Палеоклиматология
Климатология
Палеогеография

Общая характеристика климатической системы

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

Объем атмосферы, содержащий 99,8% ее массы, ограничивается высотой 60 км и равен $3{,}82 \times 10^{12}$ км^3. При этом масса воздуха – $5{,}2 \times 10^{18}$ км^3.
Гидросфера (97,2% - воды Океана) имеет объем $1{,}37 \times 10^{9}$ км^3 и массу $1{,}43 \times 10^{21}$ км^3.

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 вращение вокруг оси).
- Геофизические (размер и масса Земли, внутреннее тепло, определяющее геотермические источники тепла и вулканизм.

Климатообразующие факторы

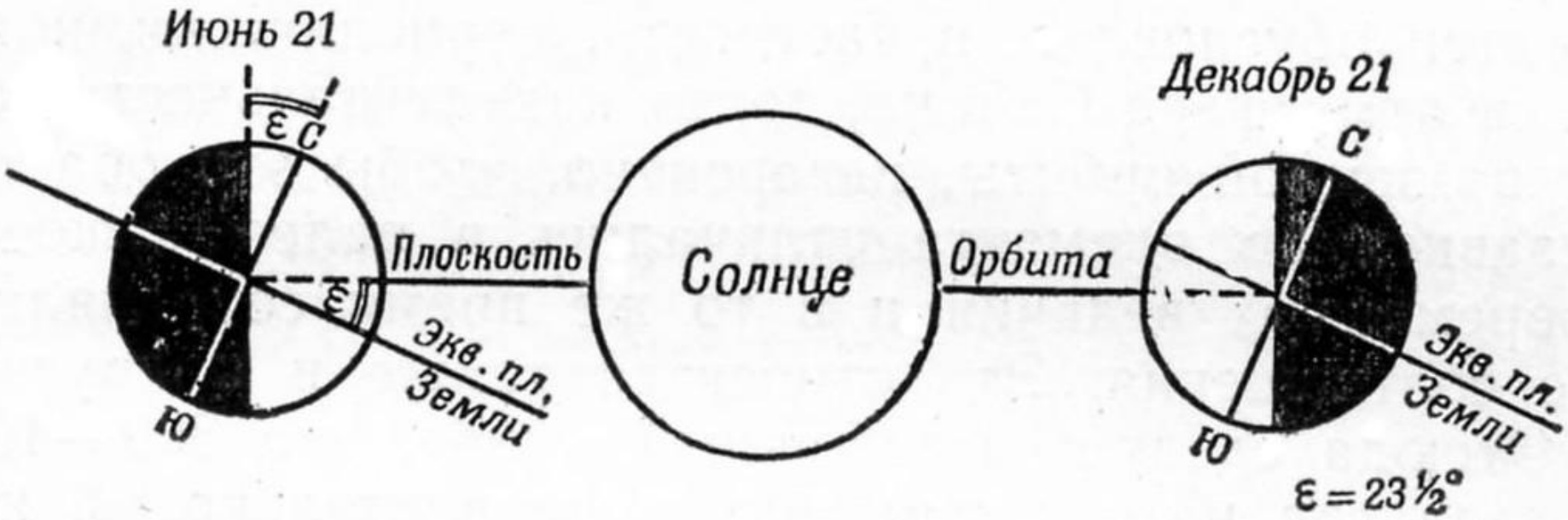
Внутренние

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

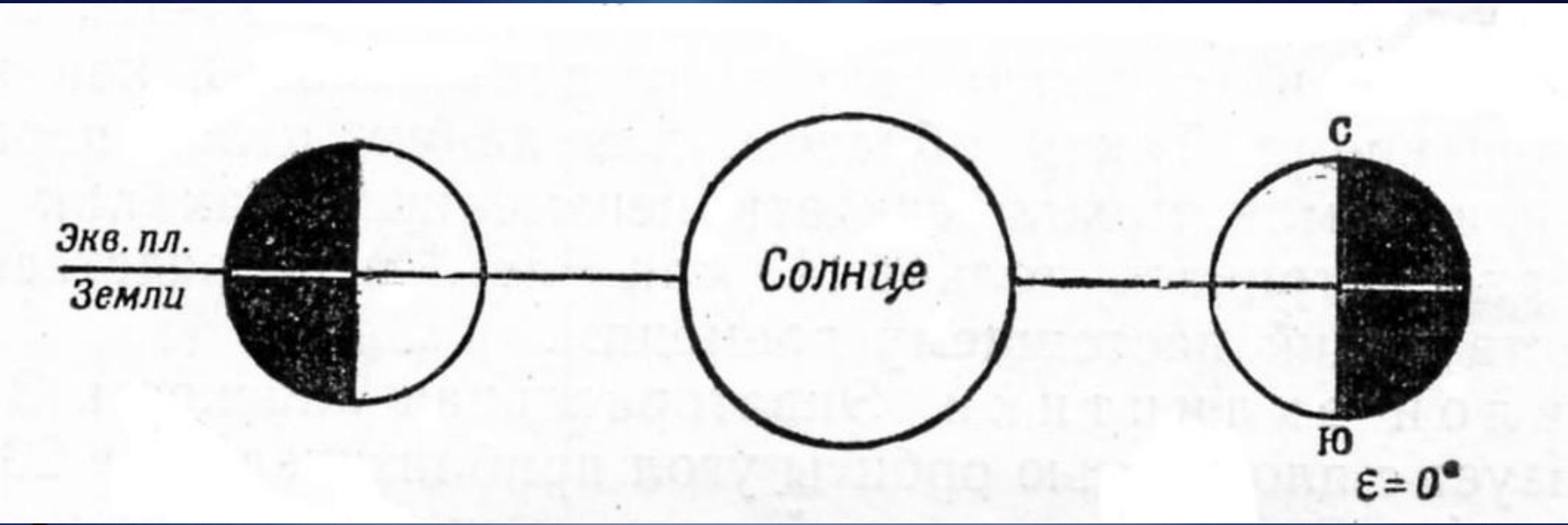
Астрономическая теория.

Изменения элементов Земной орбиты называются возмущениями или пертурбациями.

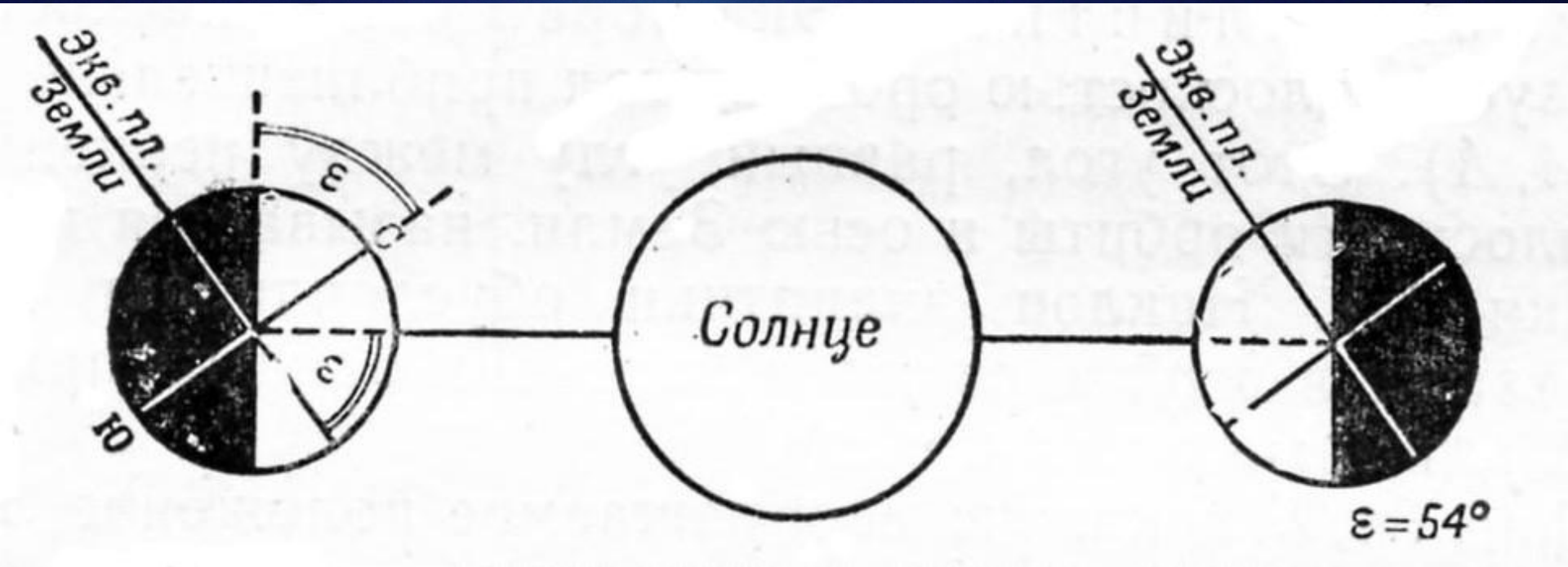
Наклон эклиптики, времена года и климатические пояса.



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



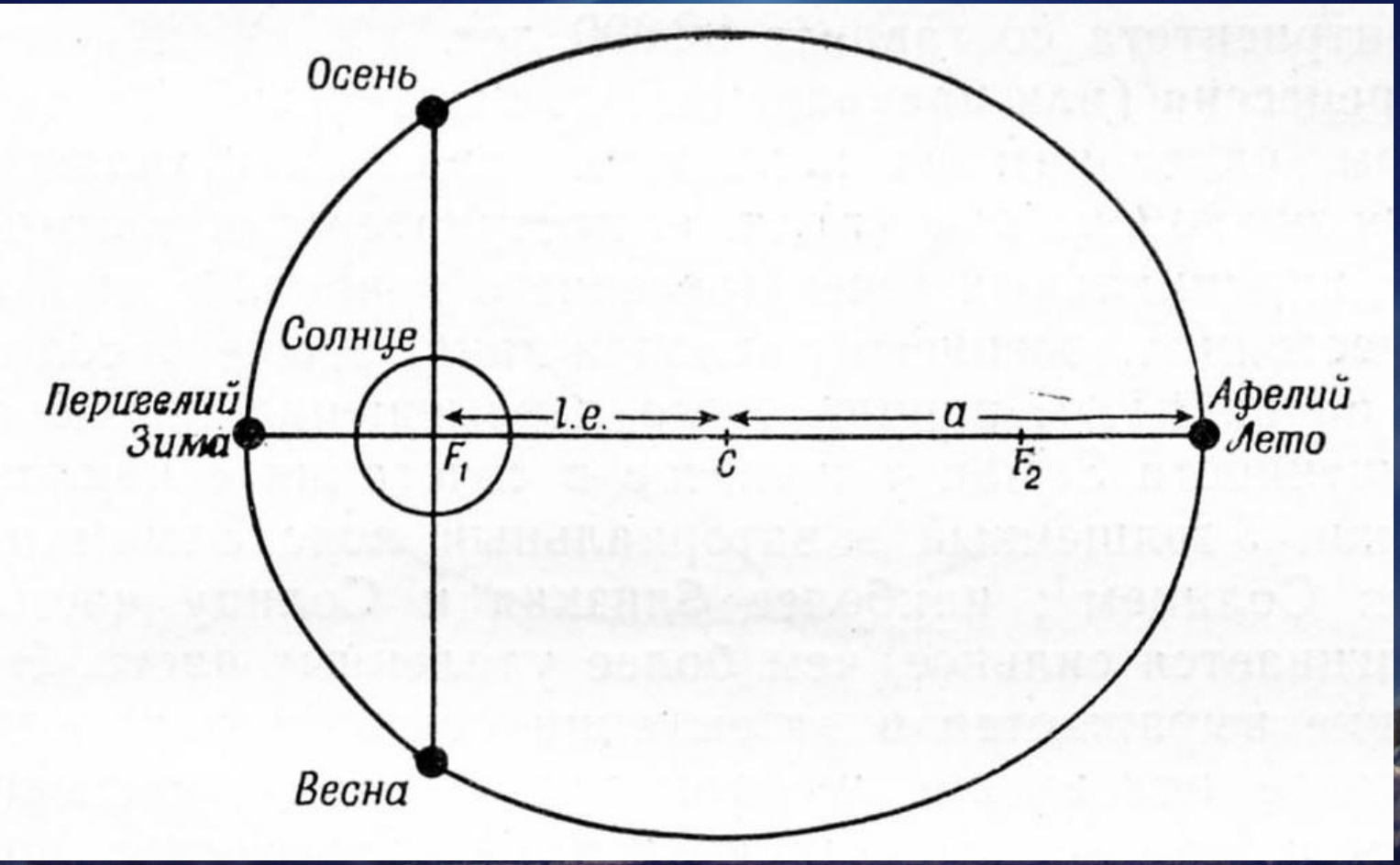
Воображаемый наклон ε = 0°; времена гола отсутствуют, но географические зоны выражены резко



Воображаемый наклон ε = 54°; времена года выражены очень четко, но географическая зональность уменьшена до минимума.

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

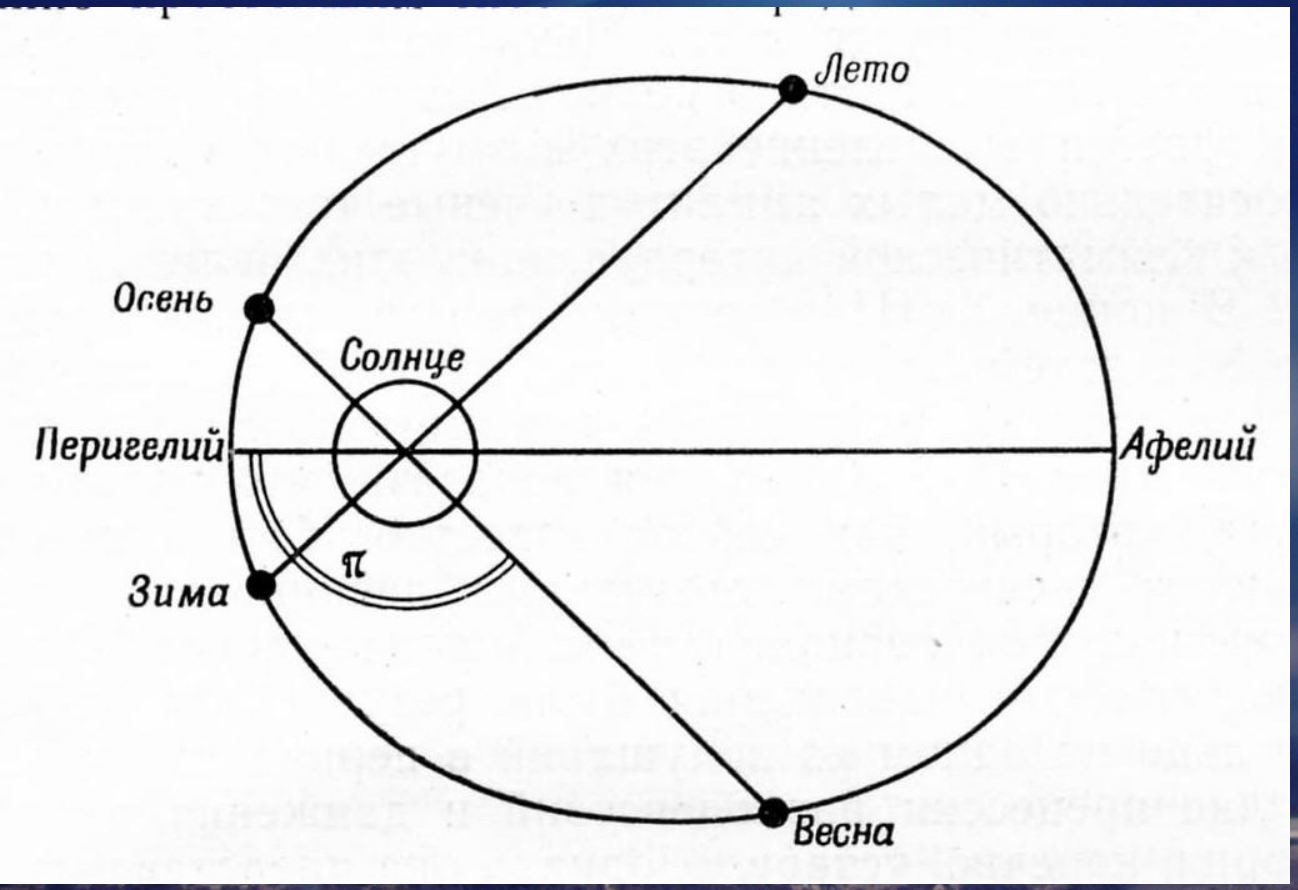
Эксцентриситет орбиты. Второй элемент, колебания которого влияют на количество радиации, получаемое Землей от Солнца, представляет собой *эксцентриситет орбиты*.



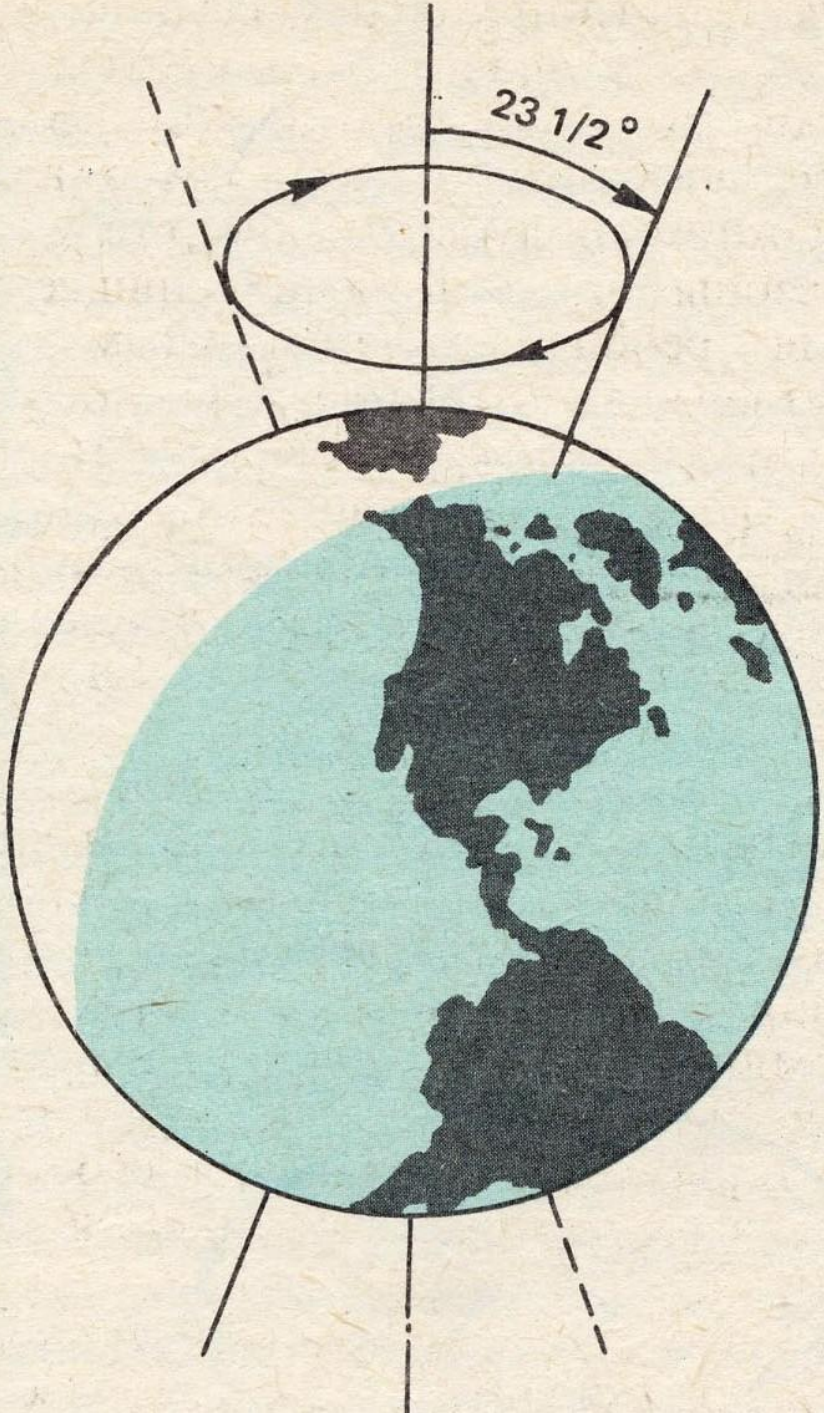
Солнце находится в одном фокусе (F1,) эллиптической орбиты. Расстояние от центра *(c)* до афелия или перигелия равно половине большой оси *(a)*;CF1 — „линейный эксцентриситет" *(1.e)*. Эксцентриситет определяется по формуле *e =l:a*.

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.

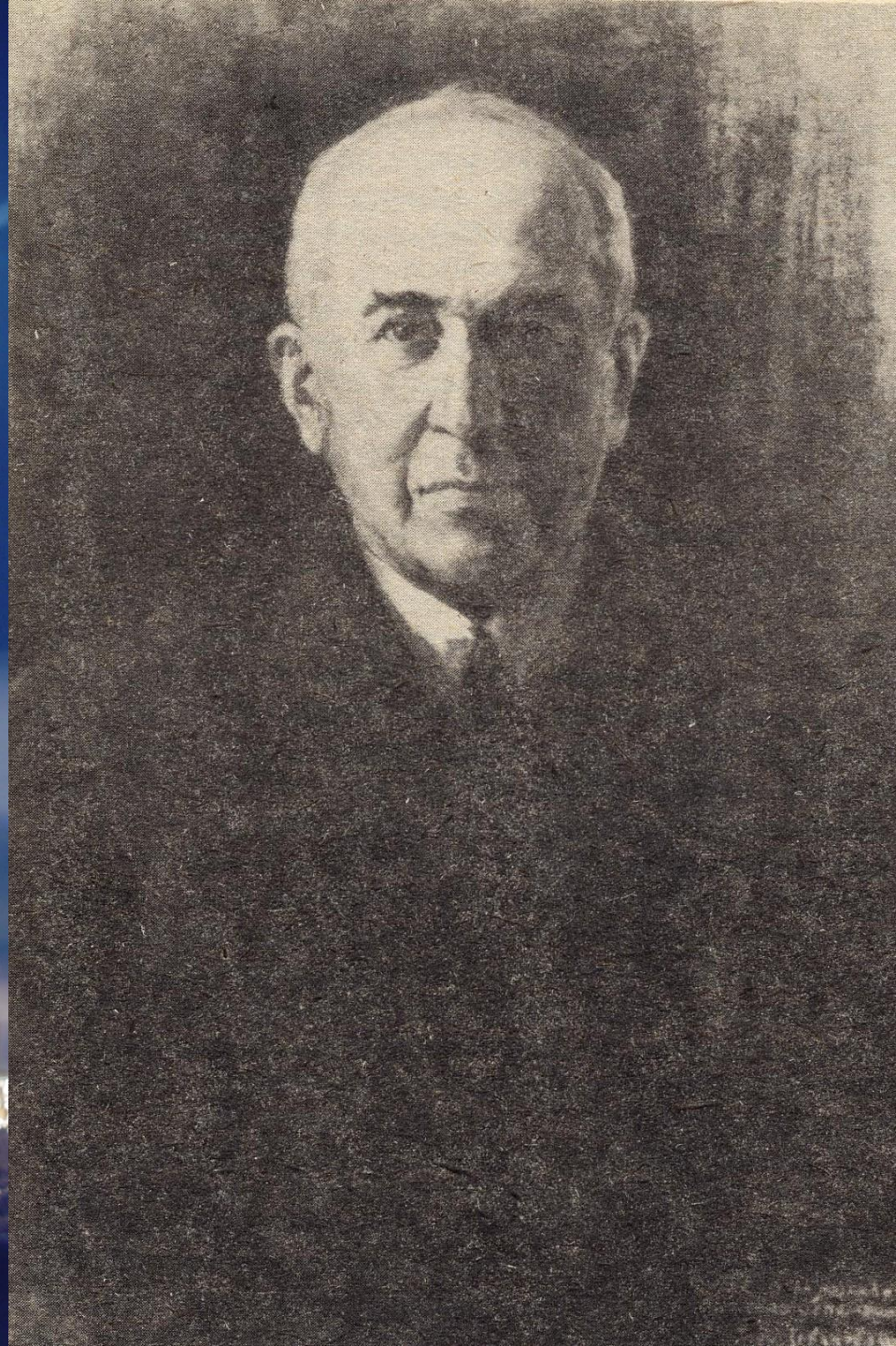


Благодаря притяжению, оказываемому Солнцем и Луной на экваториальный пояс Земли, ее ось вращения совершает очень медленное круговое движение, описывая полный круг за 26000 лет.

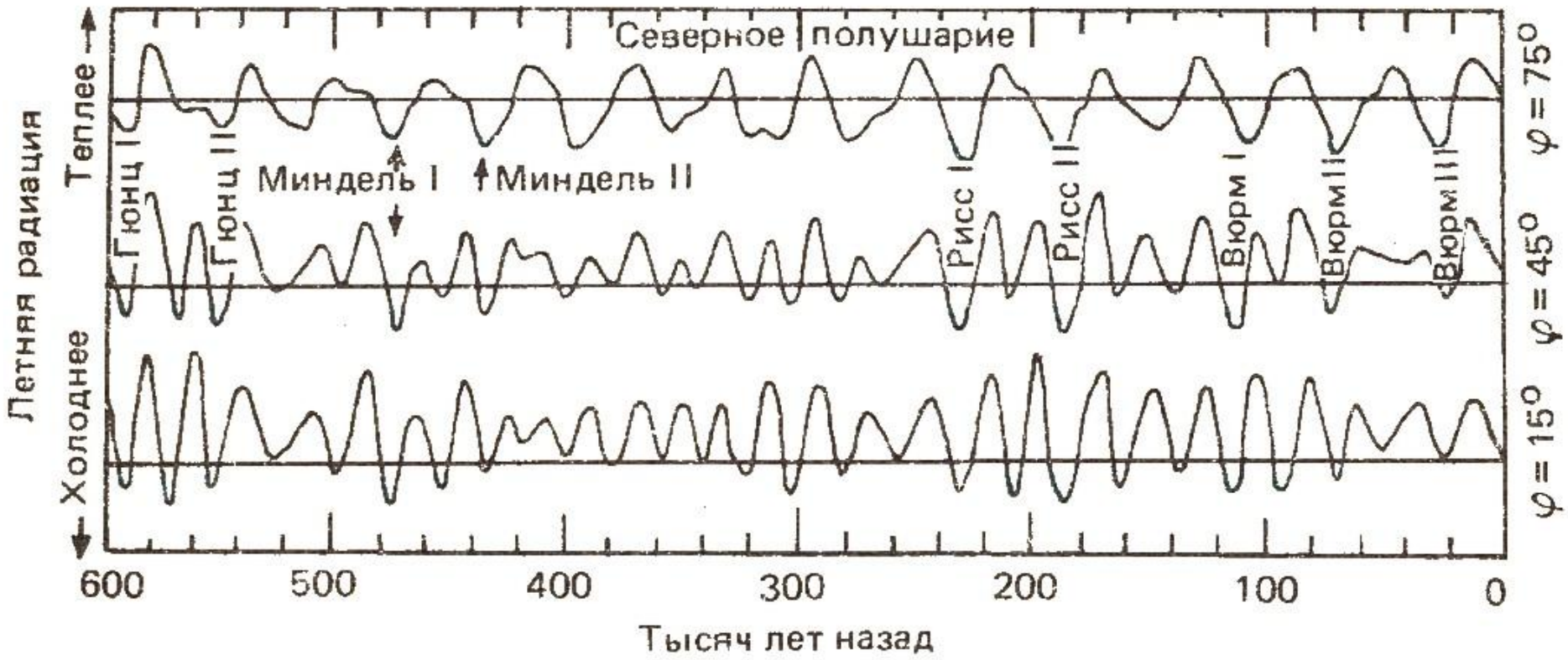
Период прецессии составляет 26 000 лет. Однако, вследствие притяжения других планет эллиптическая орбита медленно вращается и это движение противоположно по направлению прецессии равноденствий. Таким образом, если принять, например, перигелий за нулевую точку на орбите, то для продвижения на полный оборот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

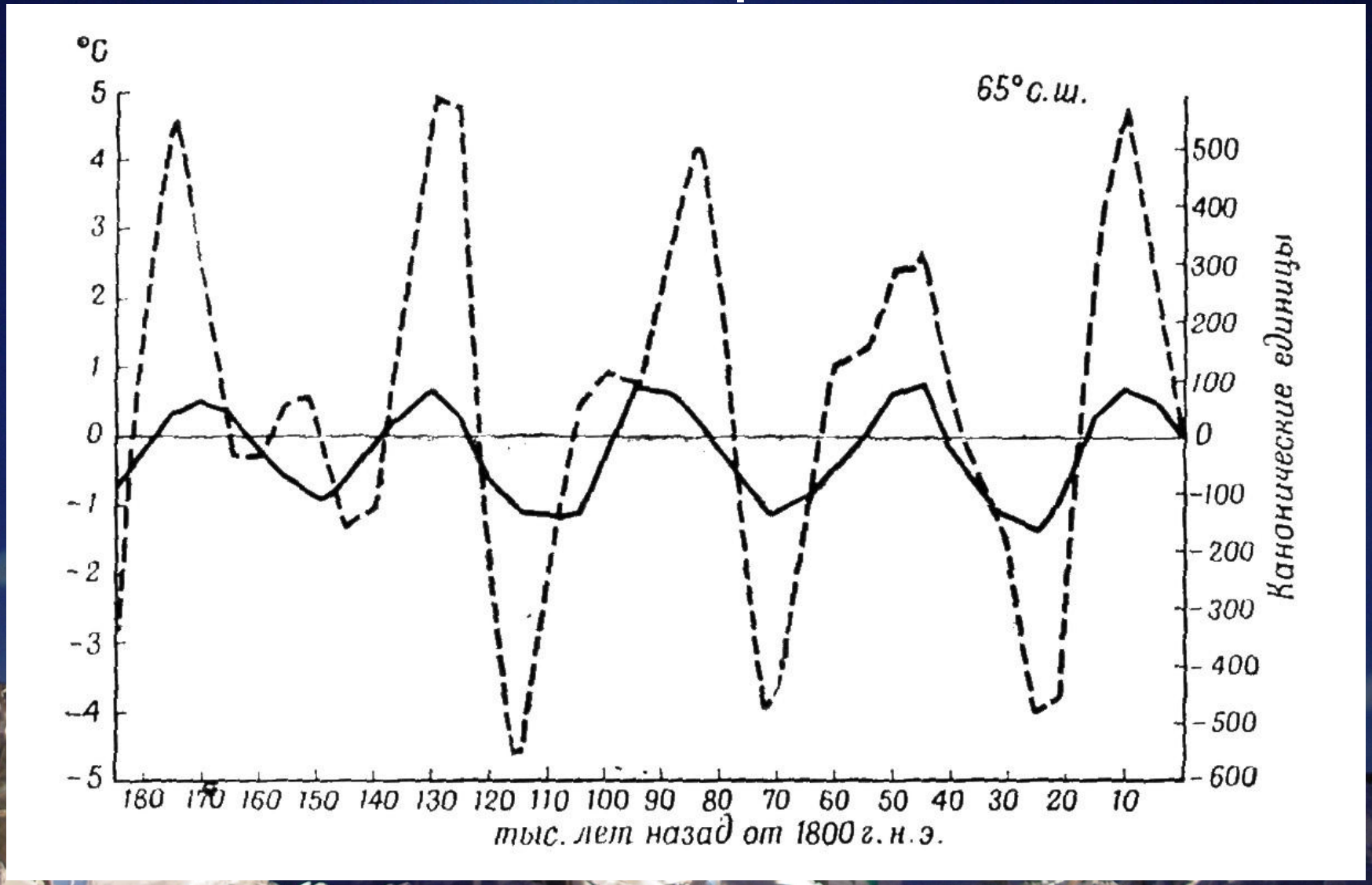


Милутин Миланкович. Портрет кисти П. Йовановича, 1943 год



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 (M. 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 прохождения 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

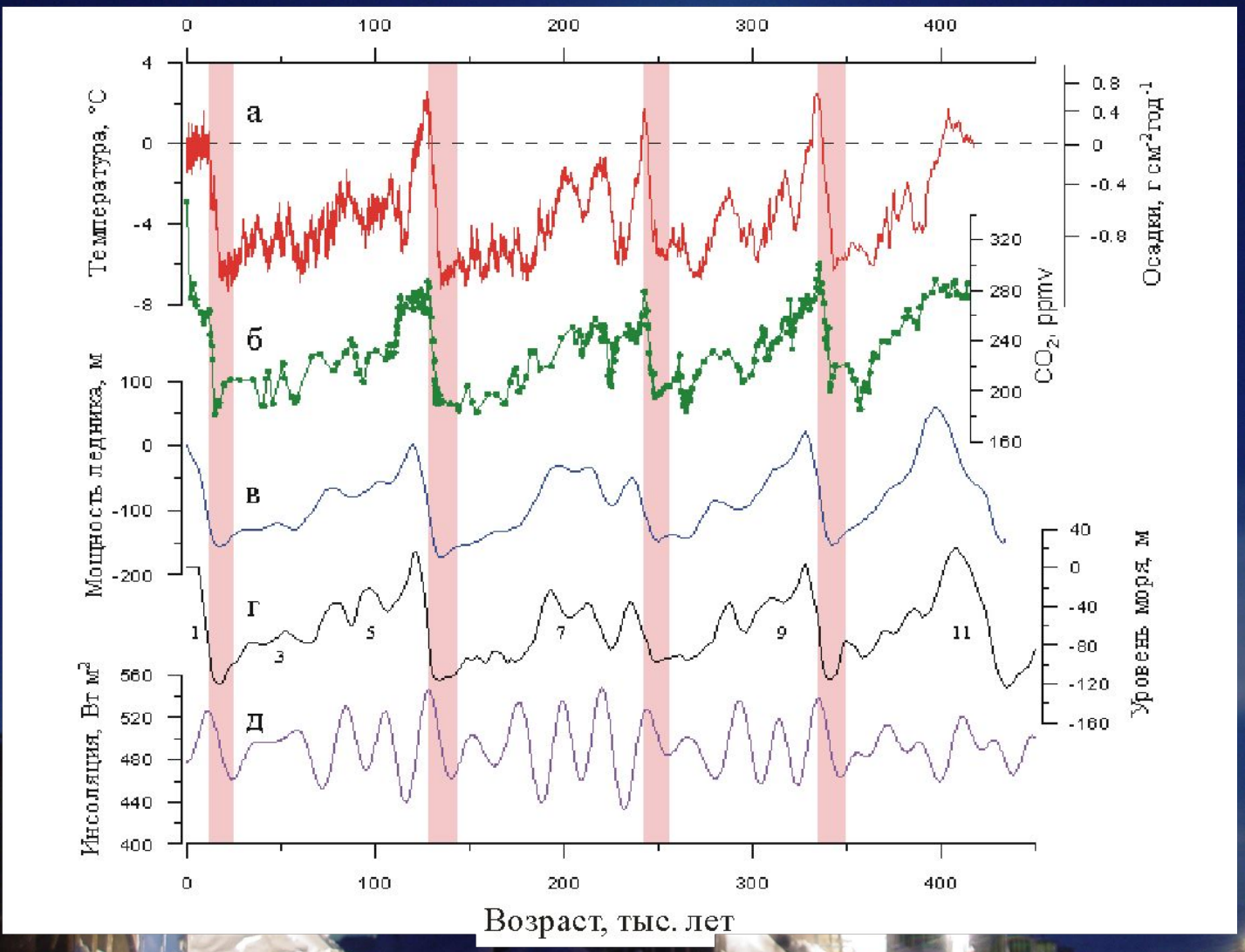
Необратимые изменения орбитальных Параметров Земли из-за приливных сил

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 (proxy) 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 seds.)	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 ($\delta^{18}O$ ratios), vegetation change ($\delta^{13}C$ ratios), paleoprecipitation
	Tills, tillites	Glaciation
	Varved sediments	Seasonal variations in rainfall or streamflow, glacial or non-glacial sediments; annual dating

Индикаторы (proxy) палеогеографической и палеоклиматической информации

Geochemical		
	Isotopes	
	^{10}Be	Solar variability, dating
	$\delta^{11}B$	Paleo-ocean pH
	$^{13}C/^{12}C$	pCO_2, C_3 versus C_4 plant distributions, ocean paleoproductivity, global organic carbon burial/weathering
	$^{14}C/^{12}C$	Solar variability, dating
	$^{2}H/^{1}H$	Paleohydrology, paleotemperature
	$^{18}O/^{16}O$	Local atmospheric temperature (in ice), ice volume or sea level (air bubbles in polar ice; benthic foraminifera), paleoprecipitation
	$^{15}N/^{14}N$	Rapid temperature fluctuations (air bubbles in polar ice), stratification in lakes, oceans
	$^{87}Sr/^{86}Sr$	Continental weathering, river runoff
	$^{34}S/^{32}S$	Ocean paleochemistry–changes in sulfate precipitation (evaporites) or sedimentary sulfide burial
	Organic matter	
	Alkenones	Ocean paleotemperature
	Carbon accumulation rates	Ocean paleoproductivity
	Trace elements	
	Barium (barite)	Ocean paleoproductivity
	Boron (as $B(OH)_4^-$)	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 (proxy) палеогеографической и палеоклиматической информации

Geophysical		
	Electrical conductivity	Variations in ice core acidity, volcanic activity, rapid climate oscillations
	Paleomagnetism	Paleolatitude, dating
Paleontological		
	Animals, invertebrates	Marine facies, cool versus warm climate, paleolatitude
	Animals, vertebrates	Paleotemperature, biogeography
	Beetles	Paleotemperature
	Coccoliths	Ocean paleoproductivity, biostratigraphy
	Corals, coral reefs	Tropical to subtropical shallow water temperatures
	Diatoms	Ocean paleoproductivity, temperature, salinity, pH
	Dinoflagellates	Ocean paleotemperature, salinity, productivity, sea-ice cover extent
	Foraminifera	
	Benthic	Ice volume, sea level ($\delta^{18}O$ ratios), ocean paleoproductivity
	Planktonic	Ocean paleotemperature, paleoproductivity
	Ostracodes	Ocean and lacustrine paleotemperature, salinity, precipitaiton
	Plants	
	Leaf morphology	Paleoaltitude, seasonal and mean annual temperature, precipitation
	Stomatal index	pCO_2, temperature, moisture availability
	Tree rings	Temperature, precipitation, interannual variability, annual dating
	Plant assemblages	Paleoecology, paleoclimate
	Pollen	Paleoecology, paleotemperature, paleoprecipitation
	Treeline fluctuations	Growing season temperature variations
	Radiolaria	Paleocean temperature, ocean paleoproductivity

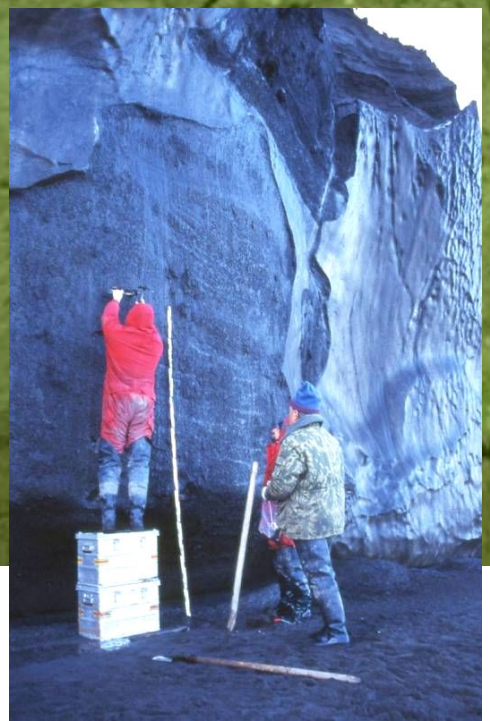
Ледники

54 РАЭ
скв. 5Г-2
3599
54 РАЭ
скв. 5Г-2
3598
54 РАЭ
скв. 5Г-2
3597
54 РАЭ
скв. 5Г-2
3596

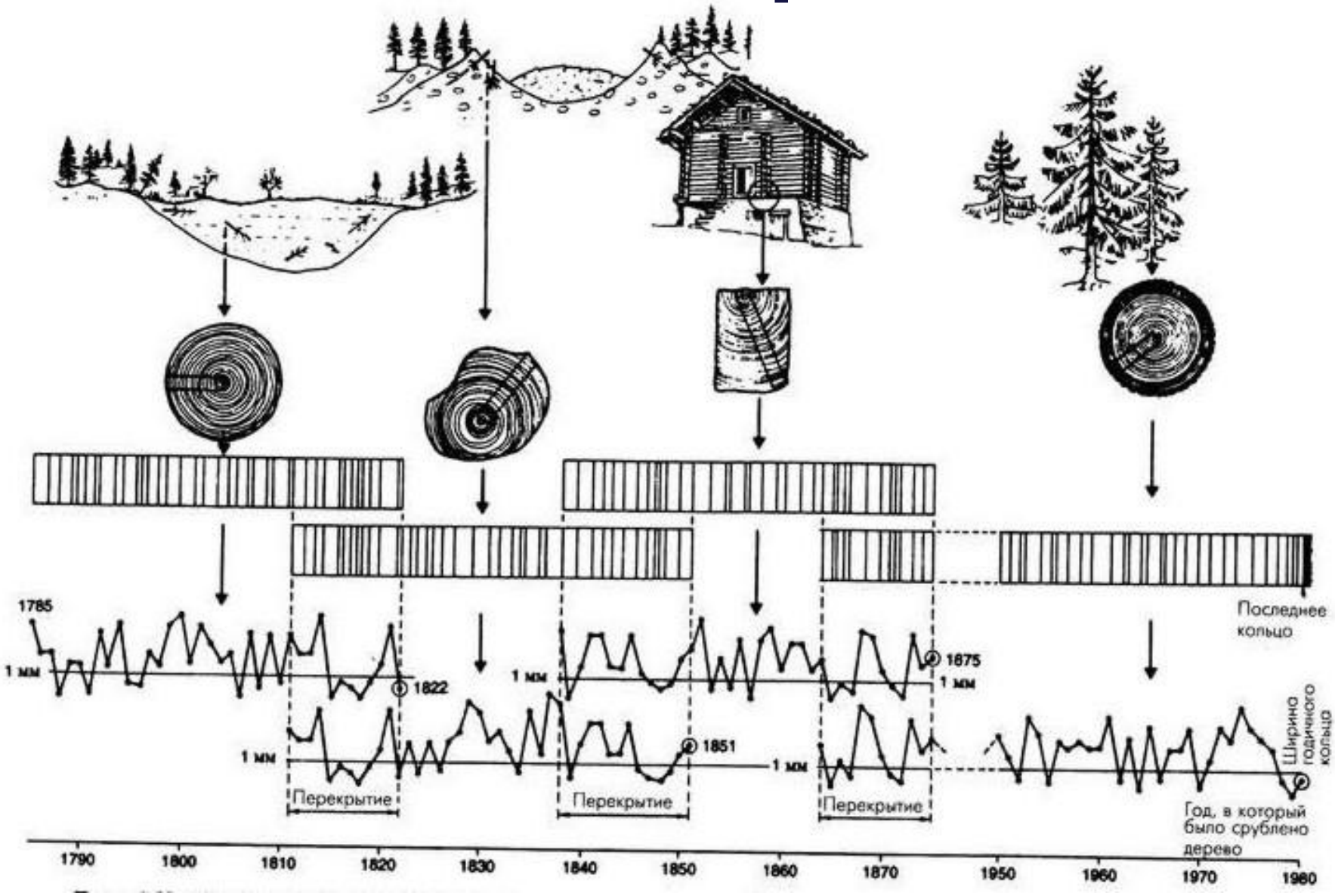
12 8 2004

Морские осадки

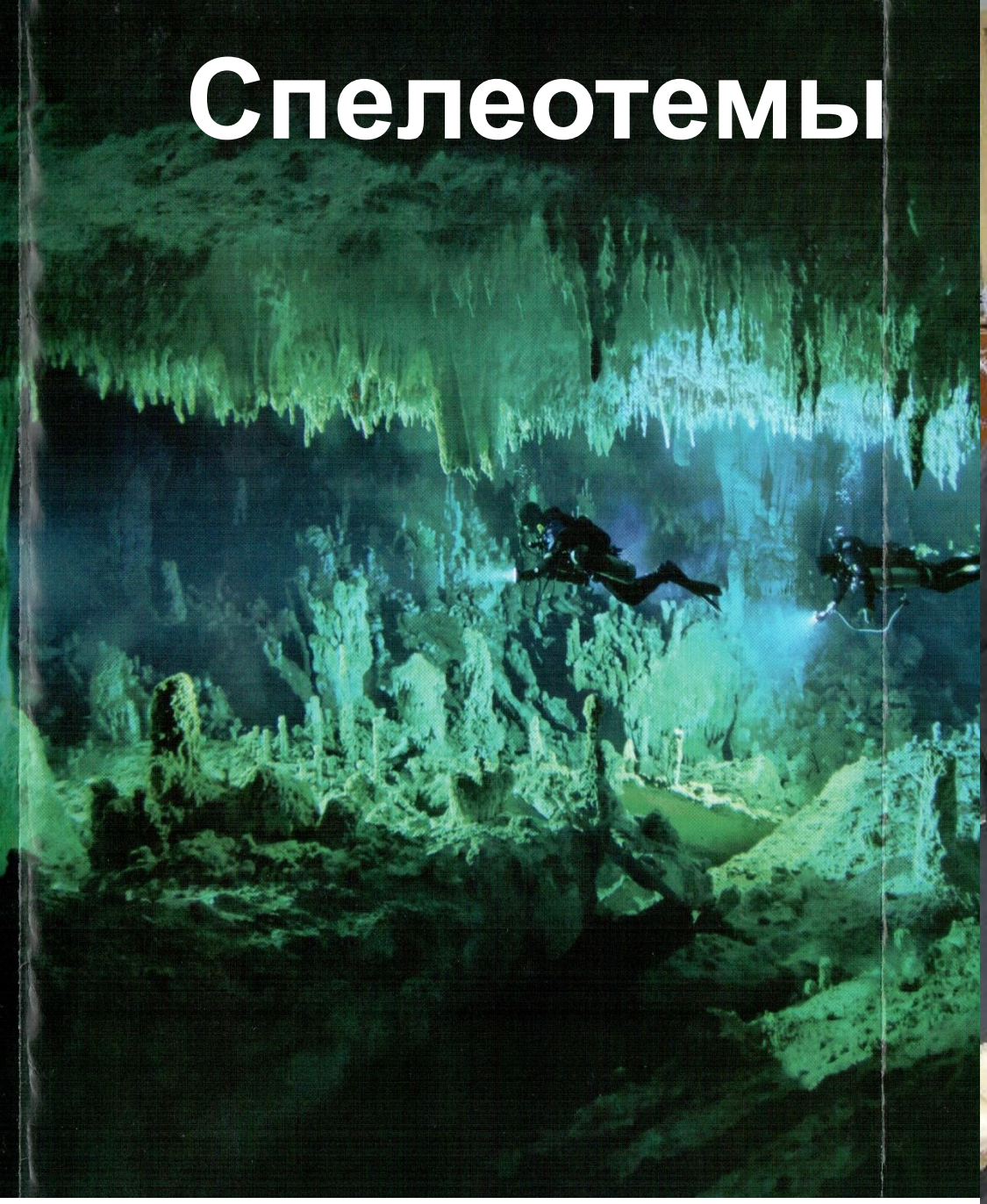
Различные типы континентальных отложений



Кольца деревьев



Спелеотемы



Озера и озерные осадки