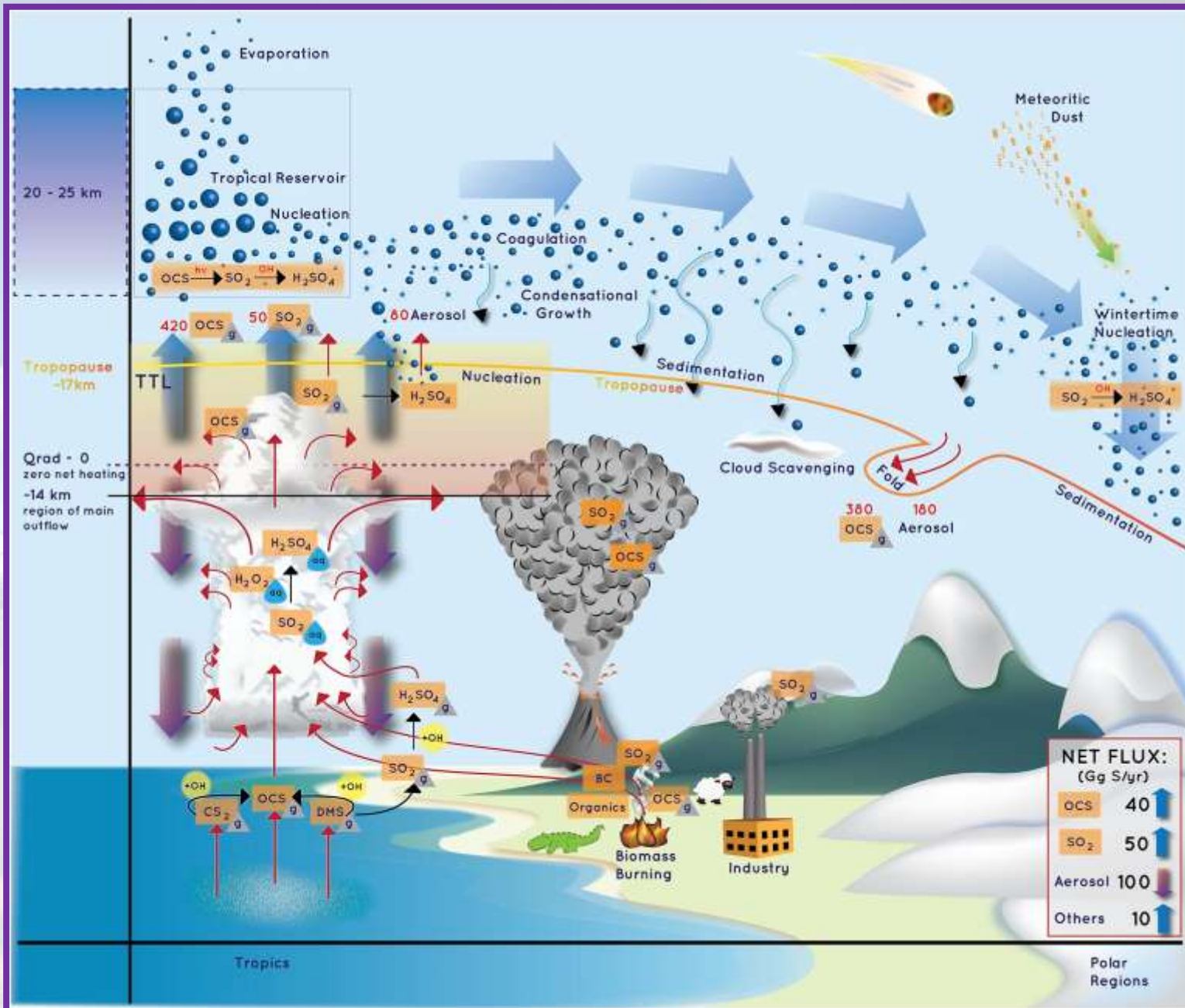
Kondensacja pary wodnej

- **Para wodna**, będąca w atmosferze **w stanie gazowym** może ulec:
 - **skropleniu (kondensacji)** – przekształceniu **w kropelki wody (w stan ciekły)**,
 - **resublimacji** – przekształceniu **w kryształki lodu (w stan stały)**.
- Proces przechodzenia ze stanu gazowego w ciecz lub stan stały jest uwarunkowany:
 - względną wilgotnością powietrza,
 - odpowiednim obniżeniem temperatury,
 - występowaniem **jąder kondensacji** bez których ta kondensacja nie rozpocznie się, nawet przy odpowiednim spadku temperatury i przesyleniu powietrza parą wodną.



Jądra kondensacji

- **Jądra kondensacji** – to mikroskopijnych rozmiarów pyły i ciecze organiczne lub mineralne unoszące się w powietrzu atmosferycznym, które warunkują oraz przyspieszają proces skraplania pary wodnej w atmosferze.
- Najczęściej są one niewidzialne dla oka ludzkiego i są to, m.in.:
 - cząsteczki soli morskich,
 - bakterie, wirusy, zarodniki roślin, obumarłe komórki roślin i grzybów,
 - pyły (eoliczne, wulkaniczne),
 - zanieczyszczenia (pyły przemysłowe, komunikacyjne i produkty spalania).



Temperatura punktu rosy

- **Temperatura punktu rosy (punkt rosy)** – to wartość temperatury, w której powietrze zostanie nasycone parą wodną.
 - Osiągnięcie tej temperatury zwykle wynika ze spadku temperatury, niekiedy tylko z intensywnego parowania z ciepłego podłoża do chłodnej masy powietrza o okresowo ustabilizowanej temperaturze.
- Jej spadek poniżej punktu rosy powoduje skraplanie (kondensację) nadmiaru pary wodnej (przemianę fazową takich jej ilości, które przy danej temperaturze przekraczają stan nasycenia).
 - Dzieje się to w **strefie kondensacji**, której dolną granicę wyznacza **poziom punktu rosy**, zaś górną **poziom zamarzania**.
 - Wysokości, na których znajdują się te strefy, zmieniają się wraz z dobowymi i rocznymi wahaniami temperatury.



Produkty kondensacji i resublimacji pary wodnej

- W wyniku **kondensacji i resublimacji** pary wodnej powstają:
 - **osady atmosferyczne,**
 - **mgły i chmury,**
 - **opady atmosferyczne.**



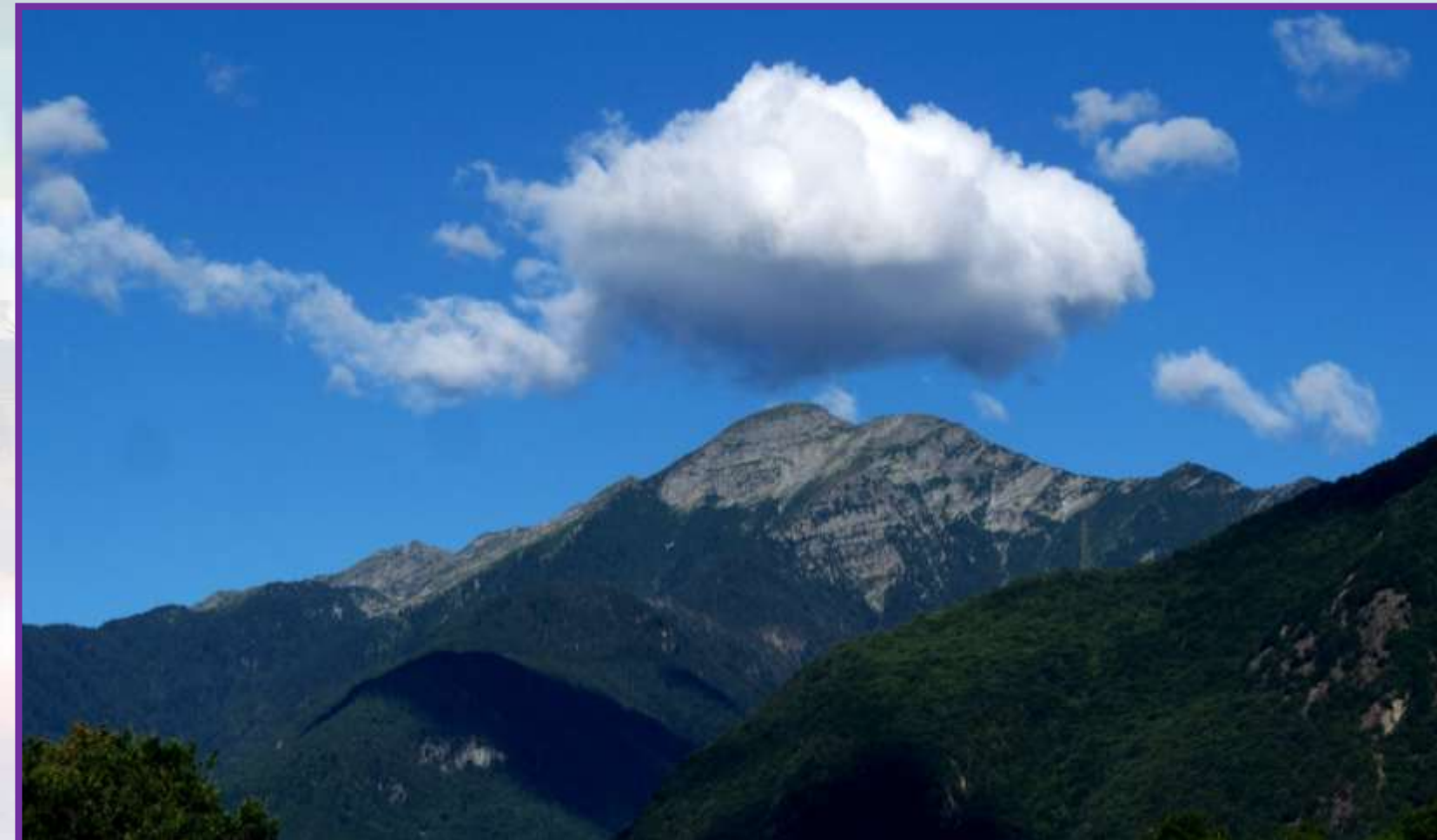
Chmury

- Największymi skupiskami produktów kondensacji i resublimacji pary wodnej są **chmury**.
- Najwięcej chmur powstaje i rozwija się tam, gdzie warunki do kondensacji pary wodnej są najbardziej sprzyjające, czyli **wzdłuż frontów atmosferycznych i na dowietrznych stokach gór**.
- Z tych obszarów są one przenoszone z prądami powietrza do rejonów o odmiennej temperaturze i wilgotności, co warunkuje ich narastanie lub zanikanie oraz przekształcanie się.
- W rezultacie stopień zachmurzenia oraz rodzaje chmur się zmieniają.



Skład chmur

- Chmury mogą składać się wyłącznie z kropelek wody (**chmury wodne**) lub z kryształków lodu (**chmury lodowe**).
- W obu przypadkach są to **chmury jednorodne**.
- Najczęściej jednak powstają **chmury mieszane**, złożone z kropelek wody i kryształków lodu wymieszanych w różnych proporcjach.



Rodzaje chmur i ich związek z opadami

→ W zależności od **rodzaju chmury** mogą nastąpić lub nie opady różnego typu i rodzaju, np. **deszcz, śnieg, grad**.

NAZWA CHMUR		Występowanie (Pietra)	Rodzaj opadu
POLSKA	ŁACIŃSKA (SYMBOL)		
➤ Pierzaste	➤ Cirrus (Ci)	Piętro górne. Chmury wysokie, których podstawa sięga powyżej 7 km nad Ziemią	Nie wywołują opadów
➤ Pierzasto – kłębiaste	➤ Cirrocumulus (Cc)		
➤ Pierzasto – warstwowe	➤ Cirrostratus (Cs)		
➤ Średnie kłębiaste	➤ Altocumulus (Ac)	Piętro średnie. Chmury średnie tworzą się przeważnie na wysokościach od 2 do 7 km nad Ziemią	Raczej nie wywołują opadów Deszcz i śnieg
➤ Średnie warstwowe	➤ Altostratus (As)		
➤ Warstwowo – deszczowe	➤ Nimbostratus (Ns)	Piętro dolne. Chmury niskie tworzą się do wysokości 2 km ponad powierzchnią Ziemią	Deszcz i śnieg Deszcz i śnieg, krupa śnieżna Mżawka, śnieg ziarnisty
➤ Warstwowo – kłębiaste	➤ Stratocumulus (Sc)		
➤ Warstwowe	➤ Stratus (St)		
➤ Kłębiaste	➤ Cumulus (Cu)	Chmury o budowie pionowej. występujące najczęściej w dolnym i średnim piętrze wysokościowym	Deszcz Deszcz, grad, śnieg i krupa lodowa
➤ Kłębiasto – deszczowe	➤ Cumulonimbus (Cb)		

Rodzaje chmur, ich wygląd i charakterystyka

- Międzynarodowa klasyfikacja chmur opiera się na ich wyglądzie zewnętrznym.
- Wyróżnia 10 rodzajów chmur, które dzieli na gatunki i odmiany:
 - szczegółowe informacje o chmurach zawiera **Międzynarodowy atlas chmur**.



Piętro wysokie: pierzasta (Cirrus/Ci)

→ Chmura pierzasta (Cirrus/Ci):

- pojedyncza, o delikatnej budowie, włóknista, mająca postać kłaczków, nitek;
- zbudowana z rozproszonych kryształków lodu;
- zwykle cienka, prawie nie zmniejsza dopływu promieniowania słonecznego;
- biała;
- nie daje opadów;
- często zapowiada zmianę pogody – nadciąganie strefy opadowej.



Piętro wysokie: kłębiasto-pierzasta (Cirrocumulus/Cc)

→ Chmura kłębiasto-pierzasta (Cirrocumulus/Cc):

- ławica złożona z białych, drobnych, prawie przezroczystych kłębków (płatków, kłębuszków, zmarszczek itp.), przypominająca soczewki lub ości ryby, “baranki”;
- zbudowana prawie wyłącznie z kryształków lodu, sporadycznie może zawierać przechłodzone krople wody;
- nie daje opadów (jeżeli się zdarzą to wyparowują, zanim osiągną powierzchnię Ziemi – jest to tzw. **zjawisko virga** – opadem są kryształki lodu zwane **pyłem diamentowym**);
- poprzedza front chłodny.



Piętro wysokie: warstwowo-pierzasta (Cirrostratus/Cs)

→ Chmura warstwowo-pierzasta (Cirrostratus/Cs):

- pokrywa niebo całkowicie lub częściowo;
- biaława, delikatna zasłona;
- jest zbudowana głównie z kryształków lodu;
- nie zaciera konturów Słońca lub Księżyca;
- daje zjawisko (widoczne na górnym zdjęciu) zwane **halo** (zjawisko świetlne mające postać pierścienia wokół tarczy Słońca, będące wynikiem załamania się promieni światła i odbijania się ich od ścian kryształków lodu);
- zapowiada pogorszenie pogody (front ciepły).



Piętro średnie: średnia kłębiasta (Alto cumulus/Ac)

- **Chmura średnia kłębiasta (Alto cumulus/Ac):**
 - biała lub szara ławica chmur, złożona z zaokrąglonych płatów, brył, "baranków" większych niż w przypadku chmury Cc;
 - miejscami silnie spiętrzona, o zróżnicowanym oświetleniu, lokalnie dająca cień;
 - zbudowana głównie z kropelek wody (latem) lub kryształków lodu (zimą);
 - z reguły nie daje opadów (mogą wywoływać **virgo** – opady nie docierające do powierzchni Ziemi);
 - zapowiada pogorszenie pogody.



Piętro **średnie**: średnia warstwowa (Altostratus/As)

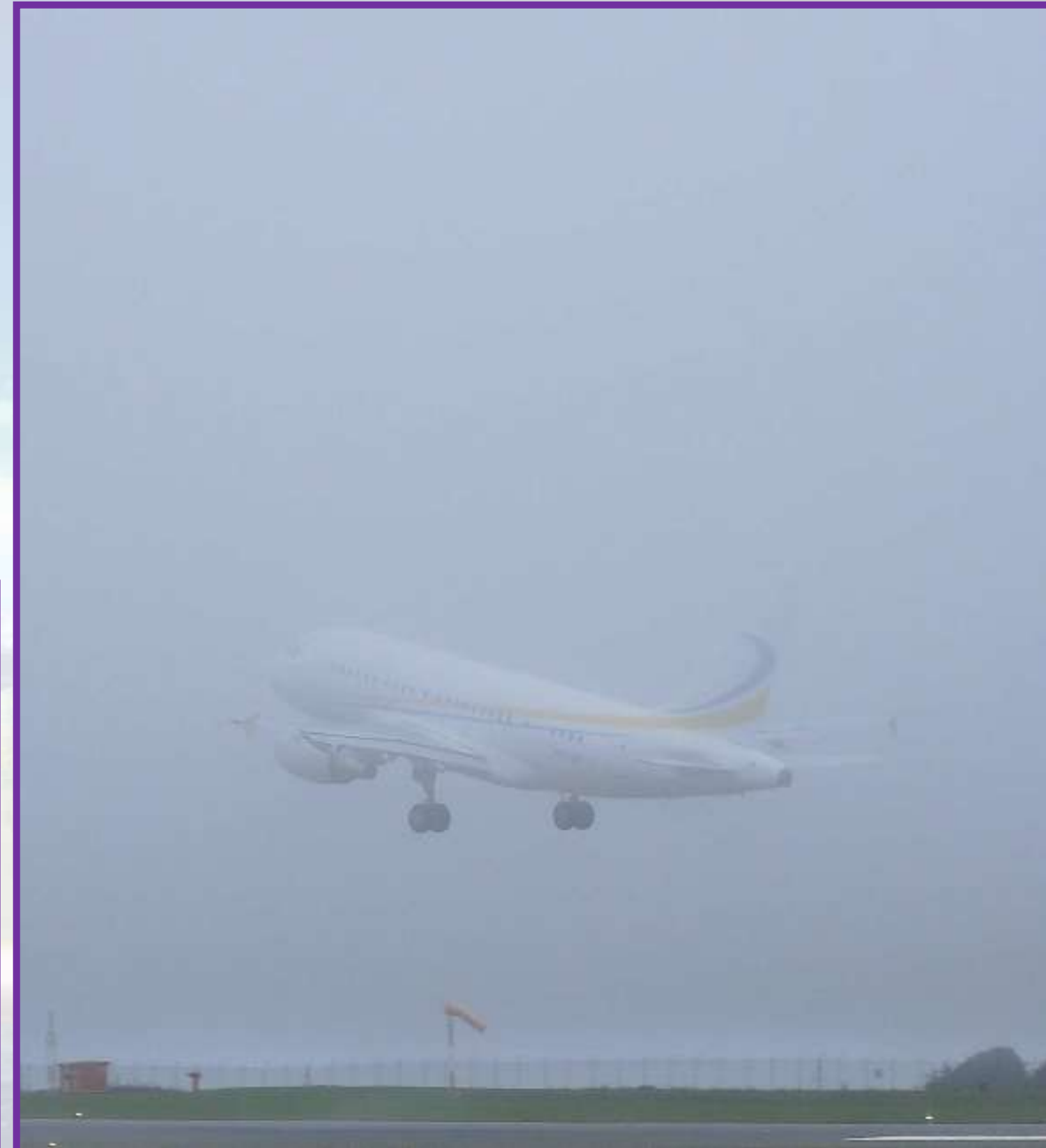
→ **Chmura średnia warstwowa (Altostratus/As):**

- szara lub niebieskoszara ławica chmur o włóknistej strukturze, przez które słabo prześwieca Słońce;
- pokrywa niebo całkowicie lub częściowo;
- typowe chmury mieszane, zbudowane z kropelek wody i kryształków lodu;
- zimą daje opad drobnego śniegu,
 - w lecie wywołuje opady bardzo drobnego deszczu, tzw. **"kapuśniaczka"**.



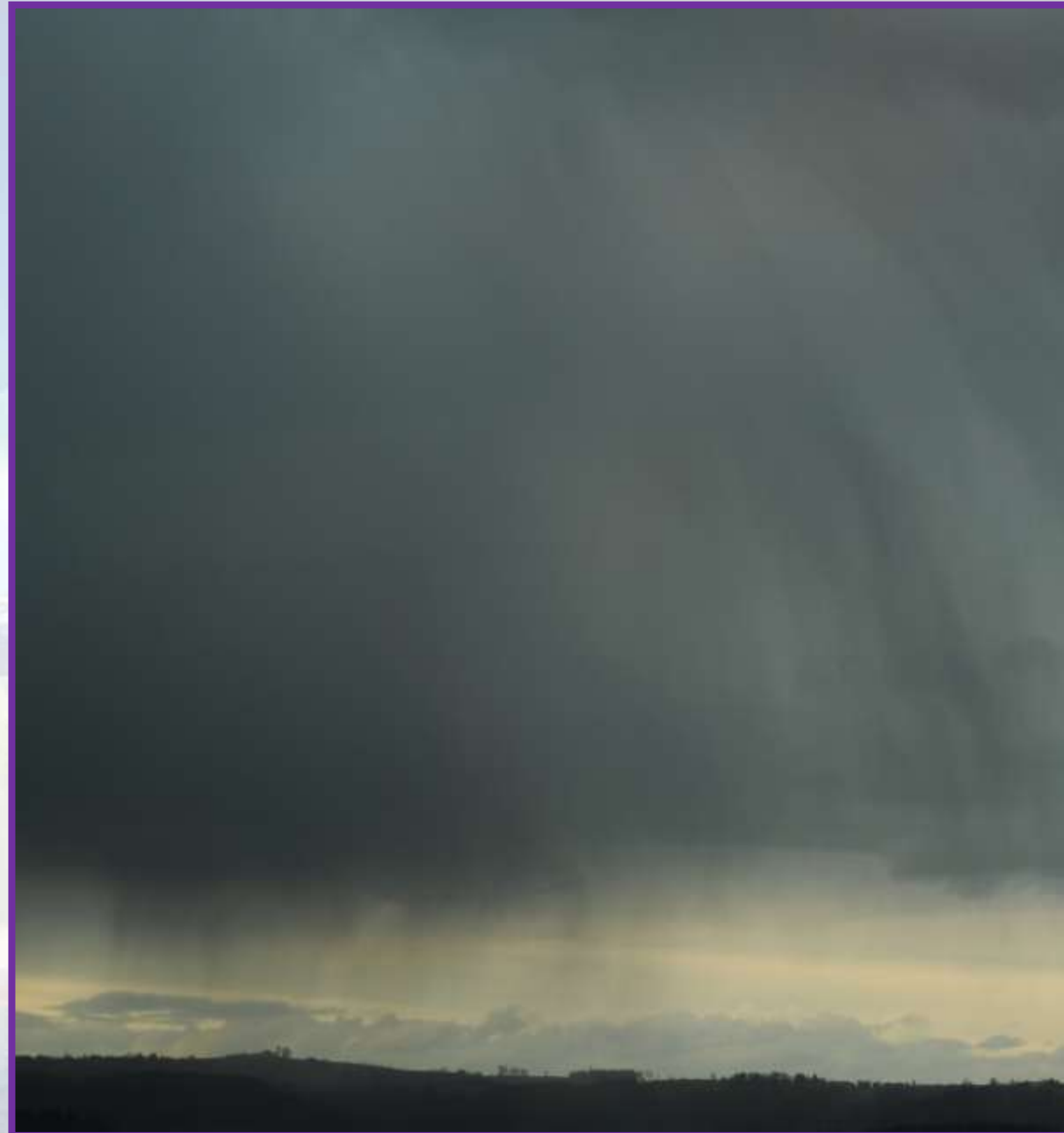
Piętro niskie: warstwowa (Stratus/St)

- **Chmura warstwowa (Stratus/St):**
 - niska, mogąca się wznosić kilkadziesiąt metrów nad powierzchnią Ziemi warstwa chmur (mogą przysłaniać wyższe budynki lub wzniesienia terenu);
 - o jednolitej podstawie;
 - mglista, pokrywająca całe niebo;
 - zbudowana głównie z kropelek wody,
 - w niskiej temperaturze z kryształków lodu;
 - daje słaby opad: mżawki, drobnego śniegu, krupy lodowej i słupków lodowych.



Piętro niskie: warstwowo – deszczowa (Nimbostratus/Ns)

- **Chmura warstwowo – deszczowa (Nimbostratus/Ns):**
 - warstwa chmur o dość znacznej grubości, dochodzącej do kilku kilometrów oraz o bardzo dużej długości (liczonej często w setkach km);
 - ciemnoszara;
 - nie prześwituje przez nie Słońce;
 - w dole często postrzępiona;
 - zbudowana głównie z kropel wody, a w górnej części z kryształków lodu;
 - daje długotrwałe i średnio intensywne opady deszczu, śniegu, krupy śnieżnej.



Piętro niskie: kłębiasto-warstwowa (Stratocumulus/Sc)

→ Chmura kłębiasto-warstwowa (Stratocumulus/Sc):

- ławice lub warstwy szarych bądź białawych chmur o wyraźnie kłębiastej budowie, charakterystycznych członach w postaci płatów, zaokrąglonych brył, walców, jednak większych niż w wypadku chmury Ac;
- zbudowana głównie z kropel wody, czasem krup śnieżnych lub płatków śniegu, rzadko z kryształków lodu;
- daje słaby opad deszczu, śniegu lub krup śnieżnych.



Chmury o budowie pionowej: kłębiasta (Cumulus/Cu)

→ Chmura kłębiasta (Cumulus/Cu):

- wyraźna postać kłębu o ciemniejszej podstawie;
- w znacznych częściach biała, może występować pojedynczo lub w ławicach;
- czasami wyraźnie zaokrąglona, postrzępiona lub o płaskiej podstawie;
- o budowie pionowej;
- zbudowana zazwyczaj z kropelek wody;
- na ogół nie daje opadów (jeżeli pojawi się opad – jest krótkotrwały ale krople mogą być stosunkowo duże);
- towarzyszy jej piękna pogoda.



Chmury o budowie pionowej: kłębiasta deszczowa (Cumulonimbus/Cb)

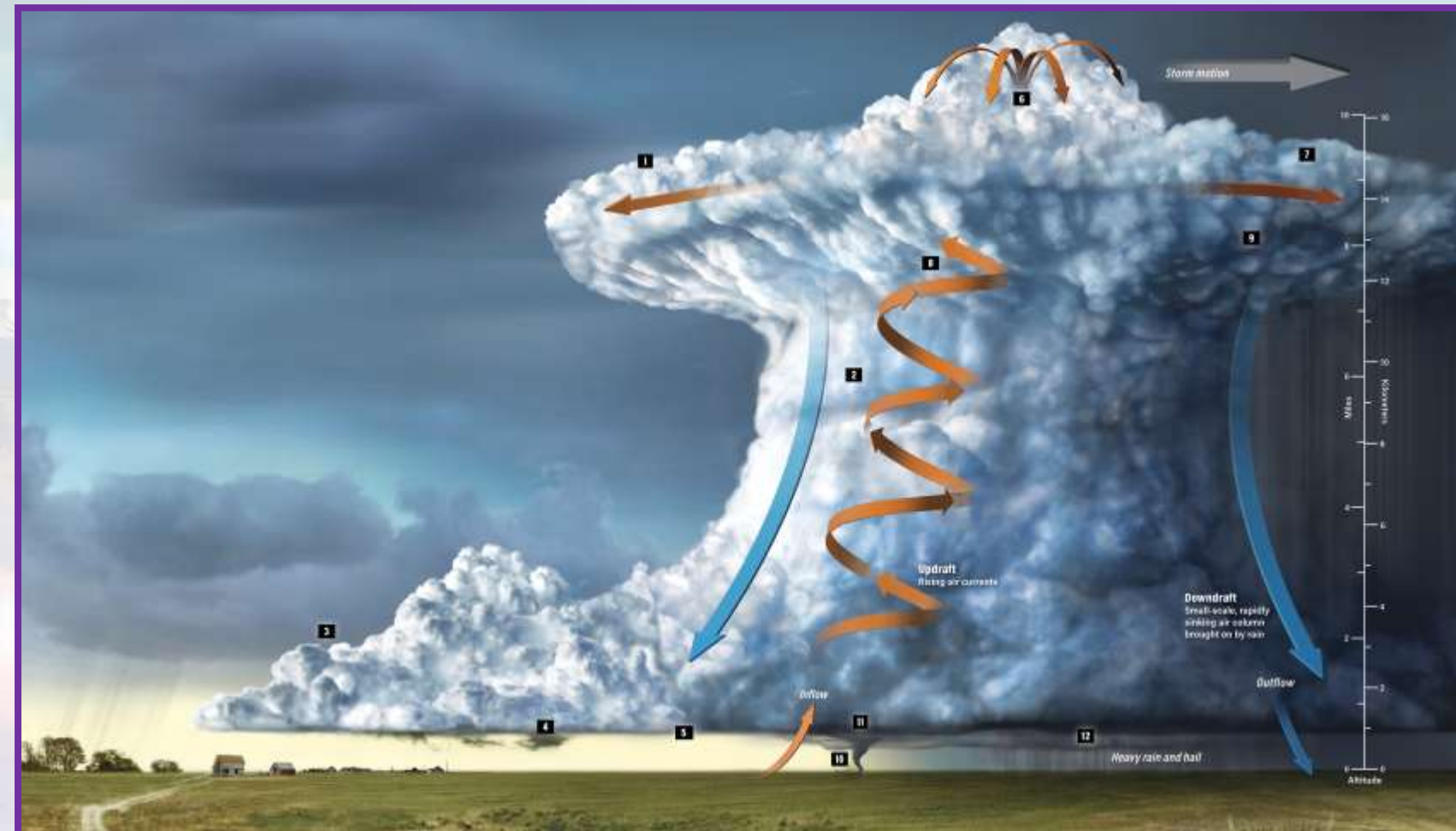
→ Chmura kłębiasta deszczowa (Cumulonimbus/Cb):

- pojedyncza, silnie rozbudowana w pionie chmura (do ponad 12 km);
- często w kształcie gór, wież, ogromnych kalafiorów;
 - górna część w kształcie kowadła;
- oświetlona przez Słońce jest biała, jednak bezpośrednio nad miejscem obserwacji ciemna;
- daje krótkie, gwałtowne ulewy, często połączone z wyładowaniami atmosferycznymi oraz silnym wiatrem;
- w dolnej części zazwyczaj zbudowana z kropelek wody, w środkowej – mieszanina kropel wody i kryształków lodu, w górnej – z kryształków lodu,
 - może dać opad gradu, krupy śnieżnej;
- na ich tle często obserwuje się tęczę.



Chmury o budowie pionowej: Kłębiasta deszczowa (Cumulonimbus/Cb)

- **Chmury Cumulonimbus** przyczyniają do powstania najbardziej intensywnych burz, choć szybko przechodzących, opadów atmosferycznych, którym towarzyszą wyładowania atmosferyczne.
- Tak silnie rozbudowana chmura jest miejscem tworzenia się intensywnych prądów wstępujących oraz zstępujących (przyczyniających się chociażby do zjawiska tzw. szkwału).
- Siła wyzwalamana jest także w postaci trąb powietrznych oraz intensywnych gradobić.



Rozpoznaj główne rodzaje chmur widoczne na zdjęciach

1.



2.



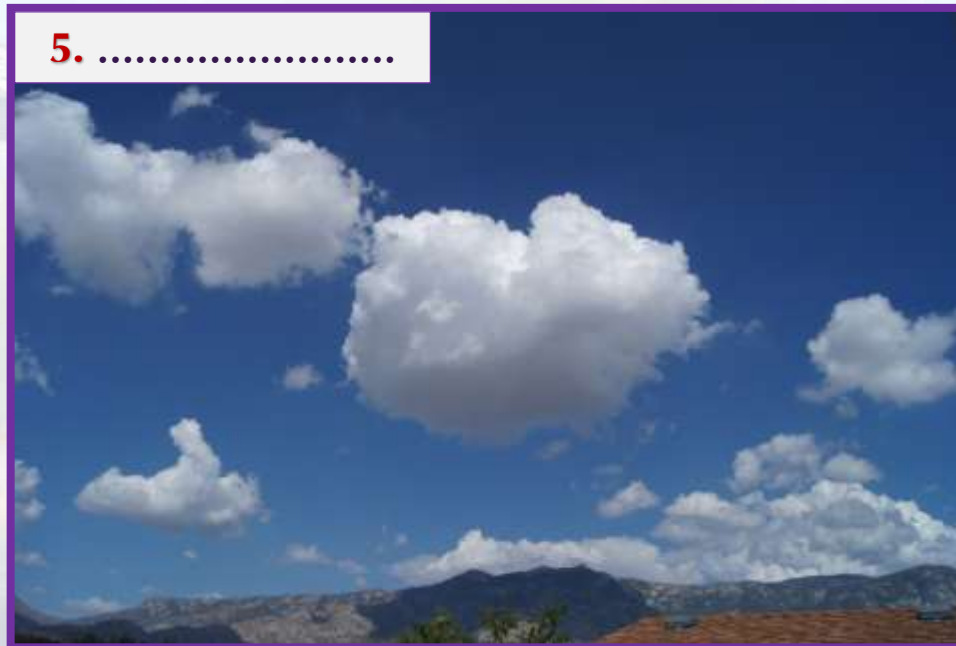
3.



4.



5.



Rozpoznaj główne rodzaje chmur widoczne na zdjęciach (rozwiązanie)

1. Cirrocumulus (Cc)



2. Altocumulus (Ac)



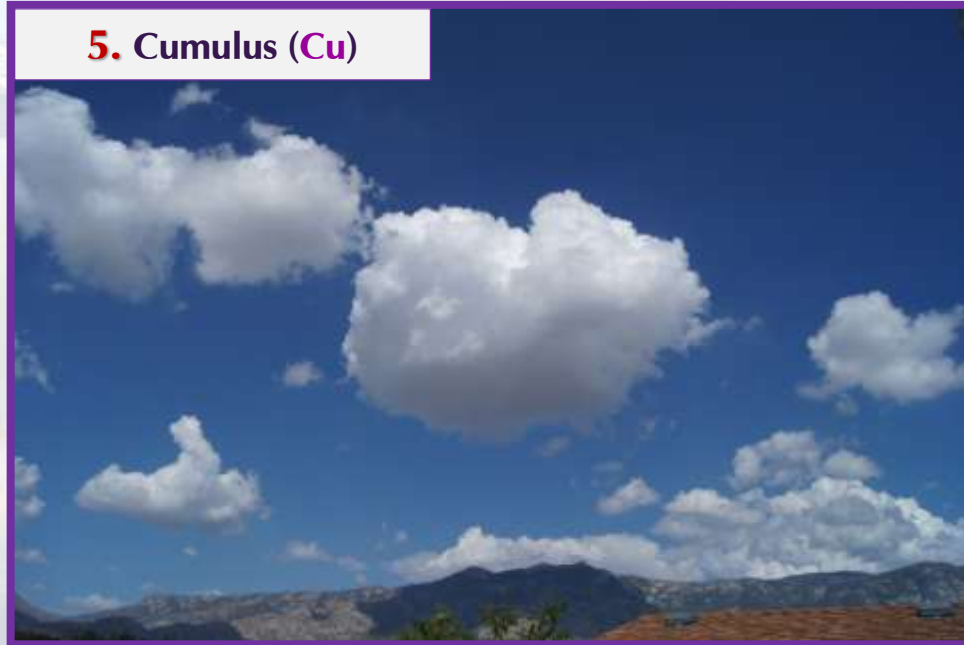
3. Stratocumulus (Sc)



4. Cumulonimbus (Cb)



5. Cumulus (Cu)

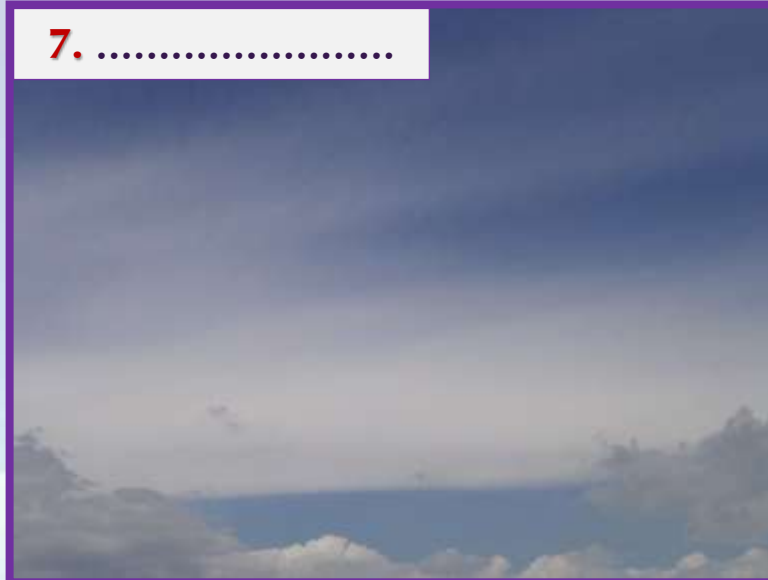


Rozpoznaj główne rodzaje chmur widoczne na zdjęciach

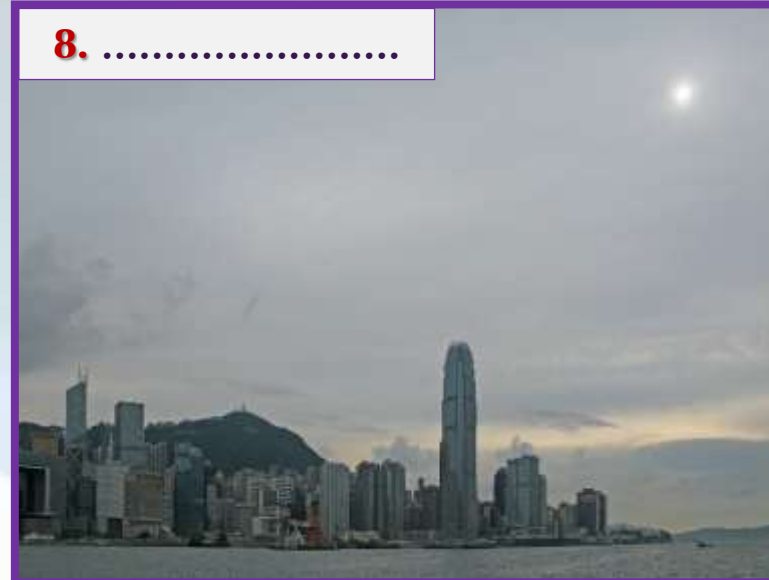
6.



7.



8.



9.



10.

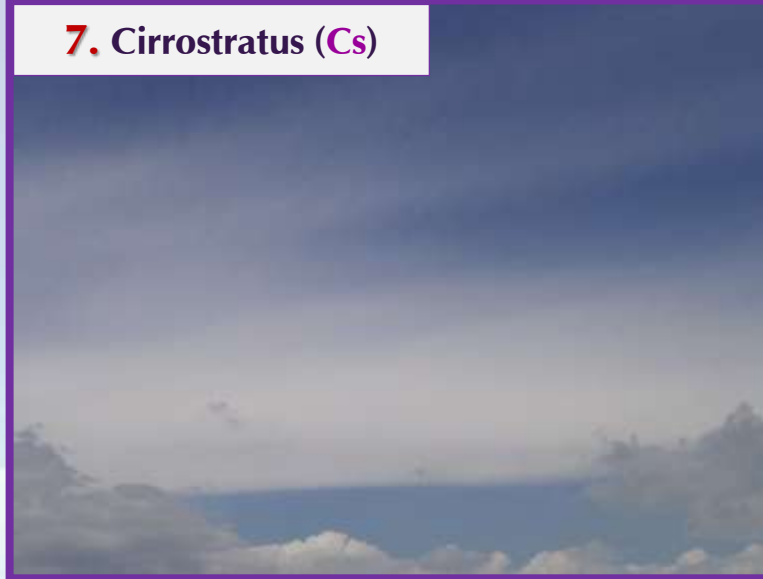


Rozpoznaj główne rodzaje chmur widoczne na zdjęciach (rozwiązanie)

6. Cirrus (Ci)



7. Cirrostratus (Cs)



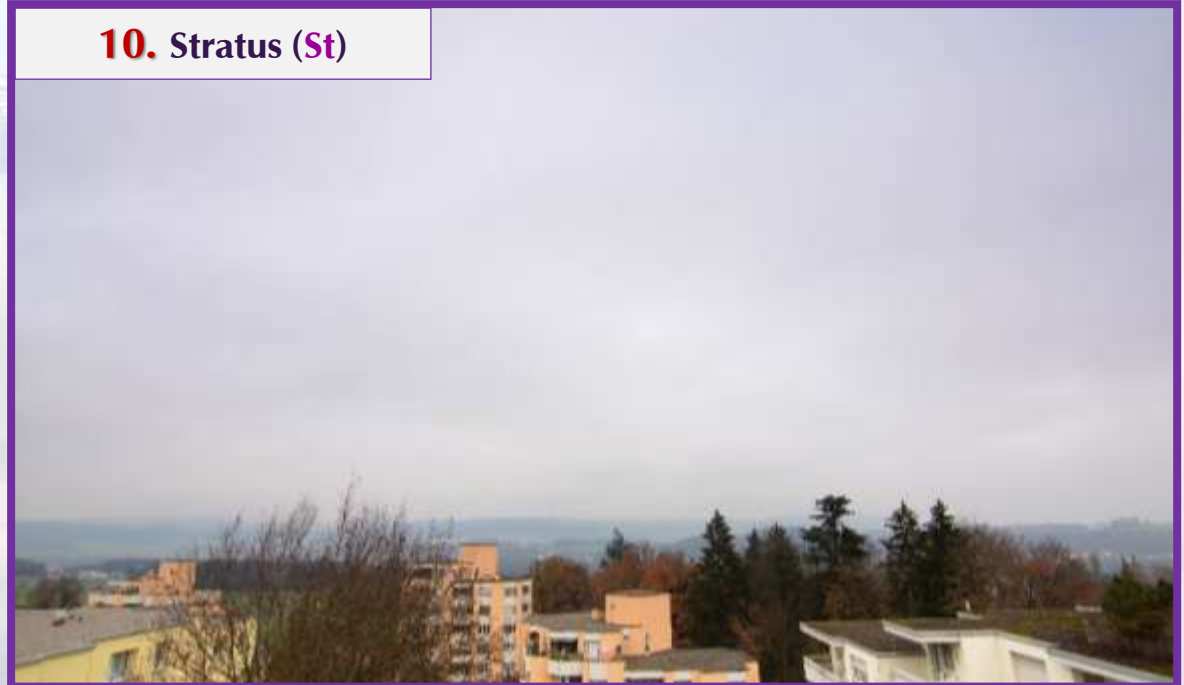
8. Altostratus (As)



9. Nimbostratus (Ns)



10. Stratus (St)



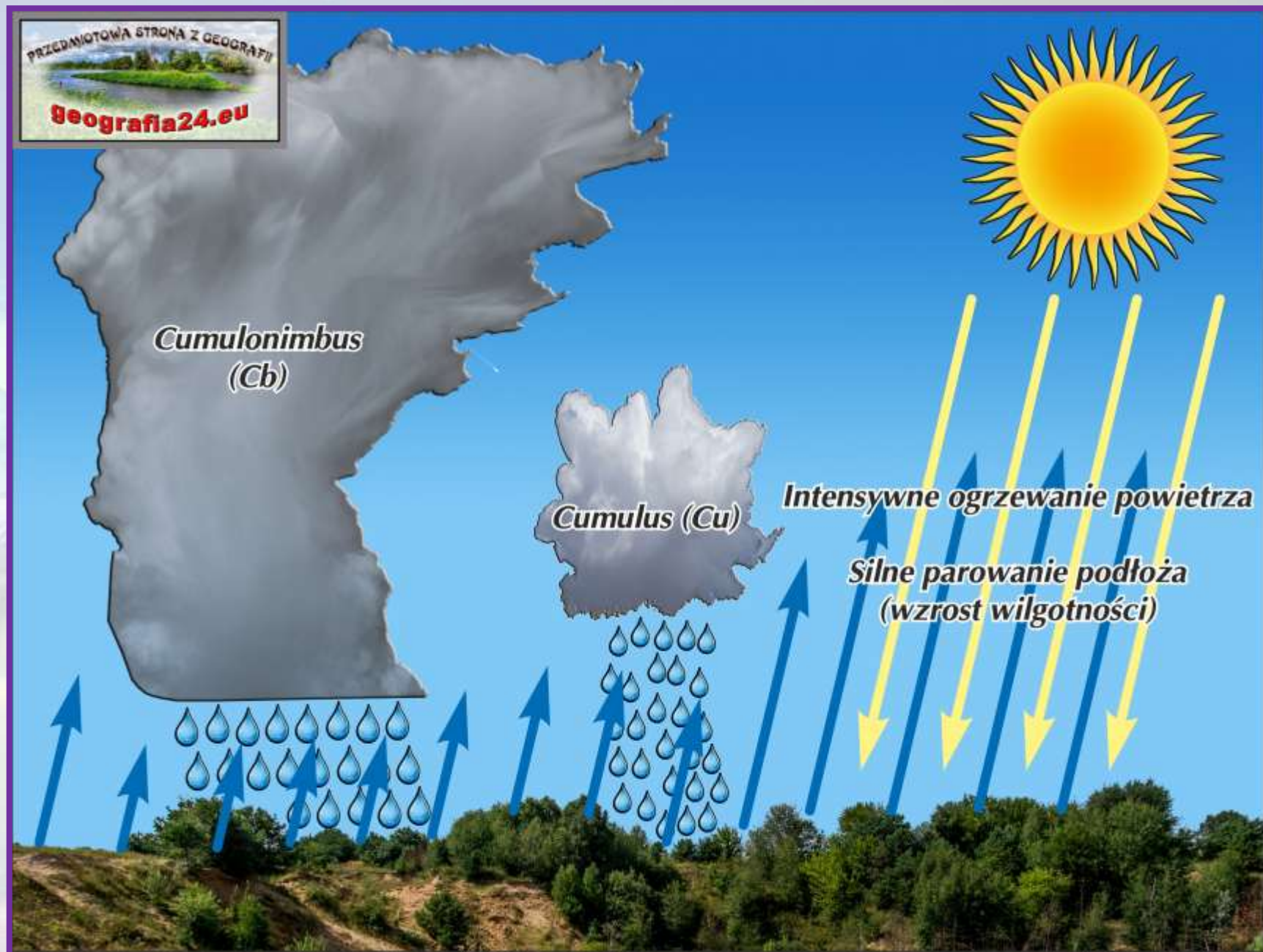
Warunki tworzenia chmur

- Warunki sprzyjające powstawaniu chmur są w zasadzie tożsame z tymi, które umożliwiają **kondensację pary wodnej**.
- Chmury najczęściej tworzą się w wyniku **szybkiego wznoszenia się powietrza**.
- Rzadziej na skutek: **różnic temperatury** między **powietrzem i podłożem** (kształtowanych przez napływ mas powietrza o odmiennej w stosunku do podłoża temperaturze lub w wyniku wypromieniowywania ciepła z podłoża) oraz mieszania się **ciepłego i chłodnego powietrza**.



Chmury konwekcyjne

- **Chmury konwekcyjne** – powstają w wyniku silnego ogrzewania podłoża przyczyniającego się do wznoszenia i adiabatycznego ochładzania się powietrza.
- Są to przede wszystkim silnie rozbudowane w pionie chmury kłębiasto – deszczowe (**Cumulonimbus**) i występujące na różnych piętrach chmury kłębiaste (**Cumulus**) oraz w mniejszym stopniu chmury pierzaste (**Cirrus**), warstwowo – pierzaste (**Cirrostratus**), średnie warstwowe (**Altostratus**) i warstwowo – deszczowe (**Nimbostratus**).



Osady atmosferyczne

- **Osady atmosferyczne** – powstają, gdy produkty kondensacji pary wodnej osadzają się na wychłodzonych powierzchniach ziemi, roślin i przedmiotów.
- Z sytuacją tą mamy najczęściej do czynienia podczas:
 - silnego wypromieniowywania ciepła w czasie nocnych, bezchmurnych nocy podczas których wiatr jest bardzo słaby (najlepiej w czasie bezwietrznych nocy),
 - zetknięcia ciepłego i wilgotnego powietrza z zimnym podłożem.



Szron zimą



Rosa latem

Rosa

- **Rosa** – posiada postać kropel wody na powierzchni przedmiotów, gruntu, skał i roślin.
- Tworzy się w wyniku skraplania się (kondensacji) pary wodnej “zawieszonej” w powietrzu w ciepłej porze roku:
 - przy bezchmurnej, bezwietrznej i bezdeszczowej pogodzie:
 - intensywne wypromieniowanie ciepła z podłoża;
 - występuje wieczorem, w nocy, nad ranem, gdy temperatura spada poniżej punktu rosy, para wodna kondensuje na wychłodzonych przedmiotach.



Szron

- **Szron** – ma postać kryształków lodu (zwykle drobnych i często rozgałęzionych igieł lodowych) na powierzchni przedmiotów, gruntu.
- Powstaje w wyniku skraplania się pary wodnej zawartej w powietrzu przy ujemnej temperaturze – prowadzi do resublimacji (przejścia pary wodnej bezpośrednio w stan stały).
- Tworzy się w chłodnej porze roku:
 - przy bezchmurnej, bezwietrznej i bezdeszczowej pogodzie (intensywne wypromieniowanie ciepła z podłoża),
 - wieczorem, w nocy, nad ranem, gdy temperatura spada poniżej punktu rosy, para wodna kondensuje w postaci kryształków na wychłodzonych poniżej 0°C przedmiotach.



Szadź (sadź)

- **Szadź (sadź)** – ma postać pozlepianych ze sobą kryształków lodowych, osadzających się na powierzchni przedmiotów, gruntu i roślin.
- Występuje zwykle w postaci srebrzystobiałego i krystalicznego nalotu o grubości dochodzącej nawet do kilkadziesiąt cm – jeżeli trwa wiele dni).
- Powstaje w wyniku zamarzania małych i silnie wychłodzonych kropelek tworzących mgłę lub niską chmurę podczas bezpośredniego kontaktu z przedmiotem.
- Tworzy się w czasie mrozów:
 - podczas napływu wilgotnego powietrza w postaci mgły,
 - lodowe igły tworzą się w kierunku, z którego napływa wilgotne powietrze.



Gołoledź

- **Gołoledź** – ma postać warstwy jednorodnego, przezroczystego i gładkiego lodu.
- Tworzy się na przedmiotach oziębionych poniżej 0°C:
 - gdy po mroźnej i suchej pogodzie przychodzi ocieplenie, przynoszące opady,
 - w wyniku zamarzania spadających kropel opadu.



Mgły

- **Mgła** – jest skupiskiem mikroskopijnych kropelek wody, powstałych w wyniku kondensacji pary wodnej przy powierzchni Ziemi, których koncentracja uniemożliwia dostrzeżenie czegokolwiek w odległości większej od 1 km.
- Przy mniejszej koncentracji tych kropelek mamy do czynienia z **zamgleniami**.
- Mamy z nimi do czynienia zazwyczaj w początkowych i końcowych stadiach formowania się mgieł.



Mgła



Zamglenie

Mgły radiacyjne

→ **Mgły radiacyjne:**

- powstają w wyniku wychłodzenia powierzchni ziemi i znajdującego się nad nim powietrza, najczęściej w bezchmurne i bezwietrzne letnie noce, podczas których dochodzi do wypromieniowania ciepła z podłoża i spadku temperatury;
- zanikają tuż po wschodzie w wyniku szybkiego wyparowywania lub wzmożonej cyrkulacji powietrza;
- mgłom radiacyjnym towarzyszy przyziemna inwersja temperatury (występuje na wysokości występowania mgieł);
- występują w zagłębieniach terenu w obrębie terenów podmokłych (bagien, torfowisk, łąk, polan leśnych);
- zasięg lokalny, zwykle o małej grubości (do kilku metrów wysokości),
 - grubsze i bardziej rozległe, do kilkuset metrów, jedynie w głębszych kotlinach.



Mgły adwekcyjne

→ **Mgły adwekcyjne:**

- najczęściej spotykane są na wybrzeżach morskich – związane jest to z napływem ciepłego i wilgotnego powietrza nad chłodne podłoże (zarówno w wyniku nasuwania się powietrza morskiego nad ląd, jak i lądowego nad morze);
- zwykle towarzyszy im zjawisko inwersji temperatury;
- odznaczają się rozległym zasięgiem;
- często mają dużą grubość,
 - wynosi ona zwykle kilkadziesiąt metrów, ale może nawet sięgać aż do 1-2 km.



Mgły z mieszania (zmieszania)

- **Mgły z mieszania (zmieszania):**
 - powstają w wyniku mieszania się mas powietrza zimnego i ciepłego w miejscach ich kontaktu, przyczyniając się do zjawiska zwanego “dymieniem mórz (jezior)”;
 - najczęściej spotykane są na wybrzeżach w miejscach:
 - występowania dużych kontrastów termicznych, szczególnie w morzach subpolarnych,
 - opływanych przez zimne prądy morskie, szczególnie w strefie podzwrotnikowej i zwrotnikowej (np. na pustyni Namib i Atakama);
 - zasięg zwykle rozległy (niezbyt gęste),
 - o różnej grubości.



Mgły z wyparowania (z parowania)

→ **Mgły z wyparowania (z parowania):**

- powstają w wyniku unoszenia się pary wodnej z cieplejszej wody do chłodnego powietrza, którego temperatura jest niższa od temperatury punktu rosy,
- proces ten także może wywołać zjawisko “dymienia mórz (jezior)”;
- zasięg najczęściej lokalny,
- o małej grubości.



Mgły frontowe (frontalne)

→ **Mgły frontowe (frontalne):**

- powstają w wyniku mieszania się ciepłego i chłodnego powietrza na powierzchniach frontowych (najczęściej frontów ciepłych, tuż przed linią frontu lub tuż po przejściu frontu);
- zasięg zwykle lokalny,
- o małej grubości.



Mgły zboczowe (orograficzne)

→ **Mgły zboczowe (orograficzne):**

- powstają w wyniku adiabatyicznego ochładzania się powietrza podlegającego wymuszonej konwekcji na dowietrznych stokach gór i wyżyn (powietrze unosi się do góry pokonując przeszkodę),
- następuje adiabatyczne oziębienie rozprężającego się powietrza;
- często przechodzą one w chmury stratus;
- zasięg lokalny, wymuszony wielkością stoku.



Smog

- **Smog** – jest swoistym rodzajem mgły, powstającym w okresach podwyższonego ciśnienia atmosferycznego, w wyniku mieszania się mgieł radiacyjnych z przemysłowymi i komunikacyjnymi zanieczyszczeniami powietrza nad wielkimi aglomeracjami miejskimi.
- Jest on bardzo groźny – w wyniku łączenia się kropelek wody ze związkami chemicznymi zawartymi w tych zanieczyszczeniach powstają bowiem toksyny utrudniające oddychanie lub nawet powodujące śmierć.
- Do aglomeracji, w których smog stwarza okresowo największe zagrożenia należą:
 - Los Angeles, Sao Paulo, Ateny i Kraków oraz wiele innych zespołów miejskich położonych w kotlinach.



Rodzaje opadów atmosferycznych oraz ich charakterystyka

- W zależności od rodzaju chmur i charakteru procesów fizycznych zachodzących w chmurach, woda jest z nich wytrącana grawitacyjnie w stanie ciekłym lub stałym.
- Do powierzchni Ziemi dociera jako **opady atmosferyczne**: **mżawki**, **deszczu**, **gradu**, **ziaren lodowych**, **śniegu**, **krup śnieżnych** itp., zależnie od temperatury panującej w przestrzeni pomiędzy tą powierzchnią i chmurami.



Rodzaj opadu	Charakterystyka
mżawka	opad o średnicy kropelek poniżej 0,5 mm
deszcz	opad kropeł o średnicy powyżej 0,5 mm
śnieg	opad płatków śniegowych – połączonych ze sobą kryształków o zróżnicowanej średnicy (nawet kilku cm)
śnieg ziarnisty	opad nieprzezroczystych ziaren lodowych o średnicy mniejszej niż 2 mm
krupy śnieżne	opad nieprzezroczystych ziaren lodowych o średnicy od 2 do 5 mm
grad	opad nieprzezroczystych bryłek lodu (gradzin) powyżej 5 mm
słupki lodowe (pył diamentowy)	opad bardzo drobnych, błyszczących w słońcu kryształków lodu w postaci sześciokątnych słupków, blaszek

Deszcz



Deszcz – opad kropel o średnicy powyżej 0,5 mm

Śnieg



Śnieg – opad płatków śniegowych – połączonych ze sobą kryształków o zróżnicowanej średnicy (nawet kilku cm)

Krupy śnieżne i grad

→ Krupa śnieżna i grad są bardzo podobne – w ich rozróżnieniu może pomóc paznokieć (większe formy to gradziny).

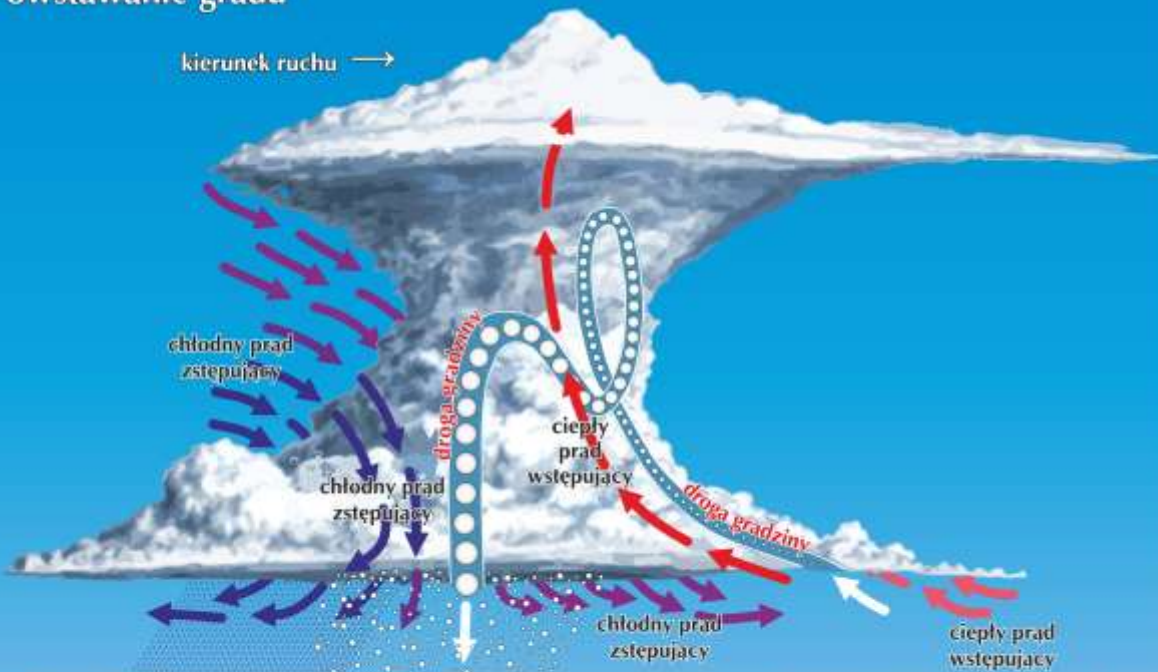


Krupy śnieżne – opad nieprzezroczystych ziaren lodowych o średnicy od 2 do 5 mm
Grad – opad nieprzezroczystych bryłek lodu (gradzin) powyżej 5 mm

Powstawianie gradu

- Miejscem powstawania **gradu** jest chmura **cumulonimbus**, w której zachodzą różnego rodzaju procesy, a kluczowe dla powstawania lodowych kul są **prądy wznoszące**, czyli stały ruch powietrza z dołu do góry.
- I tak silny prąd wznoszący nieustannie ciągnie za sobą wilgotne powietrze do pewnego poziomu, na którym następuje skraplanie pary wodnej i zamiana jej w kropelki wody i dalej w górę aż do pułapu tzw. **izotermy zero**, czyli **pułapu zamarzania kropelek** (powstają wtedy drobne lodowe kuleczki – krupy śnieżne).
- Prąd transportuje je w dół chmury (w wyniku działania siły ciężkości opadają), gdzie panują **dodatnie temperatury**.
- I tak w kółko – w górę i w dół, aż kulki gradu, staną się na tyle ciężkie aby spaść na powierzchnię Ziemi.

Powstawanie gradu



Rozwój gradziny w przekroju

Zalążek o wymiarach kilku milimetrów

Przyrost wyłącznie po jednej stronie (gradzina stale zwrócona w dół)

Łosowe obracanie (przyrost ze wszystkich stron)

Gradzina osiąga rozmiar powyżej 5 mm



Zróżnicowanie warunków opadowych

- W związku z tym, że kondensacja pary wodnej i formowanie się chmur są związane głównie z adiabatycznym ochładzaniem się powietrza, największe opady atmosferyczne występują na frontach (zwłaszcza chłodnych).
- Wyróżniamy następujące rodzaje opadów ze względu na ich przyczyny:
 - **opady frontalne (opady frontowe)** – powstające w miejscu zetknięcia się różnych mas powietrza o odmiennych cechach (odmiennej temperaturze oraz zawartości pary wodnej),
 - opady w zależności od frontu mogą mieć różne cechy i przebieg;
 - **opady konwekcji termicznej (opady konwekcyjne)** – tworzące się w wyniku wznoszenia się silnie nagrzanego powietrza (silne ogrzewanie podłoża);
 - **opady orograficzne** – powstające na dowietrznych stokach gór i wyżyn, gdzie masy powietrza podlegają konwekcji wymuszonej.

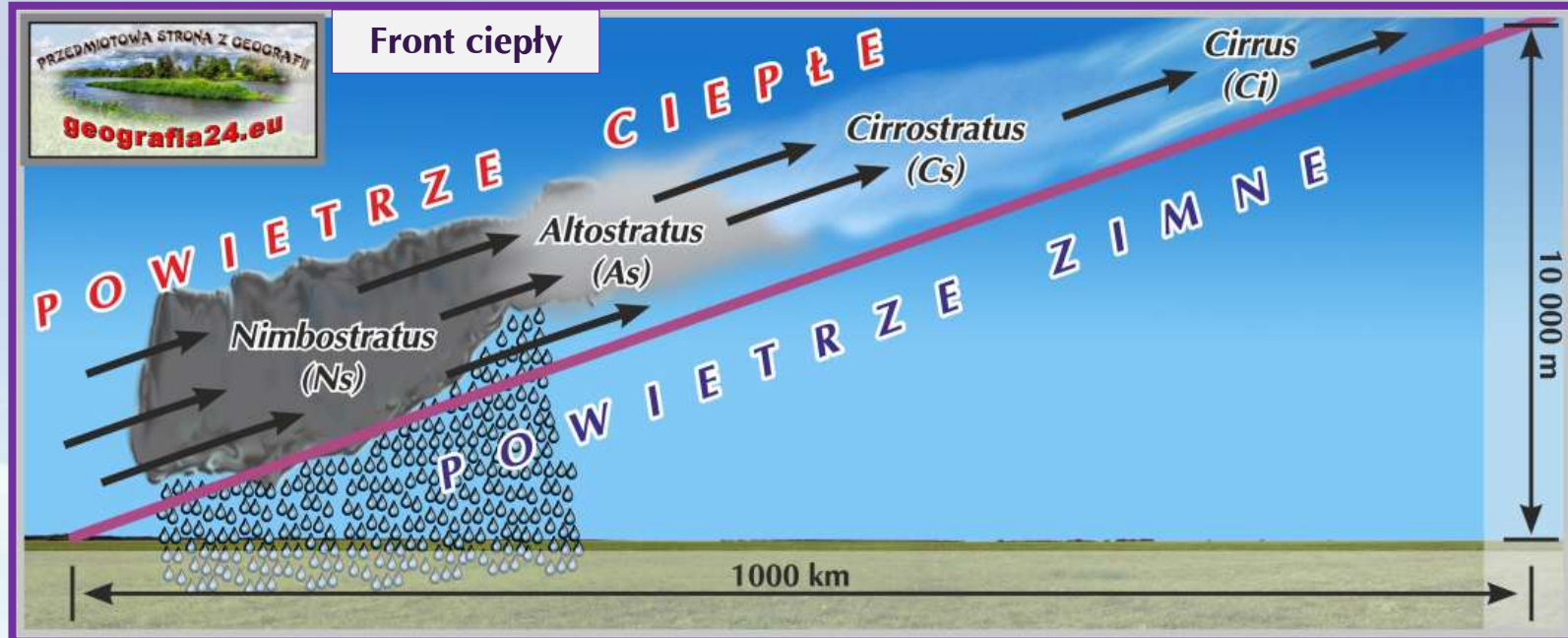


Na Ziemi wielkość opadów atmosferycznych jest mocno zróżnicowana. Wpływ na taki stan rzeczy wywierają przede następujące czynniki:

- ✓ globalna cyrkulacja atmosferyczna (wpływa w szczególności na zróżnicowanie i rozkład opadów atmosferycznych),
- ✓ wysokość nad poziomem morza,
- ✓ rzeźba terenu,
- ✓ odległość od mórz i oceanów,
- ✓ prądy morskie.

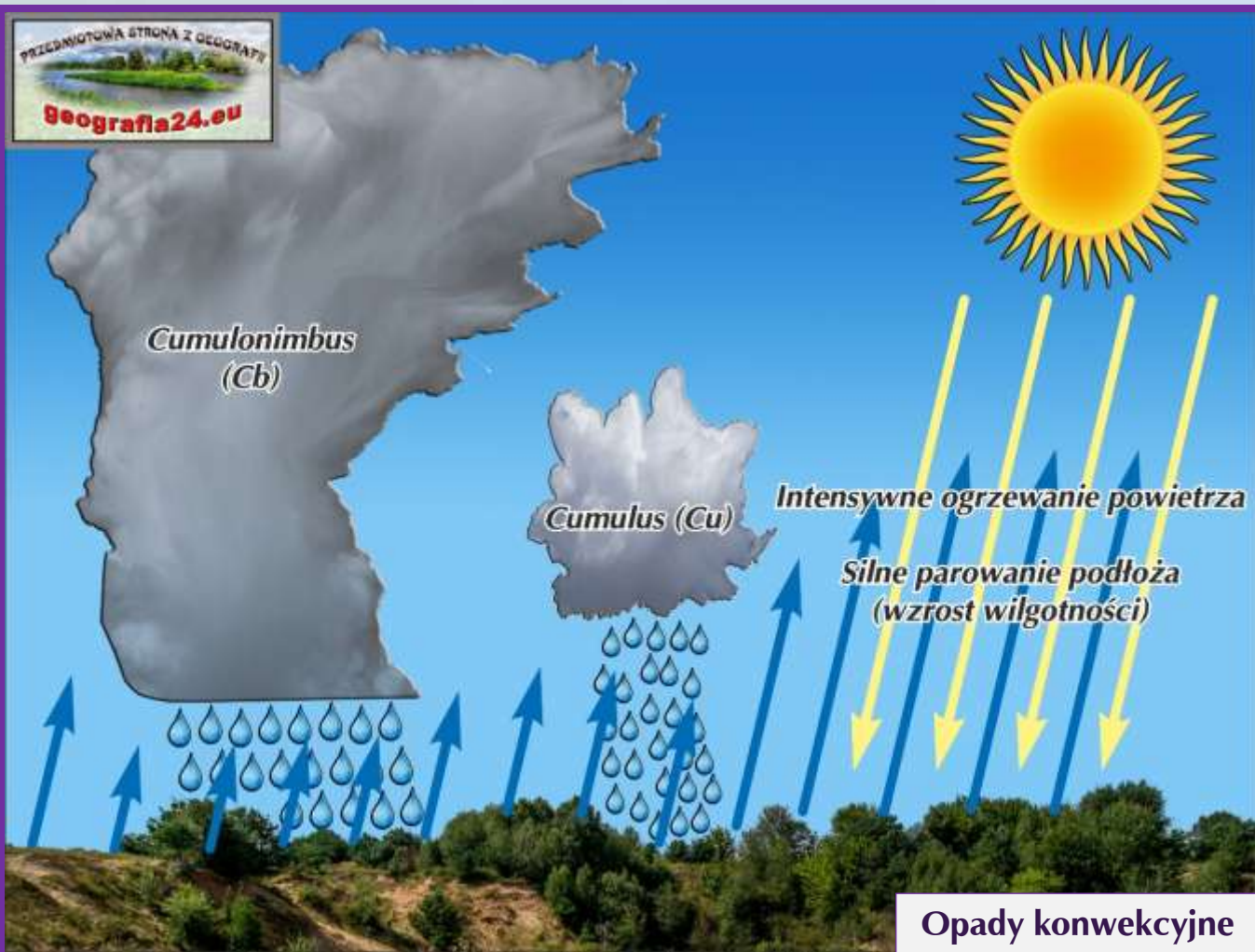
Opady frontalne

- **Opady frontalne (opady frontowe)** – występują w miejscu zetknięcia się różnych mas powietrza o odmiennych cechach (odmiennej temperaturze oraz zawartości pary wodnej),
- opady w zależności od frontu mogą mieć różne cechy i przebieg:
 - **front ciepły** – opad długotrwały ale mało lub średnio intensywny;
 - **front chłodny** – opad krótkotrwały i bardzo intensywny.



Opady konwekcji termicznej

- **Opady konwekcji termicznej (opady konwekcyjne)** – powstaje w wyniku silnego ogrzewania wilgotnego podłoża i następującego w efekcie tego wznoszenia się silnie nagrzanego powietrza – przyczyniającego się do tworzenia chmur burzowych **Cumulonimbus (Cb)**.
 - Opad występuje na stosunkowo małej powierzchni i jest krótki i silny.

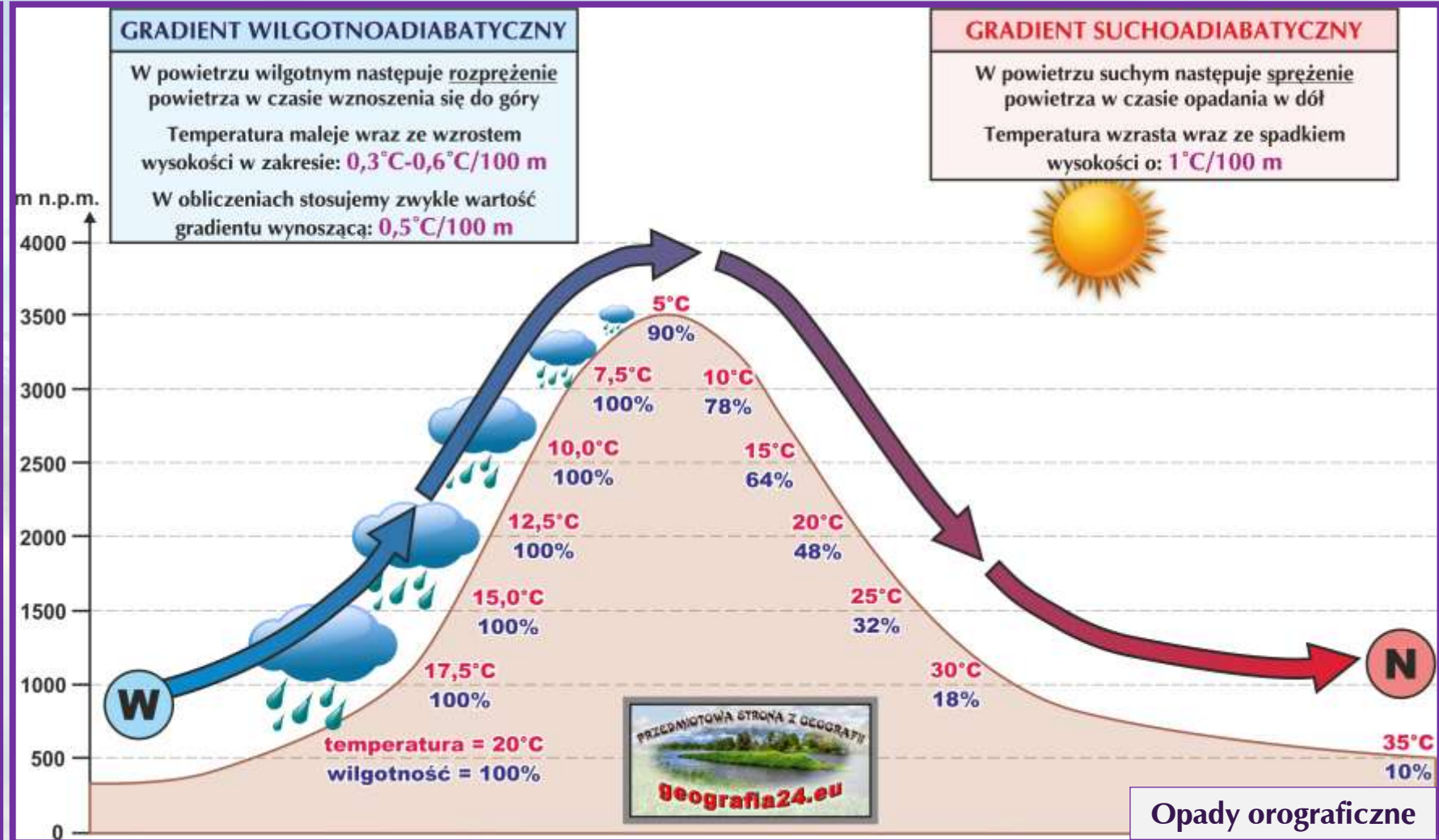


Opady orograficzne

- **Opady orograficzne** – związane są z wymuszonym przepływem powietrza nad terenami górskimi lub wyżynnymi.
- Występują one w wyniku wznoszenia się napływających wilgotnych mas powietrza (konwekcji wymuszonej), które w wyniku wznoszenia się, ochładzają się (średnio $0,6^{\circ}\text{C}$ co 100 m) i tracą ciepło poprzez skraplanie (zmniejsza się przez to wilgotność mas powietrza przemieszczających się przez wzniesienia).



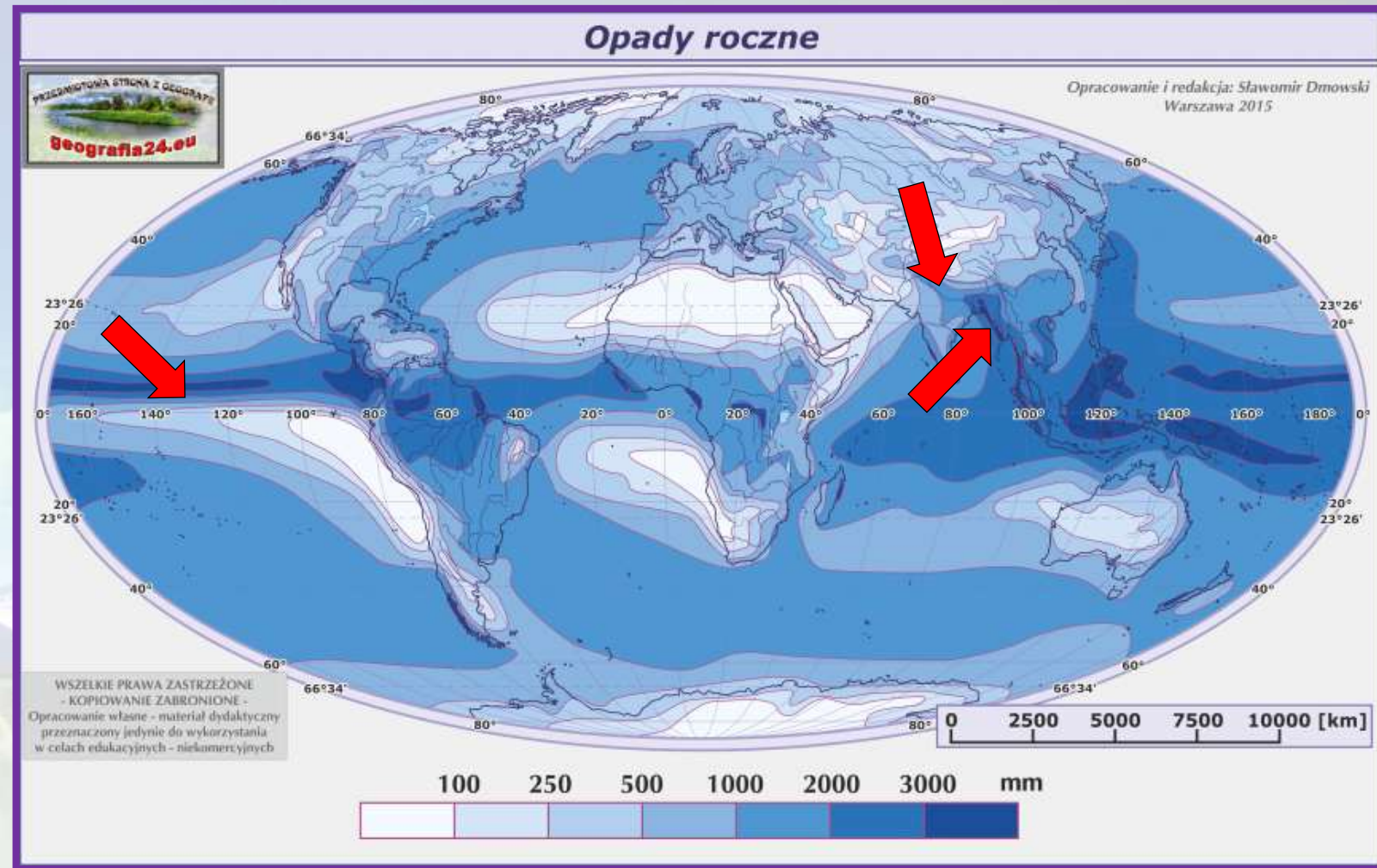
Wysokie opady atmosferyczne obserwujemy na obszarach górskich (np. w porównaniu do nizin).



Opady orograficzne

Zróżnicowanie wielkości opadów – **najwyższe opady**

- **Najwyższe sumy rocznych opadów atmosferycznych** notowane są:
 - **w strefie równikowej** – przyczyną jest silna konwekcja i powstawanie silnie rozbudowanych w pionie chmur kłębiastych i kłębiasto-deszczowych, z których codziennie padają **deszcze zenitalne**;
 - **w strefie oddziaływania monsunów**:
 - **letnich w Azji Południowo-Wschodniej** (opady mogą tu przekraczać 11 000 mm na rok),
 - **zimowych w północnej Australii**;
 - **w miejscach, gdzie istnieją przeszkody orograficzne** (wymuszając konwekcje),
 - **na dowietrznych stokach gór**, zwykle do pewnej wysokości (np. Himalaje), nie przekraczającej zwykle 3 000 m n.p.m. (powyżej występuje zjawisko określane mianem inwersji opadowej, tzn. opady zmniejszają się w miarę dalszego wzrostu wysokości).



Najwyższe opady atmosferyczne występują w strefie równikowej i umiarkowanej, gdzie przeważają układy niskiego ciśnienia. Wynika to przede wszystkim z globalnej cyrkulacji atmosfery (w strefie równikowej – strefa zbiegania się passatów, zaś w strefie umiarkowanej – głównie za sprawą wiatrów zachodnich).

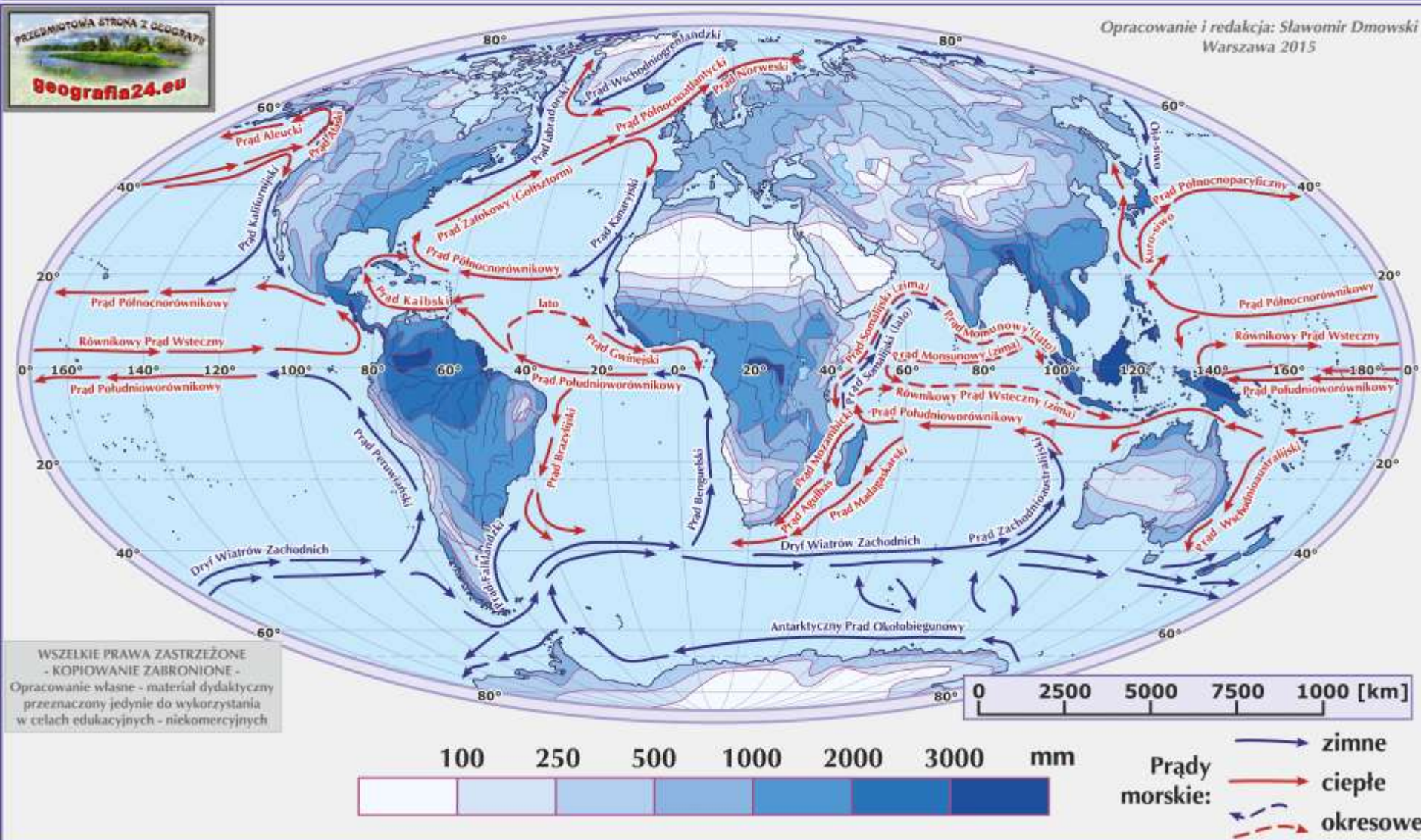
Opady – rozkład (wpływ prądów morskich)

→ Podwyższone sumy opadów notujemy także na wybrzeżach sąsiadujących z **ciepłymi prądami morskimi**.

Rozkład prądów morskich i opadów na świecie

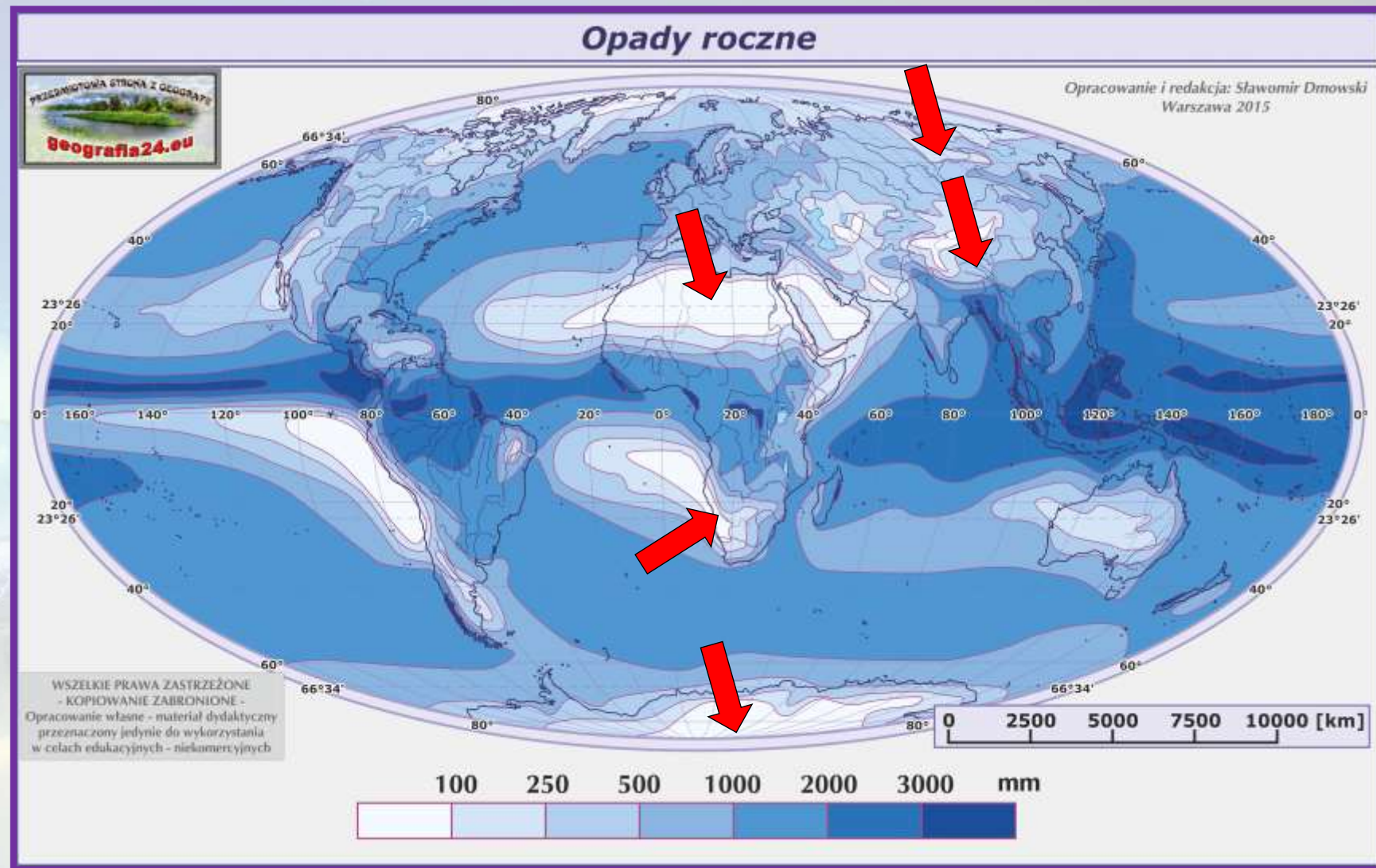


Opracowanie i redakcja: Sławomir Dmowski
Warszawa 2015



Zróżnicowanie wielkości opadów – **najniższe opady**

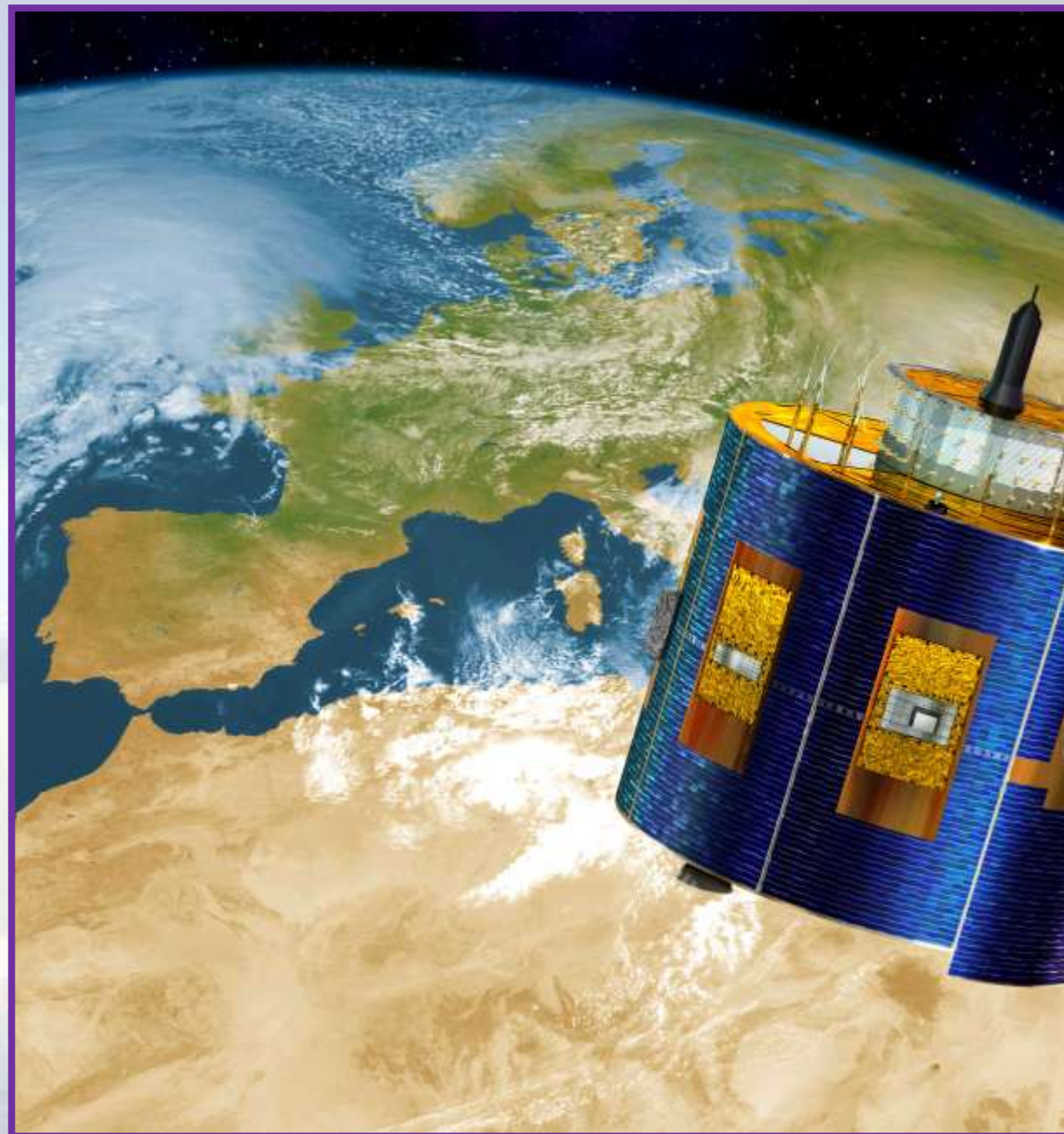
- **Najmniejsze roczne sumy opadów atmosferycznych** notowane są:
 - na **zawietrznych stokach górskich**,
 - **wewnątrz kontynentów**, zwłaszcza w miejscach położonych w cieniach opadowych usytuowanych za przeszkodą orograficzną,
 - na obszarach **zimnych stref klimatycznych**,
 - np. tereny leżące w pobliżu biegunów, na których występują stałe wyże,
 - w **strefie zwrotnikowej**, w której często występują pustynie i półpustynie,
 - na wybrzeżach opływanych przez **zimne prądy morskie** (np. zimny Prąd Peruwiański wpłynął na powstanie Pustyni Atakama).



Najniższe opady atmosferyczne notowane są w strefie zwrotnikowej i okołobiegunowej (tworzą się tu układy wysokiego ciśnienia - zgodnie z globalną cyrkulacją atmosfery).

Masy powietrza

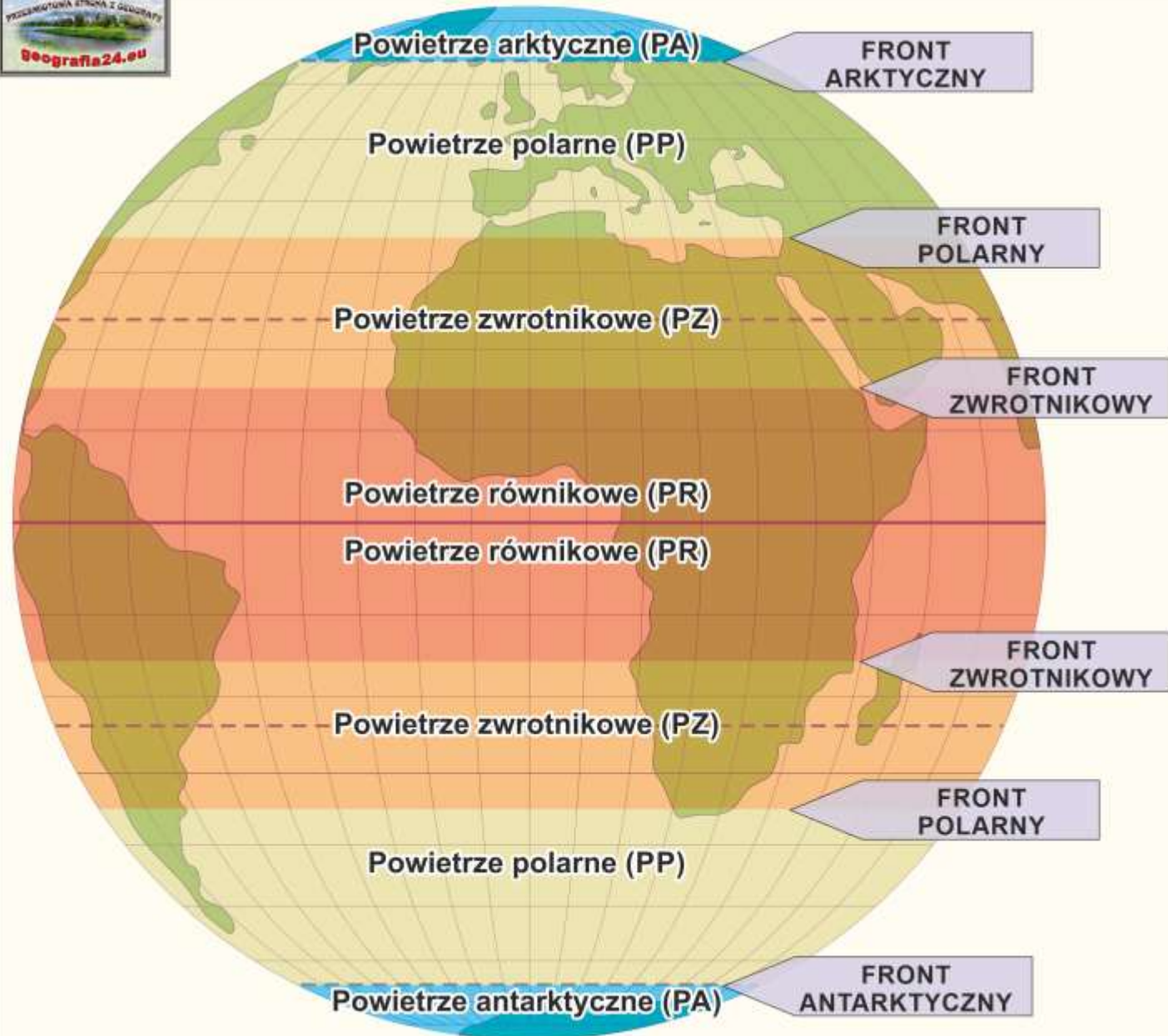
- **Masa powietrza** – to znaczna objętość powietrza występująca w troposferze (do kilku tysięcy km długości i kilku km wysokości), cechująca się dużą jednorodnością w zakresie posiadanych przez siebie cech fizycznych, tj. temperatura lub wilgotność.
- **Obszar źródliskowy** – to miejsce formowania się danej masy powietrza, nad którym zalegając kilka dni lub dłużej nabiera ona specyficznych cech podłoża.
- W dalszym etapie jest ona przemieszczana w inne miejsce wskutek globalnej cyrkulacji atmosfery.
- Prowadzi to często do zmian jej cech, czyli tzw. **transformacji mas powietrza** – szczególnie jak znajdzie się nad obszarem o odmiennych cechach podłoża,
 - np. wilgotne powietrze powstałe nad oceanem, staje się suche nad kontynentem.
- Zjawisko transformacji mas powietrza prowadzi z kolei do **starzenia się masy powietrza**, czyli utraty jej pierwotnych cech w sposób:
 - **szybki** – jeżeli masy powietrza przemieszczają się powoli,
 - **powolny** – jeżeli masy powietrza przemieszczają się szybko (powietrze nie ma wtedy “czasu” na nabycie nowych cech od odmiennego podłoża).



Masy powietrza (podział ze względu na miejsce powstania)

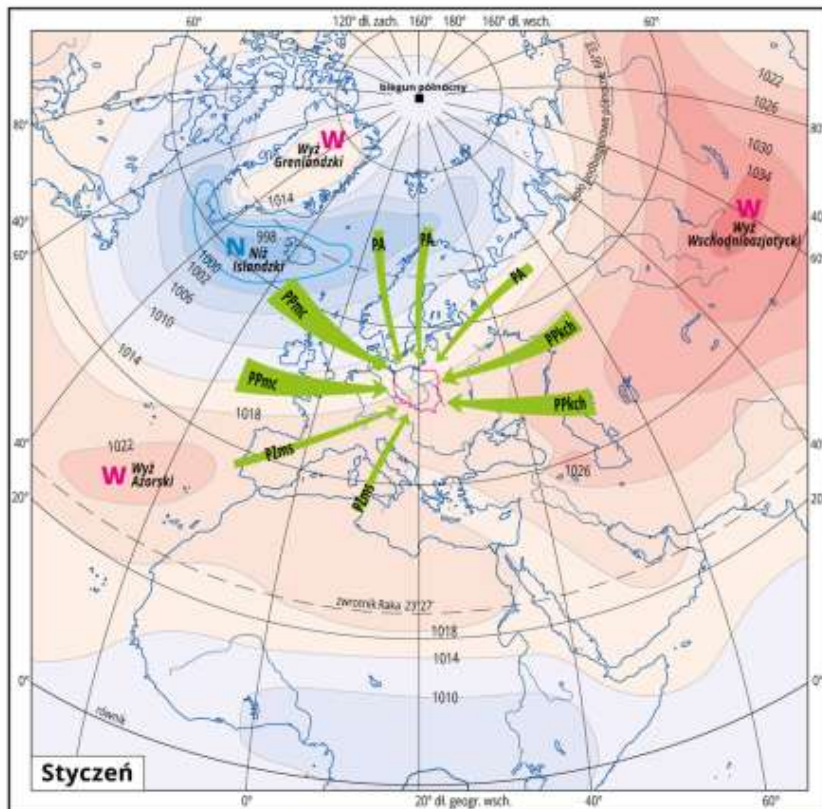
→ W zależności od ich geograficznego usytuowania (kryterium geograficzne) masy powietrza (rozdzielone od siebie tzw. frontami głównymi lub klimatologicznymi) dzielimy na:

- **(PA)** – powietrze **arktyczne** (na półkuli PN) lub **antarktyczne** (na półkuli PD),
- **(PP)** – powietrze **polarne**,
- **(PZ)** – powietrze **zwrotnikowe**,
- **(PR)** – powietrze **równikowe**.

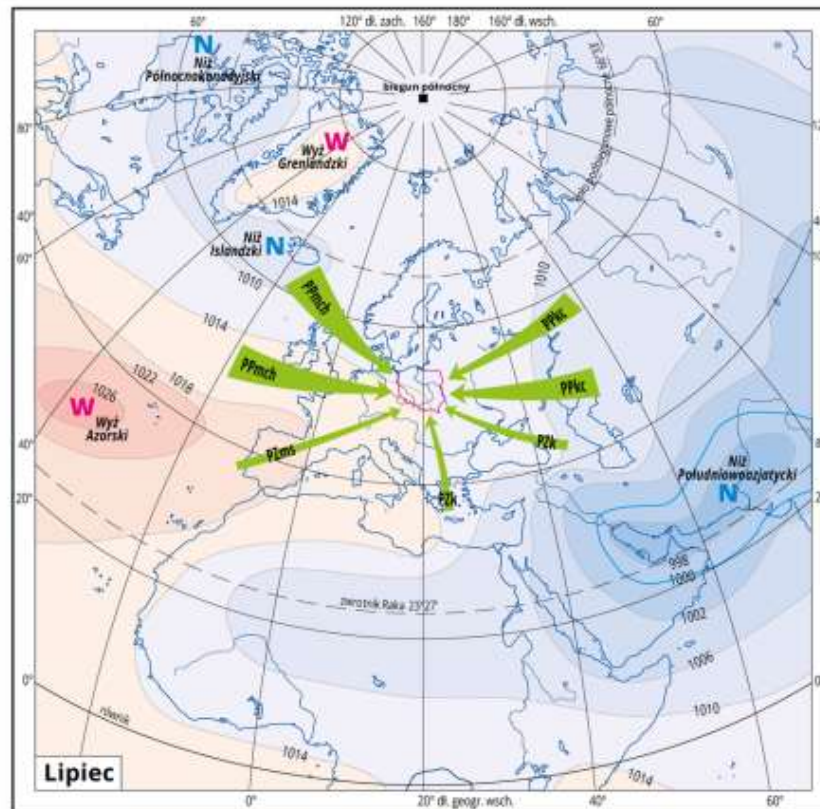
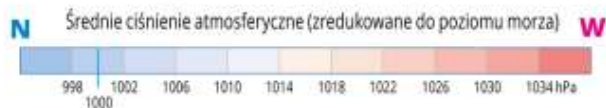


Masy powietrza (podział ze względu na charakter podłoża)

→ **Masy powietrza zalegające nad akwenem wodnym (oceanem)** zwiększa swoją wilgotność – stając się **masami powietrza morskiego**, zróżnicowanego także pod względem termicznym w zależności od miejsca formowania się, a dokładniej strefy występowania: (**PAm**) – **powietrze arktyczne morskie**, (**PPm**) – **powietrze polarne morskie**, (**PZm**) – **powietrze zwrotnikowe morskie**.



Typowe rozmieszczenie ośrodków barycznych w rejonie Europy oraz masy powietrza napływające do Polski



W N ośrodek wysokiego i niskiego ciśnienia

główny kierunek napływu mas powietrza nad obszar Polski (szerokość strzałki jest proporcjonalna do średniej częstotliwości jego występowania)

1000 0 1000 2000 km

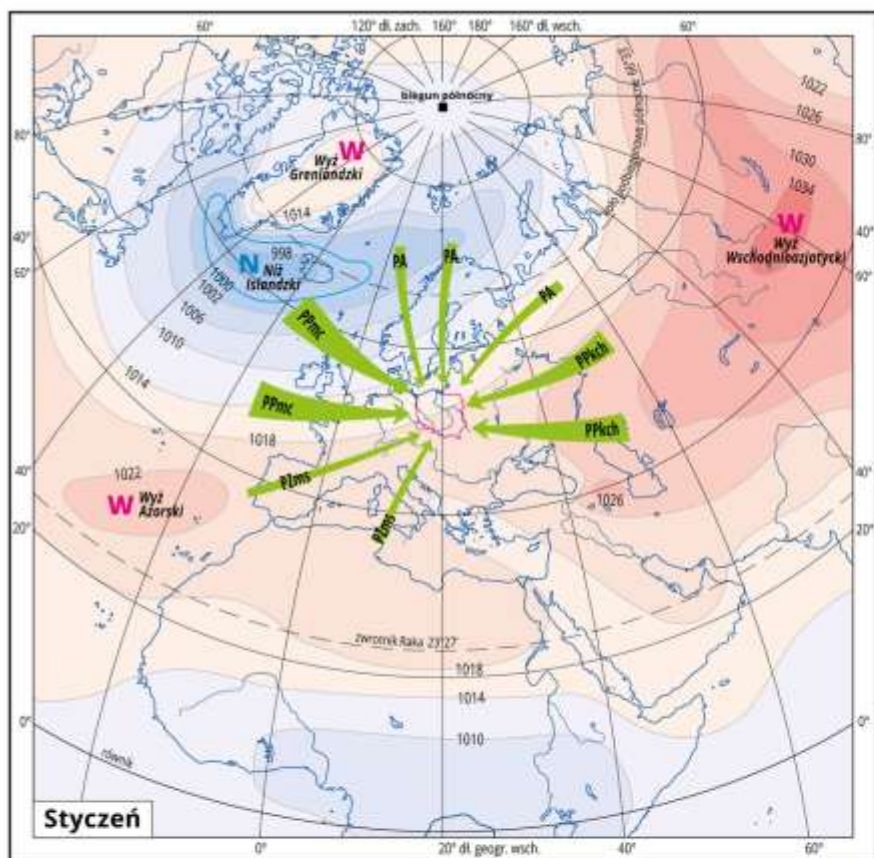
PP - powietrze polarne
 PA - powietrze arktyczne
 PZ - powietrze zwrotnikowe
 ch - powietrze chłodne
 c - powietrze ciepłe

m - powietrze morskie
 k - powietrze kontynentalne
 s - powietrze, które utraciło pierwotne cechy

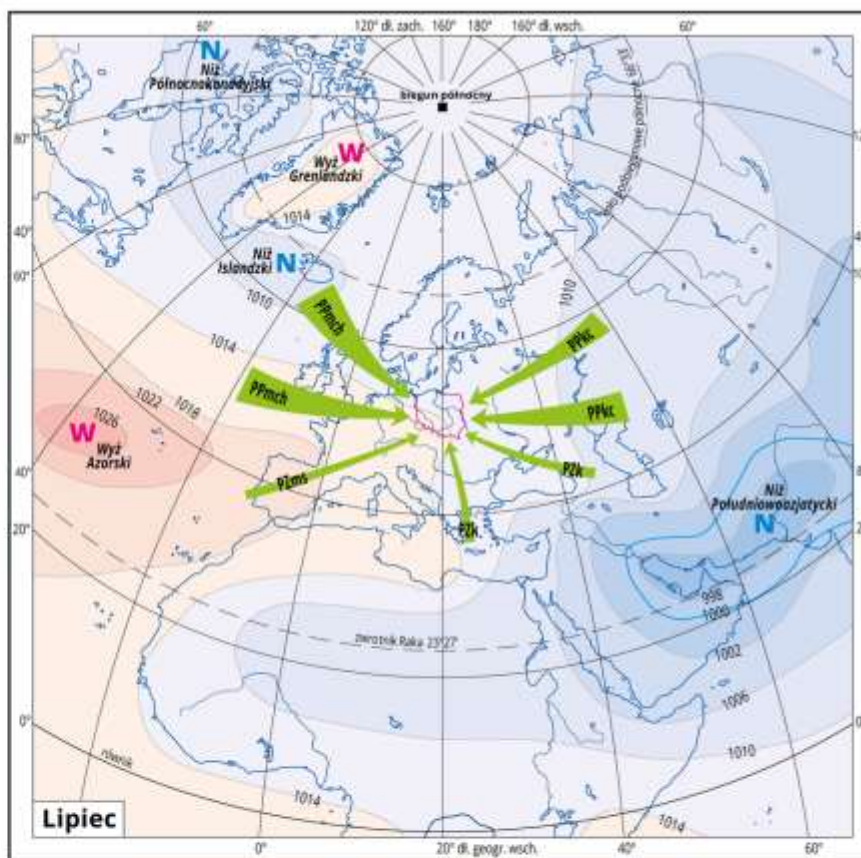
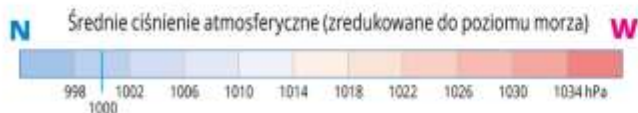


Masy powietrza (podział ze względu na charakter podłoża)

→ **Masy powietrza zalegające nad kontynentem (lądem)** zmniejszają swoją wilgotność – stając się masami powietrza kontynentalnego: **(PAk)** – powietrze arktyczne kontynentalne, **(PPk)** – powietrze polarne kontynentalne, **(PZk)** – powietrze zwrotnikowe kontynentalne.



Typowe rozmieszczenie ośrodków barycznych w rejonie Europy oraz masy powietrza napływające do Polski



W N ośrodek wysokiego i niskiego ciśnienia

PPmch główny kierunek napływu mas powietrza nad obszar Polski (szerokość strzałki jest proporcjonalna do średniej częstotliwości jego występowania)

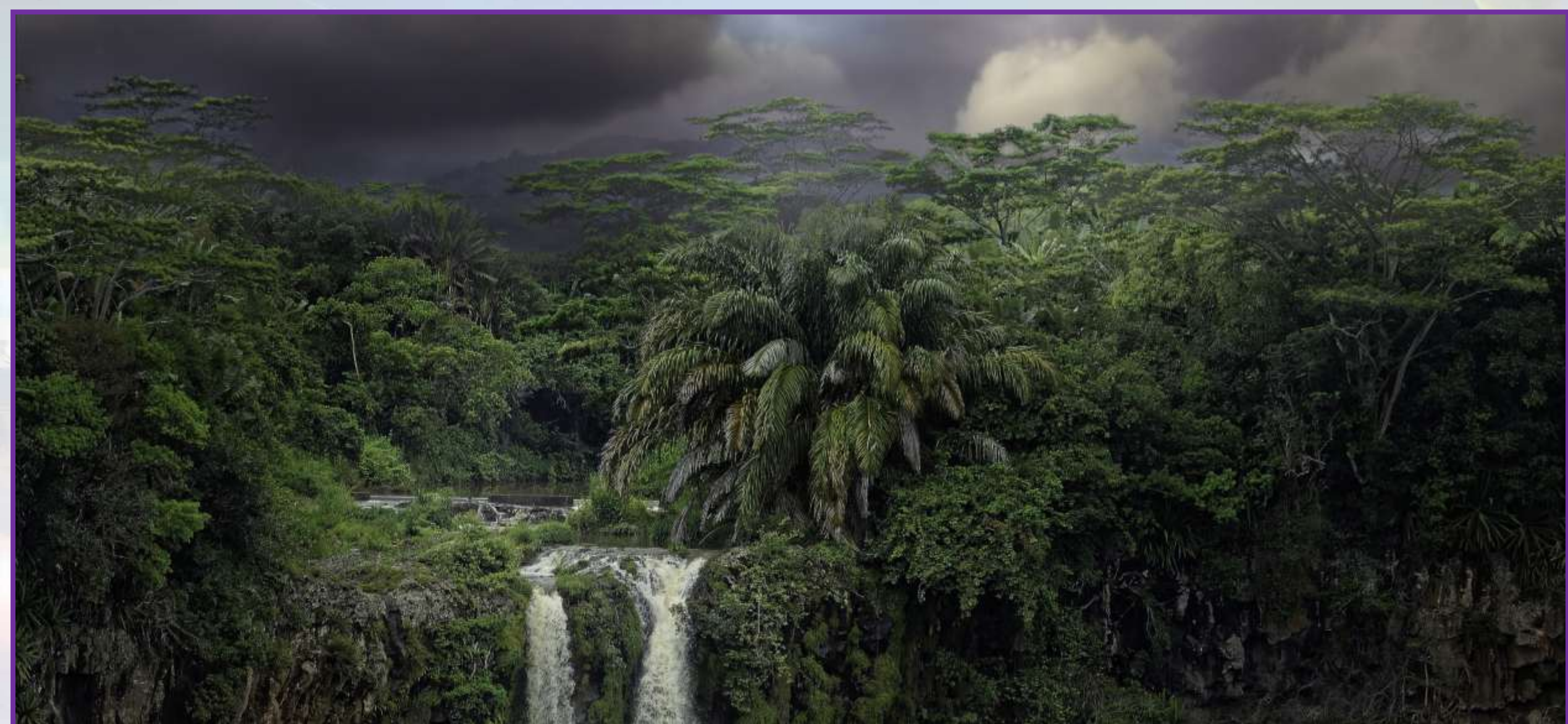
PP - powietrze polarne
PA - powietrze arktyczne
PZ - powietrze zwrotnikowe
ch - powietrze chłodne
c - powietrze ciepłe

m - powietrze morskie
k - powietrze kontynentalne
s - powietrze, które utraciło pierwotne cechy



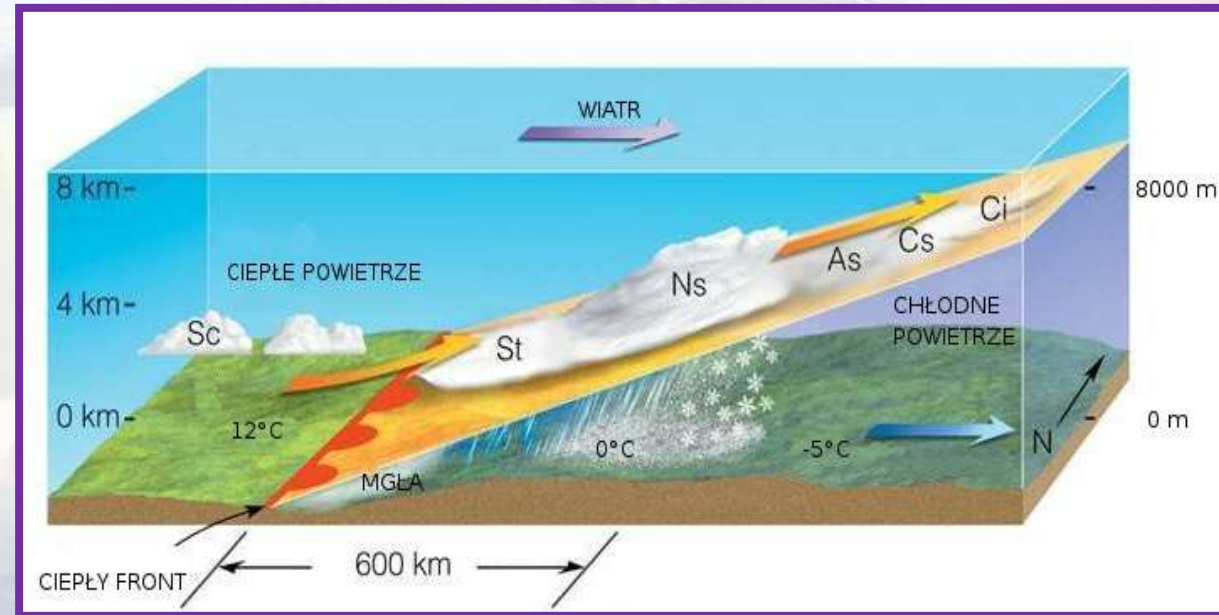
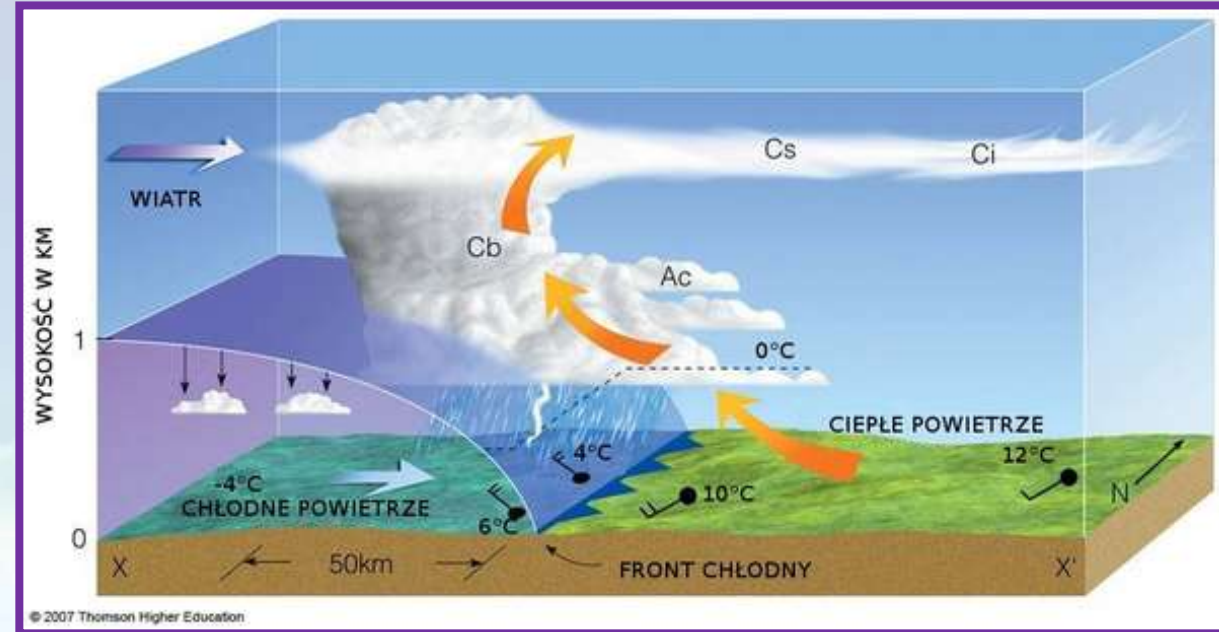
Masy powietrza (podział ze względu na charakter podłoża)

→ Specyficzną masą powietrza jest **powietrze równikowe (PR)** – dla którego nie stosujemy zróżnicowania – ponieważ przez cały rok jest ono wszędzie wilgotne, tzn. zarówno nad oceanem, jak i na lądzie.



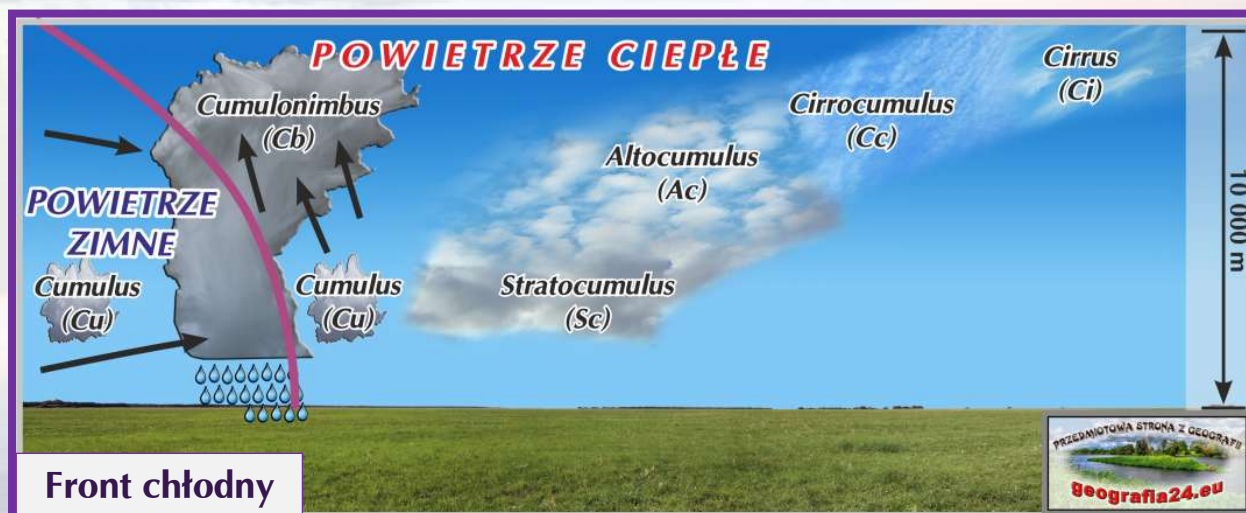
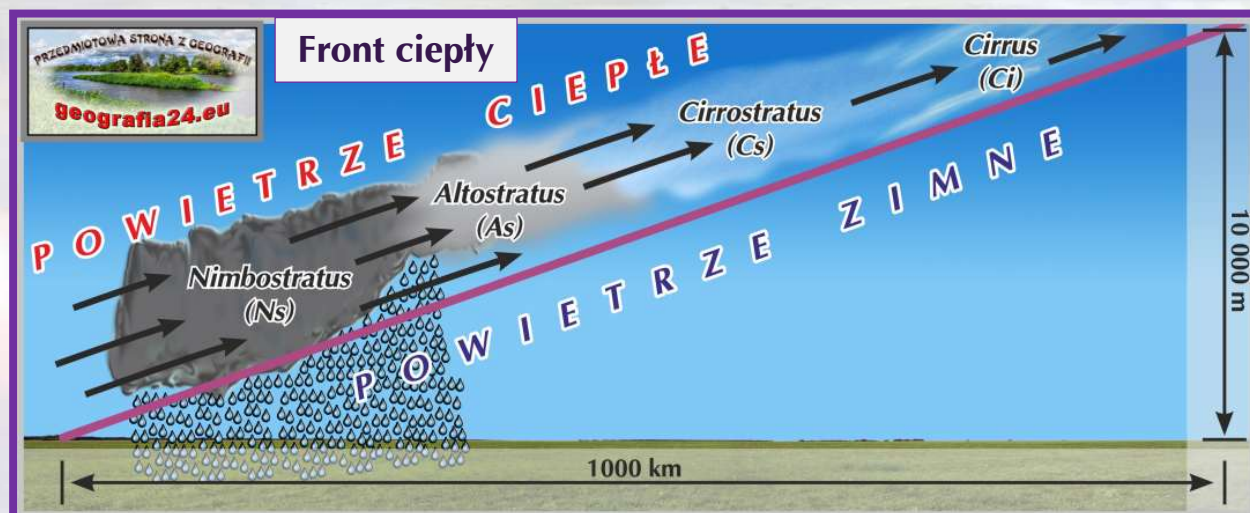
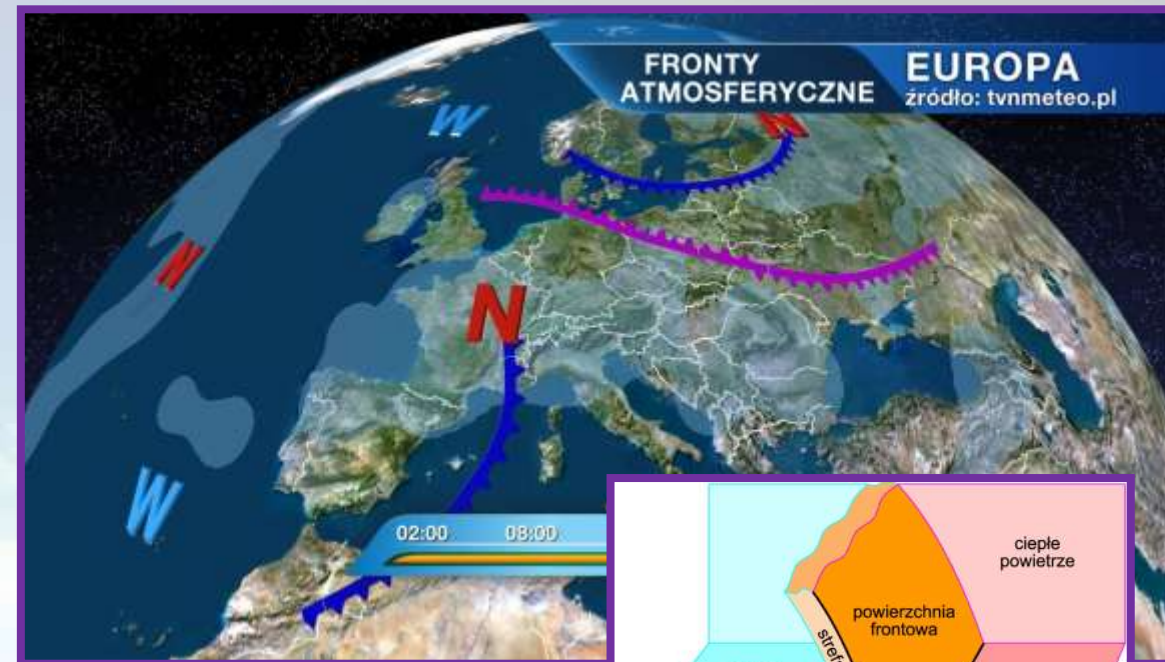
Masy powietrza (podział ze względu na temperaturę)

- **Masy powietrza ze względu na temperaturę mas powietrza (kryterium termiczne)** dzielimy na:
 - **masy powietrza ciepłego** – cechujące się wyższą temperaturą od podłoża,
 - masa taka przemieszczając się nad danym obszarem wypiera z niego masę o niższej średniej temperaturze,
 - napływając nad dany obszar przyczyniają się do wzrostu temperatur;
 - **masy powietrza chłodnego** – cechujące się niższą temperaturą od podłoża,
 - masa taka przemieszczając się nad danym obszarem wypiera z niego masę o wyższej średniej temperaturze,
 - napływając nad dany obszar przyczyniają się do spadku temperatur.



Fronty atmosferyczne

- Odmienne pod względem cech fizycznych masy powietrza (np. pod względem temperatury lub wilgotności) są od siebie oddzielone liniami, tzw. **frontami atmosferycznymi** – czyli stosunkowo wąskimi przestrzennie przejściowymi, granicznymi strefami, tzw. **powierzchniami frontowymi**.
- Powierzchnia frontowa w zależności od rodzaju frontu nachylona jest pod pewnym, z reguły niewielkim kątem w stosunku do powierzchni Ziemi:
 - w przypadku **frontu ciepłego** bardzo mały – wynoszący **poniżej 1°** ,
 - w przypadku **frontu chłodnego** – **kąt jest duży** (największy w przypadku szybko przemieszczającego się frontu – w którym następuje gwałtowne wypychanie powietrza ku górze).



Przewidywanie pogody na podstawie typu frontu

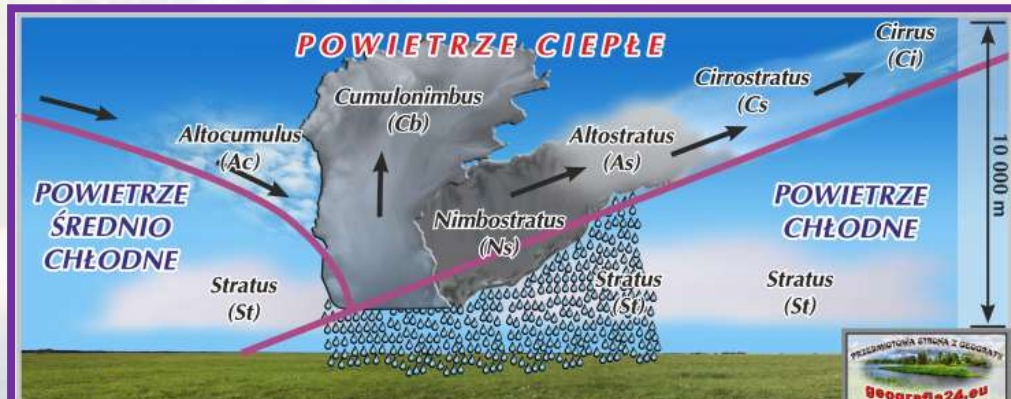
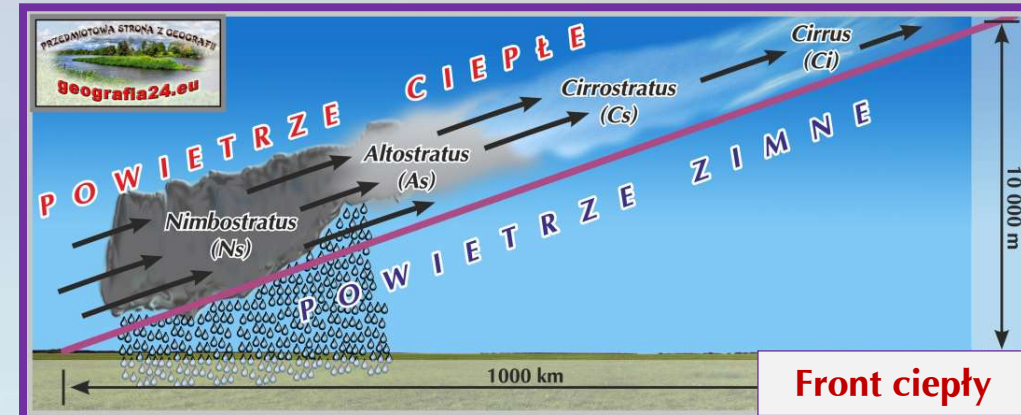
→ Analiza poszczególnych typów frontów atmosferycznych daje nam możliwość przewidywania pogody.



“Gęstniejące” chmury cirrus oznaczają zbliżanie się frontu atmosferycznego i zmianę pogody.

Podział frontów ze względu na temperaturę mas powietrza i sposób ich przemieszczania się

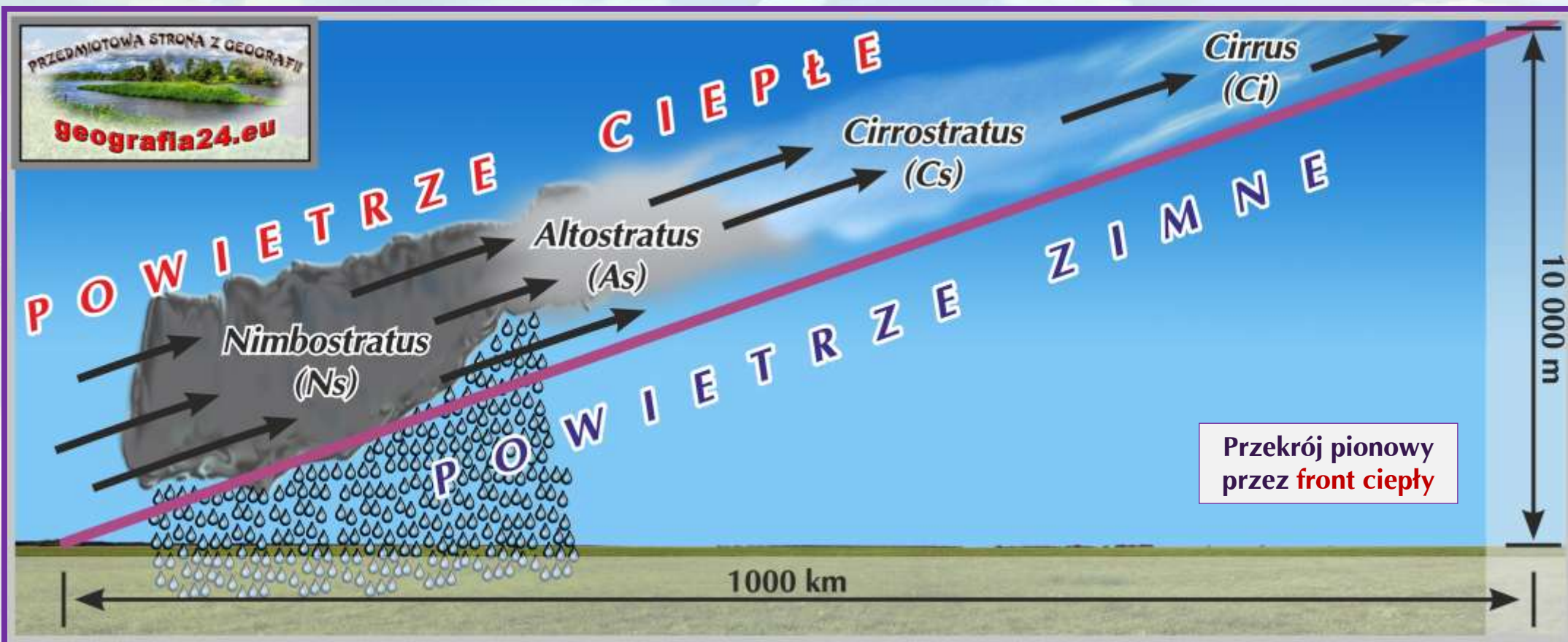
- Ze względu na temperaturę mas powietrza i sposób ich przemieszczania się, **fronty atmosferyczne dzielimy w zależności od adwekcji (napływu mas powietrza)** na:
 - **front ciepły** – w przypadku adwekcji ciepłych mas powietrza,
 - **front chłodny** – adwekcja chłodnych mas powietrza,
 - **front zokludowany (front okluzji)** – powstające w wyniku połączenia się dwóch frontów atmosferycznych,
 - **front stacjonarny** – w przypadku utrzymywania się linii frontu atmosferycznego w tym samym miejscu na powierzchni Ziemi przez dłuższy czas (masy powietrza po przeciwnych stronach frontu przemieszczać mogą się w przeciwnych lub w tym samym kierunku).



Przekrój pionowy przez **front okluzji**: o charakterze **frontu chłodnego** (po lewej) oraz o charakterze **frontu ciepłego** (po prawej)

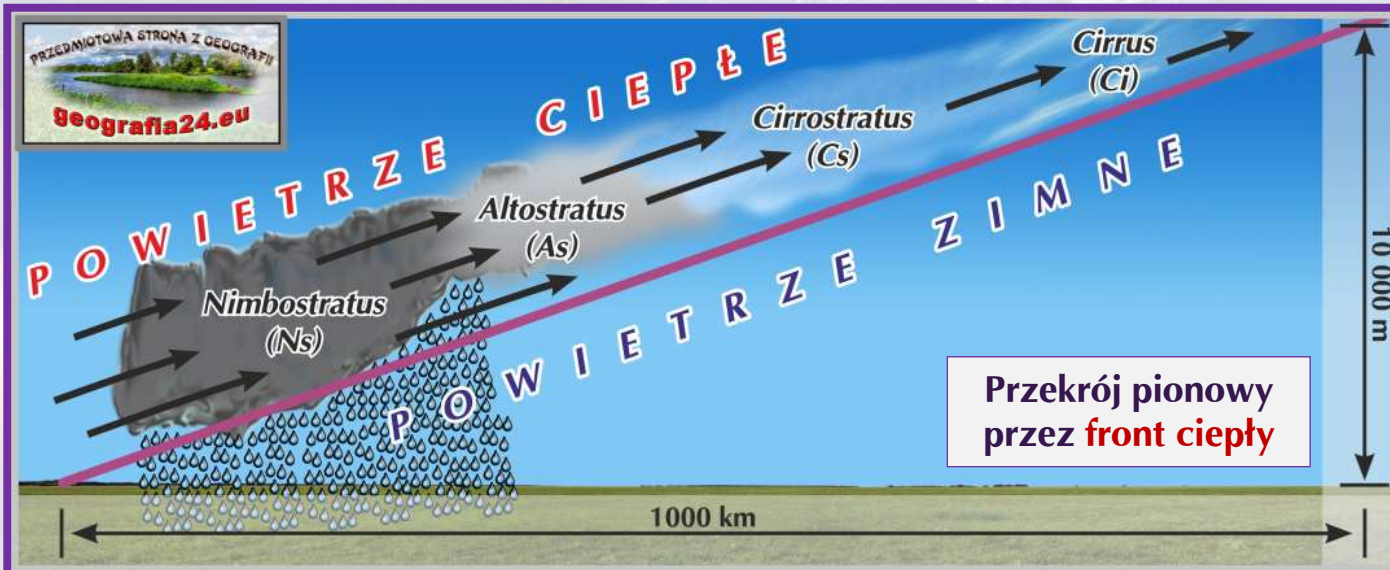
Front ciepły

- **Front ciepły** – powstaje gdy przesuwająca się masa powietrza ciepłego (lżejszego) napotka na swej drodze masę chłodniejszą (cięższą), wtedy lżejsza, cieplejsza masa nasuwa się nad cięższą.
- Przemieszczające oraz wznoszące się powietrze powoli się ochładza (zgodnie z gradientem wilgotnoadiabaticznym), przyczyniając się do powstania:
 - rozległej strefy zachmurzenia (**Cirrus** i warstwowego: **Cirrostratus** i **Altostratus**),
 - rozległej strefy ciągłych mało lub średnio intensywnych opadów atmosferycznych (pochodzących z rozległej strefy chmur **Altostratus** i **Nimbostratus**).



Front ciepły – następstwo zmian pogody

Element pogody	Przed frontem	W czasie przechodzenia frontu	Po przejściu frontu
Ciśnienie atmosferyczne	wolno i równomiernie obniża się	dalej maleje (najniższa wartość w miejscu przecięcia powierzchni frontowej z powierzchnią Ziemi)	nieznacznie wzrasta
Wiatr	stopniowo wzrasta (silny)	słabnie (na froncie gwałtownie spada i zmienia się jego kierunek)	nie ulega znaczącej zmianie (kierunek i prędkość)
Temperatura powietrza	nieznacznie wzrasta lub bez zmian	powoli wzrasta (nieco większy wzrost)	nieznacznie wzrasta (mniejszy wzrost)
Zachmurzenie nieba	powoli wzrasta, pojawiają się chmury piętra wysokiego (Ci, Cs), następnie średniego (As)	bardzo rozległe (nawet ponad 500 km) chmury piętra niskiego (Ns)	zanik chmur lub chmury piętra niskiego (St lub rzadziej Sc)
Widzialność pozioma	bardzo dobra (w strefie opadów z As – słaba)	ograniczona przez opady i czasem towarzyszące mgły	zwykle ograniczona, wskutek utrzymujących się mgieł lub zamglań
Opady	czasem niewielki opad z As (mżawka)	długotrwały (nawet ponad 24 h) średnio lub mało intensywny z Ns	mało intensywne, powoli zanikające (mogą trwać jeszcze kilka godzin)
Czas	Średni: około 1,5 doby, ale może trwać od kilkunastu godzin do nawet kilku dni		



Chmury towarzyszące frontowi ciepłemu

Przed frontem

Cirrus (Ci)



Cirrostratus (Cs)



Altostratus (As)



W czasie przechodzenia frontu

Nimbostratus (Ns)



Po przejściu frontu

Stratus (St)



Stratocumulus (Sc)



Front chłodny

- **Front chłodny** – powstaje gdy przesuwająca się masa powietrza chłodnego (cięższego) wypiera ku górze masę powietrza ciepłego (lżejszego).
- Przemieszczające i szybko wznoszące się powietrze szybko ochładza (zgodnie z gradientem wilgotnoadiabaticznym), przyczyniając się do powstania:
 - dość wąską strefą zachmurzenia (**Cirrus** i kłębiastych: **Cc**, **Ac**, **Sc**),
 - wąskiej strefy gwałtownych bardzo intensywnych opadów atmosferycznych (pochodzących z mocno rozbudowanych w pionie chmur **Cb**).



Front chłodny – następstwo zmian pogody

Element pogody	Przed frontem	W czasie przechodzenia frontu	Po przejściu frontu
Ciśnienie atmosferyczne	szybko maleje	najpierw maleje (najniższa wartość tuż pod chmurą Cb), następnie bardzo szybko wzrasta	wzrasta, ale znacznie wolniej (w przypadku rozwoju chmur burzowych – znów okresowo szybko spada)
Wiatr	na początku słaby po czym wzrasta (często jest porywisty)	dalej wzrasta (bardzo często porywisty)	tuż po przejściu silny, zmienia kierunek, następnie traci na sile
Temperatura powietrza	bez zmian lub spada w strefie opadu przedfrontowego	szybko spada	na początku dalej spada, po czym wzrasta (w wynik silnego ogrzewania)
Zachmurzenie nieba	powoli wzrasta, chmury pierzaste (Ci) i kłębiaste (Ac, Sc, Cu i najrzadziej Cc)	wąska strefa z (rzadko ponad 50 km) chmur o budowie pionowej (Cu, Cb – z niską podstawą)	zanik chmur lub pierzaste (Ci) i kłębiaste (Ac i Cu), po pewnym czasie mogą znów rozbudować się Cb
Widzialność pozioma	bardzo dobra lub słaba w strefie opadów z Cu i Sc	mocno ograniczona (błyskawice) przez silne opady z Cb i Cu	szybko ulega poprawie, ale spada gdy dojdzie do ponownych opadów
Opady	czasem przelotny opad z Cu lub o różnej intensywności z Sc	krótkotrwałe (do 1 h) ulewny z Cb (letnie burze), przelotny z Cu	szybko zanikające
Czas	Średni: około kilka godzin (front chłodny porusza się stosunkowo szybko)		



Chmury towarzyszące frontowi chłodnemu

Przed frontem oraz po przejściu frontu

W czasie przechodzenia frontu

Cirrus (Ci)



Cumulus (Cu)



Cirrocumulus (Cc)



Stratocumulus (Sc)



Cumulonimbus (Cb)

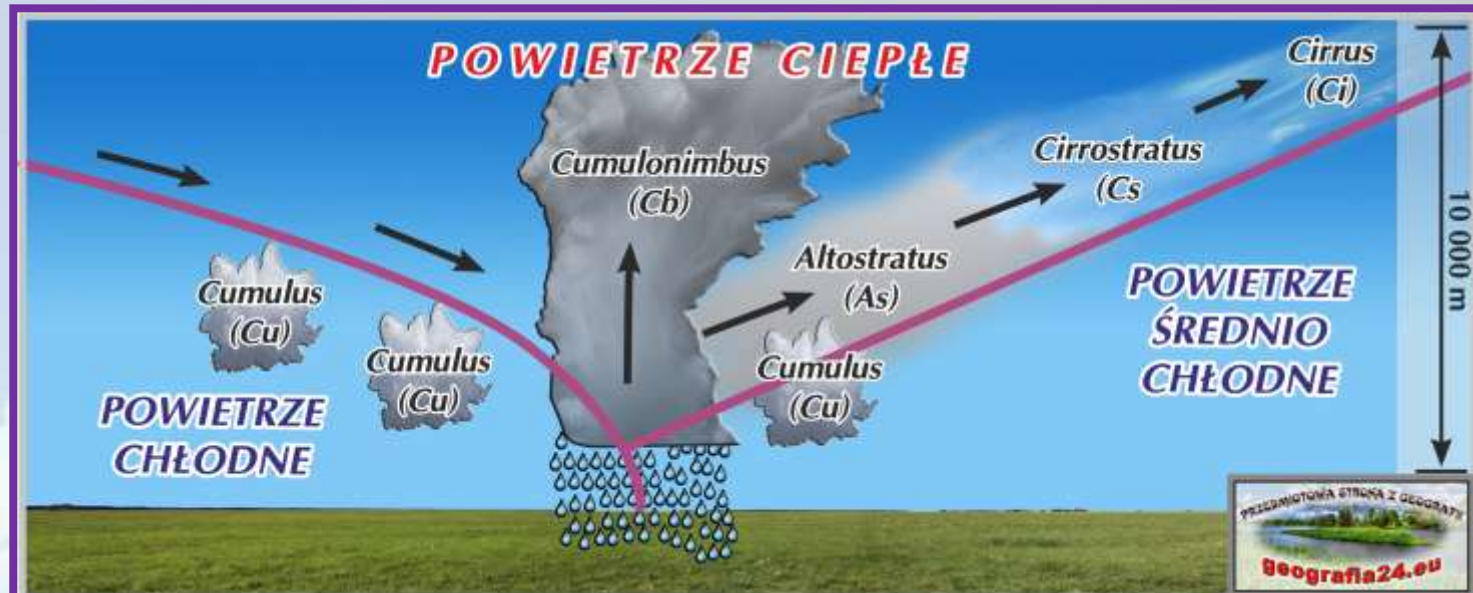


Alto cumulus (Ac)



Front zokludowany (front okluzji)

- **Front zokludowany (front okluzji)** tworzy się gdy front chłodny (wędrujący szybciej) dogoni front ciepły.
- Ciepłejsze powietrze zostaje wyparte ku górze i nie ma kontaktu z podłożem.
- Najniżej nad powierzchnią Ziemi stykają się masy powietrza o podobnych właściwościach – powietrze średnio chłodne i chłodne – w zależności od cech termicznych wędrujących mas powietrza wyróżniamy:
 - **okluzja o charakterze frontu ciepłego** – kiedy front chłodny doganiający front ciepły, będzie przynosił nieco cieplejsze powietrze (czyli “średnio chłodne”),
 - występują intensywne opady (głównie z **Cb**, **Ns** i **As**), po czym temperatura wzrasta;
 - **okluzja o charakterze frontu chłodnego** – gdy front chłodny doganiający front ciepły, będzie przynosił nieco chłodniejsze powietrze (czyli “chłodne”),
 - występują intensywne opady (z **Cb**), po czym temperatura nieznacznie obniża się.



Przekrój pionowy przez **front okluzji**: o charakterze **frontu chłodnego** (na górze) oraz o charakterze **frontu ciepłego** (na dole)



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

Opracowanie i redakcja: *Sławomir Dmowski*
Kontakt: *kontakt@geografia24.eu*

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -