

An aerial photograph of a research station in a vast, snowy, mountainous landscape. The station consists of several small buildings and a larger structure with a red roof, surrounded by numerous tracks from vehicles and equipment. In the background, there are snow-covered mountains under a clear sky. The text 'Палеоклиматология' is overlaid in white at the top center, with two red arrows pointing down to 'Климатология' on the left and 'Палеогеография' on the right, both in yellow.

Палеоклиматология

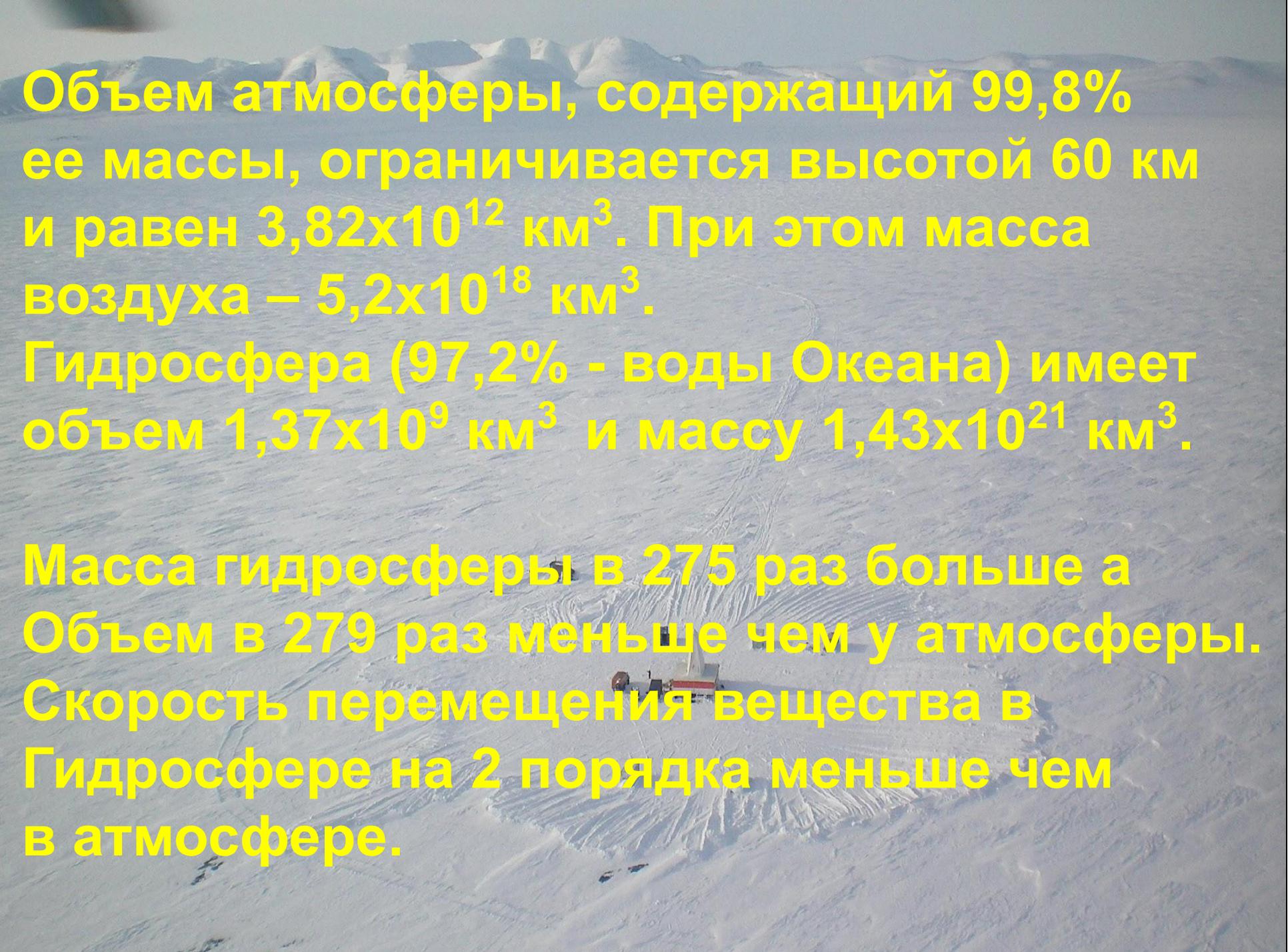
Климатология

Палеогеография

Общая характеристика климатической системы

Климатическая система – атмосфера, гидросфера, литосфера, криосфера и биосфера.



An aerial photograph of a vast, flat, snow-covered landscape, likely a tundra or a high-altitude plain. The terrain is covered in a thick layer of snow, with some darker patches visible. In the center of the image, a small vehicle, possibly a snowmobile or a small truck, is visible, leaving a trail of tracks behind it. The background shows a range of low, snow-covered hills or mountains under a clear sky.

Объем атмосферы, содержащий 99,8% ее массы, ограничивается высотой 60 км и равен $3,82 \times 10^{12}$ км³. При этом масса воздуха – $5,2 \times 10^{18}$ км³.

Гидросфера (97,2% - воды Океана) имеет объем $1,37 \times 10^9$ км³ и массу $1,43 \times 10^{21}$ км³.

Масса гидросферы в 275 раз больше а
Объем в 279 раз меньше чем у атмосферы.
Скорость перемещения вещества в
Гидросфере на 2 порядка меньше чем
в атмосфере.

Климатообразующие факторы

Внешние

- Астрономические (светимость Солнца, положение орбиты Земли в Солнечной системе и характеристики орбитального движения Земли, наклон ее оси к плоскости орбиты и скорость вращения вокруг оси).
- Геофизические (размер и масса Земли, внутреннее тепло, определяющее геотермические источники тепла и вулканизм).

Климатообразующие факторы

An aerial photograph of a vast, flat, snow-covered landscape, likely a tundra or a high-altitude plain. In the foreground, a small cluster of buildings and equipment, possibly a research station or a temporary camp, is visible. The buildings are small and dark, with some red accents. The surrounding area is covered in snow, with numerous tracks and paths crisscrossing the surface. In the background, a range of low, rounded mountains or hills is visible under a clear sky. The overall scene is desolate and cold.

Внутренние

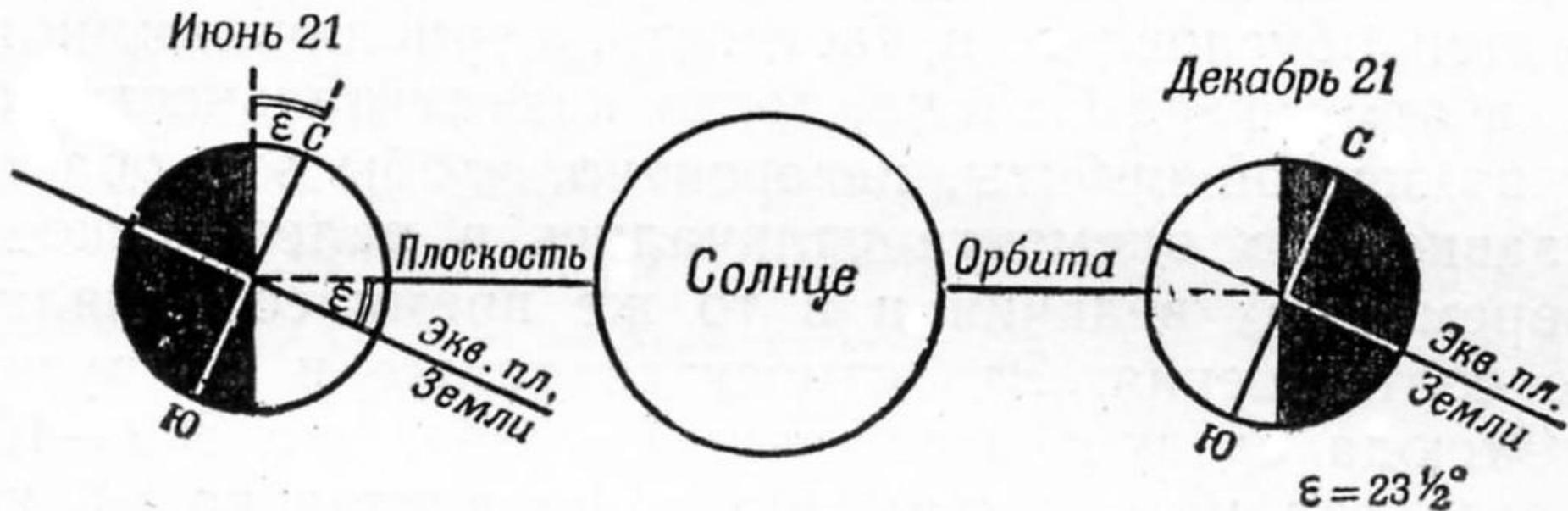
- Состав и масса атмосферы.
- Состав и масса Океана.
- Рельеф Земной поверхности.
- И др.

Астрономическая теория.

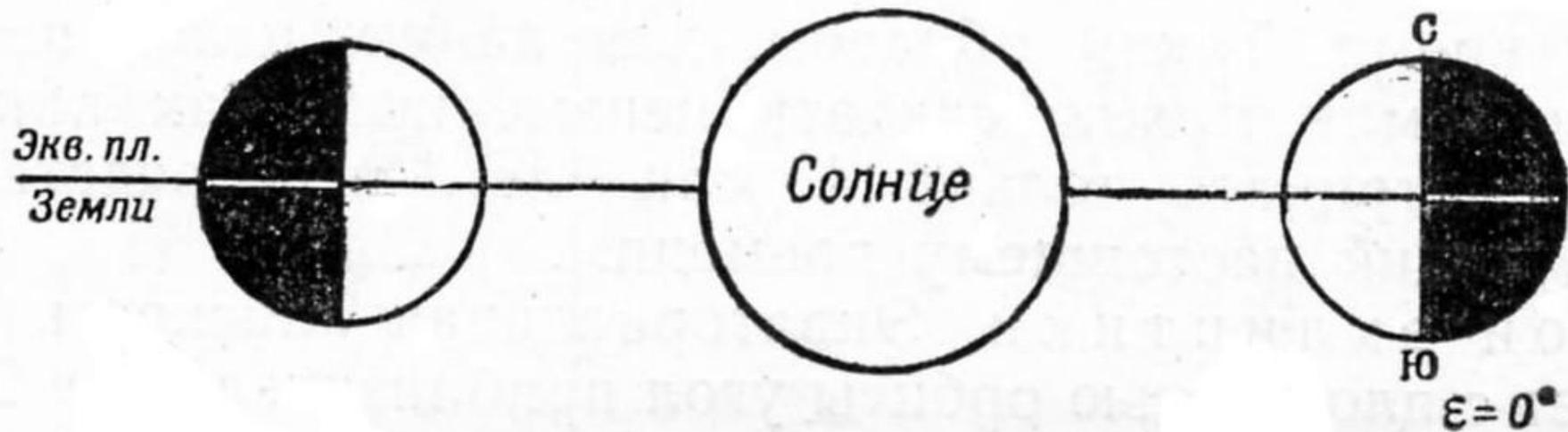
Изменения элементов Земной орбиты называются возмущениями или пертурбациями.



Наклон эклиптики, времена года и климатические пояса.

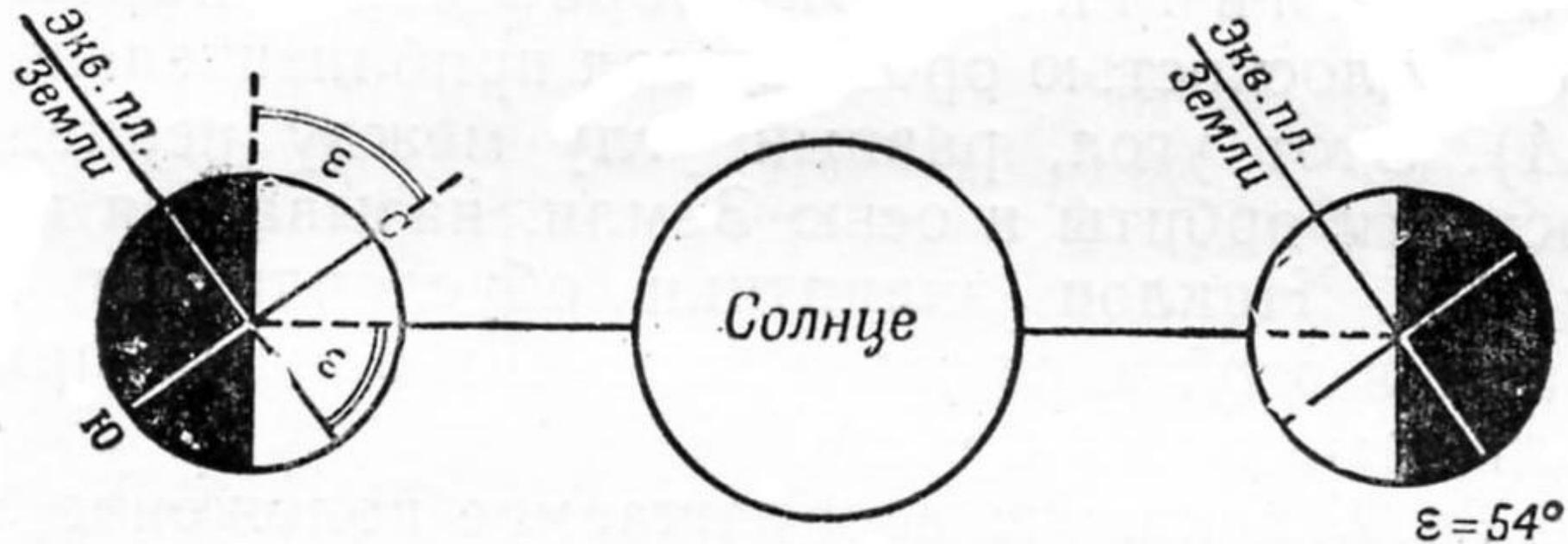


Экваториальная плоскость Земли образует с плоскостью орбиты угол приблизительно в $23,5^\circ$. Этот угол, равный углу между перпендикуляром к плоскости орбиты и осью Земли, называется наклоном эклиптики (ϵ).



Воображаемый наклон $\varepsilon = 0^\circ$; времена гола отсутствуют, но географические зоны выражены резко



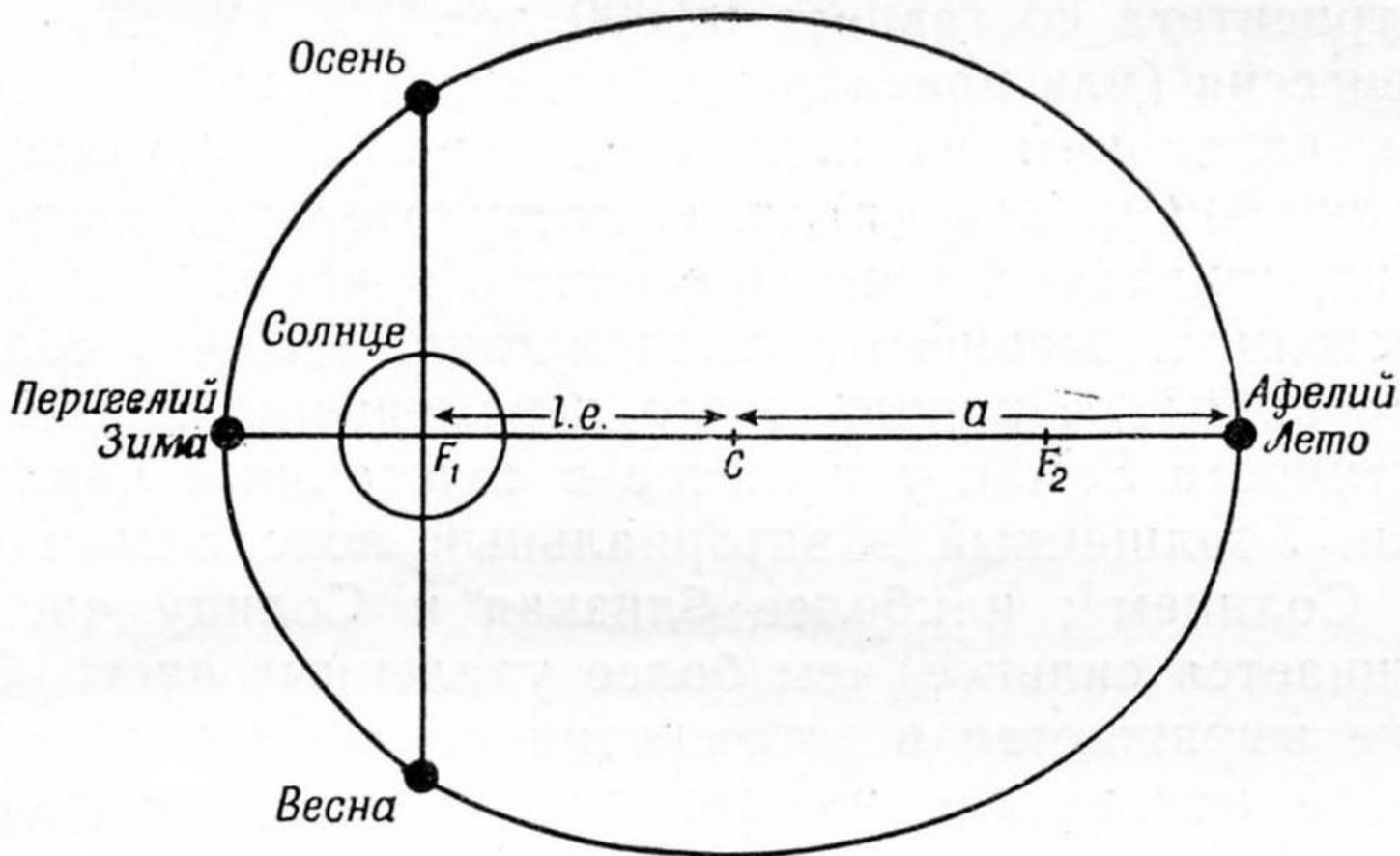


Воображаемый наклон $\epsilon = 54^\circ$; времена года выражены очень четко, но географическая зональность уменьшена до минимума.

В течении четвертичного периода наклон эклиптики всегда оставался в пределах $21^{\circ}39'$ и $24^{\circ}36'$ (современное его значение $23^{\circ}27'$). Период колебания наклона эклиптики составляет приблизительно 40 000 лет.



Эксцентриситет орбиты. Вторым элементом, колебания которого влияют на количество радиации, получаемое Землей от Солнца, представляет собой **эксцентриситет орбиты.**

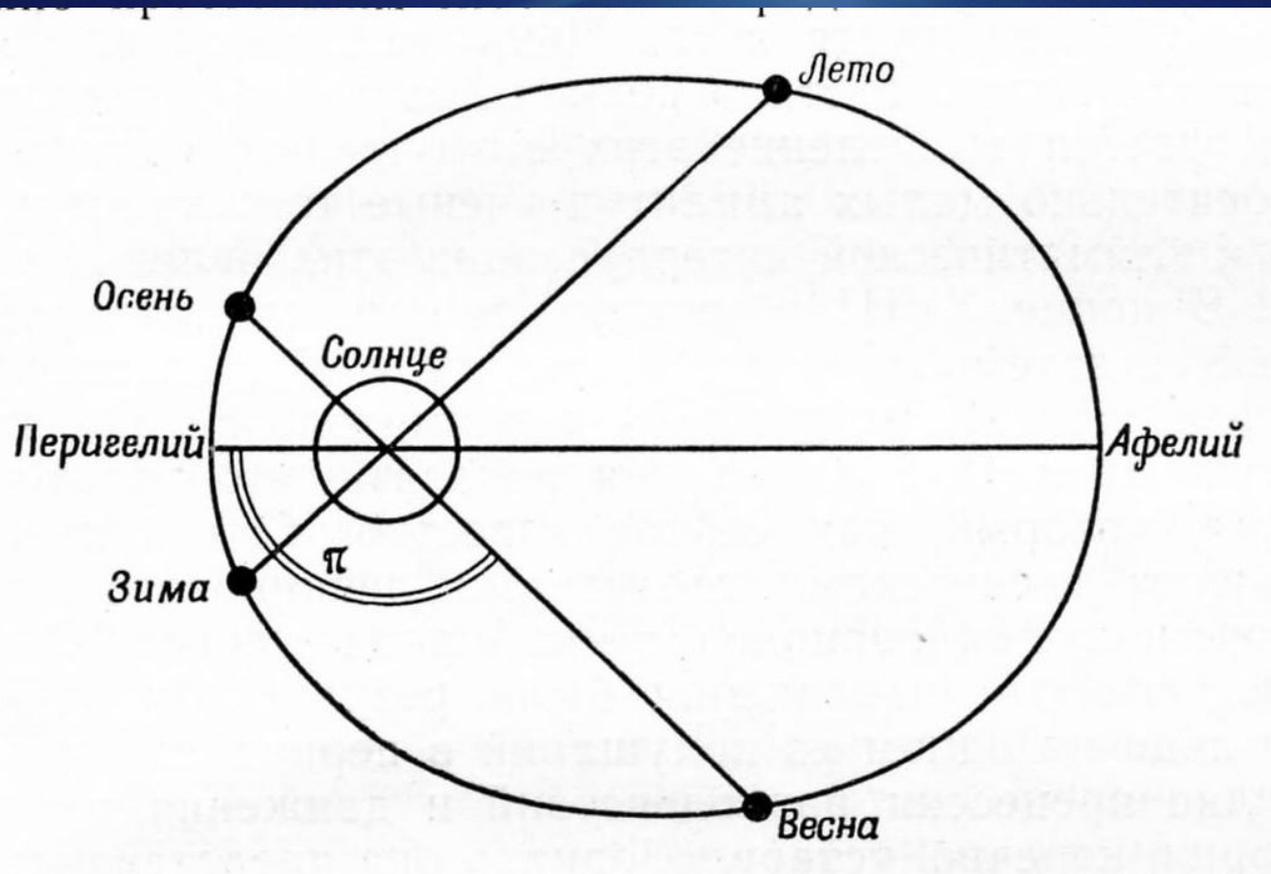


Солнце находится в одном фокусе (F_1), эллиптической орбиты. Расстояние от центра (c) до афелия или перигелия равно половине большой оси (a); CF_1 — „линейный эксцентриситет“ ($1.e.$). Эксцентриситет определяется по формуле $e = c/a$.

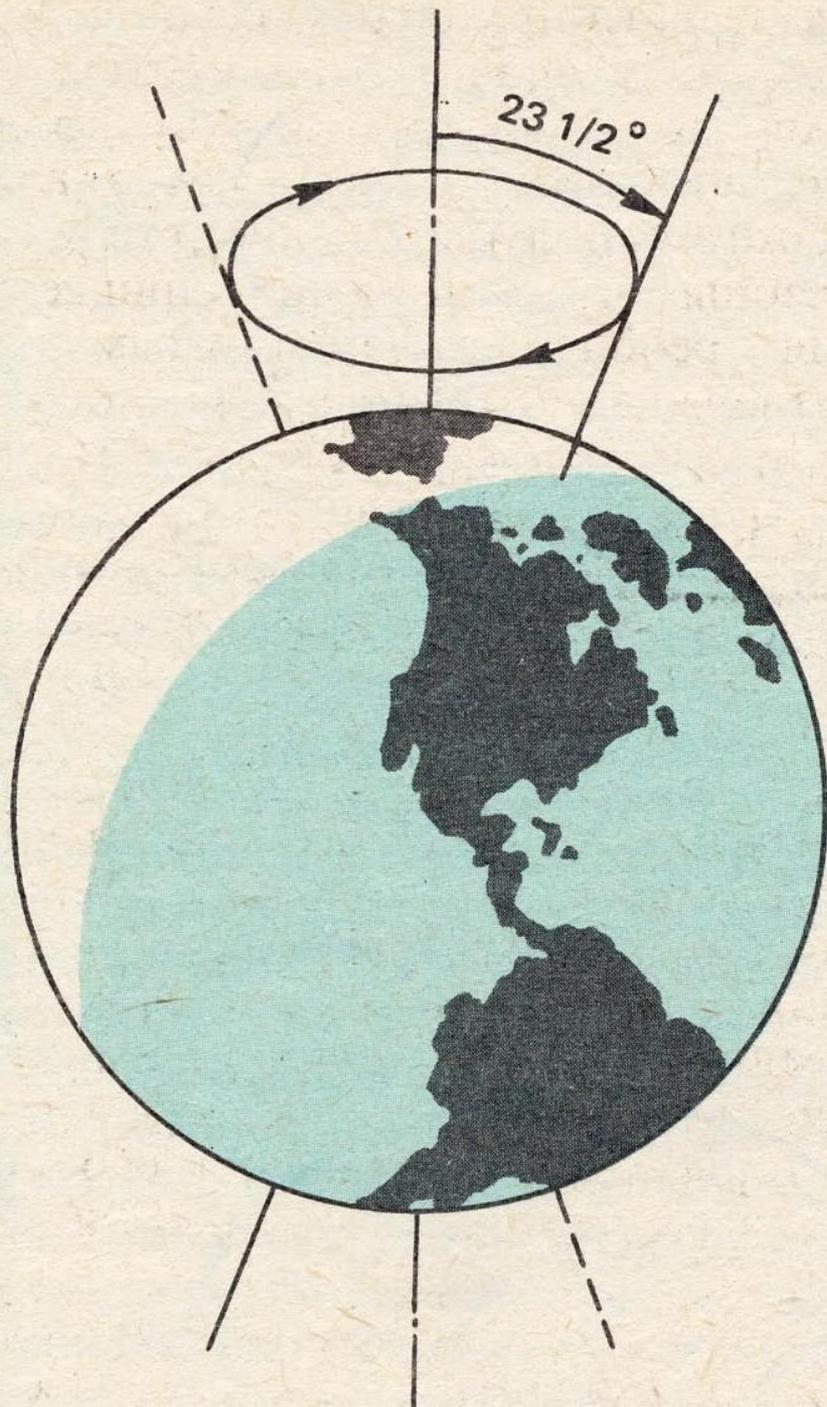
Чем меньше эксцентриситет, тем меньше разница в продолжительности времени года, и наоборот. Период колебания эксцентриситета составляет **92 000 лет.**



Прецессия (или предварение) равноденствий. Третьим элементом, влияющим на количество радиации, является *прецессия равноденствий* (π), т. е. поступательное движение четырех кардинальных точек (весеннего равноденствия, летнего солнцестояния, осеннего равноденствия, зимнего солнцестояния) по орбите.



Угол образованный прямой, соединяющей Солнце с перигелием, и прямой, соединяющей Солнце с точкой на орбите, в которой находится Земля в весеннее равноденствие называется **гелиоцентрической долготой перигелия** (π) и служит мерой измерения прецессии равноденствий.



Благодаря притяжению, оказываемому Солнцем и Луной на экваториальный пояс Земли, ее ось вращения совершает очень медленное круговое движение, описывая полный круг за 26000 лет.



Период прецессии составляет 26 000 лет. Однако, вследствие притяжения других планет эллиптическая орбита медленно вращается и это движение противоположно по направлению прецессии равноденствий. Таким образом, если принять, например, перигелий за нулевую точку на орбите, то для продвижения на полный оборот любой кардинальной точки потребуются не 26 000 лет, а только **21000 лет.**

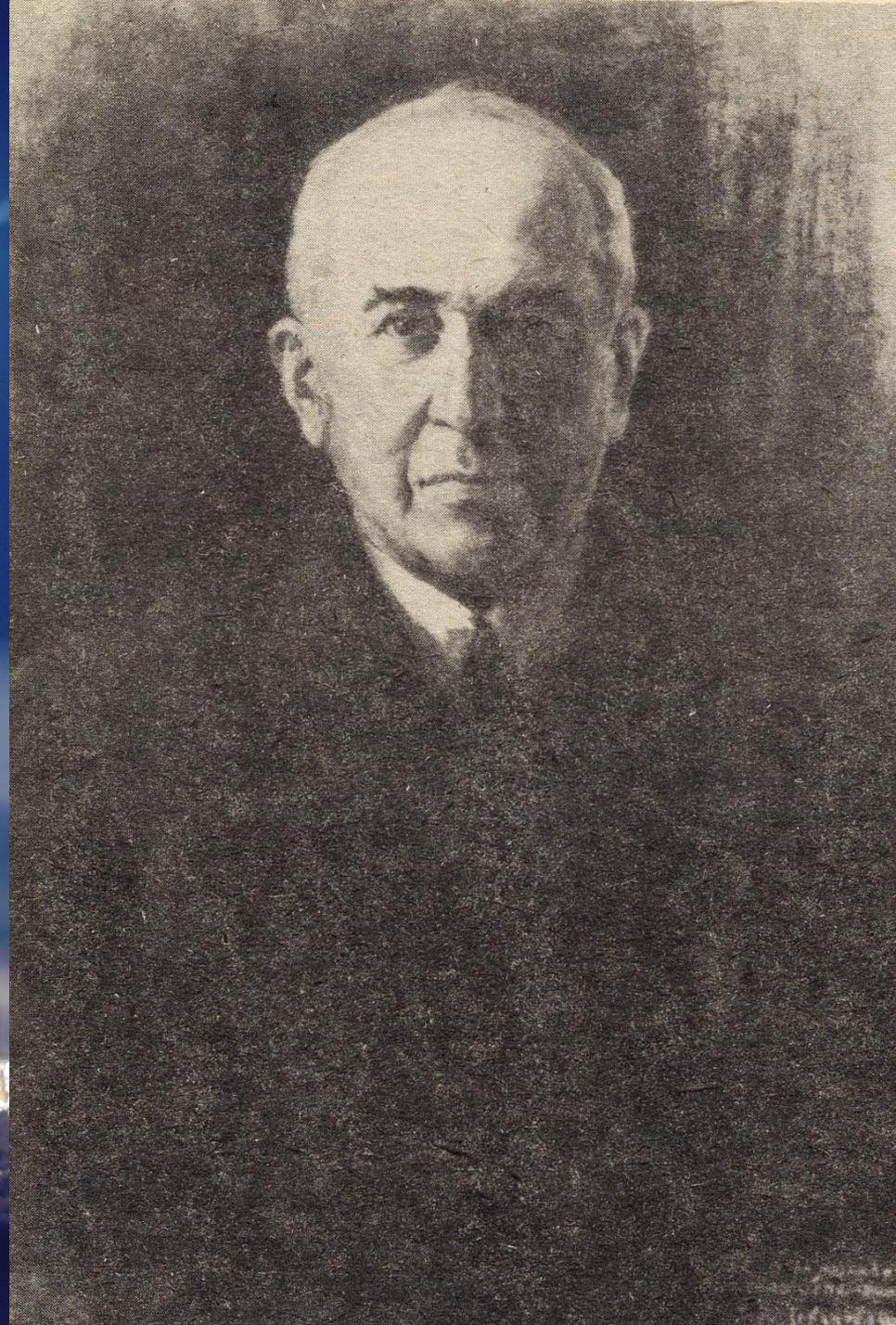


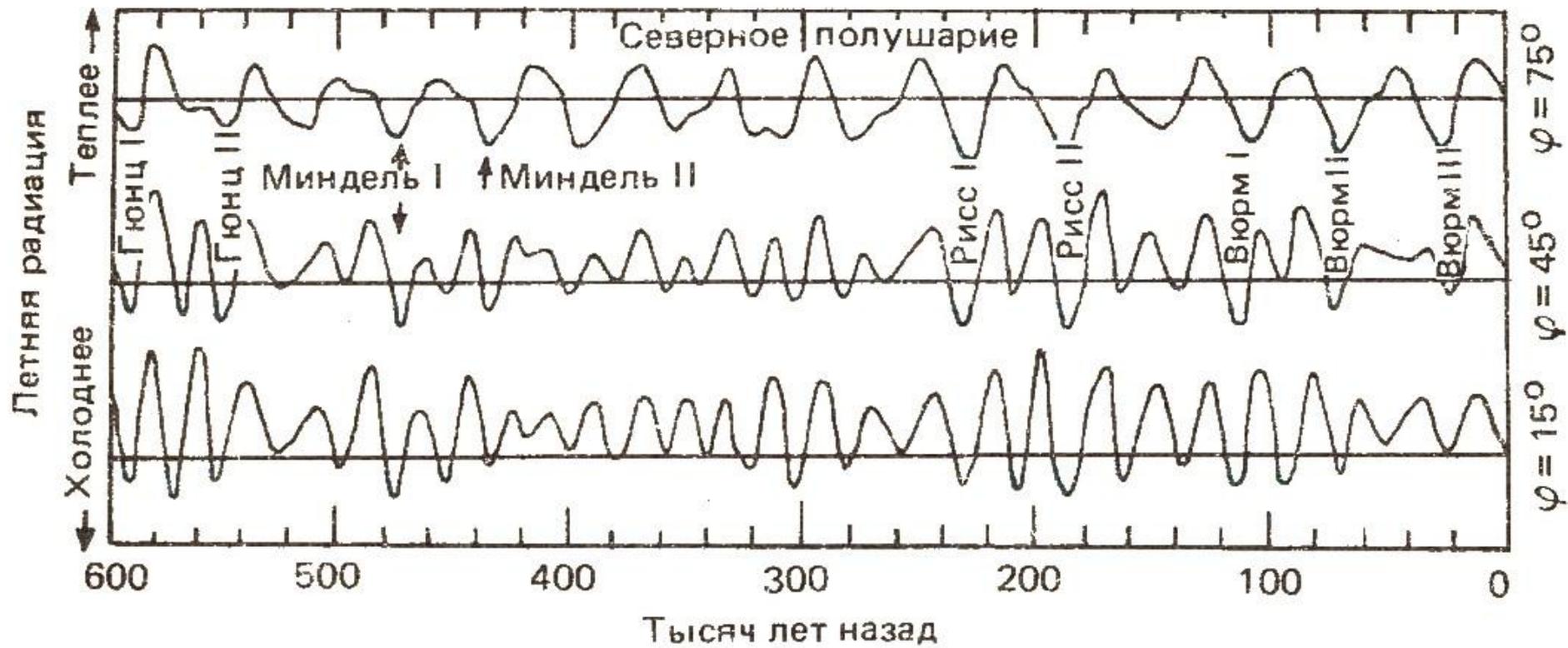
Теория Миланковича

Миланкович (1913)
разработал новые
методы расчета.

Учитывая все три
элемента изменений
Земной орбиты он
построил кривые
изменения солнечной
радиации в прошлом
для различных
широт.

Милутин Миланкович. Портрет
кисти П. Йовановича, 1943 год

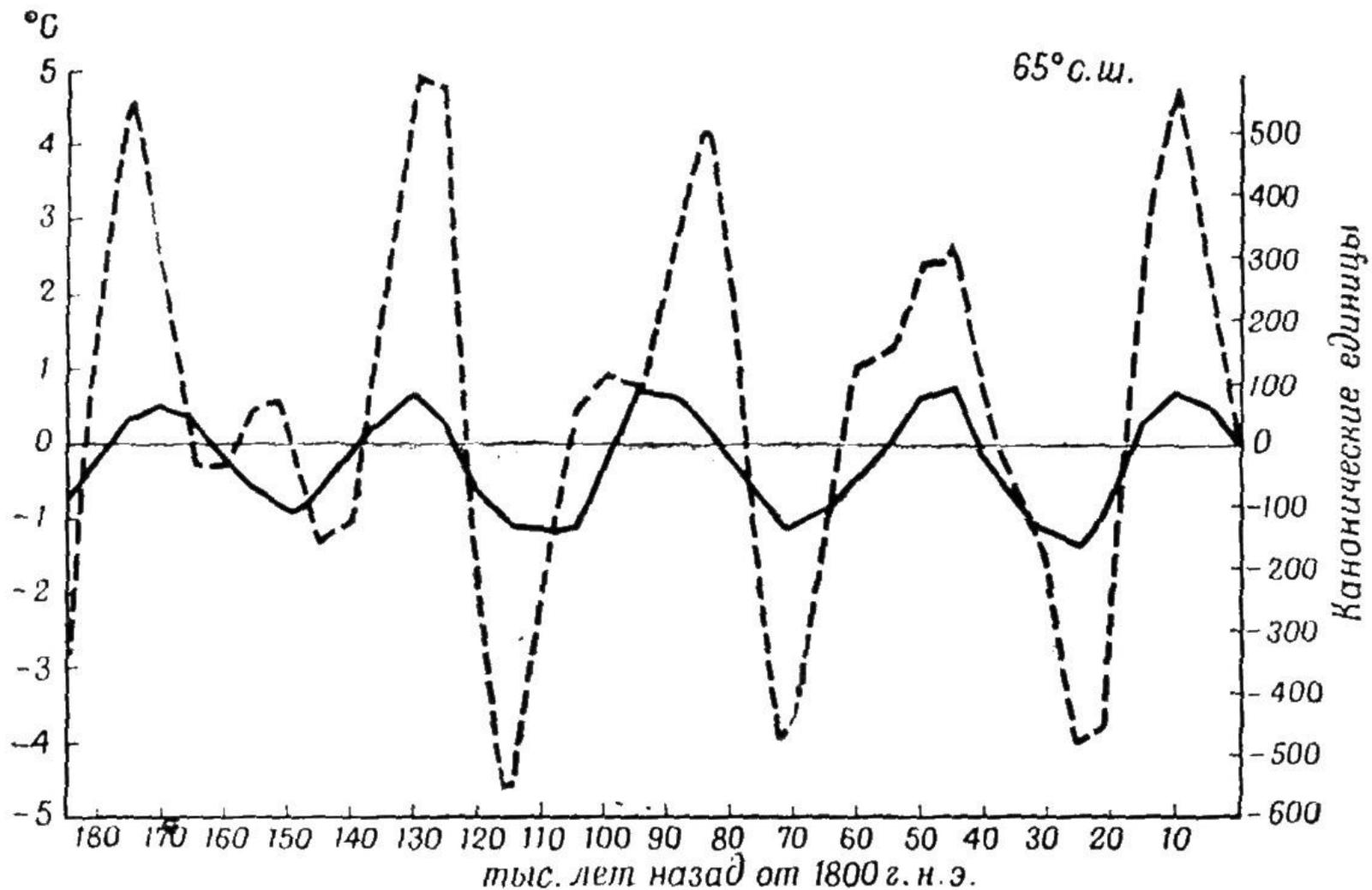




Инсоляционные кривые Миланковича,
построенные для разных широт.



Значение времен года



Средняя годовая (сплошная линия) и летняя радиация (пунктирная линия) для 65° с. ш. Составлено по таблицам Миланковича (М. Milankowitch, 1930).

Другие астрономические факторы

Галактический год — период времени, за который Солнечная система совершает один оборот вокруг центра Галактики..

Галактический год составляет, по разным оценкам, от 225 до 250 миллионов земных лет.



Гипотеза космической пыли

Климатические изменения, приводившие к оледенениям Земли, были обусловлены неравномерным распределением частиц пыли в космическом пространстве. **По одному ее варианту**, тенденция к похолоданию устанавливалась тогда, когда Земля проходила через области с повышенной концентрацией космической пыли и значительная часть энергии солнечной радиации рассеивалась этой пылью. **По другому варианту** той же теории, эффект прощуждения солнечной системы через пылевое облако был как раз обратным: пыль в огромных количествах попадала на Солнце, чем усиливалась яркость его свечения и повышалась температура на Земле.

Другие астрономические факторы

**Необратимые изменения орбитальных
Параметров Земли из-за приливных сил**

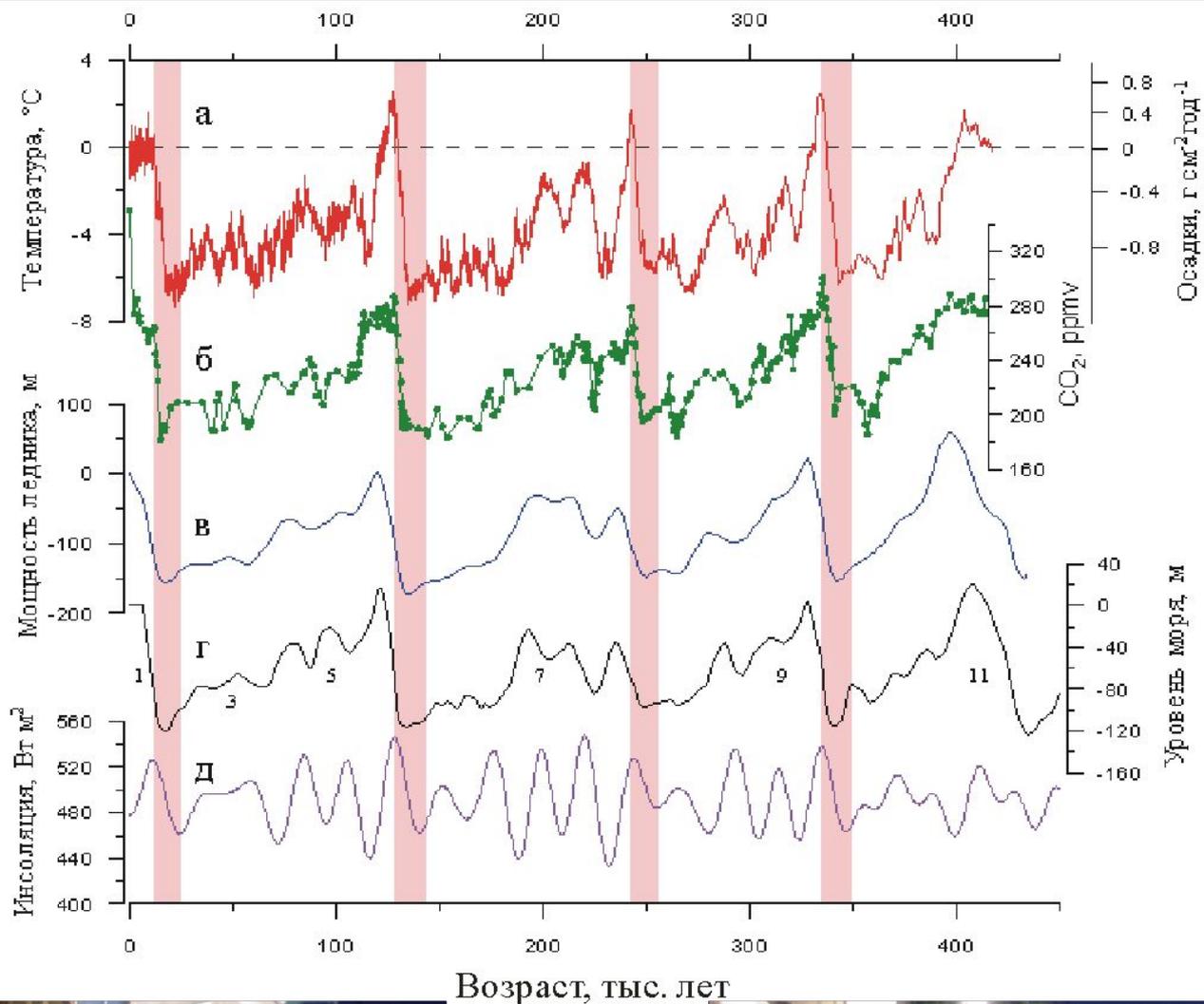
Уменьшение скорости суточного вращения
Земли и, следовательно, увеличение
продолжительности суток, уменьшение влияния
силы Кориолиса

Увеличение наклона эклиптики к экватору,
уменьшение годовых различий в притоке тепла в
низких и высоких широтах при возрастании
сезонных различий в притоке радиации.

Изменение состава атмосферы.

Содержание углекислого газа очень невелико, оно составляет лишь около 0,033% массы атмосферы. Все дело в особых свойствах углекислого газа: будучи сравнительно прозрачным для коротковолновой радиации, поступающей от Солнца, он в то же время непрозрачен для длинноволнового излучения, направленного от Земли в космос (так называемый парниковый эффект).





в - изменения мощности антарктического ледникового покрова в районе станции Восток;
г - изменение уровня Мирового океана, рассчитанное по сводной изотопной кривой морских осадков (цифрами обозначены “теплые” морские изотопные стадии);

Изменения климата, газового состава атмосферы и толщины антарктического ледникового покрова за последние 410 тыс. лет по результатам изучения ледяного керна со станции Восток [Липенков и др., 2003].

Архивы палеогеографической и палеоклиматической информации

- Ледники
- Морские осадки
- Различные типы субареальных отложений
- Кольца деревьев
- Спелеотемы
- Озера



Индикаторы (проху) палеогеографической и палеоклиматической информации

Major category	Indicator	Paleoclimate/paleoenvironment parameter(s)
Lithological/mineralogical	Banded iron formations	Atmospheric evolution; ocean paleochemistry
	Bauxite	Tropical, humid climates; paleogeographic reconstructions
	Beachrock	Sea level indicator
	Bedded chert (marine)	Ocean paleoproductivity
	Carbonates, cool water	Cool ocean paleotemperatures
	Chalk	Ocean paleoproductivity, carbonate compensation depth
	Clays (various)	Chemical weathering (humid vs. arid climates)
	Coal	Humid to perhumid climate
	Eolian dust (ice cores; ocean sed.)	Wind strength and direction
	Eolianite (carbonate-rich)	Arid, high wind and wave energy, low relief coasts; interglacial high sea-level stands
	Eskers	Glaciation
	Evaporites	Arid climate
	Dunes	Arid climate; wind direction and strength, atmospheric circulation
	Duricrusts	Warm, seasonally wet/dry climates, semi-arid climates (calcrete)
	Glendonite/ikaite	Cold climate
	Ice-rafted debris	Glaciation
	Kames and kettles	Glaciation
	Lacustrine sediments	Temperature, precipitation, salinity
	Laterite	Tropical, humid climates; paleogeographic reconstructions
	Loess deposits	Periglacial, desert environments, glacial-interglacial variations in wind direction and strength, atmospheric circulation
	Moraines	Glaciation
	Outwash plains	Glaciation
	Paleosols	Precipitation, (temperature—warm, cold), pCO ₂
	Patterned ground	Periglacial environment
	Pingo	Periglacial environment
	Phosphates	Ocean paleoproductivity, wind-driven upwelling zones
	Red beds	Warm, seasonally wet/dry climates
	Roche moutonnée	Glaciation
	Sapropels	Anoxic conditions and/or high paleocean productivity
	Speleothems	Paleotemperature ($\delta^{18}\text{O}$ ratios), vegetation change ($\delta^{13}\text{C}$ ratios), paleoprecipitation
	Tills, tillites	Glaciation
	Varved sediments	Seasonal variations in rainfall or streamflow, glacial or non-glacial sediments; annual dating

Индикаторы (прокси) палеогеографической и палеоклиматической информации

Geochemical	
<i>Isotopes</i>	
^{10}Be	Solar variability, dating
$\delta^{11}\text{B}$	Paleo-ocean pH
$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	pCO_2 , C_3 versus C_4 plant distributions, ocean paleoproductivity, global organic carbon burial/weathering
$^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$	Solar variability, dating
$^2\text{H}/^1\text{H}$	Paleohydrology, paleotemperature
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	Local atmospheric temperature (in ice), ice volume or sea level (air bubbles in polar ice; benthic foraminifera), paleoprecipitation
$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	Rapid temperature fluctuations (air bubbles in polar ice), stratification in lakes, oceans
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Continental weathering, river runoff
$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	Ocean paleochemistry—changes in sulfate precipitation (evaporites) or sedimentary sulfide burial
<i>Organic matter</i>	
Alkenones	Ocean paleotemperature
Carbon accumulation rates	Ocean paleoproductivity
<i>Trace elements</i>	
Barium (barite)	Ocean paleoproductivity
Boron (as $\text{B}(\text{OH})_4^-$)	Paleo-ocean pH
Cadmium	Ocean nutrients (in planktonic forams, coccoliths), proxy for PO_4^{3-}
Magnesium	Ocean paleotemperature
Phosphorus	Ocean paleoproductivity
Iron	Ocean nutrient
Mn, Co, Ni, Zn, Cu	Ocean nutrients
Strontium	Ocean paleotemperature

Индикаторы (проxy) палеогеографической и палеоклиматической информации

Geophysical

Electrical conductivity
Paleomagnetism

Variations in ice core acidity, volcanic activity, rapid climate oscillations
Paleolatitude, dating

Paleontological

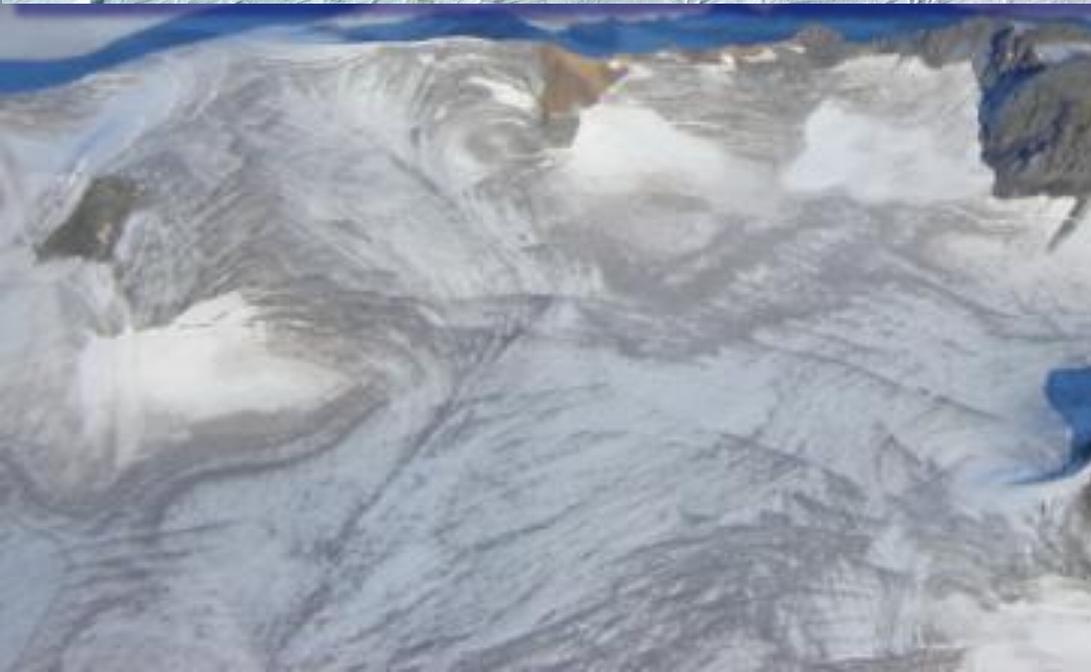
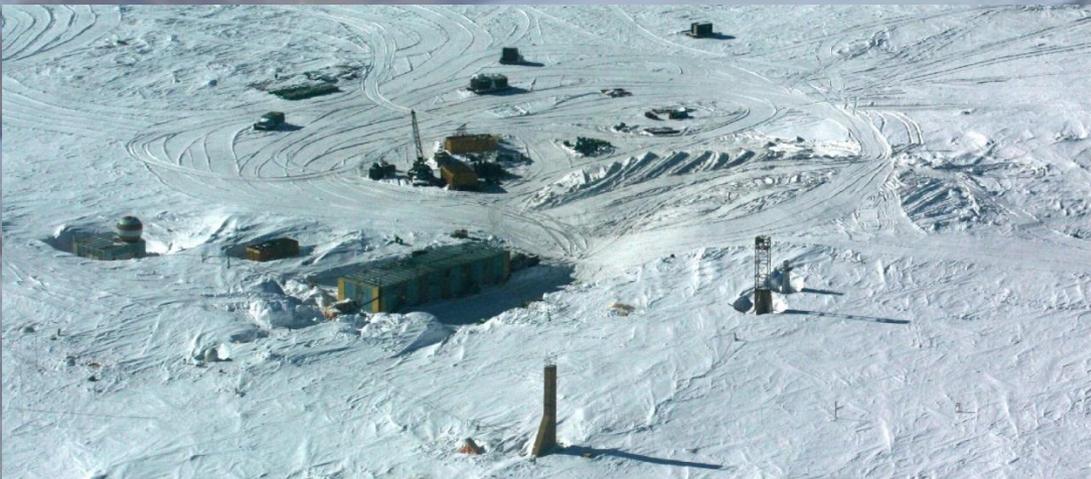
Animals, invertebrates
Animals, vertebrates
Beetles
Coccoliths
Corals, coral reefs
Diatoms
Dinoflagellates
Foraminifera
 Benthic
 Planktonic
Ostracodes
Plants
 Leaf morphology
 Stomatal index
 Tree rings
 Plant assemblages
 Pollen
 Treeline fluctuations
Radiolaria

Marine facies, cool versus warm climate, paleolatitude
Paleotemperature, biogeography
Paleotemperature
Ocean paleoproductivity, biostratigraphy
Tropical to subtropical shallow water temperatures
Ocean paleoproductivity, temperature, salinity, pH
Ocean paleotemperature, salinity, productivity, sea-ice cover extent

Ice volume, sea level ($\delta^{18}\text{O}$ ratios), ocean paleoproductivity
Ocean paleotemperature, paleoproductivity
Ocean and lacustrine paleotemperature, salinity, precipitation

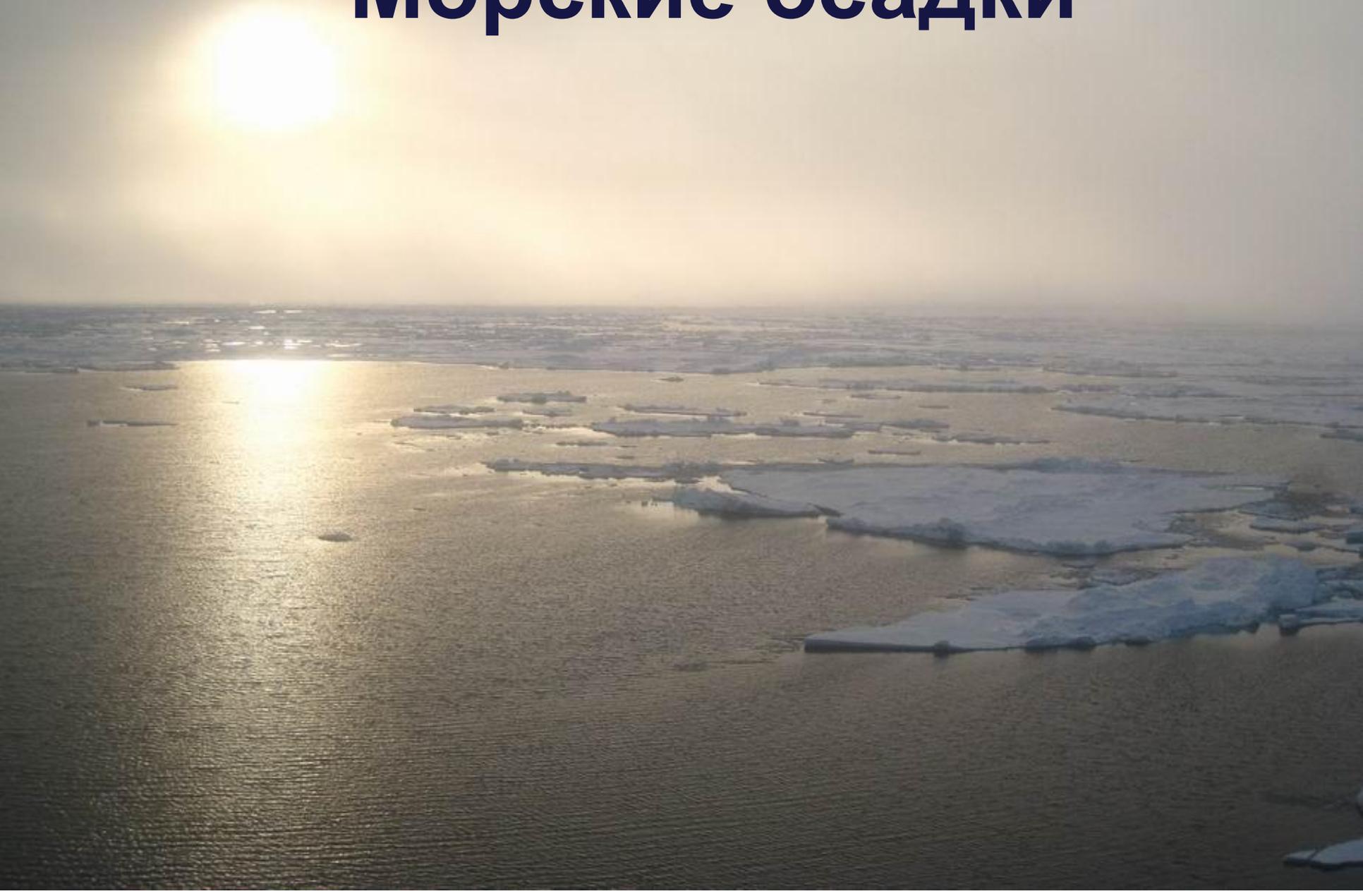
Paleoaltitude, seasonal and mean annual temperature, precipitation
 pCO_2 , temperature, moisture availability
Temperature, precipitation, interannual variability, annual dating
Paleoecology, paleoclimate
Paleoecology, paleotemperature, paleoprecipitation
Growing season temperature variations
Paleocean temperature, ocean paleoproductivity

Ледники

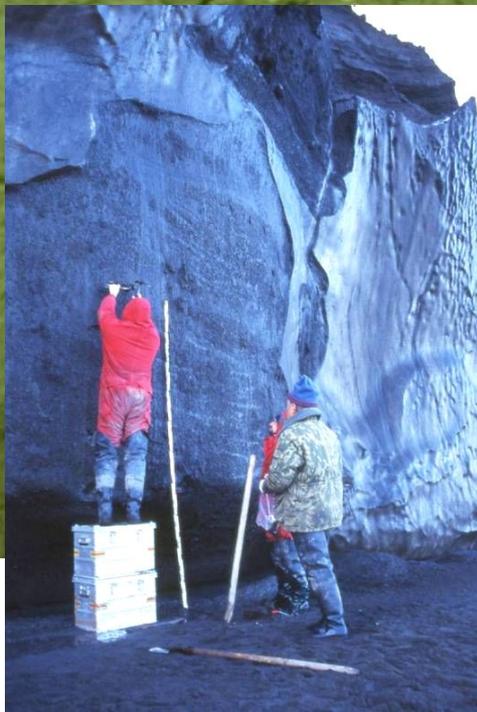


12 8 2004

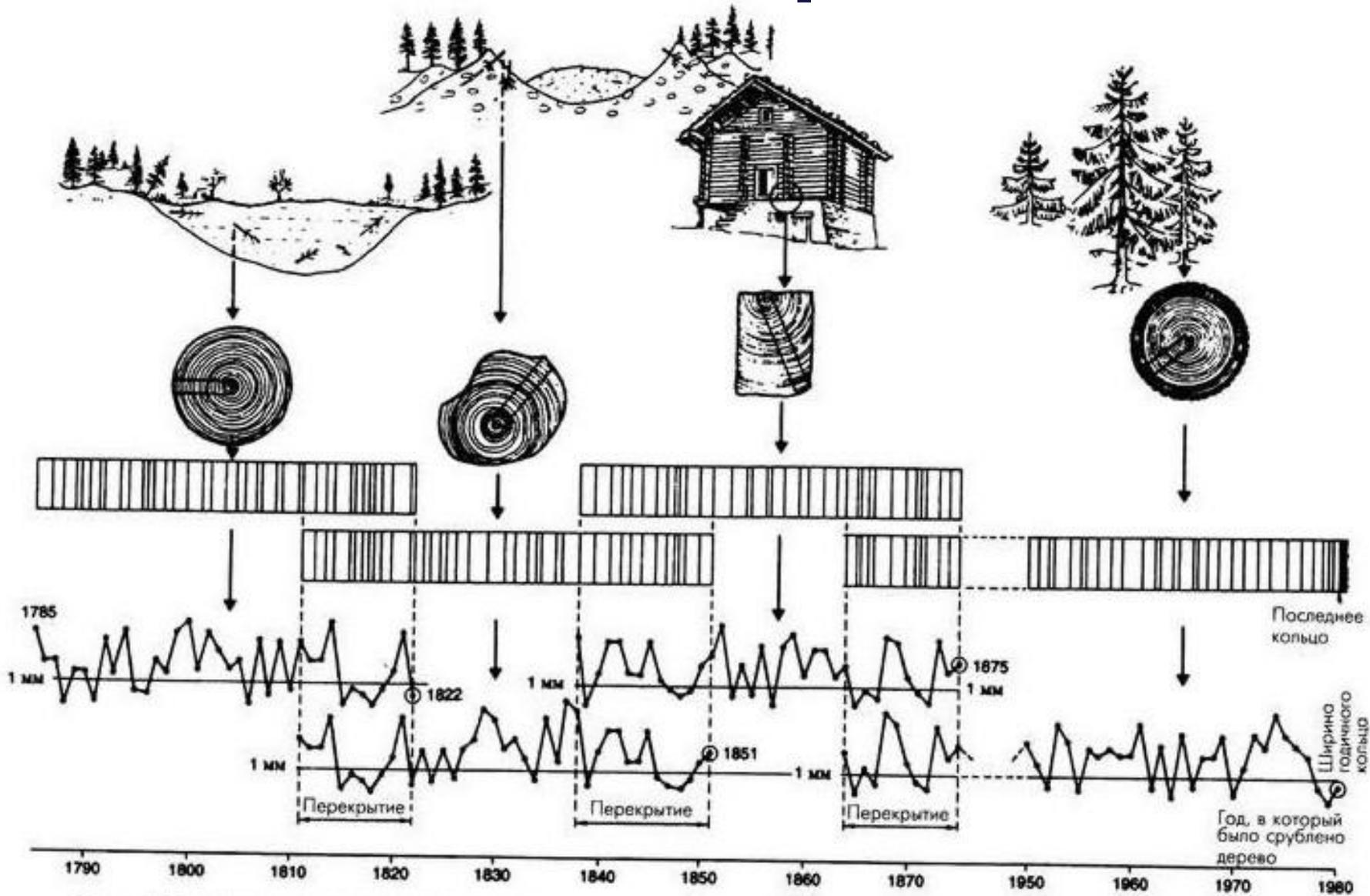
Морские осадки



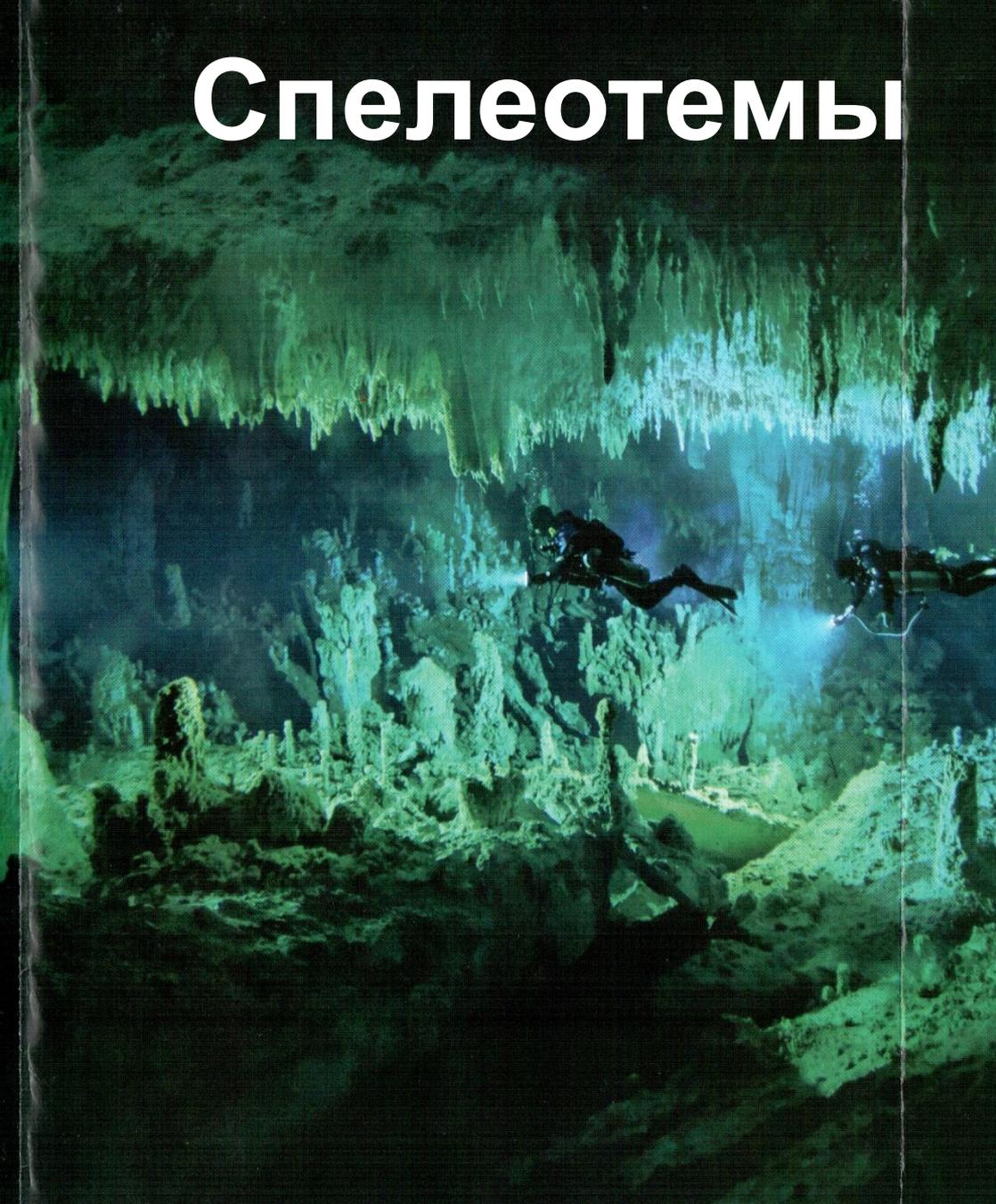
Различные типы континентальных отложений



Кольца деревьев



Спелеотемы



Озера и озерные осадки

